

Proyecto Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Simulación de los Efectos de la Integración en una Cadena de Suministro

Autor: José Juan Candón Hurtado

Tutor: Jesús Muñuzuri Sanz

Dep. Organización Industrial y Gestión de Empresas II
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017



Proyecto Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Simulación de los Efectos de la Integración en una Cadena de Suministro

Autor:

José Juan Candón Hurtado

Tutor:

Jesús Muñuzuri Sanz

Catedrático

Dep. Organización Industrial y Gestión de Empresas II

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017

Proyecto Fin de Grado: Simulación de los Efectos de la Integración en una Cadena de Suministro

Autor: José Juan Candón Hurtado

Tutor: Jesús Muñuzuri Sanz

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

Resumen

Existe un catálogo muy amplio de herramientas de simulación. Estas herramientas pueden ser usadas para simulaciones en cualquier entorno, incluyendo el de la docencia. Beer Game, herramienta que permite simular una cadena de suministro, es usada en nuestra Escuela para la docencia, pero los tiempos actuales requerían una actualización.

Una réplica de esta herramienta será la que se desarrolle a lo largo de este trabajo, desde la definición de sus políticas hasta su implementación en Excel, que será el sistema software bajo el que cuál funcionará la herramienta, por lo que resultará una aplicación de uso sencillo, en un entorno conocido e intuitivo.

Por lo tanto, uno de los resultados de este trabajo se resume en el desarrollo de una herramienta que simula una cadena de suministro y que será principalmente usada como material de apoyo a la docencia.

En la gestión de una cadena de suministro existe una gran cantidad de información que puede ser obviada por cada una de las entidades que participan en la cadena. Esta información puede ser de gran utilidad si es compartida por todos los miembros de la cadena para mejorar la eficiencia y así dar mejor servicio. Es aquí donde entra el papel de la integración.

La integración de la información es un recurso muy utilizado en la actualidad gracias a la mejora continua que ha tenido mediante el desarrollo de la tecnología y los resultados que genera. La importancia que ha obtenido la integración ha hecho que sea un campo sobre el que recae gran parte del peso de una empresa.

Tras el desarrollo de la herramienta de simulación, se utilizará ésta para realizar una serie de simulaciones de gestión de una cadena de suministro sencilla en diferentes escenarios utilizando dos tipos de gestiones: gestión tradicional y gestión integrada. El fin es demostrar mediante los resultados obtenidos y de manera analítica las ventajas que se obtienen con la integración de una cadena de suministro.

Índice

Resumen	7
Índice	9
Índice de Tablas	13
Índice de Figuras	15
1 Introducción y objeto del trabajo	19
1.1 <i>Introducción al trabajo</i>	19
1.2 <i>¿Qué es el Beer Game?</i>	19
1.3 <i>Objetivos</i>	19
1.4 <i>Metodología</i>	19
1.5 <i>Resultados</i>	20
2 Definición de políticas. Parametrización y Modelado	23
2.1 <i>Introducción</i>	23
2.2 <i>Definición de parámetros y variables</i>	24
2.2.1 <i>Parámetros y constantes</i>	24
2.2.2 <i>Variables</i>	24
2.3 <i>Simulación del modelo</i>	24
2.3.1 <i>Ecuaciones del modelo</i>	24
2.3.2 <i>Demanda del cliente</i>	25
2.3.3 <i>Políticas de inventario</i>	26
3 Implementación en Excel del modelo diferenciando por políticas de inventarios	29
3.1 <i>Introducción</i>	29
3.2 <i>Resultados</i>	30
3.2.1 <i>s-S</i>	30
3.2.2 <i>s-Q</i>	31
3.2.3 <i>Order to S</i>	32
3.2.4 <i>Order Q</i>	33
3.2.5 <i>Updated s</i>	34
3.2.6 <i>Echelon</i>	36
3.3 <i>Conclusiones</i>	37
4 Implementación del simulador de la cadena de suministro en Excel	39
4.1 <i>Estructura</i>	39
4.2 <i>Macros VBA</i>	40
4.3 <i>Formularios</i>	41
4.4 <i>Interfaz de usuario</i>	44
5 Generación de gráficos	49
5.1 <i>Estructura</i>	49
5.2 <i>Formularios</i>	49
5.3 <i>Interfaz</i>	50
6 Simulación de gestión tradicional frente a gestión integrada	55
6.1 <i>Introducción</i>	55

6.2	Resultados	55
6.2.1	Escenario 1	55
6.2.2	Escenario 2	57
6.2.3	Escenario 3	58
6.2.4	Escenario 4	60
6.2.5	Escenario 5	62
6.2.6	Escenario 6	64
6.2.7	Escenario 7	65
6.2.8	Escenario 8	67
6.2.9	Escenario 9	69
6.2.10	Escenario 10	71
6.2.11	Escenario 11	72
7	Conclusiones	77
7.1	Objetivos	77
7.2	Herramienta de simulación	77
7.3	Efectos de la integración	77
8	Bibliografía	83
Anexo A.	Modelo del Sistema	85
A.1	Definición de variables	85
A.1.1	Variables independientes y constantes del modelo	85
A.1.2	Variables de flujo	85
A.1.3	Variables de nivel	85
A.1.4	Variables auxiliares	86
A.2	Ecuaciones del modelo	86
A.2.1	Ecuaciones auxiliares	86
A.2.2	Ecuaciones de nivel	88
A.2.3	Ecuaciones de flujo	89
A.3	Esquema del Sistema	89
Anexo B.	Manual de usuario	91
B.1	Introducción	91
B.2	Escenario	91
B.3	Simulación en funcionamiento	91
B.4	Entendiendo la pantalla	93
B.5	Jugando al Beer Game	93
B.6	Opciones	95
B.6.1	Políticas	95
B.6.2	Jugador	96
B.6.3	Demanda	97
B.6.4	Costes	97
B.6.5	Info Global	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6-1: Parámetros escenario 1.	55
Tabla 6-2: Parámetros escenario 2.	57
Tabla 6-3: Parámetros escenario 3.	59
Tabla 6-4: Parámetros escenario 4.	60
Tabla 6-5: Parámetros escenario 5	62
Tabla 6-6: Parámetros escenario 6.	64
Tabla 6-7: Parámetros escenario 7.	66
Tabla 6-8: Parámetros escenario 8.	67
Tabla 6-9: Parámetros escenario 9.	69
Tabla 6-10: Parámetros escenario 10.	71
Tabla 6-11: Parámetros escenario 11.	73
Tabla 7-1: Reducción de los costes en los escenarios simulados en Capítulo 5.	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Esquema del sistema	23
Figura 3-1: Política s-S. Inventarios.	30
Figura 3-2: Política s-S. Roturas de stock.	30
Figura 3-3: Política s-S. Lanzamientos de órdenes.	31
Figura 3-4: Política s-S. Costes.	31
Figura 3-5: Política s-Q. Inventarios.	31
Figura 3-6: Política s-Q. Roturas de stock.	31
Figura 3-7: Política s-Q. Lanzamientos de órdenes.	32
Figura 3-8: Política s-Q. Costes.	32
Figura 3-9: Política Order to S. Inventarios.	32
Figura 3-10: Política Order to S. Roturas de stock.	33
Figura 3-11: Política Order to S. Lanzamientos de órdenes.	33
Figura 3-12: Política Order to S. Costes.	33
Figura 3-13: Política Order Q. Inventarios.	33
Figura 3-14: Política Order Q. Roturas de stock.	34
Figura 3-15: Política Order Q. Lanzamientos de órdenes.	34
Figura 3-16: Política Order Q. Costes.	34
Figura 3-17: Política Updated s. Inventarios.	34
Figura 3-18: Política Updated s. Roturas de stock.	35
Figura 3-19: Política Updated s. Lanzamientos de órdenes.	35
Figura 3-20: Política Updated s. Costes.	35
Figura 3-21: Política Updated s. Punto de lanzamiento en t.	35
Figura 3-22: Política Echelon. Inventarios.	36
Figura 3-23: Política Echelon. Roturas de stock.	36
Figura 3-24: Política Echelon. Lanzamientos de órdenes.	36
Figura 3-25: Política Echelon. Costes.	36
Figura 3-26: Política Echelon. Puntos de pedido en t.	37
Figura 4-1: Hoja “Game”.	39
Figura 4-2: Hoja “Normal”.	39
Figura 4-3: Hoja “Options”.	40
Figura 4-4: Formulario “UserForm1”.	42
Figura 4-5: Formulario “UserForm2”.	42
Figura 4-6: Formulario “UserForm3”.	43

Figura 4-7: Formulario “UserForm4”.	43
Figura 4-8: Formulario “UserForm6”.	44
Figura 4-9: Interfaz inicial.	44
Figura 4-10: Interfaz con jugador.	45
Figura 4-11: Interfaz con jugador y la información de todos los sectores.	45
Figura 4-12: Interffaz con simulación iniciada.	46
Figura 4-13: Interfaz con simulación iniciada y formulario de introducción de orden.	46
Figura 5-1: Formulario “UserForm5”.	49
Figura 5-2: Interfaz de usuario con botón para gráficas.	50
Figura 5-3: Formulario para gráficas en la interfaz de usuario.	51
Figura 5-4: Selección de la opción dentro del formulario para gráficas.	51
Figura 5-5: Gráfico del sector con los datos generales.	52
Figura 5-6: Gráfico de costes acumulados del sector seleccionado.	52
Figura 6-1: Comparación órdenes en escenario 1.	56
Figura 6-2: Comparación inventarios en escenario 1.	56
Figura 6-3: Comparación pedidos con retraso en escenario 1.	56
Figura 6-4: Comparación costes en escenario 1.	57
Figura 6-5: Comparación órdenes en escenario 2.	57
Figura 6-6: Comparación inventarios en escenario 2.	58
Figura 6-7: Comparación pedidos con retraso en escenario 2.	58
Figura 6-8: Comparación costes en escenario 2.	58
Figura 6-9: Comparación órdenes en escenario 3.	59
Figura 6-10: Comparación inventarios en escenario 3.	59
Figura 6-11: Comparación pedidos con retraso en escenario 3.	60
Figura 6-12: Comparación costes en escenario 3.	60
Figura 6-13: Comparación órdenes en escenario 4.	61
Figura 6-14: Comparación inventarios en escenario 4.	61
Figura 6-15: Comparación pedidos con retraso en escenario 4.	61
Figura 6-16: Comparación costes en escenario 4.	62
Figura 6-17: Comparación órdenes en escenario 5.	63
Figura 6-18: Comparación inventarios en escenario 5.	63
Figura 6-19: Comparación pedidos con retraso en escenario 5.	63
Figura 6-20: Comparación costes en escenario 5.	63
Figura 6-21: Comparación órdenes en escenario 6.	64
Figura 6-22: Comparación inventarios en escenario 6.	65
Figura 6-23: Comparación pedidos con retraso en escenario 6.	65
Figura 6-24: Comparación costes en escenario 6.	65
Figura 6-25: Comparación órdenes en escenario 7.	66
Figura 6-26: Comparación inventarios en escenario 7.	66

Figura 6-27: Comparación pedidos con retraso en escenario 7.	67
Figura 6-28: Comparación costes en escenario 7.	67
Figura 6-29: Comparación órdenes en escenario 8.	68
Figura 6-30: Comparación inventarios en escenario 8.	68
Figura 6-31: Comparación pedidos con retraso en escenario 8.	68
Figura 6-32: Comparación costes en escenario 8.	69
Figura 6-33: Comparación órdenes escenario 9.	70
Figura 6-34: Comparación inventarios escenario 9.	70
Figura 6-35: Comparación pedidos con retraso escenario 9.	70
Figura 6-36: Comparación costes escenario 9.	70
Figura 6-37: Comparación órdenes escenario 10.	71
Figura 6-38: Comparación inventarios escenario 10.	72
Figura 6-39: Comparación pedidos con retraso escenario 10.	72
Figura 6-40: Comparación costes escenario 10.	72
Figura 6-41: Comparación órdenes escenario 11.	73
Figura 6-42: Comparación inventarios escenario 11.	73
Figura 6-43: Comparación pedidos con retraso escenario 11.	74
Figura 6-44: Comparación costes escenario 11.	74
Figura 7-1: Ejemplo 6-1.	78
Figura 7-2: Ejemplo 6-2. Inventario sector Mayorista.	78
Figura 7-3: Ejemplo 6-3. Inventario sector Mayorista.	79
Figura 7-4: Ejemplo 6-3. Costes de sector Mayorista en ambas gestiones.	79
Figura 8-1: Esquema del sistema.	89
Figura 8-2: Pantalla inicial.	92
Figura 8-3: Pantalla inicial con sector seleccionado.	92
Figura 8-4: Sector en pantalla.	93
Figura 8-5: Cuadro de diálogo para el lanzamiento de órdenes.	94
Figura 8-6: Sector en pantalla.	94
Figura 8-7: Cuadro de diálogo para gráficas.	94
Figura 8-8: Cuadro de diálogo para gráficas.	95
Figura 8-9: Cuadro de diálogo para gráficas.	95
Figura 8-10: Cuadro de diálogo de Políticas.	96
Figura 8-11: Cuadro de diálogo para seleccionar sector.	97
Figura 8-12: Cuadro de diálogo para establecer la demanda del cliente.	97
Figura 8-13: Cuadro de diálogo para establecer costes.	98

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL TRABAJO

1.1 Introducción al trabajo

Este trabajo, titulado “Simulación de los Efectos de la Integración en una Cadena de Suministro”, surge de la necesidad de la realización del Trabajo de Fin de Grado para completar el aprendizaje llevado a cabo a lo largo del Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales.

La idea de este trabajo consiste en la realización de una réplica del juego Beer Game, juego de simulación usado para la docencia en diferentes asignaturas, con el que demostrar que la integración en una cadena de suministro es más eficiente que la gestión tradicional sin integración de ésta. Para ello será necesario la implementación de la herramienta en un entorno software que permita a los usuarios realizar las simulaciones. Una vez implementada la herramienta se llevarán a cabo diferentes simulaciones en las que se usarán ambos métodos para buscar los mejores resultados.

1.2 ¿Qué es el Beer Game?

El Beer Game es una cadena de suministro formada por cuatro sectores que consisten en un minorista, mayorista, distribuidor y fabricante. Cada uno de estos sectores es controlado de manera independiente. En este juego existe un control de inventario para cada uno de los sectores. Durante el juego, el jugador deberá controlar el inventario de su correspondiente sector mediante el lanzamiento de órdenes. El flujo de órdenes va desde aguas abajo (minorista) hasta aguas arriba (fabricante), mientras que el flujo del material es inverso. El objetivo del juego es minimizar el coste total acumulado de todos los sectores. Este coste es calculado imputando los costes de mantenimiento y de pedidos retrasados al final de cada periodo de simulación, que en este caso es la semana.

1.3 Objetivos

Los objetivos de este trabajo son:

- Replicar el juego Beer Game para suplir a la anterior aplicación que se encuentra obsoleta para los ordenadores de la Escuela. De esta manera podrá usarse la herramienta en la docencia sin problemas de infraestructura. Se desarrollará en un entorno sencillo e intuitivo como es Microsoft Excel mediante VBA (Visual Basic for Applications).
- Demostrar las ventajas de la integración en una cadena de suministro frente a la gestión tradicional de ésta. Para ello se llevarán a cabo diferentes simulaciones en diferentes escenarios y se analizarán y compararán los resultados obtenidos en cada una de las simulaciones.

1.4 Metodología

Para el desarrollo del trabajo se han establecido una serie de fases que implica trabajar de manera estructurada y constante. Las diferentes fases por las que ha pasado el trabajo son:

- Definición de políticas. Parametrización y modelado.
En esta fase se ha desarrollado el modelo del problema que rige el funcionamiento del juego. Se han parametrizado todas sus variables y modelado el conjunto de ecuaciones, todo bajo el estudio previo de las políticas que se utilizarán en el juego, que serán las mismas que aparecen en el juego a replicar.
- Implementación en Excel del modelo diferenciando por políticas de inventarios.

