



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Estudio de las estrategias de reposición entre
eslabones de la cadena de suministro en función del
grado de colaboración

Autor

Sethi Altair Oca Gadea

Director

María José Oliveros Colay

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2014

A mis padres, que me han dado la mejor educación posible, no sólo la académica, sino también cultural a través de los innumerables viajes realizados en familia. También dedicado a la yaya Tere, tía Tere y a mi hermano Darwin, que a su peculiar manera me apoya en todo lo que hago.

Resumen

Estudio de las estrategias de reposición entre eslabones de la cadena de suministro en función del grado de colaboración

Las compañías deben cumplir con un determinado número de procedimientos para ofrecer al consumidor final la satisfacción que éstos desean obtener. Cada vez la exigencia de los clientes es superior, por ello numerosas empresas se entrelazan entre sí a través de un proceso logístico para lograr que los consumidores consigan todo lo que necesitan en el tiempo adecuado. La gerencia de la Cadena de Suministro se ocupa de asegurar que este proceso logístico funcione de la mejor forma posible.

En el presente proyecto se estudiará cómo afecta al funcionamiento de la Cadena de Suministro diferentes formas de relación que se establecen entre los eslabones que forman parte de dicha cadena. Así, la primera parte del trabajo consiste en una exhaustiva búsqueda en la literatura actual de modelos de Cadena de Suministro y los distintos grados de colaboración que se pueden dar entre los stakeholders considerados. A continuación, se establecen diferentes modelos de Cadena de Suministro considerando distintos grados de colaboración entre eslabones. Una vez quedan definidos dichos modelos se plantean varios escenarios para estudiar cómo cambian variables tales como costes totales y porcentajes de pedidos entregados satisfactoriamente.

La segunda parte del proyecto consiste en diseñar e implementar un modelo de simulación del sistema en Witness (software de simulación), para estudiar el comportamiento de los diferentes escenarios objeto de estudio. Tras la programación del funcionamiento de todos los eslabones de la cadena de suministro de acuerdo a las diferentes estrategias consideradas se procede a realizar las simulaciones pertinentes. Finalmente se analizan todos los resultados obtenidos de Witness para poder concluir qué estrategia de Cadena de Suministro es más favorable en un entorno dado.

Índice general

Capítulo 1: Objetivos y alcance del proyecto	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objeto del proyecto	2
1.3. Alcance del proyecto	2
Capítulo 2: La cadena de suministro	2
2.1. Descripción de la cadena de suministro	2
2.2. Eslabones de la cadena de suministro	4
2.2.1. Las Referencias	4
2.2.2. Los Proveedores	4
2.2.3. Los Fabricantes	4
2.2.4. Los Distribuidores	4
2.2.5. El Transporte	5
2.2.6. Los Clientes	5
2.3. Optimización de los flujos de materiales a lo largo de la cadena de suministro	6
2.4. Grados de colaboración.....	6
2.5. El papel de las técnicas de simulación.....	7
2.6. Deterioro	9
2.7. Costes cadena de suministro	11
Capítulo 3: Del sistema real al modelo	12
3.1. Elementos del modelo.....	12
3.1.1. Las Referencias	12
3.1.2. Las Fábricas	12
3.1.3. Los Clientes	14
3.1.4. Minoristas	15
3.1.5. Mayoristas	16
3.2. Movimiento entre eslabones.....	16
Capítulo 4: El modelo de simulación	17
4.1. El simulador Witness	17
4.2. Componentes del modelo de simulación	18
4.2.1. Clientes	18
4.2.2. Minoristas	19
4.2.3. Mayoristas	20

4.2.4. Fábrica	20
4.3. Explicación funcionamiento del modelo de Witness	20
Capítulo 5: Problemas de prueba	24
5.1. Datos de partida	24
5.2. Primer escenario	25
5.3. Segundo escenario	28
5.4. Tercer escenario	28
5.5. Análisis de resultados.....	28
5.5.1. Minoristas	29
5.5.2. Mayoristas	29
5.5.3. Fábrica	30
5.5.4. Resultados globales.....	32
5.6. Resultados con colaboración	32
Capítulo 6: Conclusiones	33
6.1. Observaciones experimentales.....	33
6.2. Líneas futuras.....	33
A. Gestión de inventarios y ratios de gestión	34
B. Código de Witness.....	37
B.1. Datos de inicialización.....	37
B.2. Forma de ordenar pedidos	43
C. Datos de partida.....	44
C.1. Clientes.....	44
C.2. Minoristas.....	44
C.3. Mayoristas	45
C.4. Fábrica	45
C.5. Transporte	46
D. Resultados de las simulaciones	47
D.1. Segundo escenario sin colaboración.....	48
D.2. Tercer escenario sin colaboración	51
D.3. Segundo escenario con colaboración	54
Bibliografía.....	58

Capítulo 1: Objetivos y alcance del proyecto

Introducción

En este primer capítulo introductorio se procede a describir los antecedentes, objetivos y el alcance del proyecto.

1.1. Antecedentes

La logística surge ante la necesidad de suministrar productos o mercancías a lugares que no se encuentran en los alrededores. El campo de la logística se encarga del estudio del transporte y almacenamiento para llevar cierto producto a un destino final y es aquí donde nace la cadena de suministro [1]. El término cadena de suministro comenzó a usarse en 1982 cuando Keith Oliver, un consultor en Booz Allen Hamilton, lo uso en una entrevista para el Financial Times. La cadena de suministro engloba todas las acciones que van desde que el producto es concebido hasta que se consume.

Hoy en día los muy altos niveles de competencia en los mercados han impulsado a las diferentes empresas a invertir en el correcto desarrollo de las cadenas de suministro. En los últimos años, debido en gran parte a los avances en la fabricación y la distribución, está disminuyendo el coste del desarrollo de nuevos productos y se está acelerando el tiempo de comercialización [2]. Esto ha supuesto un aumento de las demandas de los clientes, de la competencia local y global y de la presión en la cadena de suministro. Para continuar siendo competitivas las empresas deben reinventarse a sí mismas, de forma que todos los procesos de la cadena de suministro como son: abastecimiento y adquisición, planificación de producción, cumplimiento de pedidos, gestión de inventarios y atención al cliente sean operaciones flexibles [2].

Para poder comprender la cadena de suministro es necesario analizar cómo sería la manera correcta de llevarla a cabo, de esta forma se conseguiría una mayor eficiencia. También es de vital importancia analizar los problemas que surgen durante este proceso y la manera óptima de solucionarlos.

La cadena de suministro no se limita a empresas manufactureras, sino que se ha ampliado para incluir tanto productos tangibles como servicios intangibles. En cada empresa es diferente la forma en que se va a llevar a cabo la logística, ya que depende de la manera de pensar de la administración, de la forma en que vean conveniente el suministro de los materiales para la fabricación de los productos, o del carácter que posean para tomar las decisiones dentro de la misma.

1.2. Objeto del proyecto

En la actualidad una de las principales cuestiones a estudiar en las cadenas de suministro son los procedimientos que mejoran su rendimiento teniendo en cuenta los diferentes grados de colaboración entre los eslabones. Por ello, el principal objetivo de este trabajo es definir y establecer diversas alternativas de funcionamiento de los eslabones. Se establecen diferentes configuraciones de cadena de suministro, variando determinadas variables dentro de cada eslabón o cambiando la relación que se establece entre ellos. Una vez definidas dichas alternativas, se seleccionará un grupo para estudiar cómo repercute dichas alternativas en diferentes indicadores como costes totales. Una vez establecidos los diferentes modelos de simulación se evaluarán los resultados. A lo largo del proyecto se determinarán sucesivos problemas de prueba.

1.3. Alcance del proyecto

El presente proyecto contempla el diseño de los eslabones necesarios para la ejecución de una cadena de suministro y toda su programación en Witness. En este caso el proyecto se centra en comparar diferentes relaciones entre eslabones y analizar los resultados en base a distintos indicadores. El aprovisionamiento de las materias primas no se incluye en este proyecto, se supone una fábrica que produce de acuerdo al diseño escogido sin tener en cuenta el suministro de materias primas.

Capítulo 2: La cadena de suministro

Introducción

En este capítulo se explicará de forma detallada en que consiste una cadena de suministro, así como todos los agentes que intervienen en ella para su funcionamiento. Además se definirán alternativas para optimizar los flujos de materiales a lo largo de la cadena de suministro y se explicarán los diferentes grados de colaboración en una cadena de suministro. Por último se comentará brevemente el papel de las técnicas de simulación, el problema del deterioro de los productos presentando un modelo concreto y los costes más importantes asociados.

2.1. Descripción de la cadena de suministro

La cadena de suministro es una red de organizaciones conectadas trabajando conjuntamente para controlar, manejar y mejorar el flujo de materiales e información desde los proveedores hasta los clientes finales. La demanda de productos terminados por parte de los consumidores finales condiciona las relaciones que se llevan a cabo entre las diferentes partes de la cadena de suministro. Por ello es imprescindible satisfacer al cliente, así como ser eficientes en costes y en servicio. Una cadena de suministro correctamente diseñada es capaz

de entregar al cliente final el producto apropiado, en el tiempo exacto y con el menor coste posible [3].

La gestión de los flujos de materiales y de información es vital para gestionar eficientemente la cadena de suministro y llegar al consumidor final con una fiabilidad y eficacia competitiva.

En ocasiones se ofrece un bajo nivel de servicio al cliente debido a que los materiales o la información dejan de fluir, como consecuencia de esto los productos no llegan a nuestros consumidores. La raíz de este problema puede tener varios motivos; conexión ineficiente entre las diferentes empresas de la cadena, falta de tecnología de la información, escaso o nulo conocimiento de nuestros clientes y proveedores, tiempo actual incurrido alto tanto en el aprovisionamiento como en la distribución, etc.

Para que no se produzca desperdicio en la cadena es necesaria una correcta sincronización, involucrando en un mismo objetivo a todos los agentes. Una adecuada gestión de los inventarios y contar con determinados ratios que faciliten la toma de decisiones puede suponer un ahorro notable a lo largo de la cadena de suministro (anexo A).

Se distinguen tres fases principales en la cadena de suministro: producción, distribución y consumo final. La producción convierte las materias primas en productos terminados, la distribución se asegura de que dichos productos finales llegan al cliente a través de una red de distribuidores, almacenes y comercios mayoristas/minoristas. Normalmente se dice que la cadena comienza con los proveedores y termina con los clientes. A continuación en la Figura 2.1 podemos observar un diagrama con los diferentes agentes involucrados.

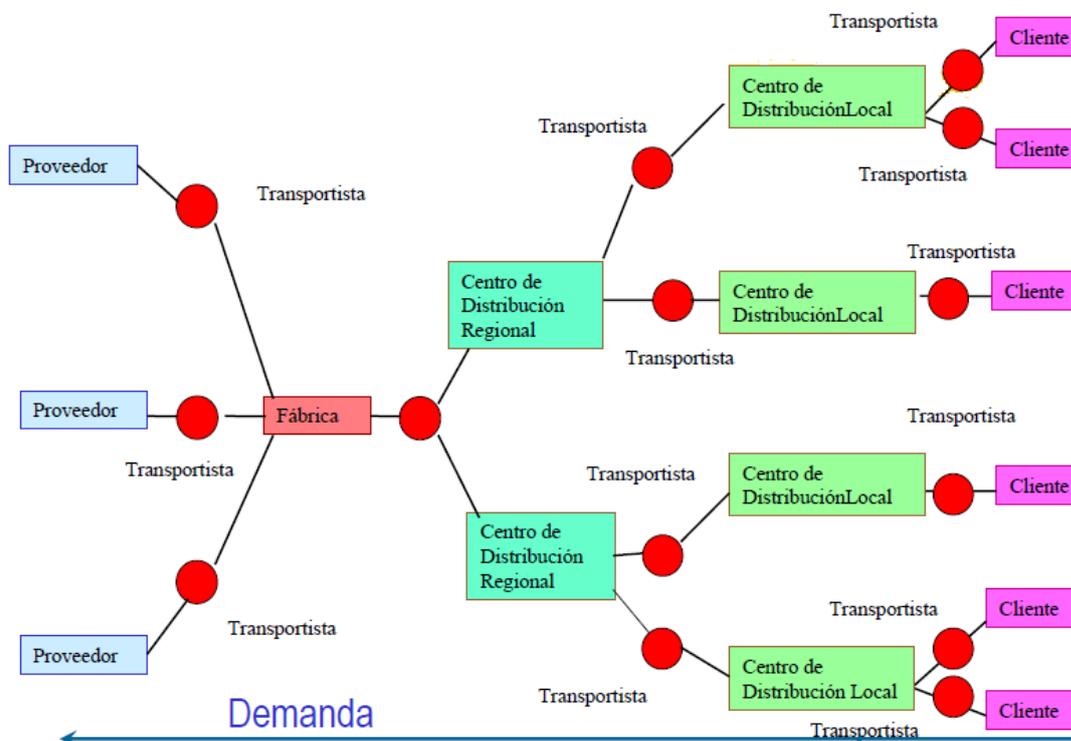


Figura 2.1: Cadena de suministro

2.2. Eslabones de la cadena de suministro

Una cadena de suministro usual debe estar compuesta por los siguientes tipos de eslabones.

2.2.1. Las Referencias

Las referencias son los productos generados en las fábricas y que circulan por los sucesivos eslabones de la cadena de suministro hasta llegar al consumidor.

2.2.2. Los Proveedores

En el primer eslabón de la cadena de suministro nos encontramos con los proveedores, que se encargan de suministrar a las diferentes fábricas las materias primas necesarias.

Cuando estas materias se importan normalmente el precio suele ser mayor, ya que se necesita más tiempo para transportarlas. Este tiempo de suministro puede ser fundamental cuando el producto tiene una corta vida, es perecedero, o sus propiedades se ven modificadas conforme pasa el tiempo [4].

2.2.3. Los Fabricantes

Los fabricantes transforman las materias primas proporcionadas por los proveedores. El producto resultado de estos procedimientos es el que el consumidor podrá adquirir al final de la cadena.

Los productos o servicios generados pueden seguir diversos caminos, dependiendo del destino hay tres alternativas diferentes: cliente final, distribuidor mayorista o distribuidor minorista.

2.2.4. Los Distribuidores

La distribución es la siguiente actividad que tiene lugar en la cadena de suministro. La duración depende del número de centros por los que el producto pasa hasta alcanzar su destino final. Normalmente el precio del producto final será mayor si ha pasado por un elevado número de centros, ya que se suman los progresivos costes de transporte [4].

En algunos casos las empresas fabricantes tienen su propio sistema de distribución, es decir, ellas mismas se encargan de gestionarlo y hacer llegar los productos al cliente final. Pero esto tampoco suele ser la tónica general, ya que la distribución es una de las actividades que más se subcontrata en la cadena de suministro.

Se pueden distinguir varios tipos de distribuidores:

- Distribuidores mayoristas: Estos son aquellos que sirven principalmente a los minoristas, aunque en ocasiones también sirven directamente al cliente final. Estos se caracterizan por vender los productos en grandes cantidades.

- Centros de distribución: la forma de operar es muy diversa. Pueden trabajar con productos de un solo fabricante, o incluso productos de características muy similares, y en otras pueden operar con productos de muy diversa naturaleza y que provienen de diferentes productores. En este caso, suelen agrupar la mercancía en función del pedido a servir al minorista antes de enviárselo. Estos distribuidores suelen estar en las afueras de las ciudades de forma que les sea sencillo acceder a las mismas pero que al mismo tiempo la recepción de la mercancía pueda hacerse de manera fácil y con buena accesibilidad.
- Distribuidores minoristas: normalmente son las tiendas ubicadas en las ciudades. Estos son el eslabón de la cadena que entra en contacto directo en un mayor porcentaje con el cliente final. Por lo general, suelen tener productos de variadas características y de diferentes fabricantes. Los distribuidores minoristas pueden ser de diversas naturalezas. Por un lado se encuentran los minoristas más tradicionales, es decir, las tiendas pequeñas que suelen estar bastante especializadas. Por otro lado, están las grandes cadenas de tiendas entre las que se incluyen los hipermercados, los cuales cobran cada vez más fuerza y disponen de mayor variedad de productos.

2.2.5. El Transporte

El transporte a lo largo de toda la cadena es fundamental, puesto que es la forma de hacer llegar el producto al cliente final y tiene una contribución importante sobre el coste total.