Esta fase implica la simulación del modelo desarrollado en la fase anterior. El modelo se implantará en Excel para que, aplicando una política diferente a cada simulación y para todos los sectores, se lleven a cabo simulaciones de prueba.

- Implementación del simulador de la cadena de suministro en Excel.

Es en esta fase donde se desarrolla la herramienta en el entorno software elegido para ser usada directamente por el usuario.

- Generación de gráficos.

Se añadirá en esta fase a la herramienta la opción de generar gráficos para mostrar de manera más intuitiva los datos al usuario.

- Simulación de gestión tradicional frente a gestión integrada.

En esta fase se llevarán a cabo las simulaciones en los diferentes escenarios planteados para comparar y analizar los resultados obtenidos entre gestión tradicional y gestión integrada de una cadena de suministro.

1.5 Resultados

Como resultado del trabajo se obtendrá una herramienta de simulación que permite simular una cadena de suministro formada por cuatro sectores que podrá ser controlada por un usuario desde cualquier punto de la cadena. El usuario podrá establecer los parámetros más convenientes a la simulación requerida para así obtener los mejores resultados. De esta forma, la herramienta permitirá a los usuarios experimentar la gestión de una cadena de suministro aplicando factores que podrán encontrarse en una situación real.

Además, como resultado del trabajo se demostrará mediante el uso de la herramienta que la gestión integrada, en este caso aplicada a la cadena de suministro, conlleva resultados más eficientes y eficaces que la gestión sin integrar.

2 DEFINICIÓN DE POLÍTICAS. PARAMETRIZACIÓN Y MODELADO

2.1 Introducción

El Beer Game es una simulación de un sistema de producción y distribución dividido en cuatro niveles: Retailer (minorista), Wholesaler (mayorista), Distributor (distribuidor) y Factory (fábrica). Las órdenes llegan desde el consumidor entrando al sistema por el sector Minorista, luego pasa a Mayorista, después a Distribuidor y finalmente a Fábrica. Mientras tanto, se están sirviendo al cliente las órdenes previas.

Es un juego que se usa para gestionar los inventarios de cada sector buscando hacer frente a las variaciones de la demanda del cliente y al mismo tiempo evitar quedarse sin stock en cada uno de los inventarios. Básicamente se usa para mostrar la relación entre la toma de decisiones y el comportamiento de la cadena de suministro.

La estructura del sistema es la siguiente:

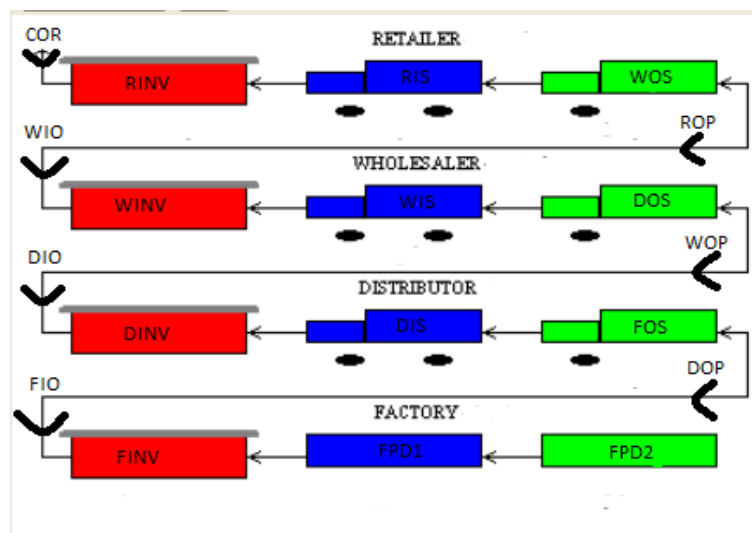


Figura 2-1: Esquema del sistema

Para simplificar el sistema, se definirán algunas reglas:

- Sólo hay un inventario en cada nivel inicializado con 12 cajas de cerveza.
- El retraso de envíos de una etapa a otra está fijado en una semana.
- El tiempo paso de órdenes de un sector a otro es de una semana.
- El tiempo de producción es de tres semanas y se asume que la capacidad de producción puede ajustarse sin límites.
- Cada semana los clientes demandan desde el sector Minorista (Retailer), quien suministra la cantidad solicitada.

El objetivo del jugador es minimizar los costes del sector que se está dirigiendo. Se consideran los costes asociados al mantenimiento del inventario (se establece en 0.50€ por caja y semana, pero puede modificarse en cualquier momento) y los costes asociados a los pedidos retrasados (1.00€ por caja y semana, pero puede modificarse en cualquier momento), por lo que debe mantenerse el menor stock posible y evitar que existan pedidos retrasados.

El jugador, en el sector que haya seleccionado, tiene que decidir al principio de cada semana la cantidad de

cajas de cerveza que solicita al siguiente sector.

2.2 Definición de parámetros y variables

2.2.1 Parámetros y constantes

Se definen los siguientes parámetros y constantes que se usarán el modelo:

- s : Inventario mínimo.
- S : Inventario máximo.
- Q : Lote establecido.
- M : Períodos para la estimación de la desviación estándar.
- ID : Demanda inicial para la demanda determinista.
- FWD : Período final para ID en la demanda determinista.
- FD : Demanda que se aplica a partir de FWD en la demanda determinista.
- IM : Media inicial para la demanda aleatoria.
- IS : Desviación inicial para la demanda aleatoria.
- FWN : Período final para (IM, IS) en la demanda aleatoria.
- FM : Media final para la demanda aleatoria que se aplica a partir de FWN .
- FS : Desviación final para la demanda aleatoria que se aplica a partir de FWN .
- L : Constante que vale 3. Se usa en la política Echelon.
- h : Coste de mantenimiento de inventario por unidad y tiempo.
- b : Coste de pedido no servido por unidad y tiempo.
- t : instante actual.

2.2.2 Variables

Se definen las variables que intervienen en el modelo. Cada variable tiene una inicial que hace referencia al sector que pertenece, pudiendo ser Minorista (R); Mayorista (W); Distribuidor (D) o Fábrica (F). Ejemplo: $WINV$, inventario en el sector Mayorista.

- IS_t : Cajas entrantes al sector en tiempo T . (RIS_t , WIS_t y DIS_t)
- $FPD1_t$: Retraso de producción 1 de Factory en tiempo t .
- $FPD2_t$: Retraso de producción 2 de Factory en tiempo t .
- OS_t : Cajas salientes del sector en tiempo t . (WOS_t , DOS_t y FOS_t)
- INV_t : Inventario del sector en tiempo t . ($RINV_t$, $WINV_t$, $DINV_t$ y $FINV_t$)
- BL_t : Pedidos retrasados del sector en tiempo t . (RBL_t , WBL_t , DBL_t y FBL_t)
- COS_t : Coste acumulado del sector en tiempo t . ($RCOS_t$, $WCOS_t$, $DCOS_t$ y $FCOS_t$)
- IO_t : Órdenes entrantes al sector en tiempo t . (WIO_t , DIO_t y FIO_t)
- COR_t : Demanda exógena entrante directamente al sector Minorista en tiempo t .
- OP_t : Orden realizada por el sector en tiempo t . (ROP_t , WOP_t y DOP_t)
- FPR_t : Orden realizada por Fábrica en tiempo t .

2.3 Simulación del modelo

2.3.1 Ecuaciones del modelo

La simulación del modelo consiste en un proceso iterativo que proporciona la secuencia de operaciones que cada sector debe realizar. Las diferentes ecuaciones del modelo que representan dichas operaciones se definen como sigue:

$$WINV_t = \begin{cases} WINV_{t-1} + WIS_{t-1} - WBL_{t-1} - WIO_{t-1} & \text{si } WINV_{t-1} + WIS_{t-1} > WBL_{t-1} + WIO_{t-1} \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (1.1)$$

Las expresiones para RINV_t, DINV_t y FINV_t son análogas. Esta expresión establece el inventario del sector. Comprueba si hay stock suficiente para suministrar al siguiente sector chequeando si la suma del inventario de t-1 más las cajas entrantes en t-1 es mayor que la suma de los pedidos retrasados anteriores más las órdenes entrantes de t-1. Si esto se cumple, se actualiza el inventario al valor que resulta de sumar el inventario anterior más las cajas entrantes menos el los pedidos retrasados y las órdenes entrantes. Quedan así servidos los pedidos pendientes y las órdenes actuales.

Si la condición impuesta no se cumple, se hace le inventario del sector 0 y se actualiza el numero de pedidos retrasados de la siguiente forma:

$$WBL_t = \begin{cases} WBL_{t-1} + WIO_{t-1} - WINV_{t-1} - WIS_{t-1} & \text{si } WBL_{t-1} + WIO_{t-1} > WINV_{t-1} + WIS_{t-1} \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (1.2)$$

Las expresiones para RBL_t, DBL_t y FBL_t son análogas.

$$WIS_t = DOS_{t-1} \quad (1.3)$$

Las expresiones para RIS_t, DIS_t, FPD1_t y FPD2_t son análogas. Esta expresión indica que el número de cajas entrantes a un sector es igual al número de cajas que salen del sector previo en t-1.

$$WIO_t = ROP_t \quad (1.4)$$

Las expresiones para DIO_t y FIO_t son análogas. Esta expresión indica que las órdenes entrantes al sector es igual a las órdenes salientes del sector previo en el mismo instante t.

$$WOS_t = \text{Min}\{WINV_{t-1} + WIS_{t-1}; WBL_{t-1} + WIO_{t-1}\} \quad (1.5)$$

Las expresiones para DOS_t y FOS_t son análogas. Se comprueba si puede servirse el número de cajas solicitadas. Para ello se mira la suma del inventario en t-1 más las cajas entrantes al inventario en t-1 y la suma de los pedidos retrasados anteriores más las órdenes entrantes en t-1. Se establece el número de cajas salientes en el valor más bajo resultante.

$$WCOS_t = WCOS_{t-1} + WINV_t * h + WBL_t * b \quad (1.6)$$

Las expresiones para RCOS_t, DCOS_t y FCOS_t son análogas. Para calcular el coste acumulado se suma el coste en t-1 más el inventario actual por el coste de mantenimiento más el número de pedidos retrasados actual por el coste de pedido no servido.

2.3.2 Demanda del cliente

La demanda del cliente se define en la variable COR_t. Esta variable es exógena. La demanda entra directamente el sector Minorista.

La demanda se puede definir de dos maneras: determinista y normal aleatoria.

- Determinista: Fijando una demanda estática inicial (ID) hasta cierto instante (FWD) para cambiar a otro valor estático (FD). La demanda determinista se asimila a un escalón.

$$COR_t = \begin{cases} ID & \text{si } t \leq FWD \\ FD & \text{si } t > FWD \end{cases} \quad (1.7)$$

- Normal aleatoria: Se fija la media inicial (IM) y la desviación inicial (IS) hasta cierto instante (FWN), donde la media y la desviación cambian a otros valores estáticos (FM y FS).

$$\begin{cases} COR_t \sim N(IM, IS) & \text{si } t \leq FWN \\ COR_t \sim N(FM, FS) & \text{si } t > FWN \end{cases} \quad (1.8)$$

2.3.3 Políticas de inventario

Podemos establecer diferentes políticas para la gestión de los inventarios. Se establecerá una política independiente para cada sector. Las políticas que se establecerán son las siguientes:

- **s-S.** Si el inventario cae por debajo de s , el sistema realiza una orden para llevar el inventario a S .
- **s-Q.** Si el inventario cae por debajo de s , el sistema realiza una orden de Q unidades.
- **Order to S.** El sistema realiza una orden para llevar el inventario a S .
- **Order Q.** El sistema realiza una orden de Q unidades.
- **Updated s.** El inventario mínimo s se actualiza en cada instante y es el mismo para todos los sectores. Cuando el inventario cae por debajo de s_t , el sistema lanza una orden para llevar el inventario a s_T , sin embargo, el tamaño máximo de una orden es S .
- **Echelon.** El inventario mínimo s se actualiza en cada instante y es distinto para cada sector. Cuando el inventario cae por debajo de s_t , el sistema lanza una orden para llevar el inventario a s_T , sin embargo, el tamaño máximo de una orden es S .

2.3.3.1 s-S

Cuando el sistema va a lanzar una orden en esta política primero comprueba que el inventario del sector cae por debajo de s para así llevar de nuevo el inventario a S . Para comprobar si se cumple, se suman las cajas que hay en el inventario del sector (INV), las cajas entrantes al sector (IS) y las cajas salientes del sector previo (OS), todo en t . Además, hay que comprobar que los pedidos retrasados del sector no generarán que este valor caiga por debajo de s , teniendo en cuenta el número de pedidos retrasados del sector previo. La expresión quedaría:

$$WOP_t = \begin{cases} S - WINV_t - WIS_t - DOS_t + WBL_t - DBL_t & \text{si } WINV_t + WIS_t + DOS_t - WBL_t + DBL_t \leq s \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (1.9)$$

Las expresiones para ROP_t , DOP_t y FPR_t son análogas.

2.3.3.2 s-Q

Las condiciones para lanzar la orden son las mismas que en la política **s-S**.

$$WOP_t = \begin{cases} Q & \text{si } WINV_t + WIS_t + DOS_t - WBL_t + DBL_t \leq s \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (1.10)$$

Las expresiones para ROP_t , DOP_t y FPR_t son análogas.

2.3.3.3 Order to S

Para lanzar una orden el sistema comprueba el número de cajas que faltan para llegar a S y lanza una orden para alcanzar el nivel máximo.

$$WOP_t = \text{Max}\{0; S - WINV_t - WIS_t - DOS_t + WBL_t - DBL_t\} \quad (1.11)$$

Las expresiones para ROP_t , DOP_t y FPR_t son análogas.

2.3.3.4 Order Q

$$WOP_t = Q \quad (1.12)$$

Las expresiones para ROP_t , DOP_t y FPR_t son análogas.

2.3.3.5 Updated s

Las condiciones para lanzar la orden son las mismas que en la política **s-S**.

$$WOP_t = \begin{cases} \text{Min}\{S; s_t - WINV_t - WIS_t - DOS_t + WBL_t - DBL_t\} & \text{si } WINV_t + WIS_t + DOS_t - WBL_t + DBL_t \leq s_t \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (1.13)$$

Siendo $s_t = AVG(D) + M * STD(D)$

AVG(D): Media móvil de la demanda en las últimas 10 semanas.

STD(D): Desviación estándar de la demanda en las últimas 10 semanas.

Las expresiones para ROP_t , DOP_t y FPR_t son análogas.

2.3.3.6 Echelon

Para actualizar s en cada uno de los sectores se definen las siguientes expresiones:

- Minorista: $s_t = L * AVG(D) + M * STD(D) * \sqrt{L}$
- Mayorista: $s_t = (L-1 + L) * AVG(D) + M * STD(D) * \sqrt{L-1 + L}$
- Distribuidor: $s_t = (2 * (L-1) + L) * AVG(D) + M * STD(D) * \sqrt{2 * (L-1) + L}$
- Fábrica: $s_t = (3 * (L-1) + L) * AVG(D) + M * STD(D) * \sqrt{3 * (L-1) + L}$

Las condiciones para lanzar la orden son las mismas que en la política s-S.

$$WOP_t = \begin{cases} \text{Min}\{S; s_t - WINV_t - WIS_t - DOS_t + WBL_t - DBL_t\} & \text{si } WINV_t + WIS_t + DOS_t - WBL_t + DBL_t \leq s_t \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (1.14)$$

Las expresiones para ROP_t , DOP_t y FPR_t son análogas.

3 IMPLEMENTACIÓN EN EXCEL DEL MODELO DIFERENCIANDO POR POLÍTICAS DE INVENTARIOS

3.1 Introducción

La implementación en Excel se llevará a cabo diferenciando entre las distintas políticas de inventarios, aplicando cada una de ellas al sistema en su totalidad, es decir, implementando la misma política a los cuatro sectores en cada una de las simulaciones. Se realizará la simulación de cada una de las políticas en Hojas de Excel distintas, todas en el mismo Libro.

El tiempo de simulación son 100 semanas, aplicando una demanda externa normal aleatoria utilizando las funciones de Excel. Se obtendrán los diferentes resultados que quedarán reflejados gráficamente en este documento.

Para la implementación del modelo se establecerán los siguientes parámetros del sistema:

- s : Inventario mínimo.
- S : Inventario máximo.
- Q : Lote establecido.
- M : Períodos para la estimación de la desviación estándar.
- ID : Demanda inicial para la demanda determinista.
- FWD : Período final para ID en la demanda determinista.
- FD : Demanda que se aplica a partir de FWD en la demanda determinista.
- IM : Media inicial para la demanda aleatoria.
- IS : Desviación inicial para la demanda aleatoria.
- FWN : Período final para (IM , IS) en la demanda aleatoria.
- FM : Media final para la demanda aleatoria que se aplica a partir de FWN .
- FS : Desviación final para la demanda aleatoria que se aplica a partir de FWN .
- L : Constante que vale 3 en simulaciones de Normal Lead Time y que vale 2 para simulaciones de Short Lead Time.
- h : Coste de mantenimiento de inventario por unidad y tiempo.
- b : Coste de pedido no servido por unidad y tiempo.

Siendo los valores:

- $s = 4$
- $S = 30$
- $Q = 10$
- $M = 1.96$
- $ID = 4$
- $FWD = 4$
- $FD = 8$
- $IM = 6$
- $IS = 2$
- $FWN = 4$
- $FM = 6$
- $FS = 2$

- $L = 3$
- $h = 0.5$
- $b = 1$

Las distintas políticas para aplicar son las siguientes:

- **s-S**. Si el inventario cae por debajo de s , el sistema realiza una orden para llevar el inventario a S .
- **s-Q**. Si el inventario cae por debajo de s , el sistema realiza una orden de Q unidades.
- **Order to S**. El sistema realiza una orden para llevar el inventario a S .
- **Order Q**. El sistema realiza una orden de Q unidades.
- **Updated s**. El inventario mínimo s se actualiza en cada instante y es el mismo para todos los sectores. Cuando el inventario cae por debajo de s_t , el sistema lanza una orden para llevar el inventario a s_T , sin embargo, el tamaño máximo de una orden es S .
- **Echelon**. El inventario mínimo s se actualiza en cada instante y es distinto para cada sector. Cuando el inventario cae por debajo de s_t , el sistema lanza una orden para llevar el inventario a s_T , sin embargo, el tamaño máximo de una orden es S .

3.2 Resultados

3.2.1 s-S

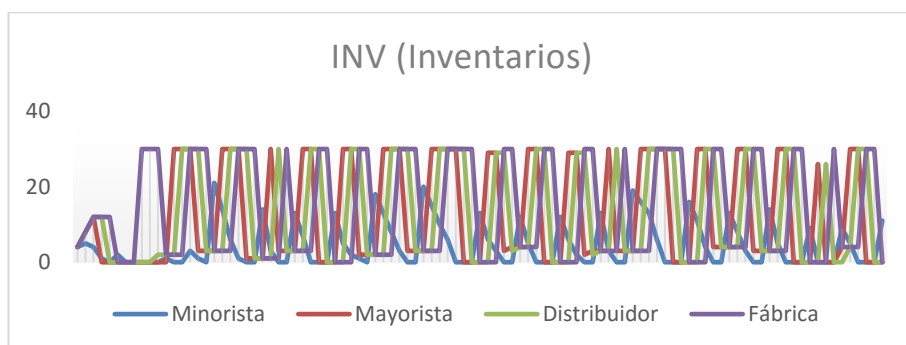


Figura 3-1: Política s-S. Inventarios.

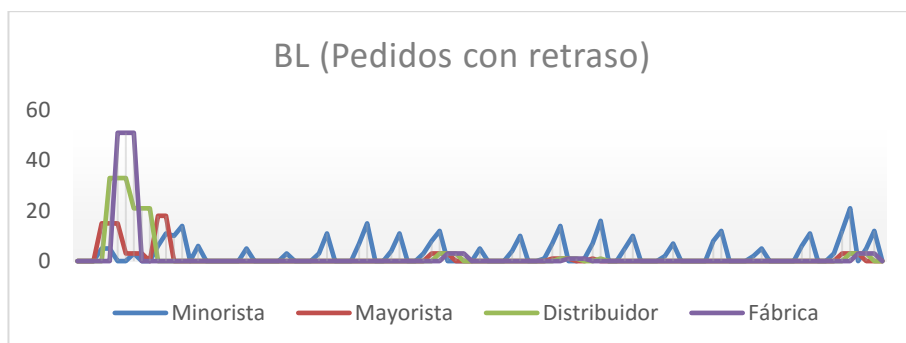


Figura 3-2: Política s-S. Roturas de stock.



Figura 3-3: Política s-S. Lanzamientos de órdenes.

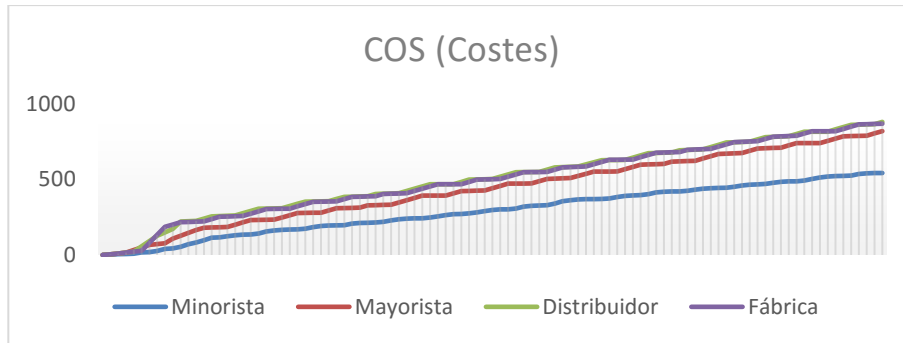


Figura 3-4: Política s-S. Costes.

Aplicando esta política a todo el sistema y utilizando los parámetros por defectos se observa que el sistema se mantiene estable en todo momento. El lanzamiento de órdenes es frecuente, se observa como la orden que se lanza desde el sector 'Minorista' va avanzando hasta llegar al sector 'Fábrica', pero gracias al inventario, que se mantiene en casi todo momento, el sector 'Minorista' puede proveer al cliente de sus pedidos, teniendo a lo largo de la simulación picos muy bajos de pedidos no servidos a excepción del inicio, ya que lleva varias semanas estabilizar el sistema. Debido a que los resultados obtenidos son aceptables se puede concluir que esta política es una de las más favorables que la simulación presenta.

3.2.2 s-Q

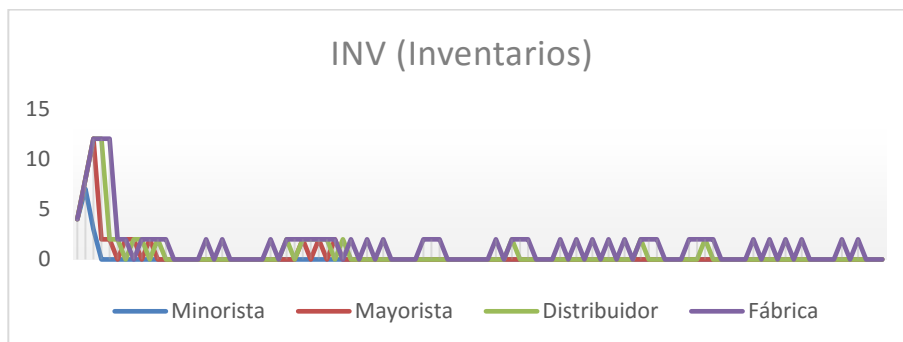


Figura 3-5: Política s-Q. Inventarios.

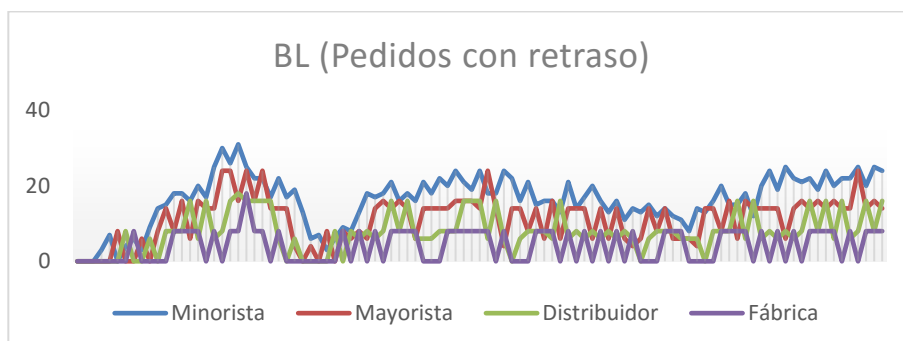


Figura 3-6: Política s-Q. Roturas de stock.

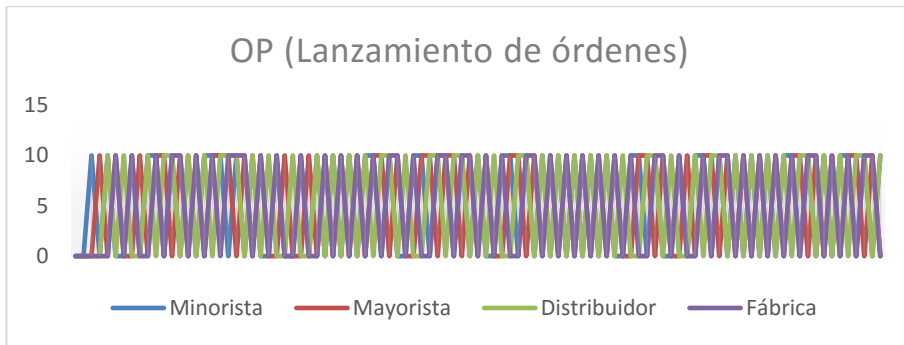


Figura 3-7: Política s-Q. Lanzamientos de órdenes.

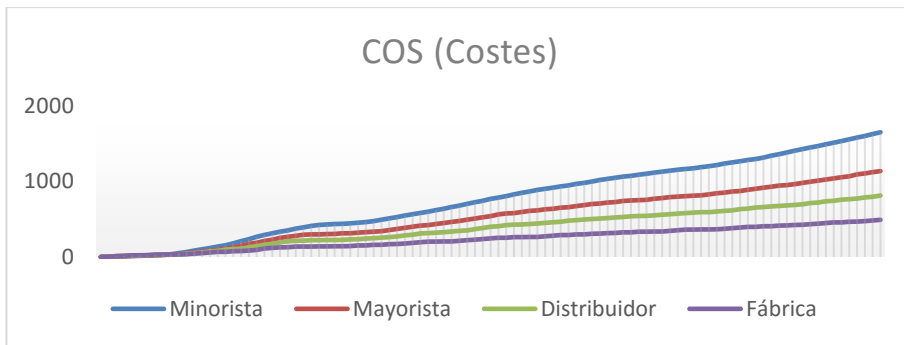


Figura 3-8: Política s-Q. Costes.

La política s-Q aplicada al sistema requiere un estudio del lote económico exhaustivo para que se adapte de manera adecuada al sistema. En este caso se han usado parámetros por defecto para todas las simulaciones, lo que provoca los malos resultados que se han obtenido. Como se observa, los lanzamientos de órdenes son muy frecuentes debido a que el lote económico establecido no es suficiente para alcanzar el nivel requerido por el sistema, lo que provoca las numerosas roturas de stock y los elevados costes en todos los sectores. Por tanto, esta política aplicada con los parámetros por defectos definidos no es muy conveniente para el sistema en cuestión. Para aplicarla se debe realizar una búsqueda exhaustiva de los parámetros adecuados.

3.2.3 Order to S

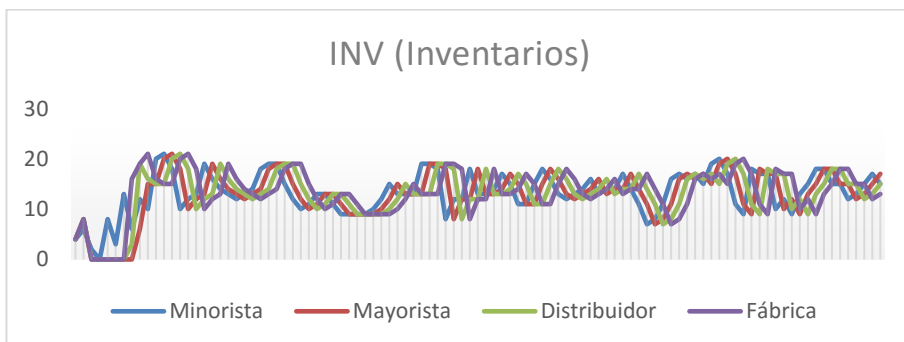


Figura 3-9: Política Order to S. Inventarios.



Figura 3-10: Política Order to S. Roturas de stock.

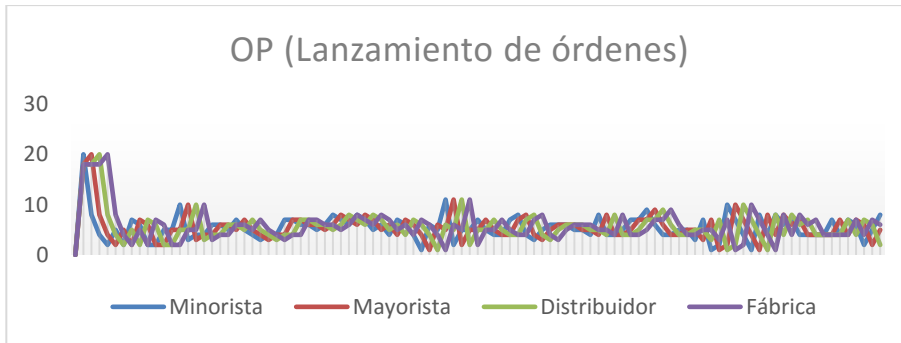


Figura 3-11: Política Order to S. Lanzamientos de órdenes.

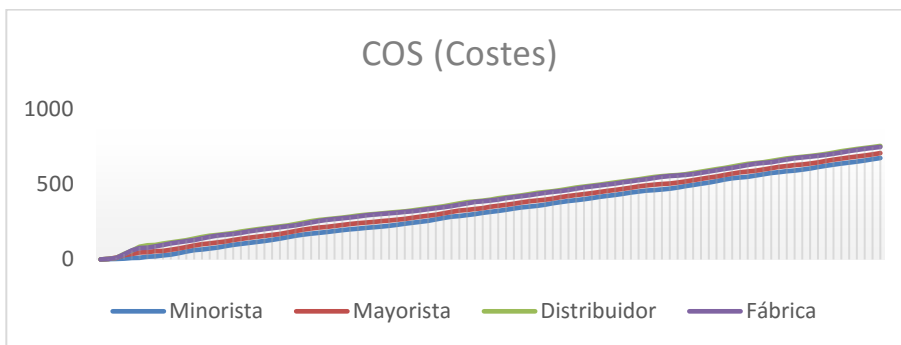


Figura 3-12: Política Order to S. Costes.

Para los parámetros establecidos por defectos, esta política presenta muy buenos resultados. Los niveles de stock se mantienen en todo momento sin provocar roturas, a excepción de las primeras semanas, tiempo que le lleva al sistema adaptarse. Esta política presenta los costes más bajos de todas las simulaciones que se presentan en este capítulo. Por tanto, para los parámetros definidos, ésta es una opción muy favorable para aplicar al sistema.

3.2.4 Order Q

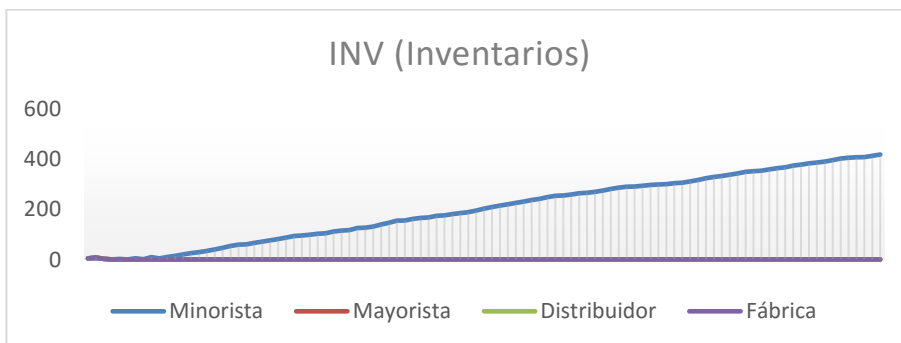


Figura 3-13: Política Order Q. Inventarios.