La gran mayoría de los transportes que tiene lugar suele hacerse por carretera, en camiones. El tamaño de estos camiones varía cuanto más cerca del consumidor final nos situamos. Cuanto más nos aproximamos a las ciudades los camiones de reparto tienen un tamaño menor para poder acceder mejor a las calles. Además, las cantidades a transportar también son menos voluminosas [4].

El transporte marítimo se usa fundamentalmente para realizar dos tipos de traslados. Por una parte para el transporte de las materias primas hacia los países donde está establecida la producción si estos se encuentran muy alejados. Y por otra cuando se realizan exportaciones de los productos terminados, sobre todo si estas exportaciones son a larga distancia.

2.2.6. Los Clientes

Los clientes igual que el resto de agentes también han evolucionado a lo largo del tiempo, y satisfacer sus necesidades en la actualidad se ha convertido en una tarea más compleja debido a los altos niveles de exigencia de los mismos. Por ello es necesaria un alto grado de compenetración entre todos los eslabones de la cadena para que esta satisfacción sea máxima.

2.3. Optimización de los flujos de materiales a lo largo de la cadena de suministro

Para incrementar la competitividad en la cadena de suministro y así alcanzar mejores niveles de servicio y reducciones en los tiempos de entrega se pueden formular las siguientes claves:

- Especificación del número de almacenes necesarios en base a las necesidades de la empresa y la capacidad de los mismos teniendo en cuenta además el transporte que representa un elevado coste a la empresa.
- Definición de qué almacén debe suministrar a cuál.
- Evaluación de la rentabilidad de tener un almacén propio o subcontratado.
- Determinación de qué almacenes deben funcionar como reguladores [4].

2.4. Grados de colaboración

Según el nivel de colaboración en la cadena de suministro podemos distinguir tres tipos diferentes propuestos por Holweg (2005) [5]:

- *Cadena tradicional*: cada miembro de la cadena dispone de información local sobre los niveles de inventario; el minorista pronostica la demanda del mercado; el resto de miembros de la cadena toma sus decisiones en función de los pedidos que recibe de su cliente directo. Por ejemplo, el distribuidor ordenará una cantidad de producto en función del pedido del mayorista.

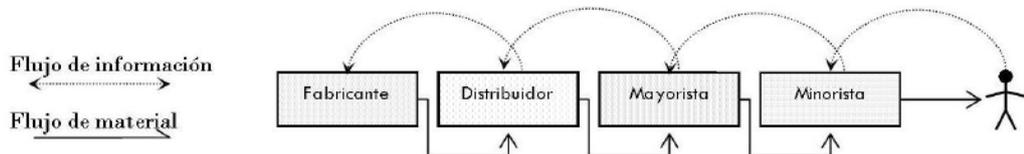


Figura 2.2: Cadena tradicional

- *Cadena EPOS (Exchange Point of Sales)*: todos los integrantes basan su política de reabastecimiento en los niveles locales de inventario y de trabajo en proceso, en los pedidos recibidos de los niveles inferiores y en la demanda del mercado que la utilizan para generar una previsión de la demanda futura.

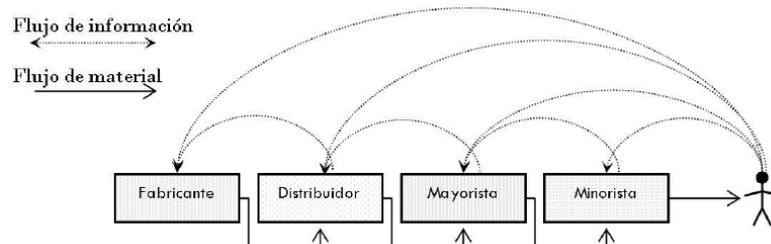


Figura 2.3: Cadena EPOS

- *Cadena sincronizada*: la política de reabastecimiento se desarrolla a partir de bases de datos que integran información en tiempo real acerca de los inventarios y el trabajo en proceso propios y de los miembros de nivel inferior, de los pedidos recibidos y de la demanda del mercado. La cadena sincronizada es un ejemplo de cadena centralizada, en cuanto que todos los miembros efectúan órdenes de modo coordinado.

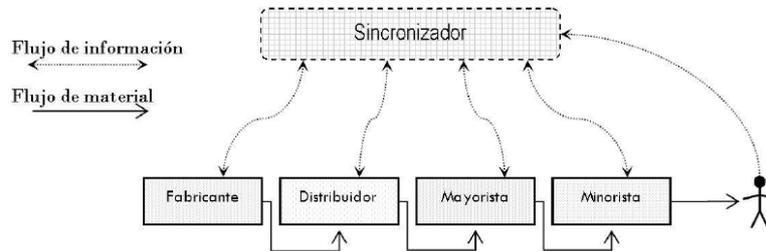


Figura 2.4: Cadena sincronizada

En los tres casos previamente detallados se han considerado cadenas de suministro formadas por cuatro eslabones: fabricante, distribuidor, mayorista y minorista. Para explicar el funcionamiento de la cadena se efectúa una distinción entre flujo de materiales y flujo de información.

Por flujo de materiales se entiende el conjunto de unidades enviadas por un miembro a su cliente directo (ejemplo: distribuidor-mayorista). Por flujo de información se entiende el conjunto de datos intercambiados entre los miembros.

En ocasiones tiene lugar el efecto Bullwhip, que es un fenómeno por el cual los miembros de la cadena de suministro más alejados del consumidor perciben una demanda con mayor oscilación y estacionalidad mientras que el consumo real en el punto de venta es casi lineal. Tras la realización de diferentes estudios [5], podemos llegar a la conclusión de que la cadena sincronizada es el método más efectivo para eliminar el efecto Bullwhip.

2.5. El papel de las técnicas de simulación

Stevens [6] proporciona un marco para el logro de una cadena de suministro integrada, destacando que la integración de las funciones de logística requiere una evolución progresiva desde dentro de la empresa, es decir, el cambio de una visión funcional a una visión de proceso de las actividades internas.

Una red logística adecuada requiere, entre otros, la alineación de las estrategias de red y los intereses, la confianza mutua y la transparencia entre los diferentes niveles, para ello es necesaria una alta intensidad de intercambio de información y de colaboración en decisiones de planificación [7]. Estos requisitos representan a menudo los principales obstáculos de la integrabilidad completa de una cadena logística: incluso en presencia de una fuerte asociación y la confianza mutua entre los diferentes puntos logísticos, en la práctica hay evidentes riesgos potenciales de conflicto entre los intereses locales y los globales. También cabe destacar la

fuerte reticencia a compartir información común relacionada con la planificación de la producción y la programación como por ejemplo, el inventario y los niveles de capacidad.

Por lo tanto, es importante adoptar soluciones colaborativas distribuidas, que preserven al mismo tiempo la autonomía local y la privacidad de la información de logística.

En general, la simulación de tales sistemas se puede llevar cabo de acuerdo a dos estructuras diferentes: utilizando sólo un modelo de simulación, ejecutado sobre un solo ordenador (simulación local), o aplicar sucesivos modelos, realizados por más procesadores de cálculo (ordenadores y / o multi-procesadores) de forma paralela o distribuida [8].

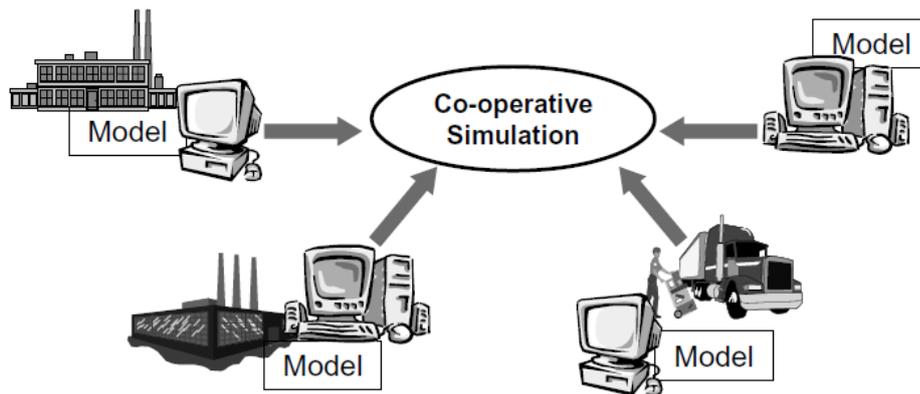


Figura 2.5: Simulación cooperativa

-La simulación paralela y distribuida (PDS)

La necesidad de ejecutar la simulación en varios equipos diferentes deriva de cuatro principales razones [9], [8], [10]:

- *Para reducir el tiempo de ejecución de simulación:* Una simulación grande se puede dividir en más modelos y así ejecutarlo en un tiempo más corto.
- *Para reproducir una distribución geográfica del sistema:* Algunos sistemas (como los sistemas de la cadena de suministro o aplicaciones militares) están distribuidos geográficamente. Por lo tanto, reducirlo en un único modelo de simulación es solo una aproximación. Al preservar la distribución geográfica, la ejecución de un PDS sobre ordenadores distribuidos permite la creación de mundos virtuales con múltiples participantes que están situados físicamente en diferentes sitios.
- *Integrar diferentes modelos de simulación que ya existen:* Mediante el uso de un PDS, es posible integrar los modelos existentes y diferentes herramientas de simulación en un único entorno, sin la necesidad de adoptar una plataforma común para reescribir los modelos.
- *Para aumentar la tolerancia a los fallos de simulación:* Dentro de un PDS, compuesto por diferentes procesadores de simulación, si un procesador falla,

otro procesador es capaz de continuar con la ejecución de la simulación sin la caída del proceso entero.

Es posible distinguir dos PDS diferentes, dependiendo de la lógica de coordinación que emplean:

- Una estructura de red, basado en un protocolo distribuido de lógica, en la que los nodos individuales están mutuamente interconectados (Figura 2.6-a).
- Una estructura centralizada en los que un administrador de procesos se encarga de unir a todos los nodos participantes (Figura 2.6-b) [11].

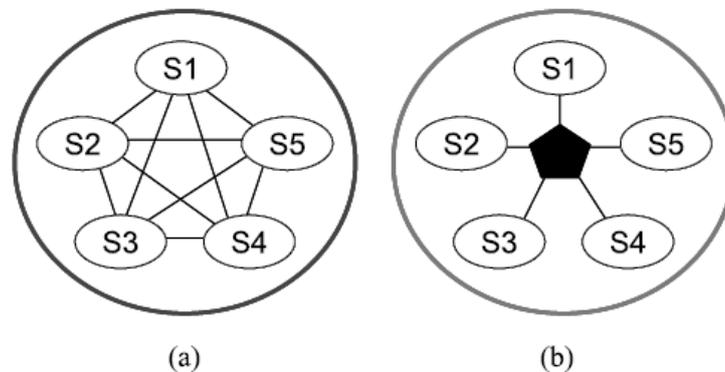


Figura 2.6

2.6. Deterioro

En la vida real, es frecuente encontrarse con productos como leche, fruta, productos farmacéuticos, etc, que se deterioran con el tiempo. Por lo tanto, es importante formular políticas de control de inventarios para controlar estos productos.

Los modelos de inventario considerando el posible deterioro del producto a lo largo del tiempo han recibido mucha más atención en los últimos años. Una correcta gestión de dichos productos ahorra numerosos costes. Actualmente los modelos de Just-In-Time (JIT) y Supply Chain Management (SCM) están fuertemente desarrollados, al igual que la cooperación entre los proveedores y los compradores han sido ampliamente estudiados. Junto a los dos modelos de investigación populares mencionados anteriormente, varios autores han comenzado a desarrollar modelos de inventarios basados en el deterioro de los artículos. Entre ellos, cabe destacar a C.Yan.

Yan [12] en su modelo considera a un solo proveedor con un único comprador. Este proveedor entrega, a intervalos de tiempo fijos, cantidades constantes de un producto al almacén de un comprador. Cada uno de estas entregas llega al almacén en el momento exacto en que todos los elementos de la anterior entrega se han agotado. El inventario en función del tiempo para el comprador y el proveedor se muestran en la las Figuras 2.7 y 2.8, respectivamente.

El tiempo total del ciclo T se puede dividir en dos componentes: T_1 , el tiempo durante el cual el proveedor produce el producto y T_2 , el tiempo durante el cual el proveedor no lo produce. Por último T_3 será el tiempo entre dos entregas sucesivas.

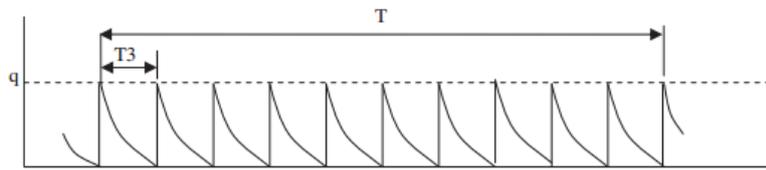


Figura 2.7: Nivel de inventario del comprador

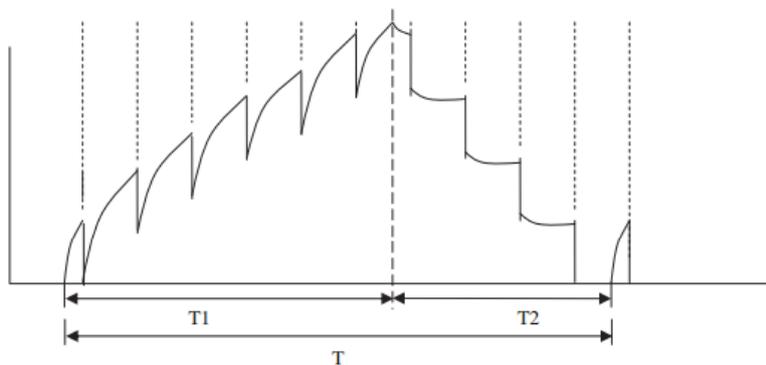


Figura 2.8: Nivel de inventario del proveedor

Los costes relevantes a tener en cuenta en este estudio son los siguientes:

- a) El coste de instalación por unidad de tiempo para el proveedor
- b) Coste de mantenimiento por unidad de tiempo para el proveedor
- c) Coste deterioro por unidad de tiempo para el proveedor
- d) El coste por unidad de pedido para el comprador
- e) Coste de mantenimiento por unidad de tiempo para el comprador
- f) El transporte y el manejo de costes por unidad de tiempo para el comprador
- g) El coste deterioro por unidad de tiempo para el comprador

El modelo de Yan se encarga de identificar el tamaño óptimo de lote de entrega (q) de forma que no se produzca deterioro del producto. También conoce el número de entregas en cada ciclo de lote de producción.

2.7. Costes cadena de suministro

A continuación se detallan los costes más significativos de la cadena de suministro [13] [14] [15]:

- Costes de almacenamiento: incluye los costes directamente relacionados con la titularidad de los inventarios tales como:
 - Costos Financieros de las existencias
 - Gastos del Almacén
 - Seguros
 - Deterioros, pérdidas y degradación de mercancía
- Costes de lanzamiento de pedido: se incluyen todos los costes en que se incurre cuando se lanza una orden de compra. Estos costes deben ser independientes de la cantidad que se compra y exclusivamente relacionados con el hecho de lanzar la orden.
- Costes de adquisición: Es la cantidad total invertida en la compra de la mercancía.
- Coste de ruptura de stock: Costes por la falta de existencias. Los criterios para valorar estos costos de ruptura son:
 - Disminución del ingreso por ventas.
 - Incremento de los gastos del servicio: Aquí se incluyen las penalizaciones contractuales por retrasos de abastecimiento, paradas en el proceso de producción, etc.
- Costes de transporte: El transporte es el responsable de mover los productos terminados entre empresas y clientes que se encuentran dispersos geográficamente, y agrega valor a los productos transportados cuando estos son entregados a tiempo, sin daños y en las cantidades requeridas. Los costes asociados con el transporte son altamente representativos en la cadena de suministro y están involucrados directamente con la relación que se tiene con los clientes [16]. Por ello se hace prioritario en las cadenas de logística de las empresas el manejar y planificar adecuadamente sus redes de transporte y distribución. Se ha observado que el movimiento de carga equivale aproximadamente entre un 30% a un 60% de los costes totales de logística. Debido a lo anterior, para una administración efectiva del sistema de transporte es necesaria la utilización de un sistema de asignación de rutas, enfocado a la optimización del proceso de distribución de mercancías cuyo objetivo principal es minimizar tiempos y costes en el proceso de entrega y recogida y en general los costes totales de toda organización, agregando valor al producto a entregar [17].