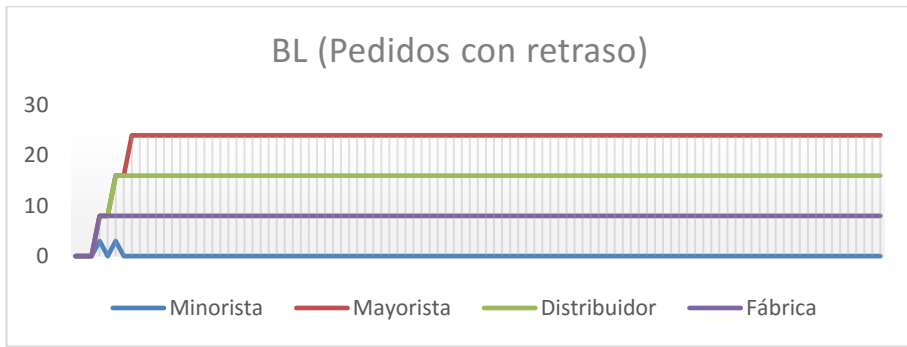


Figura 3-14: Política Order Q. Roturas de stock.

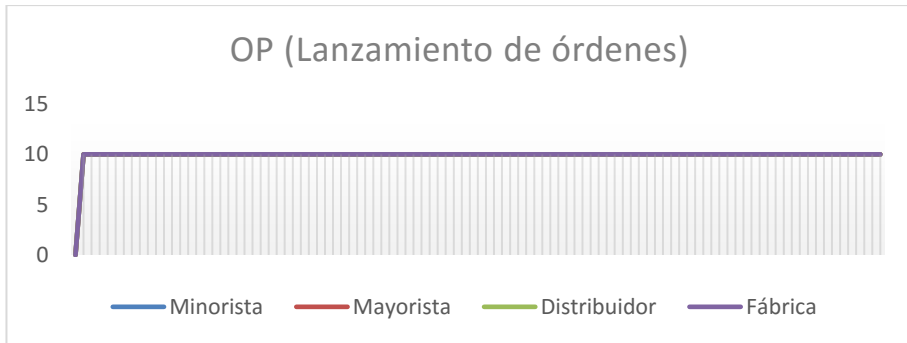


Figura 3-15: Política Order Q. Lanzamientos de órdenes.

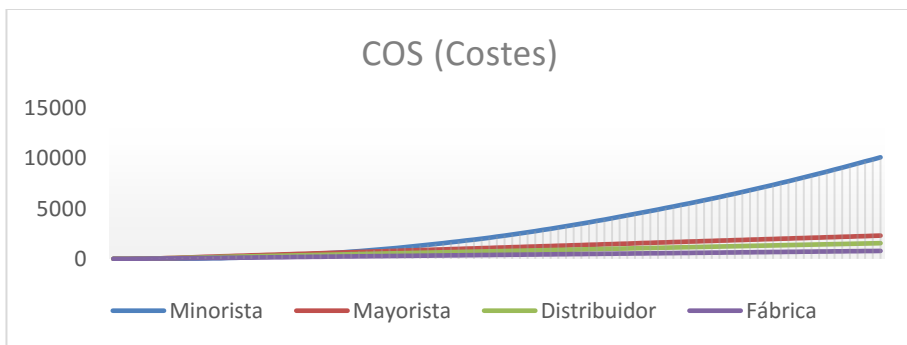


Figura 3-16: Política Order Q. Costes.

Esta política presenta resultados poco favorables para el sistema en cuestión ya que requiere una parametrización adaptada. Los niveles de inventario difieren en cantidades muy significativas pasando de estar en tres sectores sin stock, a tener en el sector ‘Minorista’ un exceso de inventario que crece a lo largo del tiempo. Las roturas de stock y el exceso de inventario provocan que el coste del sistema crezca exponencialmente a unas cifras totalmente excesivas.

3.2.5 Updated s

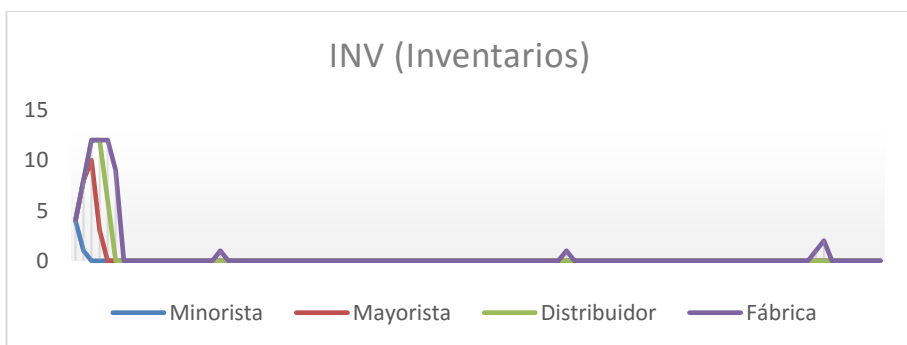


Figura 3-17: Política Updated s. Inventarios.

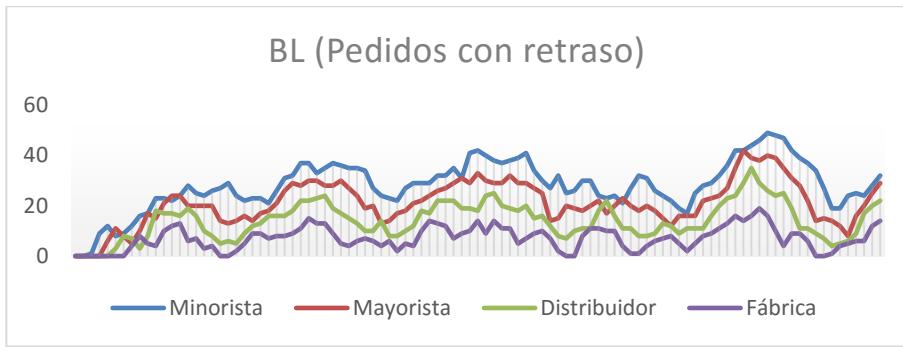


Figura 3-18: Política Updated s. Roturas de stock.

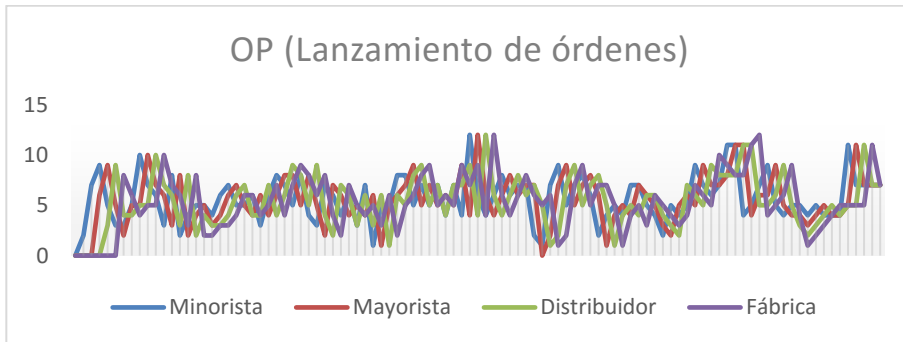


Figura 3-19: Política Updated s. Lanzamientos de órdenes.

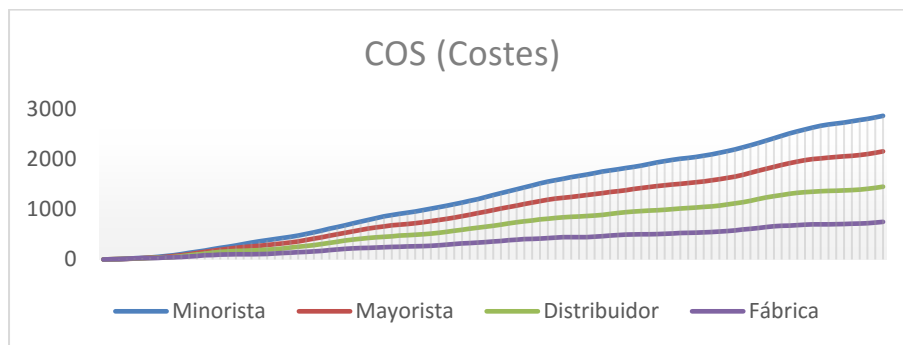


Figura 3-20: Política Updated s. Costes.

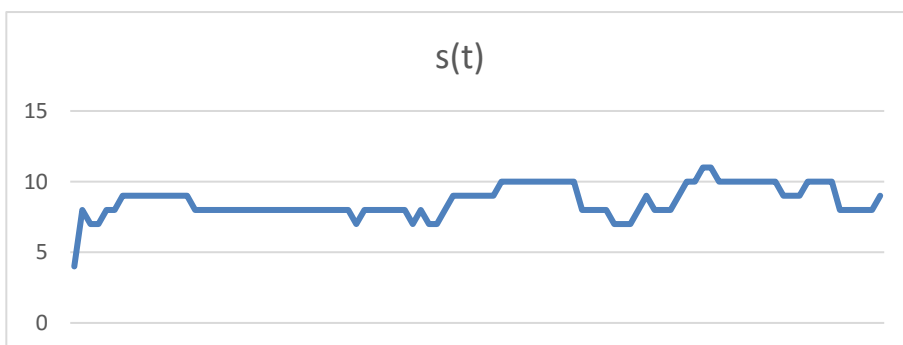


Figura 3-21: Política Updated s. Punto de lanzamiento en t.

Los resultados que presenta esta política son muy poco favorables. No existe stock en el inventario en ningún momento, lo que provoca que los costes sean muy elevados. Estos resultados no son coherentes para el funcionamiento de un sistema como el que se trata. Una vez más se ve la importante necesidad de una buena parametrización del sistema para cada política.

3.2.6 Echelon

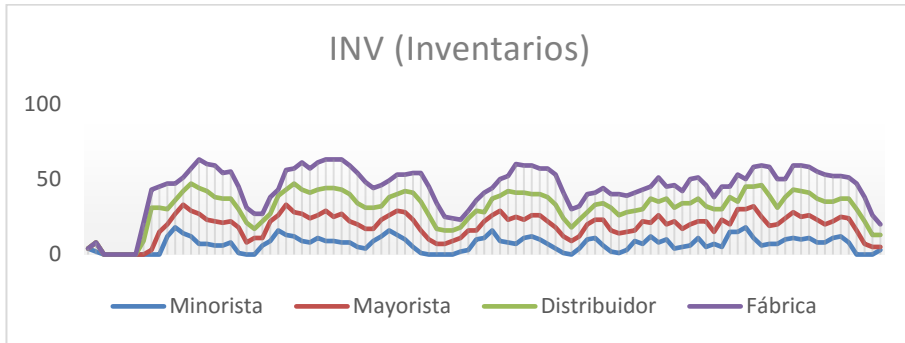


Figura 3-22: Política Echelon. Inventarios.

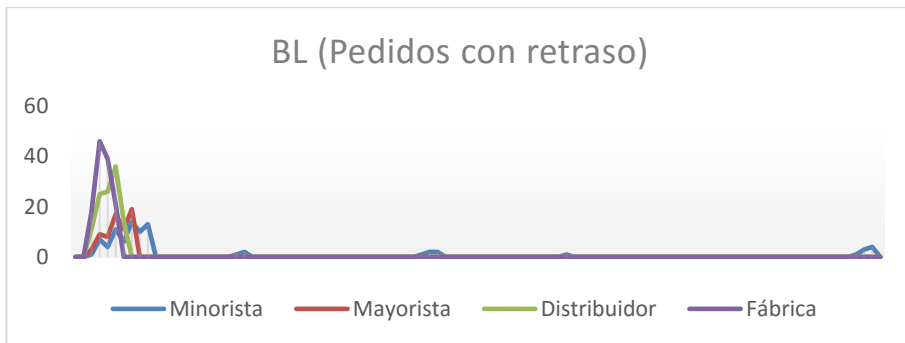


Figura 3-23: Política Echelon. Roturas de stock.

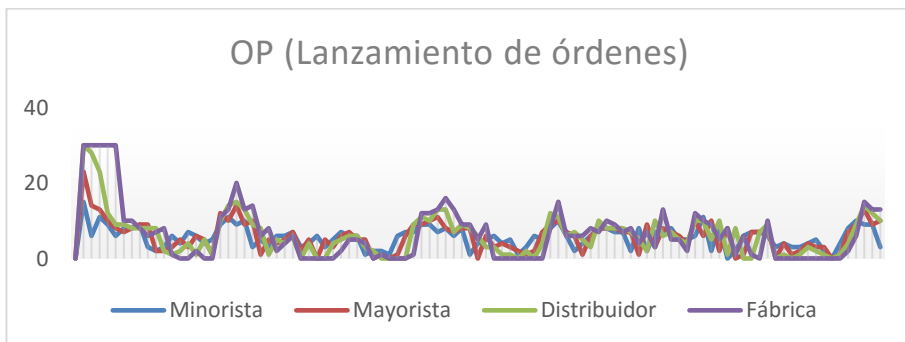


Figura 3-24: Política Echelon. Lanzamientos de órdenes.

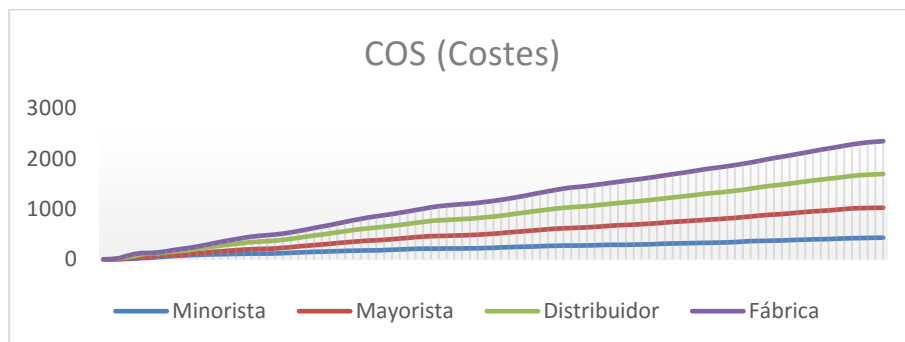


Figura 3-25: Política Echelon. Costes.

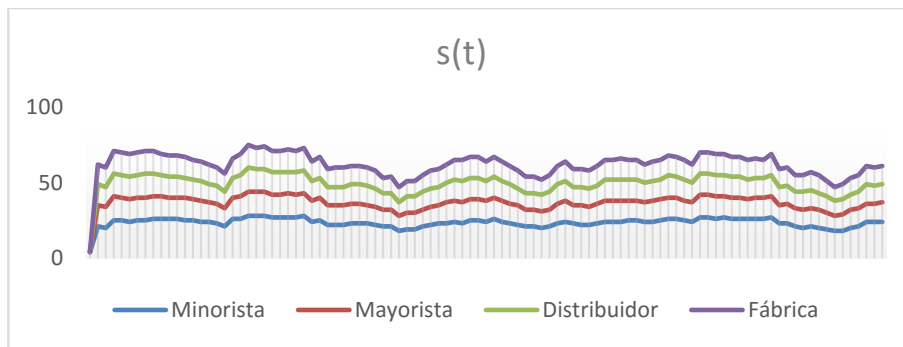


Figura 3-26: Política Echelon. Puntos de pedido en t.

Esta política presenta resultados algo más favorables que la anterior, ya que presenta niveles de stock y pocas roturas. Sin embargo, algunos costes son muy elevados. Es el caso del sector 'Fábrica', que, a diferencia del resto de sectores, presenta unos costes que alcanzan aproximadamente cuatro veces los costes del sector 'Minorista'. Aun así, dicha política puede ser muy favorable aplicándose a los eslabones establecidos aguas abajo, pudiéndose combinar con otras políticas.