Capítulo 3: Del sistema real al modelo

Introducción

En nuestro modelo se considerarán todos los eslabones previamente explicados a excepción de los proveedores. Los proveedores son esenciales en la cadena de suministro, pero para una mayor simplificación de la simulación se omitirán, se supondrá que la fábrica obtiene todas las materias primas necesarias de forma instantánea. A continuación se expondrán los parámetros más relevantes de cada componente.

3.1. Elementos del modelo

3.1.1. Las Referencias

Referencias: En el modelo planteado se trabaja con más de una referencia al mismo tiempo. Todas ellas se generan en la fábrica y se producen volúmenes distintos dependiendo de la referencia considerada. La fábrica genera órdenes de fabricación de las referencias de forma periódica. Cada una de las referencias posee un tiempo diferente de fabricación, de esta forma el modelo se ajusta a la realidad, ya que en rara ocasión diferentes productos tienen los mismos tiempos de fabricación.

3.1.2. Las Fábricas

Fábricas: en nuestro modelo se contará con una única fábrica que es capaz de producir todas las referencias necesarias. Es importante conocer la capacidad de producción diaria para poder establecer las diferentes estrategias y ser capaz de satisfacer la demanda actual y futura. Se pueden dar dos tipos de capacidades [18], [19]:

- Capacidad pico: la máxima producción que se puede lograr en un proceso o instalación bajo condiciones ideales.

$$\text{Utilización pico} = \frac{\text{Tasa de producción promedio}}{\text{Capacidad pico}} \times 100\%$$

- Capacidad efectiva: es la máxima salida de producción que un proceso o una empresa es capaz de sostener económicamente en condiciones normales.

$$\text{Utilización efectiva} = \frac{\text{Tasa de producción promedio}}{\text{Capacidad efectiva}} \times 100\%$$

En nuestro modelo se considerará la capacidad efectiva, es decir, se fijará una capacidad máxima de producción que no se superará en ningún momento.

A la hora de producir se darán dos tiempos diferentes un tiempo de fabricación por unidad y referencia y un tiempo de preparación de las diferentes referencias. Es decir, el

tiempo empleado desde que se termina de producir una referencia hasta que se comienza a fabricar un lote diferente.

Una vez conocidos estos tiempos se definirá el número máximo de unidades al día, con ello se sabrá la capacidad de la fábrica. La capacidad también se podrá medir en función del tiempo de fabricación total al día.

El lead time del fabricante es el tiempo transcurrido desde que se da la orden de fabricación hasta que el producto está disponible. Este tiempo es suma de dos valores, el tiempo transcurrido desde que se ordena dicha fabricación y comienza a producirse y el tiempo que se tarda en fabricar el producto. Si se consigue minimizar este tiempo se ahorraran numerosos costes, el camino para reducirlo consiste en la reducción de los lead time de los subprocesos de fabricación [20].

Planificación de la demanda

La planificación de la demanda se puede llevar a cabo de diferentes maneras dependiendo del grado de colaboración entre eslabones. Podemos distinguir tres alternativas:

- Producir contra pedido
- Producir en base a históricos
- Producir teniendo información de todos los eslabones

-Producir contra pedido

En la fabricación contra pedido, se produce una referencia específicamente para cada eslabón. Las órdenes se toman a medida que llegan, los productos se fabrican con una secuenciación fija. Esta estrategia representa un procedimiento de fabricación en el que cada producto debe fabricarse sólo una vez, aunque al cabo de un tiempo se repiten los mismos. Cada producto se fabrica de manera específica para cada eslabón distinto de modo que es difícil ver el producto terminado en el stock.

-Producir en base a históricos

Esta estrategia trabaja con previsiones de la demanda. Estos datos son orientativos para gestionar la producción y pueden no ser representativos del periodo actual. Es necesario conocer: las necesidades netas para cada periodo del horizonte de planificación (calculadas a partir de la previsión de la demanda), los inventarios disponibles y la política de stock de seguridad que se siga para afrontar imprevistos de la demanda. En caso de que la demanda no sea constante, la fábrica tendrá que decidir entre [21]:

- Mantener el volumen de producción constante: la empresa tiene que acumular inventario en los periodos de baja demanda y arriesgarse a no poder servir un pedido en los periodos de alta demanda.
- Variar la producción para ajustarse al nivel mensual de la demanda: modifica su capacidad productiva para cubrir las necesidades netas de cada periodo.

En el proyecto objeto de estudio no se considerará esta alternativa, ya que la demanda de los clientes es conocida.

- Producir teniendo información de todos los eslabones

Este método es el óptimo, ya que conoce toda la información de los sucesivos eslabones. Conociendo todos los pedidos realizados a lo largo de la cadena de suministro y el estado de cada uno de los almacenes intermedios se puede establecer prioridad o no para cada uno de los pedidos recibidos en la fábrica.

Programación de operaciones

La programación de operaciones tiene como función determinar que operaciones se van a realizar sobre los distintos pedidos, durante cada momento, en cada centro de trabajo, de forma que, con la capacidad disponible en cada uno de ellos, se cumplan las fechas de entrega planificadas, empleando el menor volumen de recursos e inventarios posibles.

Existen diferentes tipos de configuraciones, a continuación se muestran las más comunes:

- *Configuración continua:* fabrican para inventario, empleando siempre las mismas instalaciones para obtener el mismo producto, con una disposición de las máquinas en cadena; las operaciones que realiza cada una de ellas es siempre la misma y no ha de ser determinada.
- *Configuración por lotes:* donde un centro de trabajo es empleado para obtener diferentes pedidos de distintos artículos. Esto implica que tras obtener un cierto lote, se parará el centro de trabajo y se preparará para la producción del siguiente.

En el modelo objeto de estudio se considerará esta segunda alternativa, ya que la fábrica es capaz de producir distintas referencias.

3.1.3. Los Clientes

Cientes: El número de clientes será variable, y cada uno estará asignado a un único minorista. El tiempo de entrega del producto final al cliente es fundamental, el indicador que mide dicho periodo es el Lead Time de pedido: comprende el intervalo de tiempo desde que el cliente emite el pedido hasta que lo recibe. El ciclo de pedido del cliente es el tiempo que el cliente está dispuesto a esperar por el producto una vez ordenado el mismo, en caso de que este tiempo se sobrepase el cliente no aceptará el producto lo que generará grandes costes tanto económicos como de imagen para la empresa [20].



Figura 3.1: Lead Time

La organización debe contar con un tiempo de fabricación y distribución menor al ciclo de pedido del cliente.

Cada cliente demandará las referencias deseadas de forma independiente, cada una de ellas supondrá un pedido. A pesar de que sean referencias distintas las que solicita se le suministrarán a la vez, en el mismo lote.

3.1.4. Minoristas

Minoristas: El modelo planteado contará con varios minoristas y cada uno de ellos estará asociado a un mayorista en particular. Dicho mayorista será el encargado de suministrar todas las referencias demandadas por el minorista.

Cada minorista dispondrá de una capacidad limitada de almacenaje, este nivel no podrá sobrepasar en ningún caso. Los minoristas trabajarán de acuerdo a una de las dos estrategias planteadas a continuación.

En la primera estrategia se realizará una revisión mixta o de mínimo/máximo del nivel de inventario (Figura 3.2) para cada una de las referencias [22]. La revisión del nivel de inventario (NI) se realiza cada cierto tiempo fijo R , pero sólo se emite un pedido al mayorista si, en dicho instante, NI es igual o inferior a un determinado nivel mínimo de stock r que sea suficiente para hacer frente a la demanda del siguiente periodo de revisión. La cantidad a pedir será la diferencia entre el nivel predefinido S a reponer y el nivel de inventario NI observado al llegar el momento R de la revisión siempre que $NI < r$ [21]. El lead time del minorista contemplado será como mínimo de un día.

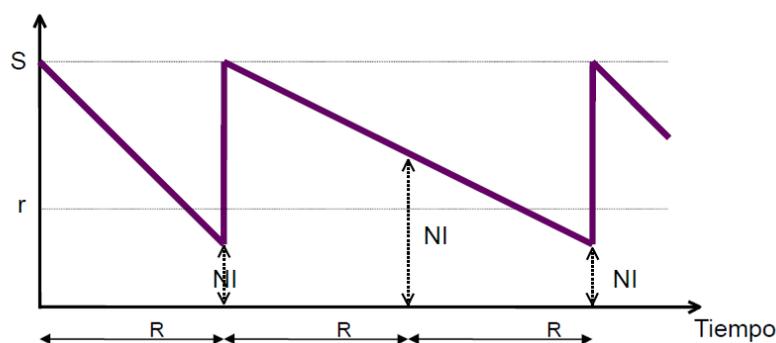


Figura 3.2: Nivel de inventario

La segunda estrategia solo emitirá pedidos una vez su stock sea igual a cero, es decir, no haya ninguna referencia para satisfacer la demanda del cliente. Esta estrategia supone no poseer ningún stock de seguridad.

3.1.5. Mayoristas

Mayorista: El número de mayoristas, al igual que en el caso de los minoristas, será mayor que uno y todos ellos estarán asignados a la misma fábrica. Dicha fábrica será la responsable de suministrar la totalidad de los productos demandados.

El modelo de reposición y de revisión de inventarios de las empresas mayoristas coincide con el de los minoristas, la diferencia estriba en el valor numérico del nivel de inventario (NI) y el nivel predefinido S. Al igual que en el caso de los minoristas el lead time será de mínimo un día. Cabe destacar que tanto en el caso de los mayoristas como en el de los minoristas, los niveles predefinidos de stock son fijos, es decir, no varían en función de la demanda.

3.2. Movimiento entre eslabones

Movimiento entre eslabones: El movimiento entre eslabones es fundamental para el correcto funcionamiento de la totalidad de la cadena de suministro. Como se ha explicado anteriormente este supone un gran porcentaje del coste total, por ello es imprescindible que esté correctamente definido. Cada vez que se emite un pedido, este no se atiende instantáneamente, ya que esto supondría un elevado coste de transporte. Si el transporte encargado del suministro únicamente llevara un pedido estaríamos desaprovechando gran capacidad de carga del vehículo.

Para solucionar este problema se asignan a cada uno de los eslabones el día en el que realizarán el transporte, de esta forma se suministran todos los pedidos acumulados de vez, aprovechan de una mejor manera cada traslado.

El plazo de ejecución del transporte es el intervalo que va desde la fecha y hora en que un envío sale de su almacén hasta el momento en el que llegue a su destino. El lead time de transporte se ve afectada por factores como: la ubicación del almacén o la compañía de transporte. Otros factores, tales como los días de la semana que el almacén, el cliente y el transportista están cerrados también afectan el tiempo de espera [23].

A veces, los pedidos no se pueden atender satisfactoriamente, lo que provoca costes de rotura de stock. En ocasiones, es posible superar esta situación mediante los denominados retropedidos, en los que se aplaza el suministro hasta que se dispone de existencias y se compensa al cliente por el retraso mediante algún tipo de descuento [24]. En este modelo de cadena de suministro no se da esta situación, si el envío llega sobrepasado el ciclo de pedido del cliente, este no se acepta.

Capítulo 4: El modelo de simulación

Introducción

La utilización de modelos de simulación facilita el estudio de muchos sistemas. Simular el modelo empleando herramientas informáticas resulta menos costoso y menos arriesgado que hacerlo sobre el sistema real planteado. Por ejemplo, para el estudio del comportamiento de un edificio es recomendable elaborar un modelo de la estructura correspondiente. A partir del análisis del modelo se pueden establecer las características de los componentes necesarios (vigas, columnas, etc.) para su correcto funcionamiento [25].

Igualmente, en el diseño de una cadena de suministro se puede estudiar mediante modelos. Aunque la elaboración de un modelo puede ser relativamente costosa, con frecuencia, resulta menos costosa que los posibles costes derivados de una decisión poco acertada [25].

En la actualidad hay en el mercado una gran cantidad de software de simulación debido a la creciente demanda que está teniendo esta técnica de ayuda a la toma de decisiones. Entre los paquetes disponibles podemos destacar Arena, Automod, Instrata, Mentor, Pro-Model, Simple ++, Taylor II y Witness. Cada uno de ellos posee características diferentes en cuanto a velocidad de simulación, modelización, facilidad en el análisis o coste. Para decidirse por uno u otro dependerá del sistema a simular así como del coste del software [26]. Finalmente se ha decidido emplear Witness, que es una herramienta de pago pero de la que la Universidad de Zaragoza posee licencia.

Un estudio de simulación comienza con la definición del sistema y de los objetivos del estudio y finaliza con la implementación de los resultados y la documentación del trabajo realizado.

4.1. El simulador Witness

El fabricante de Witness es Lanner Group, una empresa de Software de Simulación de Procesos. Witness es uno de los simuladores más usados, más fiables y más conocidos entre los softwares de SED (Simulación de eventos discretos) [27]. Se trata de una potente herramienta de simulación que permite modelar el entorno de trabajo, simular las implicaciones de las diferentes decisiones y comprender cualquier proceso, por muy complejo que éste sea [28]. Witness posee una interfaz gráfica que permite asimilar y mejorar los procesos. A su vez es un programa para asistir a la evaluación de alternativas, apoyar importantes iniciativas estratégicas y posibilitar una mejora continua. Su enfoque se basa en la creación de representaciones visuales de los sistemas de la vida real que, a través de modelos dinámicos, consiguen transformar simples datos en medidas productivas.

Cabe destacar que todos los modelos creados para la realización de este proyecto son paramétricos, es decir, se pueden generar escenarios alternativos mediante la variación de los valores de los diferentes parámetros. Se plantearán dos modelos de simulación diferentes dependiendo del grado de colaboración, dentro de cada modelo habrá diferentes escenarios

posibles. A pesar de que los modelos son diferentes, las lógicas serán idénticas, es decir, las características de los stakeholders (número de minoristas, número de mayoristas, referencias ofertadas...) se mantendrán constantes en los diferentes escenarios y grados de colaboración para poder realizar una comparación eficiente.

4.2. Componentes del modelo de simulación

En este apartado se describirán los atributos y parámetros de cada uno de los elementos de la simulación así como la fórmula necesaria para calcular el coste de cada stakeholder. En este proyecto se ha trabajado con dos tipos de referencias diferentes, este número se puede incrementar o disminuir de forma sencilla, ya que como se ha explicado anteriormente todo el modelo está parametrizado. Lo mismo sucede con el resto de eslabones.

4.2.1. Cientes

Se consideran 10 clientes distintos, cada uno de ellos emite pedidos de forma individual e independiente. Si el tiempo de entrega supera al ciclo de pedido de cada cliente (es un dato de entrada) el pedido no se aceptará y supondrá un coste adicional a la empresa. Los pedidos de cada cliente son atendidos por uno de los tres minoristas disponibles.

A la hora de recibir el pedido se pueden dar tres situaciones diferentes dependiendo del tipo de entrega:

- 1) El pedido se recibe completo. En este caso habrá que evaluar si el pedido ha llegado antes de completarse el ciclo de pedido. Si se ha sobrepasado este límite, a los costes de emisión de pedido y transporte habrá que añadir la penalización por exceder el tiempo máximo de entrega, en este caso el pedido no se entrega.
- 2) No se entrega nada del pedido, esto llevará asociado los costes pertinentes.
- 3) Se entrega parcialmente el pedido, la parte que no es entregada será penalizada económicamente. También hay que comparar la fecha de entrega con el ciclo de pedido.

Cada pedido emitido llevará asociado 7 atributos diferentes, esto facilitará la evaluación de los resultados. Los atributos son características específicas de una entidad o de un recurso. Estos 7 atributos son:

Atributo 1 → Día realización pedido

Atributo 5 → Cantidad entregada

Atributo 2 → Cliente que lo realiza

Atributo 6 → Tipo de entrega

Atributo 3 → Referencia solicitada

Atributo 7 → Día de entrega

Atributo 4 → Cantidad pedida

El ciclo de pedido de cada cliente se compara con (*Atributo 7 – Atributo 1*) para saber si se ha sobrepasado o no.

4.2.2. Minoristas

Cada uno de ellos recibe encargos de unos clientes en concreto y emite pedidos al mayorista que está asignado. Los minoristas realizarán pedidos al mayorista de acuerdo a las dos estrategias explicadas en el capítulo 3.

- Costes

En función de cómo se desarrolla el proceso de entrega del pedido llevará asociados unos costes u otros, la fórmula general empleada es la siguiente:

$$C.Minor_x = CosteLanzPed \times NumPed + C.Trans \times NumTrans + PenaRef1 \times CantFaltRef1 + PenaRef2 \times CantFaltRef2 + NumFueraCicPed \times PenNOEntreg + CosteRotStock \times NumPed$$

Ecuación 4.1: *Coste minoristas*

Dónde:

- **C.Minor_x**: coste de cada uno de los minoristas.
- **CosteLanzPed**: coste de emitir un pedido.
- **NumPed**: número total de pedidos atendidos.
- **C.Trans**: coste por realizar un traslado.
- **NumTrans**: número de traslados.
- **PenaRef1**: penalización por no servir una unidad de la referencia 1.
- **CantFaltRef1**: cantidad que falta por entregar de la referencia 1.
- **PenaRef2**: penalización por no servir una unidad de la referencia 2.
- **CantFaltRef2**: cantidad que falta por entregar de la referencia 2.
- **NumFueraCicPed**: número de pedidos que no se atienden dentro del ciclo de pedido del cliente.
- **PenNOEntreg**: penalización por no entregar el pedido.
- **CosteRotStock**: coste de rotura de stock (este coste solo se da en el escenario en el que los eslabones piden según la segunda estrategia, cuando el stock es igual a cero).

4.2.3. Mayoristas

Los mayoristas están asociados a una fábrica en particular y recibe los pedidos del minorista correspondiente. Al igual que ocurre con los minoristas tiene dos políticas distintas de realizar los pedidos.

La fórmula para calcular los costes de los mayoristas es la siguiente:

$$C.Mayor_x = CosteLanzPed \times NumPed + C.Trans \times NumTrans + PenaRef1 \times CantFaltRef1 + PenaRef2 \times CantFaltRef2 + NumFueraCicPed \times PenNOEntreg + CosteRotStock \times NumPed$$

Ecuación 4.2: *Coste mayoristas*

4.2.4. Fábrica

Se cuenta con una única fábrica que es capaz de suministrar ambas referencias a los dos mayoristas del modelo estudiado. A diferencia que en el caso de los mayoristas y minoristas el periodo de revisión no será de un día sino de dos veces por semana.

La fórmula de costes sigue siendo la misma que en los dos casos anteriores.

$$C.Fab = CosteLanzPed \times NumPed + C.Trans \times NumTrans + PenaRef1 \times CantFaltRef1 + PenaRef2 \times CantFaltRef2 + NumFueraCicPed \times PenNOEntreg + CosteRotStock \times NumPed$$

Ecuación 4.3: *Coste fábrica*

4.3. **Explicación funcionamiento del modelo de Witness**

Se ha creado un archivo Excel con la demanda de 10 clientes a lo largo de un mes, suficientes días como para considerarlos representativos. En cualquier caso el archivo se puede aumentar o disminuir según se desee. La posesión de este archivo implica conocer con certeza la demanda de cada cliente.

Para poder realizar la simulación de los diferentes modelos de acuerdo a las especificaciones requeridas para el proyecto es necesario crear todos los elementos que se encuentran en la Figura 4.1.

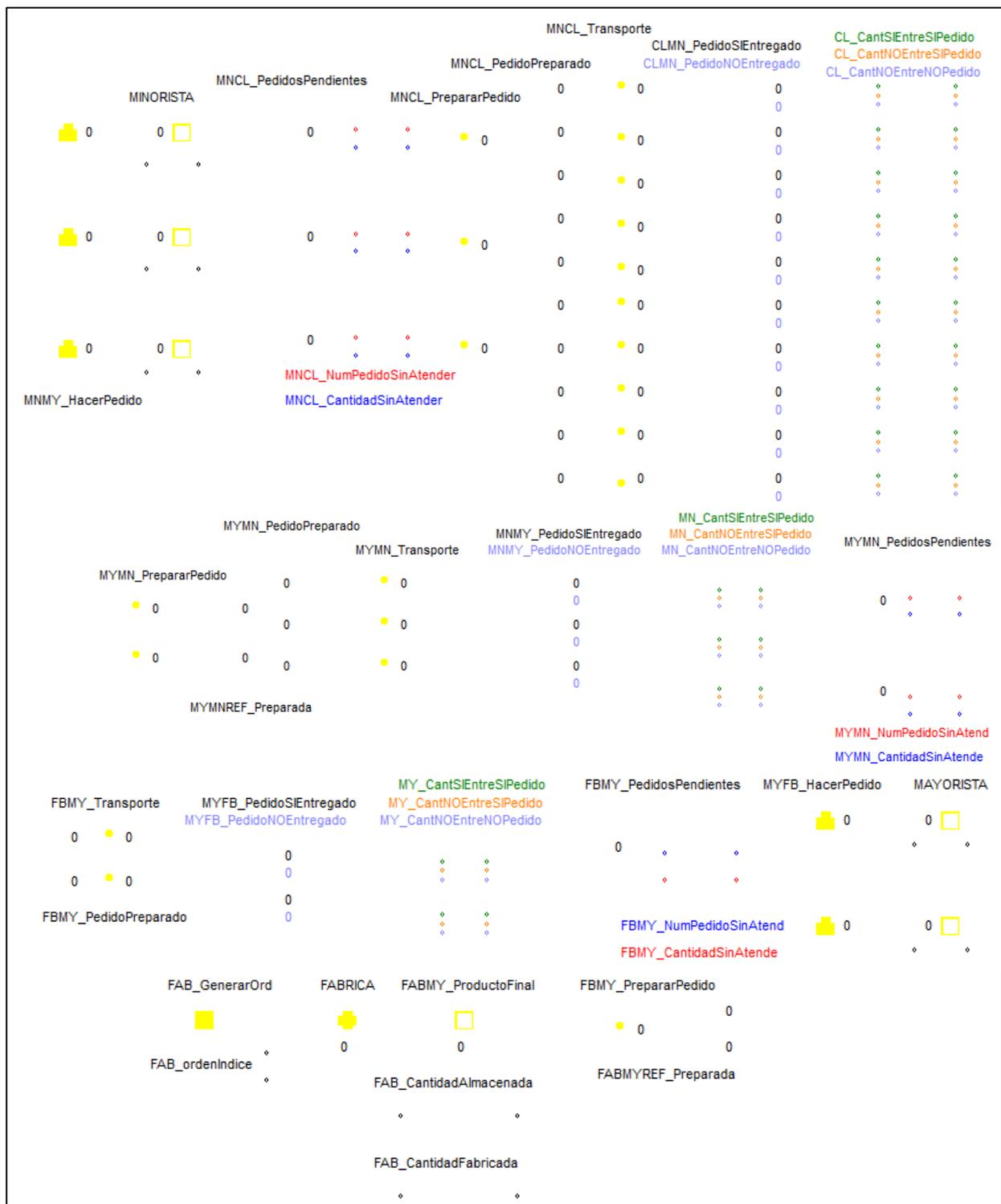


Figura 4.1: Interfaz modelo de simulación en Witness

El programa creado en Witness lee la demanda diaria para conocer si hay algún pedido realizado. En caso de que se de esa situación se realiza un pedido al minorista (se indicará en la columna `MNCL_PedidosPendientes`). Los minoristas por medio del elemento denominado `MINORISTA` revisan su inventario diariamente, de esta forma saben si pueden atender los pedidos de los clientes, o tienen que solicitar mercancía a los mayoristas

(MNMY_HacerPedido). En caso de que no pueda satisfacer la demanda del cliente el contador de CLMN_PedidoNOEntregado se incrementará inmediatamente, también se actualizará la columna de CL_CantNOEntreNOPedido con las cantidades de dichos pedidos insatisfechos. Si por el contrario sí que se puede atender el pedido, el contador de la columna MNCL_PedidoPreparado aumentará. En esta última columna mencionada se irán acumulando los sucesivos pedidos que sí que se pueden atender, pero no se realizará el transporte a los clientes hasta que no llegue el día indicado para realizar el traslado (cuando MNCL_Transporte se ponga a 1), de esta forma como se ha indicado anteriormente se ahorran numerosos viajes (disminución de costes de transporte).

Los pedidos entregados a los clientes se muestran en las columnas denominadas CL_CantSIEntreSIPedido (cantidades entregadas satisfactoriamente), CL_CantNOEntreSIPedido (cantidades de pedidos parciales que no se han podido suministrar) y CL_CantNOEntreNOPedido (cantidades de pedidos completos que no se han entregado). Las columnas adyacentes llamadas CLMN_PedidoSIEntregado y CLMN_PedidoNOEntregado muestran de forma compacta los pedidos que se han entregado y los que no se han satisfecho.

El funcionamiento de los mayoristas es similar al explicado anteriormente. El elemento MAYORISTA es el encargado de revisar diariamente la situación del stock, en caso de que sea necesario realizar un pedido a la fábrica, el elemento MYFB_HacerPedio se activará. Si el mayorista no puede atender el pedido los elementos MN_CantNOEntreNOPedido y MNMY_PedidoNOEntregado se activarán indicando las cantidades y el número de pedidos insatisfechos. En caso de que sí puedan suministrarlos, los elementos análogos a los explicados en el caso de los minoristas mostrarán las cantidades y los pedidos entregados. El transporte mayorista-minorista se realiza el día asignado para ello (cuando se activa MYMN_Transporte).

La fábrica por su parte genera los dos tipos de referencia de manera constante a lo largo del tiempo, todas las cantidades fabricadas se indican en los contadores de FAB_CantidadFabricada, en cambio, en FAB_CantidadAlmacenada muestra el nivel actual del almacén de la fábrica (FAB_CantidadFabricada - Cantidades suministradas a los mayoristas).

En la programación del modelo se han creado variables auxiliares para evaluar los resultados de la simulación. Por ejemplo, se han diseñado tres variables (una para clientes, otra para minoristas y una última para los mayoristas) denominadas contadores que cada vez que se realiza un traslado aumenta el contador. Estas variables son matrices con las dimensiones adecuadas para cada eslabón. Con ellas podemos observar el número de traslados realizados a cada stakeholder y compararlos con los pedidos suministrados. Como se ha indicado anteriormente el número de viajes siempre será menor o igual al número de pedidos suministrados, ya que los pedidos se acumulan hasta el día fijado para el traslado.

Para obtener los costes de cada eslabón también se han definido variables en el código que se van actualizando conforme avanza la simulación del modelo. Se puede acceder a estas variables en cualquier momento en el transcurso de la simulación para observar el desarrollo de los diferentes costes.

En la Figura 4.2 se muestra la pantalla de trabajo de Witness.

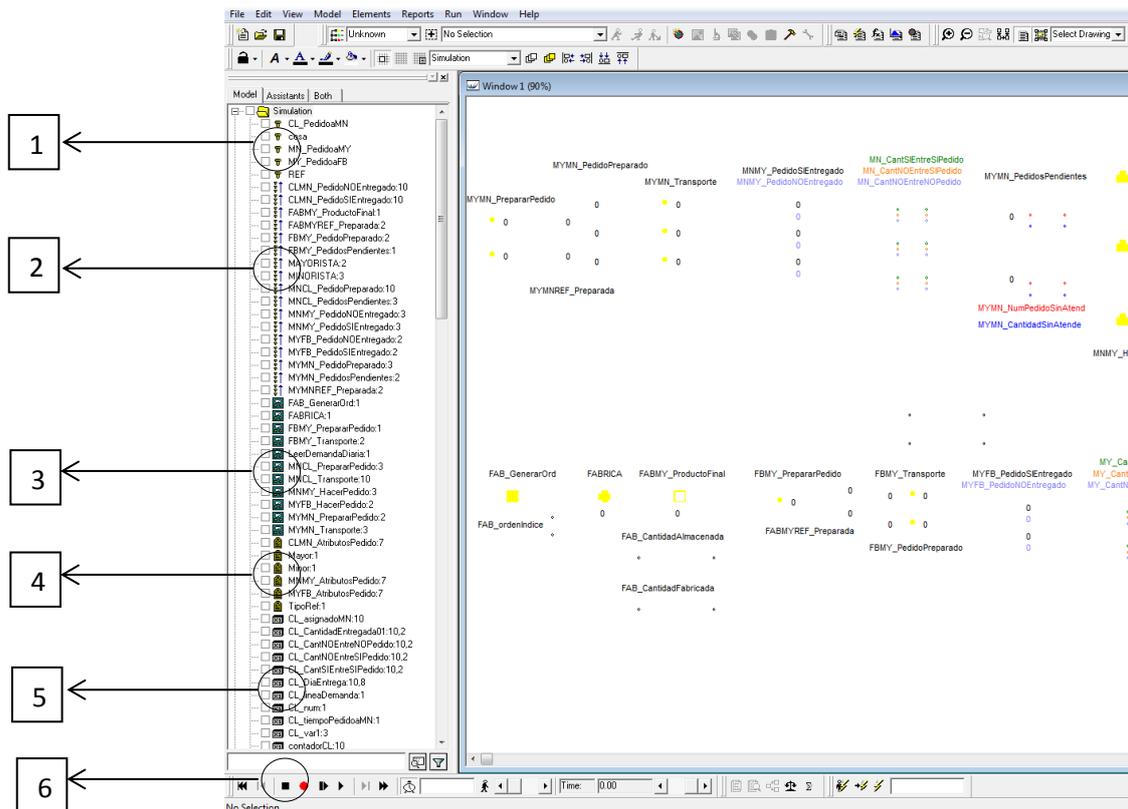


Figura 4.2: Elementos de Witness

1- *Parts o entidades*: Son usadas para representar los ítems discretos que se mueven alrededor de la simulación [29].

2- *Buffers o colas*: En ellos se almacenan las Parts. Las Parts no son activos, deben ser lanzados hacia otros elementos desde los Buffers o empujados desde estos hacia otros elementos mediante las reglas de salida.

3- *Machines o actividades*: Son uno de los elementos más usados y representan cualquier trabajo que se ha de realizar a las Parts en cualquier momento, procesarlos y enviarlos al próximo destino. En las Machines es donde las Parts pueden ser moldeadas y cambiadas, gastando tiempo procesándolas, cambiando de un estado a otro al tiempo que las hace avanzar. Una Machine puede procesar una Part o más de una a la vez. Puede ensamblar diferentes Parts juntas dentro de una o disgregar una en varias.

4- *Atributos*: Los atributos son características de las Parts, por ejemplo, color, tamaño o tiempo de ciclo. Cada atributo puede ser un número real, entero, una referencia a otro elemento del modelo, etc.

Cada Part puede tener un número de Atributos asociados a él y cada uno puede tener distintos valores en diferentes tiempos de la simulación. Cada Atributo y el valor del mismo siguen a la Part durante la ejecución del modelo.

5- *Variables*: Las variables son muy usuales cuando los datos van a almacenarse o los usos no son relativos a Parts individuales. Las variables son valores a los que se puede acceder desde cualquier parte del modelo.

Las variables usualmente tienen sus valores asignados en un grupo de Acciones. Las más importantes pueden tener una cantidad de más de uno, autorizando la creación de listas. Estas variables pueden ser agrupadas en forma de matriz de dos dimensiones, poniendo la cantidad x , y .

6- Los botones necesarios para reproducir, pausar o grabar la simulación.

Es importante resaltar que todos los elementos mencionados anteriormente (MNCL_PedidosPendientes, CLMN_PedidoSIEntregado, etc.) y los que se muestran a la izquierda de la pantalla de trabajo de Witness llevan un código asociado de creación propia para que realice las tareas necesarias. En el anexo B se puede observar una pequeña parte del código creado para este proyecto.

Capítulo 5: Problemas de prueba

En este apartado del proyecto se plantearán tres diferentes escenarios para el modelo sin colaboración y se evaluará la respuesta de la cadena de suministro en cada caso. El escenario más favorable de los tres se comparará con el modelo con colaboración para observar cómo influye el tener más información del resto de los eslabones. Cabe destacar que las penalizaciones y los diferentes costes por cada pedido no suministrado serán los mismos en todos los escenarios. De esta forma se podrá observar que situación es la más favorable de todas. Lo mismo ocurre con los días que se realizan los transportes, los ciclos de pedidos de los clientes y las diferentes asignaciones entre eslabones.

5.1. Datos de partida

Los datos de inicio considerados son de creación propia, ya que no se encuentran disponibles en la literatura actual, estos datos de partida para las simulaciones se encuentran en el anexo C.