3.3 Conclusiones

Es difícil sacar conclusiones de las simulaciones presentadas debido a que se han realizado todas con los mismos parámetros sin tener en cuenta las necesidades de cada una. Sin embargo, para el sistema en cuestión y las condiciones iniciales definidas hay algunas políticas que han producido resultados favorables y que conviene destacar. En primer lugar cabe destacar los resultados obtenidos por la política 'Echelon', que a pesar de que los costes de algunos sectores son elevados, ha presentado resultados muy favorables con respecto a los niveles de stock, lanzamiento de órdenes y costes. Dicha política actualiza en cada instante el punto de pedido, por lo que va adaptándose al sistema en cada momento. Esto requiere la definición de parámetros adicionales que no se han utilizado en el resto de simulaciones (a excepción de la simulación con la política Updated s). En segundo lugar hay que destacar los resultados obtenidos en la simulación con la política 's-S' ya que se ha conseguido mantener los niveles de stock a pesar de presentar algunos picos de roturas. Aun así, los costes son muy favorables y es una opción a tener en cuenta. Por último, los resultados que se han obtenido con la política 'Order to S' son los mejores que se han presentado. Presenta niveles de stock sin roturas y los costes más bajos de todas las simulaciones, que es al fin y al cabo por lo que se rigen las decisiones.

Una vez analizados los resultados, la conclusión más importante que se obtiene de estas simulaciones es la importancia que tiene la definición óptima de los parámetros para cada sistema y cada política. Como se ha observado, algunos resultados obtenidos no tienen coherencia con el funcionamiento que debería presentar una cadena de suministro y esto es debido a dicha parametrización. Cada sistema, cada sector y cada política requiere un estudio previo de los parámetros para el correcto funcionamiento y optimización de sus recursos.

4 IMPLEMENTACIÓN DEL SIMULADOR DE LA CADENA DE SUMINISTRO EN EXCEL

4.1 Estructura

La herramienta desarrollada en Excel contiene una estructura dividida en hojas. Cada una de las hojas implica una función específica en el funcionamiento de la herramienta. Esta estructura de hojas está formada por las siguientes:

- Game
- Normal
- Options
- Controller

La hoja “Game” desempeña la función de mostrar al usuario la interfaz de la herramienta. Desde esta hoja se controla la aplicación a través de botones y formularios que hacen que el usuario pueda introducir datos y generar los resultados. Estos resultados se muestran de manera instantánea en la interfaz.

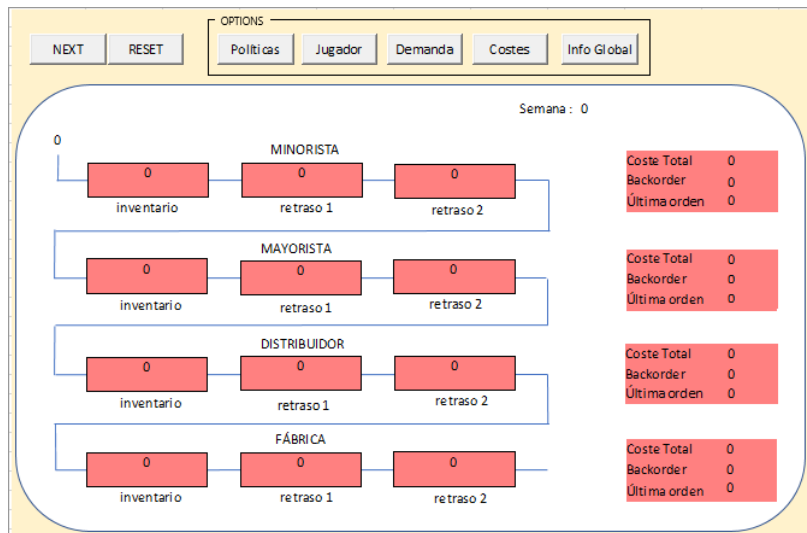


Figura 4-1: Hoja “Game”.

La hoja “Normal” es donde se desarrollan los cálculos y se generan los resultados para luego ser mostrados de manera más intuitiva al usuario en la hoja “Game”. Esta hoja está estructurada como tabla, donde cada columna es una variable que interviene en el desarrollo de la simulación y cada fila es el instante en el que se desarrolla. Los resultados se generan mediante macros que dependen de la configuración que el usuario haya establecido para la simulación.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
1	t	COR	WIO	DIO	FIO	ROP	WOP	DOP	FPR	RINV	WINV	DINV	FINV	RBL	WBL	DBL	FBL	RCOS	WCOS	DCOS	FCO
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	7	0	0	0	0	0	0	0	1	8	8	8	0	0	0	0	0	0,5	4	4
4	2	5	2	0	0	2	0	0	0	0	12	12	12	2	0	0	0	0	2,5	10	10
5	3	5	5	0	0	5	0	0	0	0	10	12	12	7	0	0	0	0	9,5	15	16
6	4	3	5	0	0	5	0	0	0	0	5	12	12	12	12	0	0	0	21,5	17,5	22
7	5	6	3	0	0	3	0	0	0	0	0	12	12	13	0	0	0	0	34,5	17,5	28
8	6	8	6	3	0	6	3	0	0	0	0	12	12	14	3	0	0	0	48,5	20,5	34
9	7	5	8	6	0	8	6	0	0	0	0	9	12	17	9	0	0	0	65,5	29,5	38,5
10	8	8	5	8	27	5	8	27	0	0	0	3	12	22	17	0	0	0	87,5	46,5	40
11	9	5	8	5	0	8	5	0	15	0	0	0	0	30	19	5	15	117,5	65,5	45	
12	10	7	20	23	0	20	23	0	15	0	0	0	0	35	21	10	15	152,5	86,5	55	
13	11	7	7	20	36	7	20	36	0	0	0	0	0	39	38	21	15	191,5	124,5	76	

Figura 4-2: Hoja “Normal”.

La hoja “Options” es donde se almacenan todas las opciones establecidas por el usuario. Por una parte, se encuentran las opciones de política, en las que se establece qué política es aplicada a cada eslabón de la

cadena, las variables que intervienen en cada una de esas políticas (s, S, Q, M) y si el eslabón estará controlado por el usuario (jugador). Por otro lado, se establecen las opciones para la demanda, que podrá ser determinista o normal aleatoria, y sus respectivas variables (ID, FWD, FD, IM, IS, FWN, FM, FS). También se almacenan las variables que determinan los costes tanto de almacenamiento como para los pedidos no servidos. Por último, la variable que determina si se debe mostrar la información de toda la cadena también está establecida en esta hoja.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1		RETAILER	WHOLESALE	DISTRIBUTO	FACTORY		POLICY (key)				DEMAND	2		DEMAND (key)	
2	POLICY	5	5	1	5		Player	0			ID	4		DETERMINIS	1
3	s	4	4	4	4		s-S	1			FWD	4		RANDOM NC	2
4	S	30	30	30	30		s-Q	2			FD	8			
5	Q	10	10	10	10		Order to S	3			IM	6			
6	M	1,96	1,96	1,96	1,96		Order Q	4			IS (ist)	2			
7							Updated s	5			FWN	4			
8							Echelon	6			FM	6			
9											FS	2			
10											L	3			
11											h	0,5			
12											b	1			
13															
14															
15															
16															

Figura 4-3: Hoja “Options”.

La hoja “Controller” sirve para guardar variables auxiliares que serán usadas por las distintas macros. Podrá establecerse en esta hoja cualquier variable que no se haya contemplado con anterioridad.

4.2 Macros VBA

La herramienta basa su funcionamiento en Macros de Excel escritas en lenguaje VBA (Visual Basic for Applications). El código está estructurado en cuatro módulos donde se han establecido las Macros.

- Módulo 1
 - Macro “start”

Esta Macro inicializa las variables para el instante $t=0$ y las escribe en la hoja “Normal”. La Macro identifica el tipo de demanda y la política de inventario para desarrollar los cálculos. Además, escribe dichos resultados en la interfaz de usuario de la hoja “Game”.
 - Macro “demand”

Esta Macro desempeña la función de identificar en cada instante t el tipo de demanda establecido y generar la demanda.
 - Macro “time”

Este código se encarga de identificar el instante t en el que se encuentra la simulación.
 - Función “xNORMAL”

Función que devuelve como respuesta un número aleatorio basado en la distribución Normal.
 - Función “LN”

Función que devuelve el logaritmo neperiano de un número.
 - Macro “reset”

Macro que reestablece la hoja “Normal” borrando todos los resultados anteriores y pone a 0 todos los resultados que se muestran en la interfaz de usuario en la hoja “Game”.
- Módulo 2
 - Macro “play”

Es la Macro encargada de generar los resultados para cada instante t . Identifica la demanda y las políticas establecidas para generar los resultados que quedarán escritos en la hoja “Normal”.
 - Función “min2”

Función que devuelve el mínimo valor de dos números.

- Función “m_average”
Función que devuelve la media móvil de la demanda de un eslabón en los diez instantes anteriores al actual.
- Función “desv”
Función que devuelve la desviación típica de la demanda de un eslabón en los diez instantes anteriores al actual.
- Módulo 3
 - Macro “order”
Esta Macro se encarga de generar la orden saliente para cada eslabón. Primero identifica la política de inventario establecida para cada eslabón y genera la orden según las condiciones de dicha política. Si un eslabón es controlado por el usuario (jugador), la Macro pide al usuario que introduzca la orden manualmente. Una vez establecidas las órdenes, se escriben en la interfaz de usuario todos los resultados para ser mostrado de manera intuitiva.
- Módulo 4
 - Macro “policy”
Macro asociada al formulario en el que se establecen las políticas de cada eslabón. Esta Macro determina qué política está en uso junto con sus características para mostrar a continuación el formulario para la elección de las políticas al usuario.
 - Macro “player”
Macro asociada al formulario en el que se establece el eslabón que será el jugador. Primero determina en qué eslabón se encuentra el jugador, si es que hay alguno establecido, para luego mostrar el formulario donde éste será elegido.
 - Macro “demandtype”
Macro asociada al formulario que establece el tipo de demanda junto con sus características. Primero lee el valor de las variables que forman parte de la demanda y el tipo de demanda para luego mostrar el formulario en el que se establecerá la demanda y el nuevo valor de sus variables.
 - Macro “globalinformation”
Macro asociada a la opción Global Information. Esta Macro se encarga de determinar si el usuario quiere que se muestre la información de toda la cadena de suministro o sólo la información del eslabón que se está controlando.
 - Macro “costs”
Macro que sirve para cambiar los parámetros de costes. Primero determina los parámetros actuales para mostrarlos en el formulario que permite al usuario el cambio de estos.

4.3 Formularios

Para facilitar el uso de la herramienta al usuario se han usado formularios que muestran la información y recogen los valores introducidos por el usuario de manera más intuitiva.

- UserForm1 (Introducir órdenes)

Figura 4-4: Formulario “UserForm1”.

Este formulario desempeña la función de mostrar al usuario la orden a la que se enfrenta, los pedidos retrasados y la cantidad suministrada en el instante t en el eslabón seleccionado como jugador. Además, sirve para introducir la cantidad a pedir para el siguiente instante.

- UserForm2 (Seleccionar políticas)

Figura 4-5: Formulario “UserForm2”.

Este formulario desempeña la función de establecer las políticas de inventario para cada uno de los eslabones, así como las características de cada política (s, S, Q, M).

- UserForm3 (Seleccionar jugador)

Figura 4-6: Formulario “UserForm3”.

En este formulario podemos seleccionar qué eslabón servirá como jugador. Si la elección es “None”, ningún eslabón servirá como jugador y la simulación será automática.

- UserForm4 (Demanda)

Figura 4-7: Formulario “UserForm4”.

Este formulario sirve para seleccionar el tipo de demanda exógena que llegará al eslabón “Minorista”. Puede elegirse demanda determinista o normal aleatoria, así como sus características. Para la demanda determinista hay que establecer la demanda inicial, hasta qué semana va a llegar esa demanda y qué demanda habrá a partir de entonces. Para la demanda normal aleatoria se establecen la media y desviación inicial, hasta qué semana se mantienen las condiciones iniciales y la media y desviación final.

- UserForm6 (Costes)

Figura 4-8: Formulario “UserForm6”.

Este formulario sirve para establecer los parámetros de costes que se aplicarán a lo largo de la simulación. Por un lado, el coste de mantenimiento, que se aplica por cada unidad que permanece en el inventario y, por otro lado, el coste de rotura de inventario, que se aplica por cada unidad no servida.

4.4 Interfaz de usuario

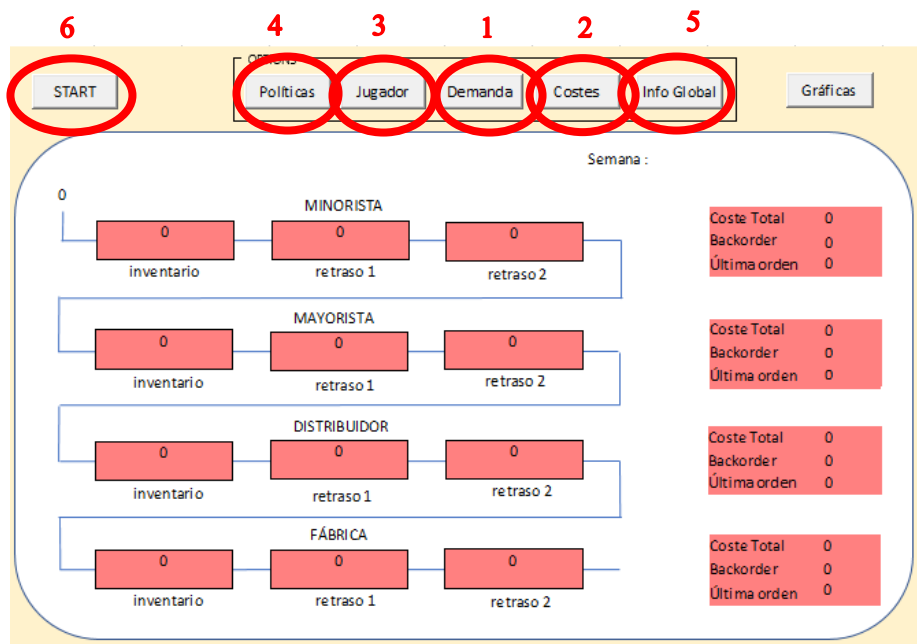


Figura 4-9: Interfaz inicial.

- 1: El botón “Demanda” llama a la Macro “demandtype” para abrir el formulario en el que se establece la demanda.
- 2: El botón “Costes” llama a la Macro “costs” para abrir el formulario en el que se establecen los parámetros de costes.
- 3: El botón “Jugador” llama a la Macro “player” para abrir el formulario en el que se establece el eslabón que será controlado por el usuario. Cuando un eslabón es seleccionado, la interfaz cambia a la siguiente manera:

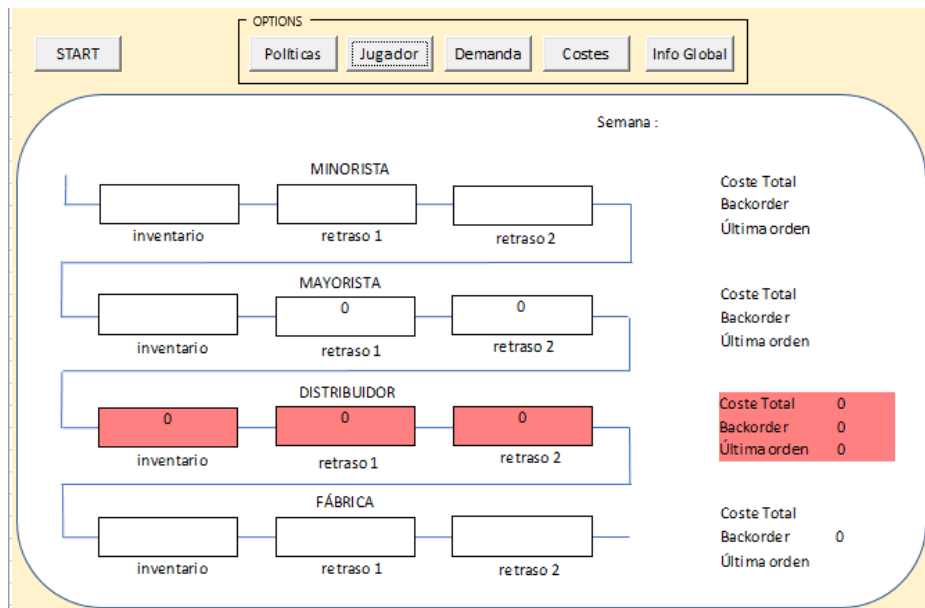


Figura 4-10: Interfaz con jugador.