En este anexo están indicadas las relaciones que se establecen entre los sucesivos stakeholders, los ciclos de pedido de cada cliente, los datos referentes a las capacidades de los almacenes y los costes fijos de cada eslabón.

5.2. Primer escenario

En este primer caso cada uno de los eslabones pide a su suministrador las cantidades necesarias cuando su nivel de stock disminuye por debajo del límite considerado. El receptor del encargo sólo suministrará en caso de que pueda satisfacer la totalidad de la demanda. En caso contrario no se envía ninguna referencia.

-Minoristas

A la hora de entregar el pedido se pueden dar tres situaciones diferentes: entregar el pedido completo, no suministrar nada o entregarlo parcialmente. Al estar en este primer escenario la tercera opción es nula, ya que en caso de no disponer de la totalidad de las referencias demandas no se suministra nada.

Tipo de pedidos	Número de pedidos
Completos	58
No se ha satisfecho nada del pedido	13
Incompletos	0
Total	71

Tabla 5.1: Tipo de pedidos

En la Tabla 5.2 se muestra para cada uno de los 10 clientes los pedidos que por no cumplir el ciclo de pedido no se han suministrado. Se puede observar que la tabla está dividida en dos grandes grupos uno referido a los pedidos que se podían suministrar completos y el otro a los pedidos parciales. Dentro de cada uno de estos dos grupos se distinguen 4 subgrupos, 2 para la referencia 1 y otros 2 para la referencia 2. En ellos se indican las cantidades y el número de pedidos que no se han suministrado correctamente por exceder el ciclo de pedido.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
COMPLETOS	Cantidad NO entregada ref1	13	11	0	6	3	0	0	2	0	0	35
	Pedidos NO entregados ref1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	5
	Cantidad NO entregada ref2	6	25	0	9	14	0	0	10	0	0	64
	Pedidos NO entregados ref2	1	3	0	2	1	0	0	1	0	0	8
INCOMPLETOS	Cantidad NO entregada ref1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pedidos NO entregados ref1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cantidad NO entregada ref2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pedidos NO entregados ref2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 5.2

Como era de esperar las 4 últimas filas son igual a cero por la forma de suministrar considerada, no se pueden dar pedidos incompletos.

En la Tabla 5.3 se compara el número de pedidos que se realizan a cada cliente con el número de viajes empleados para realizarlos. Siempre se dará esta condición (Número de viajes \leq Número de pedidos), ya que como se ha explicado anteriormente los pedidos se acumulan hasta el día asignado de transporte. El número total de viajes y pedidos se indica en la última fila.

Pedidos	Viajes
4,0	2
6,0	5
8,0	5
11,0	5
3,0	3
7,0	5
6,0	5
5,0	3
4,0	3
4,0	3
58	39

Tabla 5.3

De forma más detallada se pueden descomponer los pedidos realizados (Tabla 5.4). En las filas denominadas completos NO entregados e incompletos NO entregados están los pedidos que sí que se podían atender, ya que la capacidad del almacén de los minoristas así lo permitía, pero que finalmente no han sido aceptados por los clientes por exceder el ciclo de pedido.

Completos entregados	45
Completos NO entregados	13
No se ha satisfecho nada del pedido	13
Incompletos entregados	0
Incompletos NO entregados	0
Total	71

Tabla 5.4: Pedidos entregados tras la evaluación del ciclo de pedido

Los costes asociados a cada uno de los 3 minoristas, calculados mediante la fórmula previamente explicada, son los siguientes:

Minorista	Coste pedidos
1	91,5
2	81,0
3	57,5
Total	230,0

Tabla 5.5: Costes

Mientras que el coste por no poder satisfacer la demanda (Tabla 5.6) se calcula:

$\text{CosteNOEntregarPedidos} = \text{PedidosNOEntregados} \times \text{PenalizacionNOEntreg}$

Coste total no entregados	65
---------------------------	-----------

Tabla 5.6

- Mayoristas

En el caso de los mayoristas se dan los siguientes tipos de pedidos:

Tipo de pedidos	Número de pedidos
Completos	26
No se ha satisfecho nada del pedido	7
Incompletos	0
Total	33

Tabla 5.7: *Tipo de pedidos*

Al igual que ocurre con los minoristas el número de pedidos incompletos es igual a cero por la estrategia considerada.

El número de viajes y pedidos son inferiores a los que realizan los minoristas.

Pedidos	Viajes
8	6
12	7
6	4
26	17

Tabla 5.8

Los costes asociados:

Mayorista	Coste pedidos
1	58,0
2	45,0
Total	103

Tabla 5.9: *Costes*

Coste total no entregados	56
----------------------------------	-----------

Tabla 5.10: *Coste pedidos no entregados*

- Fábrica

La única fábrica considerada atiende los pedidos de los dos mayoristas obteniendo como resultado los siguientes pedidos:

Tipo de pedidos	Número de pedidos
Completos	17
No se ha satisfecho nada del pedido	3
Incompletos	0
Total	20

Tabla 5.11: *Tipo de pedidos*

Estos pedidos conllevan los siguientes costes y traslados (Tablas 5.12 y 5.13 respectivamente):

Coste pedidos	99
Coste total no entregados	30

Tabla 5.12

Pedidos	Viajes
11	7
6	5
17	12

Tabla 5.13

5.3. Segundo escenario

En esta segunda alternativa de modelización de la cadena de suministro los eslabones seguirán pidiendo referencias igual que en el caso anterior, es decir, cuando sus existencias disminuyan por debajo del límite. La diferencia estriba en la forma de suministrarlas, ya que ahora no será necesario disponer de la totalidad de las referencias para poder enviar el pedido, sino que se podrán suministrar pedidos parciales. En los casos en que se produzca esta situación habrá una penalización asociada a cada referencia que se deja de servir. Las tablas de resultados siguen la misma estructura que las del primer escenario, dichos resultados numéricos los podemos observar en el anexo D.

5.4. Tercer escenario

En este último escenario todos los eslabones realizan los pedidos cuando agotan sus existencias, es decir, cuando su stock es cero. La forma de suministrar será igual que en el caso anterior, se podrán enviar pedidos parciales. De forma análoga a los dos escenarios anteriores se muestran en las tablas del anexo D todos los resultados de la simulación en Witness.

5.5. Análisis de resultados

Una vez obtenidos todos los resultados de las simulaciones de Witness es necesario realizar un exhaustivo análisis de los mismos para averiguar qué estrategia es la más adecuada. El análisis de los datos obtenidos se dividirá en 4 grandes grupos para una mayor claridad: minoristas, mayoristas, fábrica y funcionamiento global de la cadena. En los tres primeros subapartados la comparación se realizará de forma individual a cada uno de los eslabones.

5.5.1. Minoristas

En los tres escenarios se ha empleado el mismo archivo Excel con la demanda de 10 clientes a lo largo de un mes. De esta forma la comparación de datos entre los distintos escenarios se puede realizar correctamente. Que la demanda sea la misma conlleva que en los tres casos el número de pedidos de los clientes sea igual a 71, la diferencia está en cómo estos han sido atendidos.

Con la estrategia del escenario 2 se consigue suministrar el mayor número de pedidos, esto conlleva también un mayor número viajes. Hay que tener en cuenta que una parte de ellos son pedidos parciales, es decir, faltan referencias que el cliente demandaba. En la estrategia 3 encontramos un mayor número de pedidos sin atender. Esta estrategia se basa en pedir únicamente a los mayoristas cuando el stock es igual a cero, esto implica que no hay ningún margen de seguridad para atender pedidos en el intervalo de tiempo que comprende desde la emisión de pedidos a los mayoristas y el momento de su recepción. Como resultado en este escenario se obtienen los costes más elevados por no atender pedidos.

El ciclo de pedido del cliente influye de manera similar en todas las estrategias planteadas. Esta restricción supone que el 17% de los pedidos no se lleguen a entregar por exceder dicho tiempo. Estos pedidos insatisfechos suponen un gran gasto para los minoristas, ya que a la penalización por no suministrar el pedido hay que sumar los costes de transporte y emisión de pedidos, debido a que a pesar de que no se ha llegado a completar la entrega el transporte se ha realizado.

El indicador que más influye a la hora de adoptar una estrategia para la cadena de suministro son los costes que conllevan. La estrategia 2 es la que menor coste total (Coste pedidos + Coste total no entregados) tiene con un valor de 290 um (um=unidades monetarias) seguido por la estrategia 1 con un coste de 295 um y por último se tiene la estrategia 3 cuyo coste es un 28% mayor que la mejor estrategia en cuanto a gastos se refiere.

5.5.2. Mayoristas

Tanto en el caso de los mayoristas como en el de la fábrica las comparaciones entre los escenarios serán de manera porcentual, ya que el número de pedidos a atender será diferente dependiendo de la estrategia de aprovisionamiento que este adoptando el minorista.

Los minoristas que han adoptado la estrategia 3 han emitido un menor número de pedidos (20 pedidos) seguidos por la estrategia 2 (32 pedidos) y por último la estrategia 1 que es similar a la anterior (33 pedidos).

Los mayoristas que han conseguido satisfacer un mayor número de pedidos son los que han adoptado la estrategia de realizar pedidos cuando el stock es igual a cero. Estos han sido capaces de satisfacer el 90% de la demanda, mientras que los que han optado por seguir la estrategia de pedir cuando sobrepasa el límite y que los pedidos puedan ser parciales han satisfecho el 87,5% y por último los de la estrategia 1 únicamente han conseguido servir el 78,8% de los pedidos, aunque todos ellos con las referencias completas. Colocando todas las

estrategias en la misma base de pedidos (33 pedidos) obtenemos los siguientes costes (Tabla 5.14):

			Total
Estrategia 1	Coste pedidos	103	159
	Coste NO entregados	56	
Estrategia 2	Coste pedidos	122,7	155,7
	Coste NO entregados	33	
Estrategia 3	Coste pedidos	201,6	228
	Coste NO entregados	26,4	

Tabla 5.14: Costes en la misma base de pedidos

De nuevo podemos observar que la estrategia 2 sigue siendo la que menos costes asociados lleva en contraposición a la última estrategia que es la más costosa de llevar a cabo.

En los dos últimos escenarios donde se permite el suministro de pedidos parciales el porcentaje de estos es mayor en la estrategia 3 con un 35% por encima del 21,9% de la estrategia 2.

5.5.3. **Fábrica**

Como ocurre en el caso de los mayoristas el número de pedidos que tendrá que satisfacer la fábrica dependerá de la estrategia de abastecimiento empleada por su eslabón más inmediato, en este caso los mayoristas.

Los mayoristas del escenario 2 son los que más pedidos han emitido con un total de 21, seguido por el escenario 1 (20 pedidos) y por último el escenario 3 con únicamente 8 pedidos.

La fábrica que trabaja de acuerdo a la tercera opción ha sido capaz de suministrar el 100% de las referencias, mientras que los de la segunda opción han conseguido satisfacer el 90,5% de la demanda. En último lugar encontramos a la estrategia 1 con una satisfacción del 85% de los pedidos. A continuación en la Tabla 5.15 podemos observar los costes asociados a cada una de las estrategias colocados en la misma base (21 pedidos):

			Total
Estrategia 1	Coste pedidos	103,9	135,4
	Coste NO entregados	31,5	
Estrategia 2	Coste pedidos	108,2	128,2
	Coste NO entregados	20	
Estrategia 3	Coste pedidos	168	168
	Coste NO entregados	0	

Tabla 5.15: Costes en la misma base de pedidos

A pesar de que no ha conseguido satisfacer todos los pedidos, como ocurre en el escenario 3, el menor coste se sigue encontrando en el escenario número 2, donde el 9,5% de

los pedidos entregados estaban incompletos. El coste del escenario 2 es sensiblemente inferior al del escenario 3 debido a que a pesar de que este último satisface la totalidad de la demanda los costes por rotura de stock unidos a un porcentaje de utilización inferior de cada traslado provocan que su coste sea superior.

Se ha realizado un análisis de sensibilidad para comprobar como varía el porcentaje de entrega de pedidos disminuyendo tanto el límite de ordenación de pedidos como la capacidad óptima. Los nuevos datos considerados son los de la Tabla 5.16.

Datos Mayorista	
Límite	8
Capacidad óptima	28
Lote económico	27

Tabla 5.16

Los resultados (en la misma base de pedidos) con estos nuevos datos se muestran a continuación (Tabla 5.17).

			Total
Estrategia 1	Coste pedidos	112	112
	Coste NO entregados	0	
Estrategia 2	Coste pedidos	88	88
	Coste NO entregados	0	
Estrategia 3	Coste pedidos	128	128
	Coste NO entregados	0	

Tabla 5.17: Costes en la misma base de pedidos

Al disminuir notablemente el límite, la fábrica es capaz de satisfacer todos los pedidos de los mayoristas obteniendo como mejor estrategia la 2. Las tres alternativas satisfacen la totalidad de la demanda, la diferencia de coste está por tanto en el número de trayectos que tienen que realizar para entregar dichos pedidos. El problema de la estrategia 1 es que al adoptar un punto de pedido tan bajo la fábrica sí que es capaz de suministrar las referencias deseadas a los mayoristas pero estos últimos dejan de poder atender una gran cantidad de pedidos de los minoristas, ya que no emiten pedido a la fábrica hasta que su stock es muy bajo durante ese periodo de tiempo los minoristas están emitiendo pedidos a los mayoristas que superan notablemente sus existencias y que no pueden atender ya que la política de suministro de la estrategia 1 impide el envío de pedidos parciales. Esto provoca que los costes en los mayoristas por no emitir pedidos sean muy elevados.

5.5.4. Resultados globales

A la hora de decidirse por una estrategia para la cadena de suministro es imprescindible analizar el funcionamiento global de la cadena. Anteriormente se ha realizado una comparación individualizada de los resultados, donde hemos podido comprobar que, en principio, la segunda estrategia es la más favorable. En este apartado se contrastarán los datos globales para observar si esta estrategia es la óptima.

La primera estrategia ha satisfecho el 63,4% de los pedidos, todos ellos de forma completa, con un coste total de 583 um. La segunda estrategia ha atendido el 70,4% de la demanda de los cuales el 14% son pedidos parciales. Su coste total asciende hasta las 569 um. La última estrategia ha completado el 60,5% (25,6% incompletos) con un coste de 573 um.

A la vista de estos resultados globales se puede concluir que la estrategia número 2 que se basa en ordenar cuando su stock disminuye por debajo del límite y permite la recepción y emisión de pedidos parciales es la óptima en cuanto a costes totales y cantidad de pedidos atendidos se refiere.

5.6. Resultados con colaboración

En los casos planteados anteriormente no existe ningún grado de colaboración entre los sucesivos eslabones, es decir, solo disponen de la información relativa a la situación de sus stocks y emiten pedidos en función de su eslabón más cercano. En este apartado se ha procedido a evaluar cómo influye la colaboración en la cadena de suministro. Para ello se realizará una comparación entre la estrategia que mejores resultados conlleva (en este caso la estrategia 2) y la nueva simulación incluyendo colaboración.

En este caso los mayoristas sí que disponen de información del estado de los inventarios de los minoristas. De esta forma podrán emitir pedidos cuando vean que los stocks de los minoristas disminuyan por debajo de un límite. Así se consigue que cuando los minoristas realicen los pedidos correspondientes, los mayoristas sean capaces de atenderlos, ya que habrán solicitado con anterioridad referencias a la fábrica previniendo esta situación. Tanto el límite de ordenación de pedidos como el punto de pedido óptimo de los mayoristas en esta situación serán menores que en el caso del modelo sin colaboración, debido a que ahora ya no es necesario abastecerse previendo grandes pedidos de los minoristas, sino que al disponer de información se podrán solicitar las cantidades necesarias a tiempo. Los datos obtenidos con colaboración son los mostrados en el anexo D.

En esta nueva situación los pedidos completos entregados satisfactoriamente a los clientes son superiores al caso en el que no existe ningún tipo de colaboración (el 70% frente al 60% de la primera situación). En el caso de los pedidos parciales ocurre lo mismo, ahora el número de estos es inferior, por lo que se incurre en un gasto inferior por el suministro de pedidos incompletos. Ahora los mayoristas, que al haber pedido referencias con antelación a la fábrica cuando el stock del minorista disminuía por debajo del límite fijado, solo dejan de suministrar el 9% de los pedidos en vez del 12,5% del caso de colaboración inexistente.

Aunque la gran diferencia entre ambas situaciones se encuentra en la cantidad de pedidos parciales de los mayoristas, con colaboración únicamente el 9% de los pedidos son de este tipo, un dato muy bajo comparado con el 22% de la primera opción. Por último, en el caso de las fábricas la situación vuelve a ser similar, únicamente es incapaz de satisfacer el 3,3% de los pedidos mientras que en el caso de nula colaboración este valor es sensiblemente superior (el 9,5%).

El indicador más importante a tener en cuenta para decantarse por una alternativa u otra es el coste total de la cadena de suministro, ya que si este es superior en la estrategia colaborativa no interesa adoptarla a pesar de que el envío de pedidos sea más eficiente. Como anteriormente se ha detallado este coste es de 569 um para la situación que no tiene colaboración y de 566 um para la estrategia colaborativa. Por ello, a pesar de que el coste es similar, se concluye que la situación colaborativa es mejor que la primera situación ya que a parte de un coste inferior se suministran un mayor número de pedidos con éxito, algo que favorece notablemente a la imagen de la empresa.

Capítulo 6: Conclusiones

6.1. Observaciones experimentales

A la vista del análisis de los resultados comentados en los apartados anteriores, se puede afirmar que la colaboración entre eslabones incrementa la competitividad de las empresas, ya que aparte de reducir los costes, son capaces de suministrar un mayor número de pedidos algo que hoy en día es un factor clave para aumentar la confianza de los clientes. La realización de este proyecto también ha demostrado que la estrategia de ordenar pedidos cuando el stock disminuye por debajo del límite considerado es la óptima. Adoptar esta estrategia implica poseer un stock de seguridad, ya que mientras esperan el pedido realizado pueden atender ciertos pedidos del eslabón adyacente aguas abajo de la cadena.

6.2. Líneas futuras

El presente proyecto constituye el punto de partida para programar nuevas cadenas de suministro considerando parámetros que en estas simulaciones adjuntas no se han tenido en cuenta, como podría ser incluir los eslabones referentes a los proveedores de materias primas. También se podrían considerar otros tipos de relaciones entre los distintos stakeholders, un ejemplo sería relacionar entre sí a los minoristas intervinientes en la cadena de suministro, para que en caso de que el minorista asociado a un cliente en concreto no pudiera servir la mercancía demandada otro minorista diferente se encargue del pedido.

A. Gestión de inventarios y ratios de gestión

La gestión de inventarios es una actividad fundamental de la dirección de operaciones de cualquier organización o empresa, busca la coordinación y eficacia en la administración de los materiales necesarios para la actividad. Para realizarla, existen diversos sistemas que pueden ser empleados en función de múltiples factores, como la periodicidad de la toma de decisiones, la naturaleza de la demanda, los costes de inventario o el tiempo de suministro.

De acuerdo con el grado de conocimiento de dos variables claves, como son la demanda y el tiempo de suministro, la gestión puede llevarse a cabo bajo tres situaciones distintas:

- Condiciones de certeza o determinísticas: cuando se conoce el valor exacto de dichas variables.
- Condiciones de incertidumbre: cuando existe una demanda variable o irregular conocida.
- Condiciones de riesgo o probabilísticas: cuando no se sabe el valor exacto de una o de las dos variables, conociéndose su distribución de probabilidades.

Para realizar una adecuada gestión de inventarios es necesario conocer cierta información: el nivel de inventario, es decir, el número de artículos disponible en cada almacén, el tiempo que transcurre desde que se hace un pedido hasta que se recibe y los costes relevantes que influyen en la toma de decisiones. No hay que perder de vista que el objetivo primordial de una correcta gestión de almacenes es minimizar los gastos de almacenamiento de existencias.

Cuanto mayor sea el nivel de existencias, mejor será el servicio que podemos prestar a nuestros clientes. Mientras que al contrario, cuanto menor sean las existencias de peor calidad será el servicio, pero se incurrirá en un menor gasto de mantenimiento. Por ello es de vital importancia conocer cuándo ordenar un nuevo pedido y en qué cantidad [30].

La gestión de aprovisionamientos y de almacenes precisa de un sistema de información que ayude a la toma de decisiones eficiente [21]. A continuación se ofrece una relación de los ratios más empleados en la logística de aprovisionamiento:

- 1) Coste de materiales vendidos: A igualdad de calidad, debe ser lo menor posible para aumentar así el valor añadido en la empresa.

$$\frac{\text{Coste de materiales}}{\text{Ventas}} \times 100$$

- 2) Rotación de inventarios: Mide cuantas veces se renueva el stock en el periodo que estamos analizando. Debe ser lo más alto posible ya que cuanto menor sea, indicará que se ha necesitado una cantidad mayor de recursos inmovilizados para satisfacer la demanda.

$$\text{Rotación} = \frac{\text{Demanda}}{\text{Inventario medio}}$$

- 3) Financiación de proveedores: Debe ser lo más alto posible.

$$\frac{(\text{Periodo medio de pago}) \times (\text{Rotación de stocks})}{365} \times 100$$

- 4) Fiabilidad del proveedor: Debe ser lo más alto posible.

$$\frac{\text{Valor de los pedidos servidos sin retraso}}{\text{Valor de las compras}} \times 100$$

- 5) Plazo medio de espera: Debe ser lo más bajo posible.

$$\frac{\text{Valor de los pedidos pendientes de suministrar}}{\text{Compras medias diarias}}$$

- 6) Retraso de los pedidos: Debe ser lo menor posible.

$$\frac{\text{Valor de los pedidos demorados}}{\text{Compras medias diarias}}$$

- 7) Eficacia operativa: Debe ser lo menor posible.

$$\frac{\text{Gastos de operación}}{\text{Valor de las compras}} \times 100$$

- 8) Índice de precios de compra: El índice para el artículo A es directamente proporcional al índice de cada proveedor n multiplicado por la cantidad q adquirida a cada uno de ellos, e inversamente proporcional a la cantidad total adquirida del artículo.

$$IPCA = \frac{\Sigma(IPCn)x(qn)}{\Sigma qn}$$

Para un solo proveedor, la expresión anterior toma la forma:

$$IPCA_t = \frac{P_t}{P_0} x 100$$

P0: Precio de adquisición en el periodo base elegido

- 9) Ratio de inmovilidad: Este índice mide el porcentaje de artículos que no han tenido una salida del almacén en los últimos seis meses, con el objeto de identificar dichos artículos para detectar las posibles causas -defectos, obsolescencia tecnológica, cambios de ingeniería, etc- y corregirlas antes de descartar el stock como última alternativa.

$$RI = \frac{\text{Número de artículos que no han tenido movimiento en los últimos 6 meses}}{\text{Número total de artículos en stock}}$$

- 10) Calidad de los materiales adquiridos:

$$\frac{\text{Valor de las devoluciones y bonificaciones de compra}}{\text{Compras}}$$

- 11) Grado de dependencia de un proveedor:

$$\frac{\text{Compras realizadas a un proveedor}}{\text{Compras totales}}$$

- 12) Importancia media de los proveedores:

$$\frac{\text{Compras anuales}}{\text{Número de proveedores}}$$

B. Código de Witness

Una parte notable del presente proyecto se basa en programar los diferentes escenarios en Witness. En este anexo, por medio de un extracto del código creado, se explicará el funcionamiento de dicho programa. Los textos en verde son comentarios en Witness, el programa no los optimiza.

B.1. Datos de inicialización

Los datos principales de cada escenario, es decir, los valores constantes de límites de almacén, puntos de pedido, días de transporte, etc. se indican en una pestaña denominada "Initialize Actions", desde ahí se pueden cambiar los diferentes parámetros para crear nuevos escenarios. El código creado es el siguiente:

```
DIM ii AS INTEGER
DIM jj AS INTEGER
!
CL_num = 10
MN_num = 3
REF_num = 2
MY_num = 2
!Configuración de CdS
!=====
!
!DATOS CLIENTES
!=====
!
MNCL_FaltaCantidad = 2 !=1 no se entrega nada; =2 se entrega lo que haya
!
!Leer a qué Minorista, MN, está asignado cada cliente, CL
!=====
CL_asignadoMN (1) = 1
CL_asignadoMN (2) = 1
CL_asignadoMN (3) = 3
CL_asignadoMN (4) = 2
CL_asignadoMN (5) = 1
CL_asignadoMN (6) = 2
CL_asignadoMN (7) = 2
CL_asignadoMN (8) = 3
CL_asignadoMN (9) = 3
CL_asignadoMN (10) = 1
!
!Día de entrega de pedidos a los clientes.
!La posición 6 indica el nº de días que hay entrega
CL_DiaEntrega (1,6) = 1
CL_DiaEntrega (2,6) = 1
CL_DiaEntrega (3,6) = 1
CL_DiaEntrega (4,6) = 1
CL_DiaEntrega (5,6) = 1
CL_DiaEntrega (6,6) = 1
```

CL_DiaEntrega (7,6) = 1
CL_DiaEntrega (8,6) = 1
CL_DiaEntrega (9,6) = 1
CL_DiaEntrega (10,6) = 1

!

!De la posición 1 a 5 indica los días en que se envía pedido

CL_DiaEntrega (1,1) = 2
CL_DiaEntrega (2,1) = 3
CL_DiaEntrega (3,1) = 4
CL_DiaEntrega (4,1) = 5
CL_DiaEntrega (5,1) = 1
CL_DiaEntrega (6,1) = 2
CL_DiaEntrega (7,1) = 3
CL_DiaEntrega (8,1) = 4
CL_DiaEntrega (9,1) = 5
CL_DiaEntrega (10,1) = 1

!

!La posición 7 indica cuándo será la siguiente entrega por tiempo: Este valor se comparará con TIME

CL_DiaEntrega (1,7) = 2
CL_DiaEntrega (2,7) = 3
CL_DiaEntrega (3,7) = 4
CL_DiaEntrega (4,7) = 5
CL_DiaEntrega (5,7) = 1
CL_DiaEntrega (6,7) = 2
CL_DiaEntrega (7,7) = 3
CL_DiaEntrega (8,7) = 4
CL_DiaEntrega (9,7) = 5
CL_DiaEntrega (10,7) = 1

!

!La posición 8 indica cuál es la posición (1..5) que marca el día que estoy sirviendo

CL_DiaEntrega (1,8) = 1
CL_DiaEntrega (2,8) = 1
CL_DiaEntrega (3,8) = 1
CL_DiaEntrega (4,8) = 1
CL_DiaEntrega (5,8) = 1
CL_DiaEntrega (6,8) = 1
CL_DiaEntrega (7,8) = 1
CL_DiaEntrega (8,8) = 1
CL_DiaEntrega (9,8) = 1
CL_DiaEntrega (10,8) = 1

!

MNCL_CosteLanzPedido = 2
MNCL_CostePedido = 1.5
MNCL_PenalizacionNOEntre = 5

!

!DATOS MINORISTAS

!=====

MYMN_FaltaCantidad = 2 !=1 no se entrega nada; =2 se entrega lo que haya

!

!Día de entrega de pedidos de a los minoristas desde los mayoristas.

!La posición 6 indica el n° de días que hay entrega

MN_DiaEntrega (1,6) = 1
MN_DiaEntrega (2,6) = 1
MN_DiaEntrega (3,6) = 1

!

!De la posición 1 a 5 indica los días en que se envía pedido

MN_DiaEntrega (1,1) = 2
MN_DiaEntrega (2,1) = 3
MN_DiaEntrega (3,1) = 4

!La posición 7 indica cuándo será la siguiente entrega por tiempo: Este valor se comparará con TIME

MN_DiaEntrega (1,7) = 2

MN_DiaEntrega (2,7) = 3

MN_DiaEntrega (3,7) = 4

!

!La posición 8 indica cuál es la posición (1..5) que marca el día que estoy sirviendo

MN_DiaEntrega (1,8) = 1

MN_DiaEntrega (2,8) = 1

MN_DiaEntrega (3,8) = 1

!

!DATOS MAYORISTAS

!=====

!

FBMY_FaltaCantidad = 2 !=1 no se entrega nada; =2 se entrega lo que haya

!

!Día de entrega de pedidos a los mayoristas.

!La posición 6 indica el nº de días que hay entrega

MY_DiaEntrega (1,6) = 1

MY_DiaEntrega (2,6) = 1

!

!De la posición 1 a 5 indica los días en que se envía pedido

MY_DiaEntrega (1,1) = 3

MY_DiaEntrega (2,1) = 5

!

!La posición 7 indica cuándo será la siguiente entrega por tiempo: Este valor se comparará con TIME

MY_DiaEntrega (1,7) = 3

MY_DiaEntrega (2,7) = 5

!

!La posición 8 indica cuál es la posición (1..5) que marca el día que estoy sirviendo

MY_DiaEntrega (1,8) = 1

MY_DiaEntrega (2,8) = 1

!

!COMUNICACIÓN MINORISTA-MAYORISTA

!=====

=====

MNMY_FormaPedir = 2

!=1 el MN pide según punto de pedido revisando stock todos final de todos los días ==>

tp_revisión = 1 día

!=2 el MN pide el lote económico cuando el stock es 0 ==> tp_revisión==cuando toque

MNMY_TpRevisionSSPedido (1,1) = 1.99 !Instante de la 1ª revisión del MN 1 para la REF 1

MNMY_TpRevisionSSPedido (2,1) = 1.99 !Instante de la 1ª revisión del MN 2 para la REF 1

MNMY_TpRevisionSSPedido (3,1) = 1.99 !Instante de la 1ª revisión del MN 3 para la REF 1

MNMY_TpRevisionSSPedido (1,2) = 1.99 !Instante de la 1ª revisión del MN 1 para la REF 2

MNMY_TpRevisionSSPedido (2,2) = 1.99 !Instante de la 1ª revisión del MN 2 para la REF 2

MNMY_TpRevisionSSPedido (3,2) = 1.99 !Instante de la 1ª revisión del MN 3 para la REF 2

!

!En la posición REF_num + 1 está el tiempo próximo de revisión

MNMY_TpRevisionSSPedido (1,REF_num + 1) = MNMY_TpRevisionSSPedido (1,1)

MNMY_TpRevisionSSPedido (2,REF_num + 1) = MNMY_TpRevisionSSPedido (2,1)

MNMY_TpRevisionSSPedido (3,REF_num + 1) = MNMY_TpRevisionSSPedido (3,1)

FOR ii = 1 TO MN_num

FOR jj = 1 TO REF_num

IF MNMY_TpRevisionSSPedido (ii,REF_num + 1) > MNMY_TpRevisionSSPedido (ii,jj)

MNMY_TpRevisionSSPedido (ii,REF_num + 1) = MNMY_TpRevisionSSPedido (ii,jj)

ENDIF

NEXT

NEXT

!