4: El botón “Políticas” llama a la Macro “policy” para abrir el formulario en el que se establecen las políticas del resto de eslabones.

5: El botón “Info Global” llama a la Macro “globalinformation” para mostrar o dejar de mostrar la información del resto de eslabones de la cadena de suministro. Como se puede observar en la Figura 4-10: Interfaz con jugador., la información de los eslabones que no son controlados por el usuario no se muestra. Seleccionando esta opción, la interfaz quedaría:

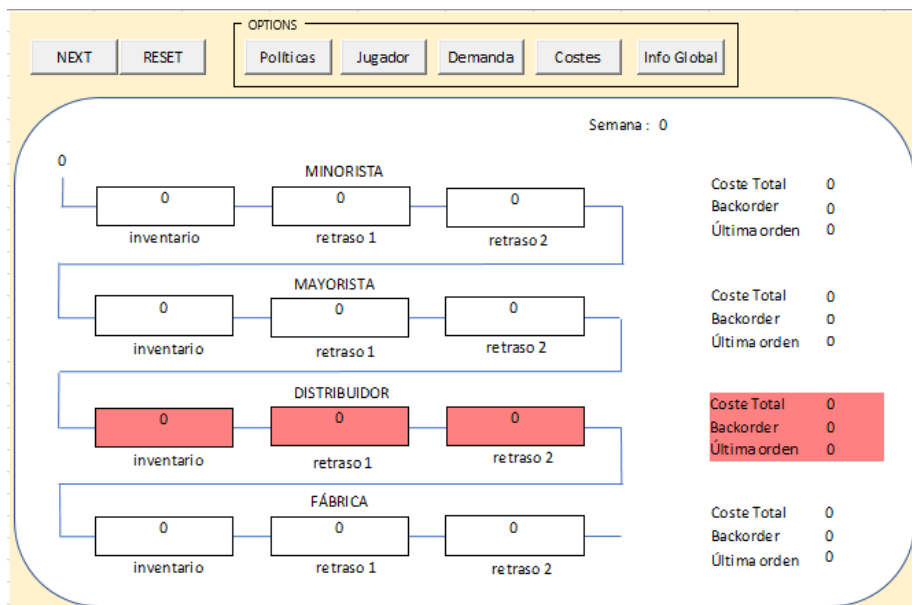


Figura 4-11: Interfaz con jugador y la información de todos los sectores.

Una vez establecidas todas las opciones, la herramienta está preparada para comenzar la simulación, aunque durante la simulación las opciones pueden ser cambiadas tantas veces como desee el usuario.

6: El botón “START” llama a la Macro “start” para dar comienzo a la simulación. Una vez que este botón es pulsado, éste desaparece y aparecen los siguientes:

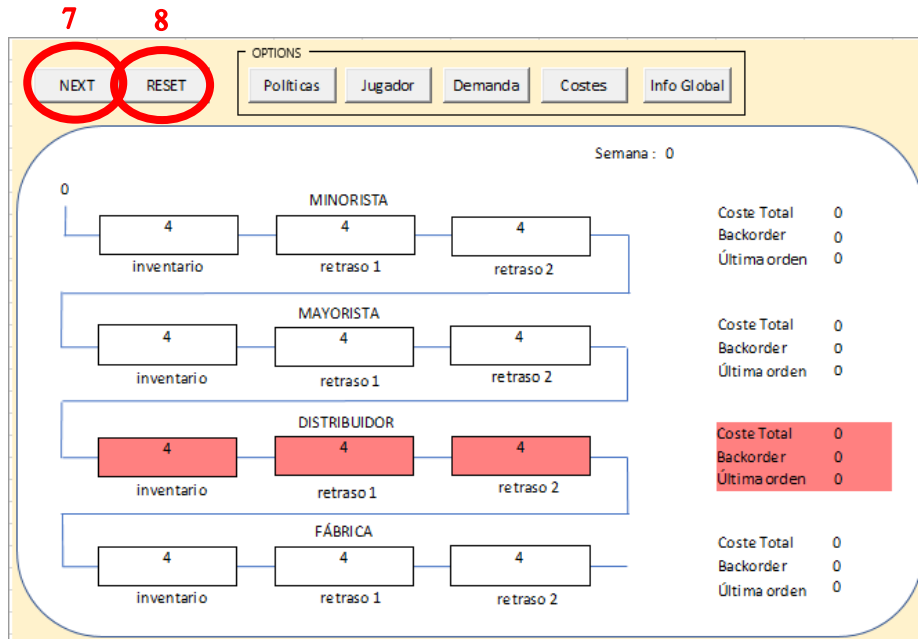


Figura 4-12: Interffaz con simulación iniciada.

7: El botón “NEXT” llama a las Macros “time”, “demand”, “play” y “order”, en este orden. Se encargan de simular el proceso en el instante t y actualizar los datos que son mostrados al usuario. Si un eslabón está seleccionado como jugador, se abrirá el formulario para introducir la orden.

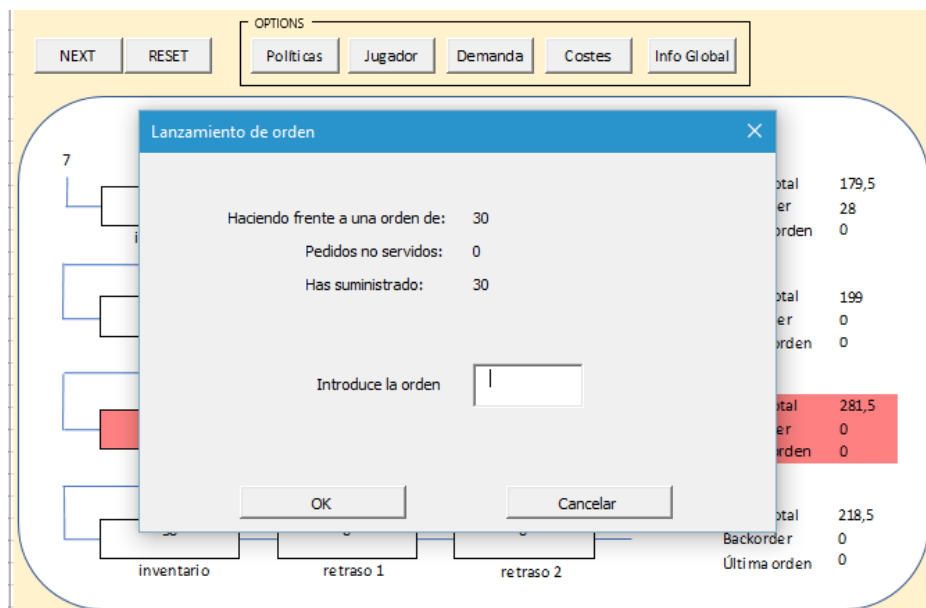


Figura 4-13: Interfaz con simulación iniciada y formulario de introducción de orden.

8: El botón “RESET” llama a la Macro “reset” para reestablecer todos los valores de la simulación, aunque las opciones establecidas por el jugador se mantienen.

5 GENERACIÓN DE GRÁFICOS

5.1 Estructura

La herramienta se estructura en hojas, descritas con anterioridad. Para esta ocasión se ha añadido una hoja nueva que tendrá la función de almacenar los gráficos que se desarrollarán cuando el usuario lo requiera. La nueva estructura queda como sigue:

- Game
- Normal
- Options
- Controller
- Chart

“Chart” es la hoja en la que se escribirán los gráficos. Es una Hoja en blanco. La creación de los gráficos será automática, no será percibida por el usuario y una vez que los gráficos sean mostrados, serán eliminados automáticamente de la hoja.

5.2 Formularios

Se ha añadido un formulario para facilitar la interacción entre el usuario y la herramienta en la generación de las gráficas:

- UserForm5 (Generador de gráficas)

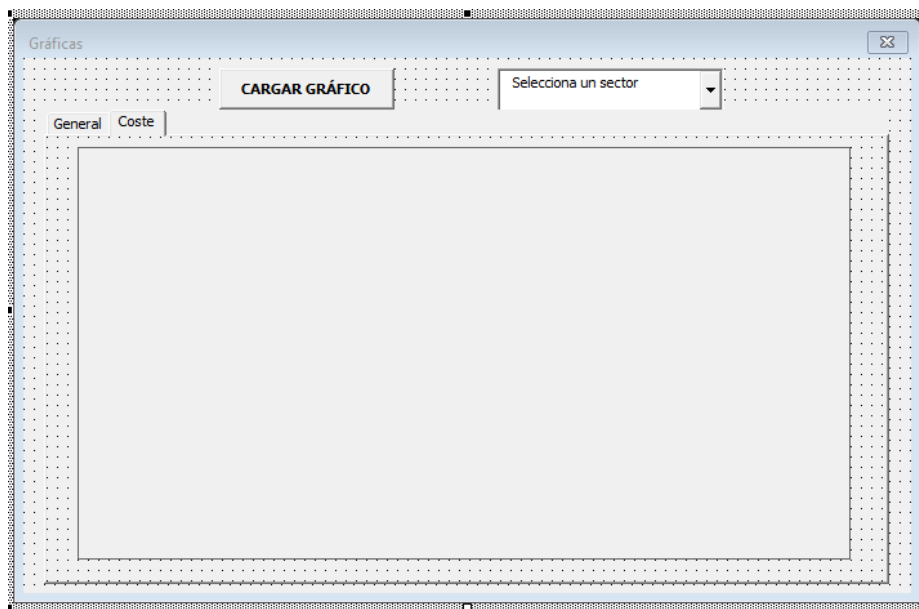


Figura 5-1: Formulario “UserForm5”.

Este formulario está compuesto por un botón que genera la gráfica, una lista para seleccionar el sector del que se generará la gráfica, una pestaña donde se reproduce el gráfico con los datos de inventario, órdenes y productos no servidos y otra pestaña donde se reproduce el coste acumulado del sector. También aparece en la lista la opción “Sistema”, que genera el gráfico de las órdenes de toda la cadena y el gráfico del coste total acumulado.

Una vez que se elige la opción en la lista, se pulsa el botón “CARGAR GRÁFICO” para generar el

gráfico. La función que desempeña el código programado en este botón es la siguiente:

En primer lugar, identifica la opción elegida en la lista y genera las gráficas con los datos de dicha opción. Estas gráficas se establecen en la hoja “Chart”. Una vez que las gráficas están generadas, éstas se guardan como archivo ‘.gif’ en la misma carpeta en la que se encuentra el archivo Excel de la herramienta para luego ser cargadas por el formulario y mostradas al usuario.

Se puede cambiar el sector a mostrar tantas veces como se requiera. Para ello, sólo hay que cambiar la opción en la lista y volver a pulsar el botón “CARGAR GRÁFICO”.

5.3 Interfaz

Aparece un nuevo botón en la interfaz de usuario, el botón “Gráficas”. Este botón desempeña la función de mostrar al usuario el formulario “UserForm5” para generar las gráficas. El código de dicho botón se incluye en la hoja “Game”, hoja donde se desarrolla el entorno de la herramienta.

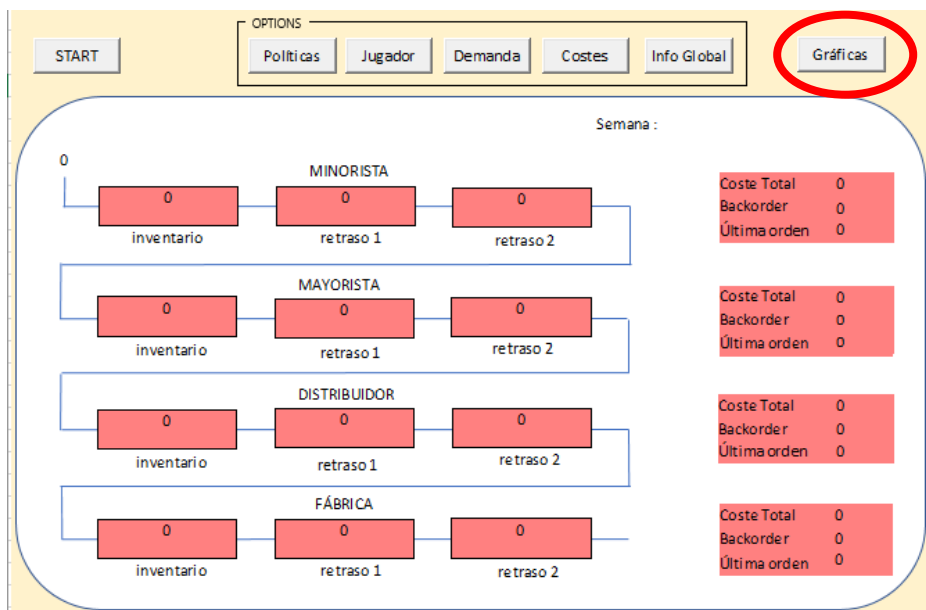


Figura 5-2: Interfaz de usuario con botón para gráficas.

Cuando se pulsa el botón “Gráficas”, se muestra el formulario de la siguiente manera:

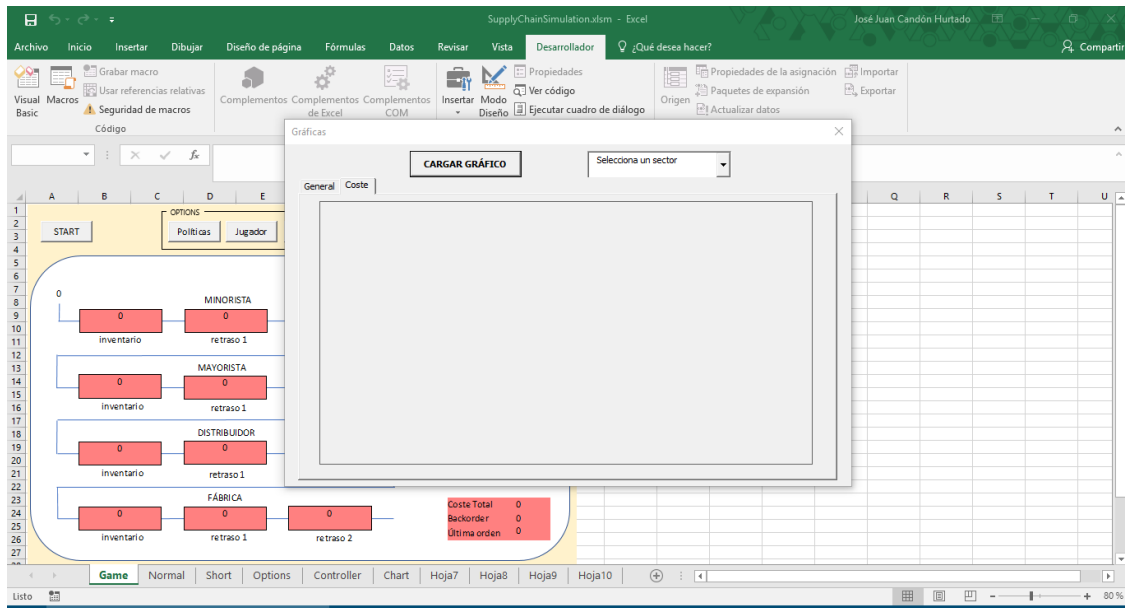


Figura 5-3: Formulario para gráficas en la interfaz de usuario.