MNNMY_PedidoHecho (1,1) = 0 !El MN 1 no tiene hecho pedido de REF 1
MNNMY_PedidoHecho (1,2) = 0 !El MN 1 no tiene hecho pedido de REF 2
MNNMY_PedidoHecho (2,1) = 0 !El MN 2 no tiene hecho pedido de REF 1
MNNMY_PedidoHecho (2,2) = 0 !El MN 2 no tiene hecho pedido de REF 2
MNNMY_PedidoHecho (3,1) = 0 !El MN 3 no tiene hecho pedido de REF 1
MNNMY_PedidoHecho (3,2) = 0 !El MN 3 no tiene hecho pedido de REF 2
!El MN pide al MY según punto de pedido: cuando el stock baja de un límite, pide una cantidad (diferencia entre el valor estimado óptimo de almacén y el stock en el instante de revisión)
!Esta revisión se hará al final del día, es decir en XX ' 99
MNNMY_PuntoPedidoMin (1,1) = 15 !Nº de unidades de la ref 1 por debajo de las cuales, el minorista 1 pedirá
MNNMY_PuntoPedidoMin (1,2) = 15 !Nº de unidades de la ref 2 por debajo de las cuales, el minorista 1 pedirá
MNNMY_PuntoPedidoMin (2,1) = 15 !Nº de unidades de la ref 1 por debajo de las cuales, el minorista 2 pedirá
MNNMY_PuntoPedidoMin (2,2) = 15 !Nº de unidades de la ref 2 por debajo de las cuales, el minorista 2 pedirá
MNNMY_PuntoPedidoMin (3,1) = 15 !Nº de unidades de la ref 1 por debajo de las cuales, el minorista 3 pedirá
MNNMY_PuntoPedidoMin (3,2) = 15 !Nº de unidades de la ref 2 por debajo de las cuales, el minorista 3 pedirá
!
MNNMY_PuntoPedidoOptimo (1,1) = 25 !Nº de unidades máximo de la ref 1 en el minorista 1
MNNMY_PuntoPedidoOptimo (1,2) = 25 !Nº de unidades máximo de la ref 2 en el minorista 1
MNNMY_PuntoPedidoOptimo (2,1) = 25 !Nº de unidades máximo de la ref 1 en el minorista 2
MNNMY_PuntoPedidoOptimo (2,2) = 25 !Nº de unidades máximo de la ref 2 en el minorista 2
MNNMY_PuntoPedidoOptimo (3,1) = 25 !Nº de unidades máximo de la ref 1 en el minorista 3
MNNMY_PuntoPedidoOptimo (3,2) = 25 !Nº de unidades máximo de la ref 2 en el minorista 3
!
MNNMY_IntervaloTpRevision (1,1) = 1 !Se revisa cada día
MNNMY_IntervaloTpRevision (1,2) = 1 !Se revisa cada día
MNNMY_IntervaloTpRevision (2,1) = 1 !Se revisa cada día
MNNMY_IntervaloTpRevision (2,2) = 1 !Se revisa cada día
MNNMY_IntervaloTpRevision (3,1) = 1 !Se revisa cada día
MNNMY_IntervaloTpRevision (3,2) = 1 !Se revisa cada día
!
!**Lotes económicos**
!=====
MNNMY_LoteEconomico (1,1) = 20 !Nº de unidades lote económico de la ref 1 en el minorista 1
MNNMY_LoteEconomico (1,2) = 20 !Nº de unidades lote económico de la ref 2 en el minorista 1
MNNMY_LoteEconomico (2,1) = 20 !Nº de unidades lote económico de la ref 1 en el minorista 2
MNNMY_LoteEconomico (2,2) = 20 !Nº de unidades lote económico de la ref 2 en el minorista 2
MNNMY_LoteEconomico (3,1) = 20 !Nº de unidades lote económico de la ref 1 en el minorista 3
MNNMY_LoteEconomico (3,2) = 20 !Nº de unidades lote económico de la ref 2 en el minorista 3
!
!
MYMN_CosteLanzPedido = 3
MYMN_CostePedido = 2
MYMN_PenalizacionNOEntre = 8
!
!**COMUNICACIÓN MAYORISTA-FABRICA**
!=====
MYFB_FormaPedir = 2
!=1 el MY pide según punto de pedido revisando stock todos final de todos los días ==>
tp_revisión = 1 día
!=2 el MY pide el lote económico cuando el stock es 0 ==> tp_revisión==cuando toque
MYFB_IntervaloTpRevision (1,1) = 1 !Se revisa cada día
MYFB_IntervaloTpRevision (1,2) = 1 !Se revisa cada día
MYFB_IntervaloTpRevision (2,1) = 1 !Se revisa cada día
MYFB_IntervaloTpRevision (2,2) = 1 !Se revisa cada día

```

MYFB_TpRevisionSSPedido (1,1) = 1.99 !Instante de la 1ª revisión del MY 1 para la REF 1
MYFB_TpRevisionSSPedido (2,1) = 1.99 !Instante de la 1ª revisión del MY 2 para la REF 1
MYFB_TpRevisionSSPedido (1,2) = 1.99 !Instante de la 1ª revisión del MY 1 para la REF 2
MYFB_TpRevisionSSPedido (2,2) = 1.99 !Instante de la 1ª revisión del MY 2 para la REF 2
!
MYFB_TpRevisionSSPedido (1,REF_num + 1) = MYFB_TpRevisionSSPedido (1,1)
MYFB_TpRevisionSSPedido (2,REF_num + 1) = MYFB_TpRevisionSSPedido (2,1)
FOR ii = 1 TO MY_num
  FOR jj = 1 TO REF_num
    IF MYFB_TpRevisionSSPedido (ii,REF_num + 1) > MYFB_TpRevisionSSPedido (ii,jj)
      MYFB_TpRevisionSSPedido (ii,REF_num + 1) = MYFB_TpRevisionSSPedido (ii,jj)
    ENDIF
  NEXT
NEXT
!
MYFB_PedidoHecho (1,1) = 0 !El MY 1 no tiene hecho pedido de REF 1
MYFB_PedidoHecho (1,2) = 0 !El MY 1 no tiene hecho pedido de REF 2
MYFB_PedidoHecho (2,1) = 0 !El MY 2 no tiene hecho pedido de REF 1
MYFB_PedidoHecho (2,2) = 0 !El MY 2 no tiene hecho pedido de REF 2
!
!El MY pide a FAB según punto de pedido: cuando el stock baja de un límite, pide una cantidad
(diferencia entre el valor estimado óptimo de almacén y el stock en el instante de revisión)
!Esta revisión se hará al final del día, es decir en XX ' 99
MYFB_PuntoPedidoMin (1,1) = 18 !Nº de unidades de la ref 1 por debajo de las cuales, el
mayorista 1 pedirá
MYFB_PuntoPedidoMin (1,2) = 18 !Nº de unidades de la ref 2 por debajo de las cuales, el
mayorista 1 pedirá
MYFB_PuntoPedidoMin (2,1) = 18 !Nº de unidades de la ref 1 por debajo de las cuales, el
mayorista 2 pedirá
MYFB_PuntoPedidoMin (2,2) = 18 !Nº de unidades de la ref 2 por debajo de las cuales, el
mayorista 2 pedirá
!
MYFB_PuntoPedidoOptimo (1,1) = 33 !Nº de unidades máximo de la ref 1 en el mayorista 1
MYFB_PuntoPedidoOptimo (1,2) = 33 !Nº de unidades máximo de la ref 2 en el mayorista 1
MYFB_PuntoPedidoOptimo (2,1) = 33 !Nº de unidades máximo de la ref 1 en el mayorista 2
MYFB_PuntoPedidoOptimo (2,2) = 33 !Nº de unidades máximo de la ref 2 en el mayorista 2
!
!Lotes económicos
!=====
MYFB_LoteEconomico (1,1) = 27 !Nº de unidades lote económico de la ref 1 en el mayorista 1
MYFB_LoteEconomico (1,2) = 27 !Nº de unidades lote económico de la ref 2 en el mayorista 1
MYFB_LoteEconomico (2,1) = 27 !Nº de unidades lote económico de la ref 1 en el mayorista 2
MYFB_LoteEconomico (2,2) = 27 !Nº de unidades lote económico de la ref 2 en el mayorista 2
!
FBMY_CosteLanzPedido = 4
FBMY_CostePedido = 3
FBMY_PenalizacionNOEntre = 10
!
!Datos de los tiempos de fabricación de cada referenica
REF_tpfab (1,1) = 20 !Tp fijo de Ref 1
REF_tpfab (1,2) = 0.2 !Tp variable para fabricar 1 unidad de Ref 1
REF_tpfab (2,1) = 200 !Tp fijo de Ref 2
REF_tpfab (2,2) = 0.05 !Tp variable para fabricar 1 unidad de Ref 2
!
!Datos de capacidad de la fábrica
FAB_Capacidad (2) = 480
FAB_Capacidad (3) = 1
FAB_Capacidad (1) = FAB_Capacidad (2) * FAB_Capacidad (3)
!

```

```

FAB_ordenIndice (1) = 0 !última posición donde hay orden de fabricación planificada
FAB_ordenIndice (2) = 0 !posición de la última orden de fabricación atendida por la fábrica
!
!Generar las órdenes de fabricación
!=====
!
!Formas
FAB_FormaGenerarOrden = 1 !Se generan las órdenes de forma periódica y con una cantidad
constante
FAB_IntervaloTpRevision = 2.5 !Dato cada 2,5 días
FAB_TpGenerarSSOrden = FAB_IntervaloTpRevision
!Datos para calcular el nº de unidades de cada orden
FAB_OrdenCantDato (1) = 50
FAB_OrdenCantDato (2) = 45
!
!
!Leer los pedidos de los CLs del primer día
!=====
CL_tiempoPedidoaMN = 1 !Día 1 para la lectura de Demandas diarias de los clientes a los
minoristas
CL_lineaDemanda = 2
!
!Leer a qué Mayorista, MY, está asignado cada minorista, MN
!=====
MN_asignadoMY (1) = 1
MN_asignadoMY (2) = 2
MN_asignadoMY (3) = 1
!
!Leer a qué Fabrica, FB, está asignado cada mayorista, MY
!=====
MY_asignadoFB (1) = 1
MY_asignadoFB (2) = 1
!
!Inicializar contadores para obtener los resultados
RF_CantidadesSinServirCI = 0
RF_CantidadesSinServirMN = 0
RF_CantidadesSinServirMY = 0

```

B.2. Forma de ordenar pedidos

Otro punto importante es la forma en que cada uno de los eslabones emite los pedidos dependiendo de la estrategia considerada. A continuación se muestra el código necesario para realizar los pedidos al mayorista de acuerdo a la estrategia de ordenar pedidos cuando el stock disminuye por debajo del límite impuesto.

```
DIM ii AS INTEGER
DIM jj AS INTEGER
!
IF MNMY_FormaPedir = 1
FOR ii = 1 TO REF_num
IF MNMY_TpRevisionSSPedido (N,ii) = MNMY_TpRevisionSSPedido (N,REF_num + 1)
IF MNCL_Stock (N,ii) <= MNMY_PuntoPedidoMin (N,ii) AND MNMY_PedidoHecho (N,ii) = 0
MNMY_AtributosPedido (1) = MNMY_TpRevisionSSPedido (N,ii + 1) !Instante del pedido
MNMY_AtributosPedido (2) = N !nº de MN
MNMY_AtributosPedido (3) = ii !nº de REF
MNMY_AtributosPedido (4) = MNMY_PuntoPedidoOptimo (N,ii) - MNCL_Stock (N,ii)
!Cantidad
MNMY_PedidoHecho (N,ii) = 1 !Para marcar que tengo un pedido hecho: cuando lo sirva, lo
pondré a 0
ELSE
MNMY_AtributosPedido (4) = 0
ENDIF
MNMY_TpRevisionSSPedido (N,ii) = MNMY_TpRevisionSSPedido (N,ii) +
MNMY_IntervaloTpRevision (N,ii)
MNMY_TpRevisionSSPedido (N,REF_num + 1) = MNMY_TpRevisionSSPedido (N,ii)
FOR jj = 1 TO REF_num
IF MNMY_TpRevisionSSPedido (N,jj) < MNMY_TpRevisionSSPedido (N,REF_num + 1)
MNMY_TpRevisionSSPedido (N,REF_num + 1) = MNMY_TpRevisionSSPedido (N,jj)
ENDIF
NEXT
GOTO salir
ENDIF
NEXT
LABEL salir
ENDIF
```

C. Datos de partida

En este anexo se muestran todos los datos de partida necesarios para comenzar la simulación del modelo (Tabla C.1 a Tabla C.8).

C.1. Clientes

Estos son los distintos ciclos de pedido de cada cliente:

	Ciclo de pedido (días)
Cliente 1	3
Cliente 2	4
Cliente 3	5
Cliente 4	4
Cliente 5	4
Cliente 6	6
Cliente 7	5
Cliente 8	3
Cliente 9	5
Cliente 10	4

Tabla C.1

Las asignaciones a los minoristas:

Cliente 1 → Minorista 1

Cliente 6 → Minorista 2

Cliente 2 → Minorista 1

Cliente 7 → Minorista 2

Cliente 3 → Minorista 3

Cliente 8 → Minorista 3

Cliente 4 → Minorista 2

Cliente 9 → Minorista 3

Cliente 5 → Minorista 1

Cliente 10 → Minorista 1

C.2. Minoristas

La asignación a cada mayorista es la que se muestra a continuación:

Minorista 1 → Mayorista 1

Minorista 2 → Mayorista 2

Minorista 3 → Mayorista 1

Datos referentes a los límites, capacidades óptimas y lotes económicos de los minoristas:

Datos	
Límite	15
Capacidad óptima	25
Lote económico	20

Tabla C.2

Valores fijos para el cálculo del coste total:

CosteLanzPed	1,5
C.Trans	2
PenaRef1	0,3
PenaRef2	0,2
PenNOEntreg	5
CosteRotStock	1

Tabla C.3

C.3. Mayoristas

Datos referentes a los límites, capacidades óptimas y lotes económicos de los mayoristas:

Datos	
Límite	18
Capacidad óptima	33
Lote económico	27

Tabla C.4

Valores fijos para el cálculo del coste total:

CosteLanzPed	2
C.Trans	3
PenaRef1	0,3
PenaRef2	0,2
PenNOEntreg	8
CosteRotStock	1,5

Tabla C.5

C.4. Fábrica

Datos de fabricación de cada referencia:

Referencia 1	50
Referencia 2	45

Tabla C.6

Valores fijos para el cálculo del coste total:

CosteLanzPed	3
C.Trans	4
PenaRef1	0,3
PenaRef2	0,2
PenNOEntreg	10
CosteRotStock	2,5

Tabla C.7

C.5. Transporte

A continuación se detallan que día se realiza el transporte para cada elemento:

Eslabón	Día que realiza transporte
Cliente 1	2
Cliente 2	3
Cliente 3	4
Cliente 4	5
Cliente 5	1
Cliente 6	2
Cliente 7	3
Cliente 8	4
Cliente 9	5
Cliente 10	1
Minorista 1	2
Minorista 2	3
Minorista 3	4
Mayorista 1	3
Mayorista 2	5

Tabla C.8

D. Resultados de las simulaciones

La obtención de los datos acumulados en la diferentes variables es similar en todos los eslabones del modelo. A continuación, como ejemplo, se detallará el procedimiento para obtener los resultados de CLMN_PedidoSIEntregado, es decir, de los pedidos atendidos satisfactoriamente. Como se ha explicado anteriormente cada pedido lleva asociado 7 atributos diferentes (día de realización del pedido, referencias solicitadas, día de entrega del pedido, etc.), para saber como se ha desarrollado la entrega de cada uno de estos pedidos se selecciona con el botón derecho del ratón CLMN_PedidoSIEntregado (Figura D.1), posteriormente se presiona la opción explota para mostrar los resultados (Figura D.2). En esta ventana emergente se pueden filtrar los datos, para procesar los que sean de interés. También se pueden copiar en una hoja excel para evaluarlos más eficientemente.

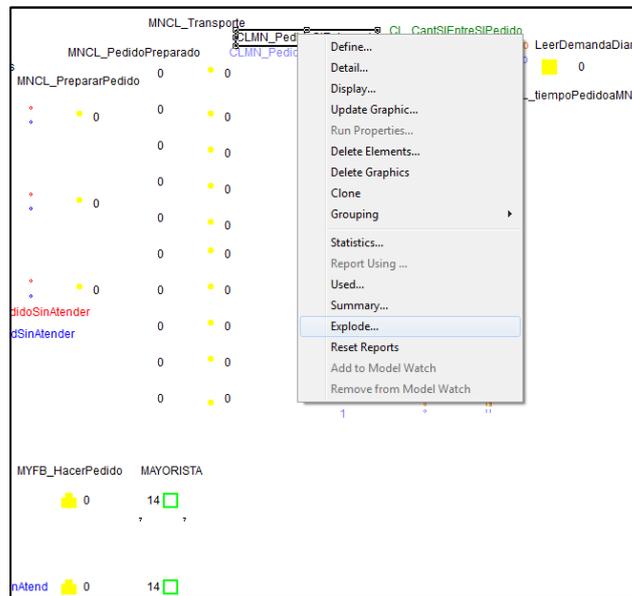


Figura D.1

Name	State	Positio	Par	Tim	Attribute Name	Attribute Valu
CLMN_PedidoSIEntregado(1)	Norm	1	CL_		CLMN_AtributosPedido(1)	3
					CLMN_AtributosPedido(2)	1
					CLMN_AtributosPedido(3)	1
					CLMN_AtributosPedido(4)	12
					CLMN_AtributosPedido(5)	7
					CLMN_AtributosPedido(6)	3
					CLMN_AtributosPedido(7)	7
					CLMN_AtributosPedido(1)	10
					CLMN_AtributosPedido(2)	1
					CLMN_AtributosPedido(3)	1
					CLMN_AtributosPedido(4)	4
					CLMN_AtributosPedido(5)	4
					CLMN_AtributosPedido(6)	1
					CLMN_AtributosPedido(7)	12
			CL_		CLMN_AtributosPedido(1)	22
					CLMN_AtributosPedido(2)	1
					CLMN_AtributosPedido(3)	2
					CLMN_AtributosPedido(4)	6
					CLMN_AtributosPedido(5)	1
					CLMN_AtributosPedido(6)	3
					CLMN_AtributosPedido(7)	27
			CL_		CLMN_AtributosPedido(1)	23
					CLMN_AtributosPedido(2)	1
					CLMN_AtributosPedido(3)	1
					CLMN_AtributosPedido(4)	13
					CLMN_AtributosPedido(5)	7
					CLMN_AtributosPedido(6)	3
					CLMN_AtributosPedido(7)	27
CLMN_PedidoSIEntregado(2)	Norm	1	CL_		CLMN_AtributosPedido(1)	2

Figura D.2

A continuación se detallaran todos los resultados de las simulaciones en Witness (Tabla D.1 a Tabla D.49).

D.1. Segundo escenario sin colaboración

-Minoristas

En este caso se puede observar que sí que hay pedidos parciales:

Tipo de pedidos	Número de pedidos
Completos	54
No se ha satisfecho nada del pedido	9
Incompletos	8
Total	71

Tabla D.1

Como anteriormente se ha explicado, estos pedidos incompletos llevarán unos costes adicionales dependiendo de la cantidad que se deja de servir. En la siguiente tabla se muestran las cantidades que no se han podido suministrar a cada cliente y las penalizaciones que supondrán al minorista que esté asociado.

Cliente	Cantidad falta entregar ref1	Cantidad falta entregar ref2	Penalización ref1	Penalización ref2	Total costes
1	5	8	0,3	0,2	3,1
2	1	0	0,3	0,2	0,3
3	0	0	0,3	0,2	0
4	0	4	0,3	0,2	0,8
5	2	0	0,3	0,2	0,6
6	0	3	0,3	0,2	0,6
7	0	4	0,3	0,2	0,8
8	0	0	0,3	0,2	0
9	0	0	0,3	0,2	0
10	0	9	0,3	0,2	1,8
					8

Tabla D.2

En este escenario las 4 últimas filas de la tabla podrán estar rellenas, ya que se pueden dar pedidos incompletos.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
COMPLETOS	Cantidad NO entregada ref1	13	11	0	6	0	0	0	2	0	0	32
	Pedidos NO entregados ref1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	4
	Cantidad NO entregada ref2	6	25	0	5	14	0	0	10	0	0	60
	Pedidos NO entregados ref2	1	3	0	1	1	0	0	1	0	0	7
INCOMPLETOS	Cantidad NO entregada ref1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
	Pedidos NO entregados ref1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Cantidad NO entregada ref2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pedidos NO entregados ref2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla D.3

Estos son los viajes y pedidos que se realiza a cada cliente:

Pedidos	Viajes
5	4
8	6
8	5
11	5
3	3
8	5
5	4
5	3
4	3
5	4
62	42

Tabla D.4

Descomposición detallada de todos los pedidos:

Completos entregados	43
Completos NO entregados	11
No se ha satisfecho nada del pedido	9
Incompletos entregados	7
Incompletos NO entregados	1
Total	71

Tabla D.5

Costes que supone a cada uno de los minoristas:

Minorista	Coste pedidos
1	111,3
2	76,2
3	57,5
Total	245,0

Tabla D.6

Coste total no entregados	45
----------------------------------	-----------

Tabla D.7

-Mayoristas

Diferentes tipos de pedidos:

Tipo de pedidos	Número de pedidos
Completos	21
No se ha satisfecho nada del pedido	4
Incompletos	7
Total	32

Tabla D.8

Cantidades que se dejan de suministrar a cada minorista y los costes derivados:

Minorista	Cantidad falta entregar ref1	Cantidad falta entregar ref2	Penalización ref1	Penalización ref2	Total costes
1	26	1	0,3	0,2	8
2	0	11	0,3	0,2	2,2
3	6	0	0,3	0,2	1,8
					12

Tabla D.9

Número de viajes y pedidos a cada minorista:

Pedidos	Viajes
10	6
12	7
6	4
28	17

Tabla D.10

Costes de los dos mayoristas y coste total por no suministrar los pedidos:

Mayorista	Coste pedidos
1	71,8
2	47,2
Total	119

Tabla D.11

Coste total no entregados	32
----------------------------------	-----------

Tabla D.12

-Fábrica

Pedidos que atiende la fábrica:

Tipo de pedidos	Número de pedidos
Completos	17
No se ha satisfecho nada del pedido	2
Incompletos	2
Total	21

Tabla D.13

Cantidades que faltan por suministra a los mayoristas y las penalizaciones correspondientes:

Mayorista	Cantidad falta entregar ref1	Cantidad falta entregar ref2	Penalización ref1	Penalización ref2	Total costes
1	0	0	0,3	0,2	0
2	6	7	0,3	0,2	3,2
					3,2

Tabla D.14

Pedidos y viajes a los dos mayoristas:

Pedidos	Viajes
12	7
7	5
19	12

Tabla D.15

Costes asociados:

Coste pedidos	108,2
----------------------	--------------

Tabla D.16

Coste total no entregados	20
----------------------------------	-----------

Tabla D.17

D.2. Tercer escenario sin colaboración

-Minoristas

Tipos de pedidos:

Tipo de pedidos	Número de pedidos
Completos	39
No se ha satisfecho nada del pedido	17
Incompletos	15
Total	71

Tabla D.18

Cantidades que se dejan de suministrar a cada cliente y los costes derivados:

Cliente	Cantidad falta entregar ref1	Cantidad falta entregar ref2	Penalización ref1	Penalización ref2	Total costes
1	11	5	0,3	0,2	4,3
2	3	0	0,3	0,2	0,9
3	0	0	0,3	0,2	0
4	2	6	0,3	0,2	1,8
5	2	0	0,3	0,2	0,6
6	2	8	0,3	0,2	2,2
7	9	0	0,3	0,2	2,7
8	0	5	0,3	0,2	1
9	0	0	0,3	0,2	0
10	0	13	0,3	0,2	2,6
					16,1

Tabla D.19

Pedidos y cantidades que no se aceptan por sobrepasar el ciclo de pedido del cliente:

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
COMPLETOS	Cantidad NO entregada ref1	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	11
	Pedidos NO entregados ref1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Cantidad NO entregada ref2	0	15	0	9	14	0	0	10	0	0	48
	Pedidos NO entregados ref2	0	2	0	2	1	0	0	1	0	0	6
INCOMPLETOS	Cantidad NO entregada ref1	14	0	0	0	1	0	0	0	0	0	15
	Pedidos NO entregados ref1	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3
	Cantidad NO entregada ref2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Pedidos NO entregados ref2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tabla D.20

Descomposición detallada de los pedidos:

Completos entregados	32
Completos NO entregados	7
No se ha satisfecho nada del pedido	17
Incompletos entregados	11
Incompletos NO entregados	4
Total	71

Tabla D.21

Pedidos y viajes a cada uno de los clientes y costes asociados:

Pedidos	Viajes
4	3
7	6
7	5
10	5
3	3
6	4
5	4
4	3
3	3
5	4
54	40

Tabla D.22

Minorista	Coste pedidos
1	127,9
2	95,2
3	63,0
Total	286,1

Tabla D.23

Coste total no entregados	85
----------------------------------	-----------

Tabla D.24

-Mayoristas

Tipos de pedidos:

Tipo de pedidos	Número de pedidos
Completos	11
No se ha satisfecho nada del pedido	2
Incompletos	7
Total	20

Tabla D.25

Cantidades que se dejan de suministrar a cada minorista y los costes derivados:

Minorista	Cantidad falta entregar ref1	Cantidad falta entregar ref2	Penalización ref1	Penalización ref2	Total costes
1	26	19	0,3	0,2	11,6
2	10	28	0,3	0,2	8,6
3	0	0	0,3	0,2	0
					20,2

Tabla D.26

Pedidos y viajes a cada uno de los minoristas y costes asociados:

Pedidos	Viajes
8	5
8	6
2	2
18	13

Tabla D.27

Mayorista	Coste pedidos
1	67,6
2	54,6
Total	122,2

Tabla D.28

Coste total no entregados	16
----------------------------------	-----------

Tabla D.29

-Fábrica

Tipos de pedidos:

Tipo de pedidos	Número de pedidos
Completos	8
No se ha satisfecho nada del pedido	0
Incompletos	0
Total	8

Tabla D.30

Pedidos y viajes a cada uno de los mayoristas y costes asociados:

Pedidos	Viajes
5	3
3	2
8	5

Tabla D.31

Coste pedidos	64,0
----------------------	-------------

Tabla D.32

Coste total no entregados	0
----------------------------------	----------

Tabla D.33

D.3. Segundo escenario con colaboración

-Minoristas

Tipos de pedidos:

Tipo de pedidos	Número de pedidos
Completos	57
No se ha satisfecho nada del pedido	7
Incompletos	7
Total	71

Tabla D.34

Cantidades que se dejan de suministrar a cada cliente y los costes derivados:

Cliente	Cantidad falta entregar ref1	Cantidad falta entregar ref2	Penalización ref1	Penalización ref2	Total costes
1	5	6	0,3	0,2	2,7
2	1	0	0,3	0,2	0,3
3	0	0	0,3	0,2	0
4	0	4	0,3	0,2	0,8
5	2	0	0,3	0,2	0,6
6	0	3	0,3	0,2	0,6
7	0	0	0,3	0,2	0
8	0	0	0,3	0,2	0
9	0	0	0,3	0,2	0
10	0	9	0,3	0,2	1,8
					6,8

Tabla D.35

Estos son los viajes y pedidos que se realiza a cada cliente:

Pedidos	Viajes
6	4
8	6
8	5
12	5
3	3
8	5
5	4
5	3
4	3
5	4
64	42

Tabla D.36

Descomposición detallada de todos los pedidos:

Completos entregados	50
Completos NO entregados	7
No se ha satisfecho nada del pedido	7
Incompletos entregados	3
Incompletos NO entregados	4
Total	71

Tabla D.37

Costes que supone a cada uno de los minoristas:

Minorista	Coste pedidos
1	112,4
2	76,9
3	52,5
Total	241,8

Tabla D.38

Coste total no entregados	35
----------------------------------	-----------

Tabla D.39

-Mayoristas

Diferentes tipos de pedidos:

Tipo de pedidos	Número de pedidos
Completos	27
No se ha satisfecho nada del pedido	3
Incompletos	3
Total	33

Tabla D.40

Cantidades que se dejan de suministrar a cada minorista y los costes derivados:

Minorista	Cantidad falta entregar ref1	Cantidad falta entregar ref2	Penalización ref1	Penalización ref2	Total costes
1	0	9	0,3	0,2	1,8
2	0	3	0,3	0,2	0,6
3	13	0	0,3	0,2	3,9
					6,3

Tabla D.41

Número de viajes y pedidos a cada minorista:

Pedidos	Viajes
11	6
12	7
7	5
30	18

Tabla D.42

Costes de los dos mayoristas y coste total por no suministrar los pedidos:

Mayorista	Coste pedidos
1	74,7
2	45,6
Total	120,3

Tabla D.43

Coste total no entregados	24
----------------------------------	-----------

Tabla D.44

-Fábrica

Pedidos que realiza la fábrica:

Tipo de pedidos	Número de pedidos
Completos	26
No se ha satisfecho nada del pedido	1
Incompletos	3
Total	30

Tabla D.45

Cantidades que faltan por suministra a los mayoristas y las penalizaciones correspondientes:

Mayorista	Cantidad falta entregar ref1	Cantidad falta entregar ref2	Penalización ref1	Penalización ref2	Total costes
1	3	36	0,3	0,2	8,1
2	0	0	0,3	0,2	0
					8,1

Tabla D.46

Pedidos y viajes a los dos mayoristas:

Pedidos	Viajes
18	4
11	6
29	10

Tabla D.47

Costes asociados:

Coste pedidos	135,1
----------------------	--------------

Tabla D.48

Coste total no entregados	10
----------------------------------	-----------

Tabla D.49

Bibliografía

- [1] A. B. Z. D. y. C. d. I. R. J. García Muñiz, «La cadena de suministro entre México y EUA: oportunidades de mejorar e incrementar el comercio» *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, nº 185, 2013.
- [2] I. J. T. Astros, «La gestión de la cadena de suministros» 2007. [En línea]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos94/la-gestion-cadena-suministros/la-gestion-cadena-suministros.shtml>. [Último acceso: 31 Julio 2014].
- [3] A. A. Terrado, «La Cadena de Suministro» 2007.
- [4] S. Guerola, «Cómo incrementar la competitividad en los flujos de la Cadena de Suministro» [En línea]. Available: <http://www.pse-globalog.org/como-incrementar-la-competitividad-en-los-flujos-de-la-cadena-de-suministro/>. [Último acceso: 23 Abril 2014].
- [5] E. Ciancimino, S. Cannella, Canca Ortiz, José David y Framiñán Torres, José Manuel, «Análisis multinivel de cadenas de suministros: dos técnicas de resolución del efecto bullwhip» *Revista de métodos cuantitativos para la economía y la empresa*, pp. 7-28, 2009.
- [6] G. Stevens, «Integrating the supply chain, Physical Distribution and Materials Management» pp. 3-8, 1989.
- [7] R. Hieber, *Supply chain management: a collaborative performance measurement approach*, Zurich, 2002.
- [8] R. Fujimoto, «Parallel and distributed simulation» p. 122–131, 1999.
- [9] Defense Modeling and Simulation Office (DMSO), *High level architecture (HLA) overview*, 2002.
- [10] Defense Modeling and Simulation Office (DMSO), *RTI Programmer's Guide*, 1999.
- [11] S. Terzi y S. Cavalieri, «Simulation in the supply chain context: a survey» *Elseiver*, pp. 3-16, 2004.
- [12] A. B. L. Y. C. Yan, «An integrated production-distribution model for a deteriorating inventory item» pp. 228-232, 2011.
- [13] G. A. Lastra, «Programa de formación en gestión de logística» Madrid.
- [14] E. A. Malisani, de *Logística empresarial*, boixereu editores, 1989.
- [15] R. Laumaille, de *Gestión de stocks*.

- [16] J. H. C. Sotero, «La importancia del transporte en la logística y en la cadena de abastecimiento (SCM)» [En línea]. Available: <http://logistweb.wordpress.com/2010/09/30/la-importancia-del-transporte-en-la-logistica-y-en-la-cadena-de-abastecimiento-scm/>. [Último acceso: 14 Mayo 2014].
- [17] «La distribución y el transporte» *Logistec*, 2012.
- [18] E. Barg, «Capacidad de producción».
- [19] W. Guaita, «Desarrollo de un modelo de simulación para ensayar políticas operacionales en cadenas de suministros de PYMES transformadoras» Madrid, 2008.
- [20] B. A. S. López, «Indicadores de los sistemas de producción» [En línea]. Available: <http://ingenierosindustriales.jimdo.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/producci%C3%B3n/indicadores-de-producci%C3%B3n/>. [Último acceso: 12 Mayo 2014].
- [21] Universidad de Zaragoza, «Logística y Gestión de la cadena de suministro» Zaragoza, 2013.
- [22] J. S. Ramos, «Modelos de inventario» Valparaíso.
- [23] «Understanding Transportation Lead Times» [En línea]. Available: http://docs.oracle.com/cd/E51433_01/fscm92pbr2/eng/fscm/somt/concept_UnderstandingTransportationLeadTimes-9f2ff1.html. [Último acceso: 16 Junio 2014].
- [24] J. R. V. Arto, *Gestión de Stocks*, 2010.
- [25] Álvaro García Sánchez, Miguel Ortega Mier, David Izquierdo Delgado, «Elementos de simulación - Un enfoque práctico con Witness» Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2012.
- [26] «Manual básico de Witness» [En línea]. Available: https://www5.uva.es/guia_docente/uploads/2013/439/41635/1/Documento.pdf. [Último acceso: 5 Agosto 2014].
- [27] A. S. Guerrero, «Simulación de eventos» *Centro Cultural Itaca S.C.*, p. 11.
- [28] «Simulador Witness» 16 Abril 2010. [En línea]. Available: <http://simuladorwitness.blogspot.com.es/>. [Último acceso: 2014 Agosto 6].
- [29] «El software Witness» [En línea]. Available: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4835/fichero/Cap_7.pdf. [Último acceso: 15 Septiembre 2014].
- [30] Universidad de Oviedo, «Gestión de inventarios y almacenes» Oviedo.