A continuación, se selecciona el sector, por ejemplo “DISTRIBUIDOR”:

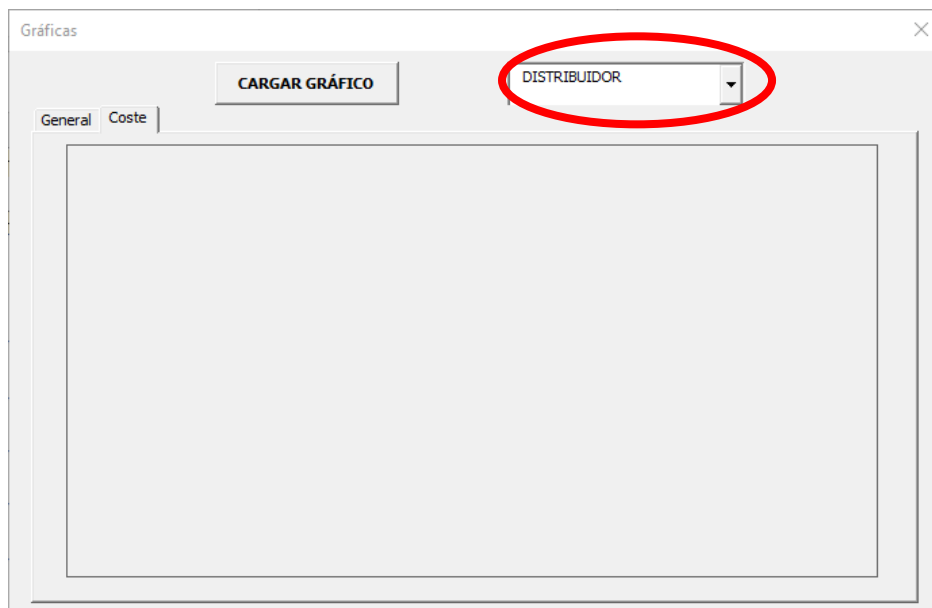


Figura 5-4: Selección de la opción dentro del formulario para gráficas.

Cuando se pulsa el botón “CARGAR GRÁFICO”, el formulario queda como sigue:

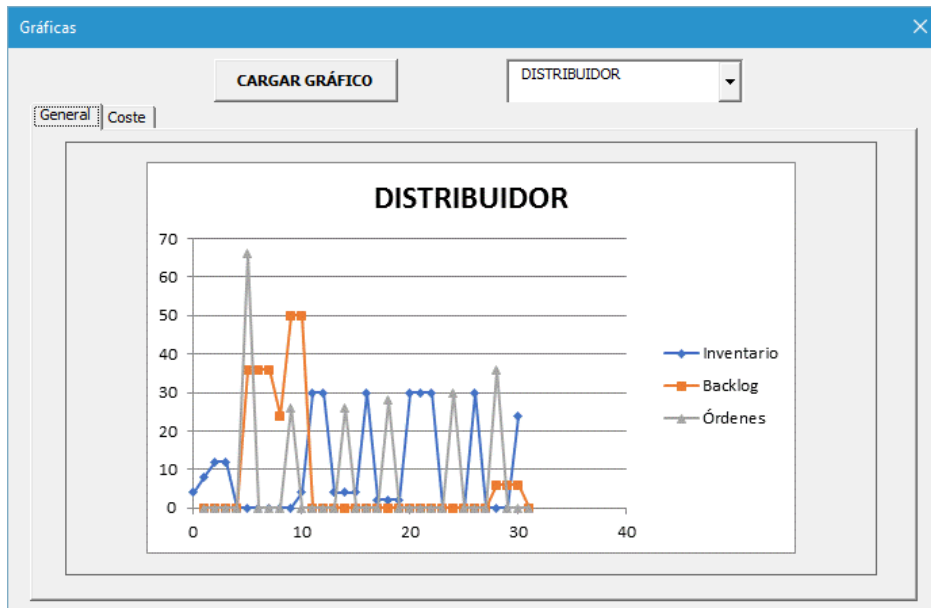


Figura 5-5: Gráfico del sector con los datos generales.

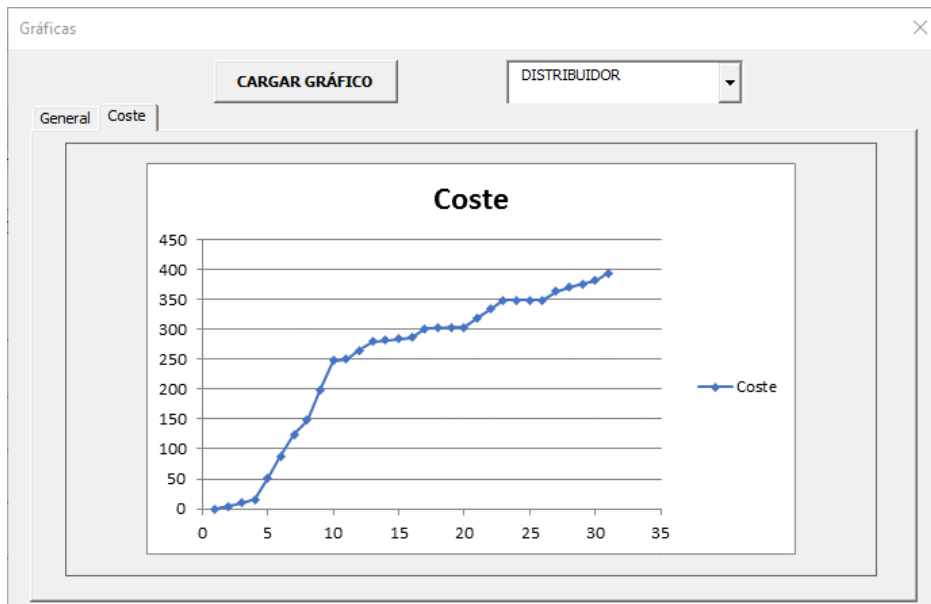


Figura 5-6: Gráfico de costes acumulados del sector seleccionado.

6 SIMULACIÓN DE GESTIÓN TRADICIONAL FRENTE A GESTIÓN INTEGRADA

6.1 Introducción

Para llevar a cabo la comparación entre gestión tradicional frente a gestión integrada se han planteado diferentes escenarios para la simulación. Para cada uno de los escenarios se ha realizado una simulación con gestión tradicional y otra con gestión integrada.

Para realizar las simulaciones, el eslabón controlado por el usuario ha sido 'Mayorista'. Para las simulaciones de gestión tradicional se ha mantenido toda la información de la cadena oculta, de manera que sólo se conoce la información del eslabón seleccionado por el usuario. Para las simulaciones de gestión integrada se ha tenido toda la información de la cadena accesible en todo momento, de manera que se puede tener en cuenta el estado de cada uno de los eslabones de la cadena.

De esta forma, la estrategia seguida a la hora de hacer los pedidos es la siguiente:

- Para gestión tradicional: realizar pedidos teniendo en cuenta únicamente la información del sector controlado en el instante en el que se pide. Esto es, sabiendo únicamente el inventario del sector en cuestión y los pedidos retrasados, lanzar órdenes en función de los pedidos que entran en el sector.
- Para gestión integrada: se ha tenido en cuenta la información de los sectores previo y posterior, así como la demanda externa y los pedidos en proceso de camino hacia nuestro sector.

La demanda exógena ha sido establecida de manera aleatoria para cada uno de los escenarios.

Se ha realizado la simulación de cada escenario para 50 semanas. De cada una de las simulaciones se han obtenido diferentes resultados que han quedado representados en forma de gráficos. Los gráficos obtenidos corresponden a las variables de 'Órdenes', 'Inventarios', 'Pedidos retrasados' y 'Costes' del eslabón seleccionado.

Estas simulaciones permitirán estudiar las situaciones que se generan en cada uno de los escenarios en función del tipo de gestión empleado. Se tratará de demostrar como la gestión integrada genera mejores resultados que la gestión tradicional.

6.2 Resultados

6.2.1 Escenario 1

Parámetros:

	<i>MINORISTA</i>	<i>MAYORISTA</i>	<i>DISTRIBUIDOR</i>	<i>FÁBRICA</i>
<i>Política</i>	<i>s-S</i>	<i>Usuario</i>	<i>s-S</i>	<i>s-S</i>
<i>s</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>4</i>
<i>S</i>	<i>30</i>	<i>30</i>	<i>30</i>	<i>30</i>

Tabla 6-1: Parámetros escenario 1.

Demanda normal aleatoria:

- Media: 6
- Desviación: 2

Costes

- Mantenimiento: 0.5
- Rotura: 1

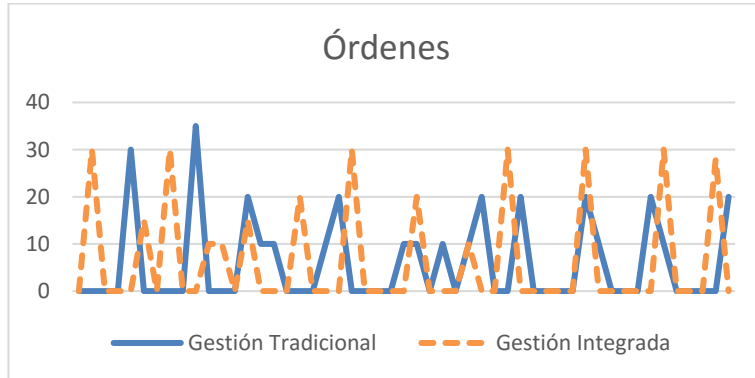


Figura 6-1: Comparación órdenes en escenario 1.

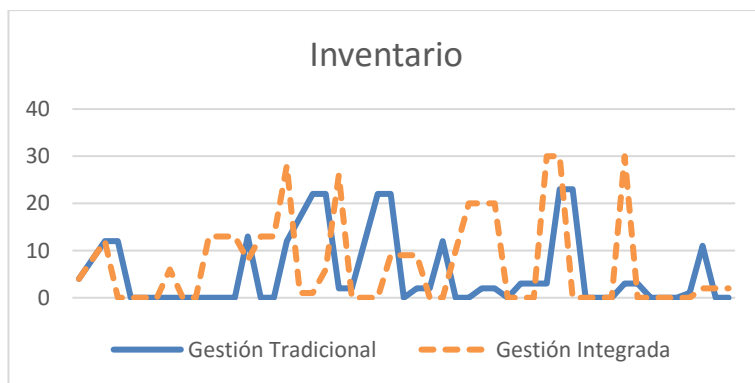


Figura 6-2: Comparación inventarios en escenario 1.



Figura 6-3: Comparación pedidos con retraso en escenario 1.

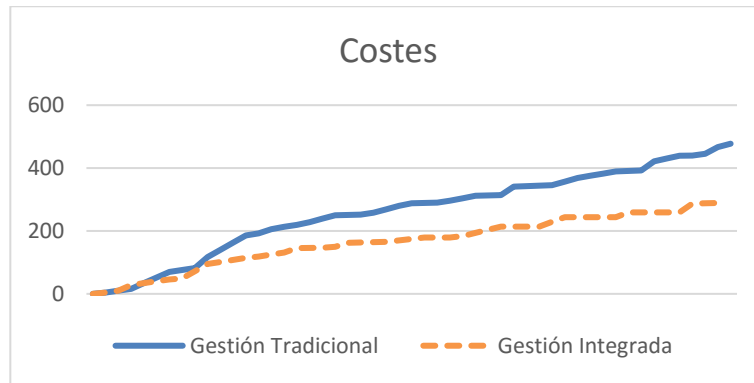


Figura 6-4: Comparación costes en escenario 1.

Se observa como el lanzamiento de órdenes en la gestión integrada empieza antes, ya que se ha previsto la llegada de la demanda. Gracias a esta previsión, el inventario se actualiza con antelación para evitar que se produzca rotura de stock, que como se observa, en la gestión integrada es menor que en la gestión tradicional, lo que provoca que el coste de la gestión integrada sea menor.

6.2.2 Escenario 2

Parámetros:

	<i>MINORISTA</i>	<i>MAYORISTA</i>	<i>DISTRIBUIDOR</i>	<i>FÁBRICA</i>
<i>Política</i>	<i>s-Q</i>	<i>Usuario</i>	<i>Order to S</i>	<i>Order Q</i>
<i>s</i>	4	4	4	4
<i>S</i>	30	30	30	30
<i>Q</i>	10	10	10	10

Tabla 6-2: Parámetros escenario 2.

Demanda normal aleatoria:

- Media: 6
- Desviación: 2

Costes

- Mantenimiento: 0.5
- Rotura: 1

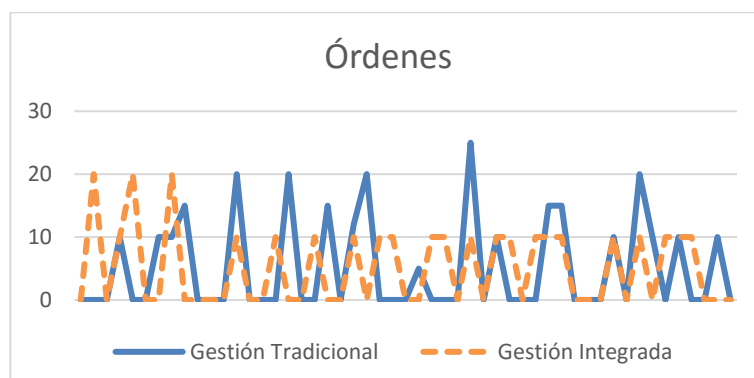


Figura 6-5: Comparación órdenes en escenario 2.

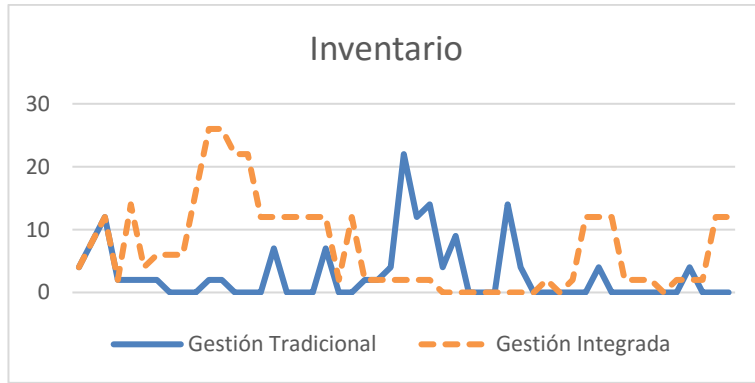


Figura 6-6: Comparación inventarios en escenario 2.

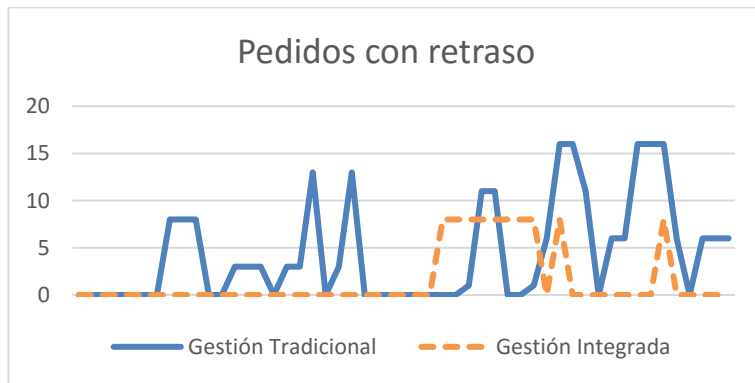


Figura 6-7: Comparación pedidos con retraso en escenario 2.

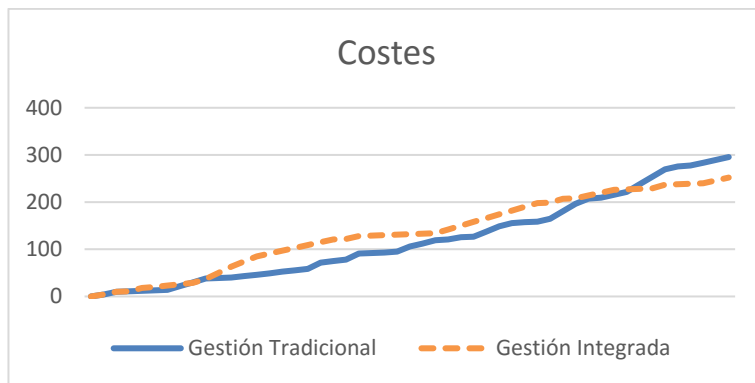


Figura 6-8: Comparación costes en escenario 2.

Al igual que en el escenario anterior, el lanzamiento de órdenes empieza antes debido a la previsión. El inventario de la gestión integrada se ha sobredimensionado al principio para evitar la rotura de stock que sufre las primeras semanas la gestión tradicional. Aun así, no se ha podido evitar que haya rotura en la gestión integrada, lo que eleva el coste. Respecto a los costes, se observa que, durante un largo periodo de semanas, el coste de la gestión integrada es igual o mayor al de la gestión tradicional, pero se ve como al final el coste de la gestión tradicional va creciendo a mayor ritmo que el de la gestión integrada, lo que indica que a largo plazo el coste de la gestión integrada será mucho menor.

6.2.3 Escenario 3

Parámetros:

	<i>MINORISTA</i>	<i>MAYORISTA</i>	<i>DISTRIBUIDOR</i>	<i>FÁBRICA</i>
<i>Política</i>	<i>Updated s</i>	<i>Usuario</i>	<i>Echelon</i>	<i>Updated s</i>
<i>S</i>	30	30	30	30
<i>M</i>	1,96	1,96	1,96	1,96

Tabla 6-3: Parámetros escenario 3.

Demanda normal aleatoria:

- Media: 6
- Desviación: 2

Costes

- Mantenimiento: 0.5
- Rotura: 1

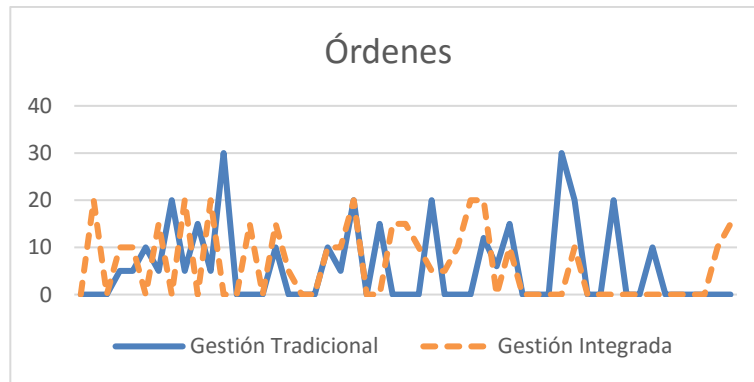


Figura 6-9: Comparación órdenes en escenario 3.

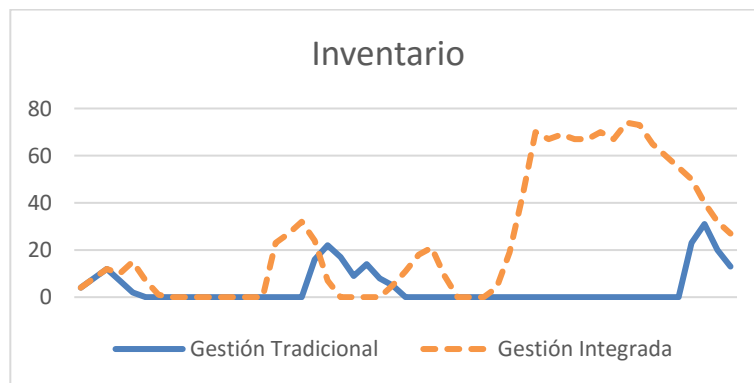


Figura 6-10: Comparación inventarios en escenario 3.

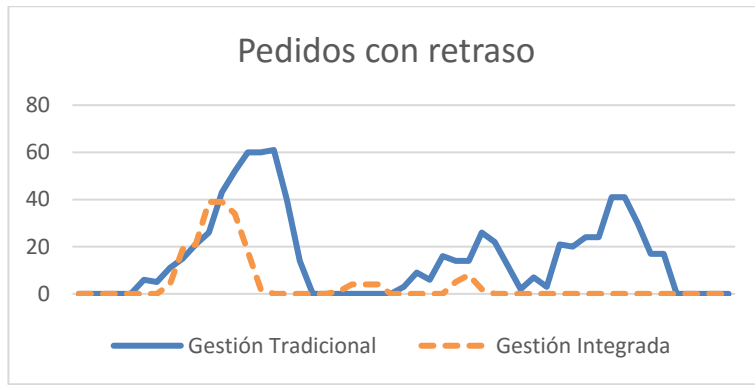


Figura 6-11: Comparación pedidos con retraso en escenario 3.

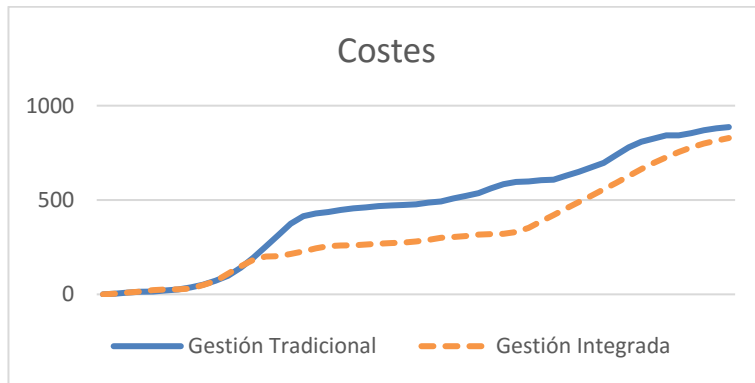


Figura 6-12: Comparación costes en escenario 3.

Al igual que en los casos anteriores, el lanzamiento de órdenes comienza antes en la gestión integrada ya que se está teniendo la información en todo momento de toda la cadena. Con respecto a los inventarios, en ambas gestiones se encuentran roturas de stock como consecuencia de las políticas empleadas y el punto de pedido tan bajo utilizado. Aun así, se observa una mejoría en la gestión integrada a lo largo del tiempo. El coste de la gestión tradicional se asimila al de la gestión integrada, pero los costes de la primera están generados mayormente por la rotura de stock y los costes de la segunda están generados además por los costes de mantenimiento de stock.

6.2.4 Escenario 4

Parámetros:

	<i>MINORISTA</i>	<i>MAYORISTA</i>	<i>DISTRIBUIDOR</i>	<i>FÁBRICA</i>
<i>Política</i>	<i>s-S</i>	<i>Usuario</i>	<i>s-S</i>	<i>s-S</i>
<i>s</i>	4	4	4	4
<i>S</i>	30	30	30	30

Tabla 6-4: Parámetros escenario 4.

Demanda normal aleatoria:

- Media inicial (hasta la semana 4): 6
- Desviación inicial (hasta la semana 4): 2
- Media final: 12

- Desviación final: 3

Costes

- Mantenimiento: 0.5
- Rotura: 1

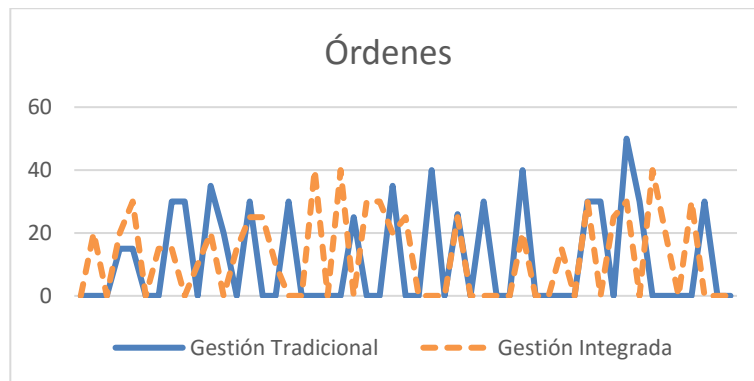


Figura 6-13: Comparación órdenes en escenario 4.

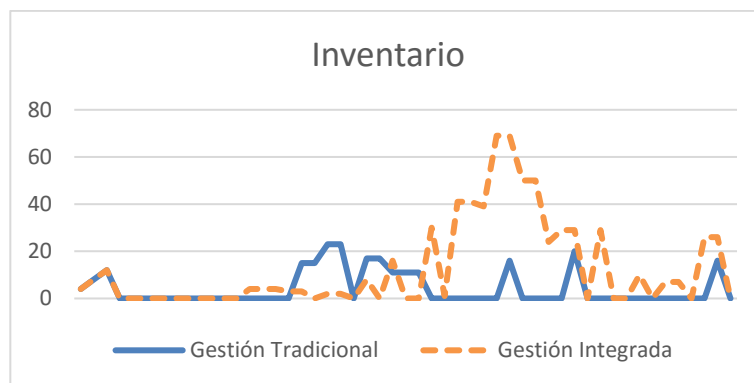


Figura 6-14: Comparación inventarios en escenario 4.



Figura 6-15: Comparación pedidos con retraso en escenario 4.

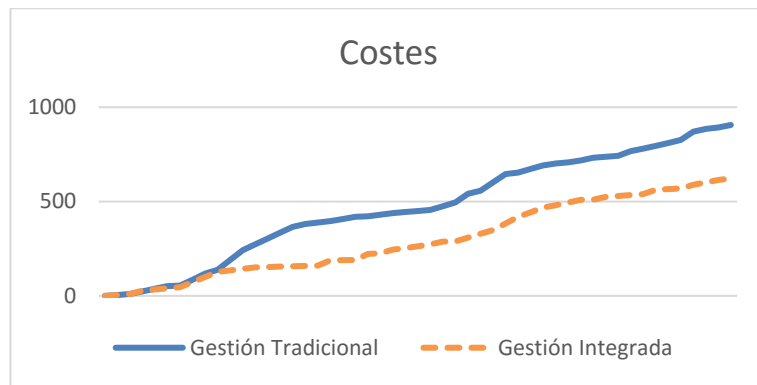


Figura 6-16: Comparación costes en escenario 4.

En este caso las órdenes presentan la misma situación que anteriormente. En el caso de los inventarios se observa que en ambas gestiones hay picos de rotura y picos elevados de stock. Esto es debido a que no se han ajustado correctamente los parámetros de las políticas (puntos de pedidos) para hacer frente a la demanda establecida (mayor que en los anteriores casos). El coste generado en ambas gestiones es elevado debido a la frecuente rotura de stock.

6.2.5 Escenario 5

Parámetros:

	<i>MINORISTA</i>	<i>MAYORISTA</i>	<i>DISTRIBUIDOR</i>	<i>FÁBRICA</i>
<i>Política</i>	<i>s-S</i>	<i>Usuario</i>	<i>s-S</i>	<i>s-S</i>
<i>s</i>	10	4	10	10
<i>S</i>	50	30	50	50

Tabla 6-5: Parámetros escenario 5

Demanda normal aleatoria:

- Media inicial (hasta la semana 4): 6
- Desviación inicial (hasta la semana 4): 2
- Media final: 12
- Desviación final: 3

Costes

- Mantenimiento: 0.5
- Rotura: 1

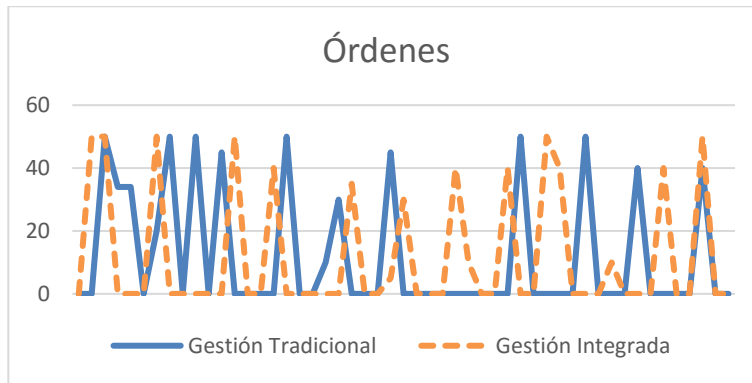


Figura 6-17: Comparación órdenes en escenario 5.

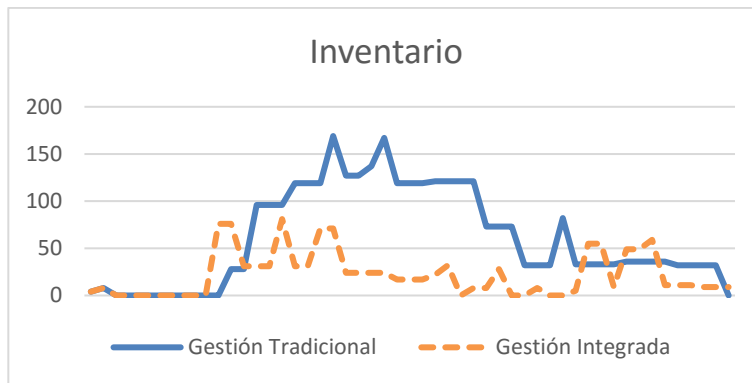


Figura 6-18: Comparación inventarios en escenario 5.



Figura 6-19: Comparación pedidos con retraso en escenario 5.

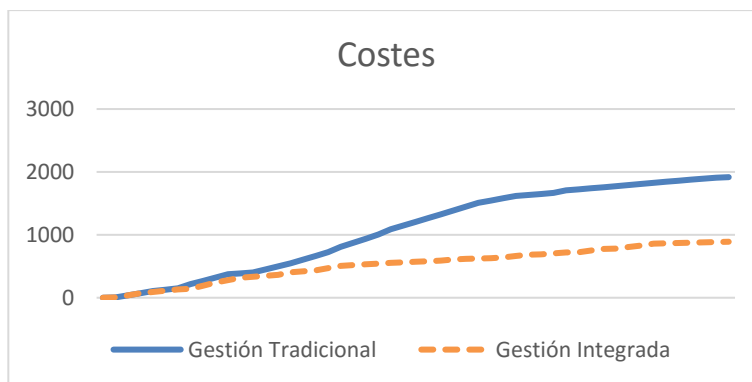


Figura 6-20: Comparación costes en escenario 5.

Este caso plantea la misma situación que el escenario anterior, ajustando los parámetros de las políticas para hacer frente a la alta demanda establecida. En el caso de las órdenes se observa que en la gestión integrada se lanzan antes. Se observa como el inventario de la gestión tradicional se ha sobredimensionado debido a la falta de información y el intento de proveer todos los pedidos, lo que conlleva que no tenga rotura de stock, pero aumenta de manera significativa el coste. Sin embargo, en la gestión integrada se ha intentado mantener el inventario con poco stock de seguridad, lo que ha provocado que haya algunas roturas de stock. Estas roturas no han afectado de manera significativa a su coste ya que es menor que el de la gestión tradicional.

6.2.6 Escenario 6

Parámetros:

	<i>MINORISTA</i>	<i>MAYORISTA</i>	<i>DISTRIBUIDOR</i>	<i>FÁBRICA</i>
<i>Política</i>	<i>Updated s</i>	<i>Usuario</i>	<i>Updated s</i>	<i>Updated s</i>
<i>S</i>	30	30	30	30
<i>M</i>	1,96	1,96	1,96	1,96

Tabla 6-6: Parámetros escenario 6.

Demanda normal aleatoria:

- Media inicial (hasta la semana 4): 6
- Desviación inicial (hasta la semana 4): 2
- Media final: 12
- Desviación final: 3

Costes

- Mantenimiento: 0.5
- Rotura: 1

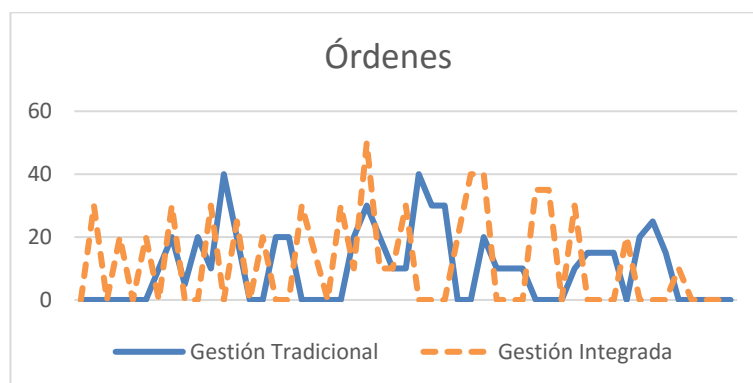


Figura 6-21: Comparación órdenes en escenario 6.

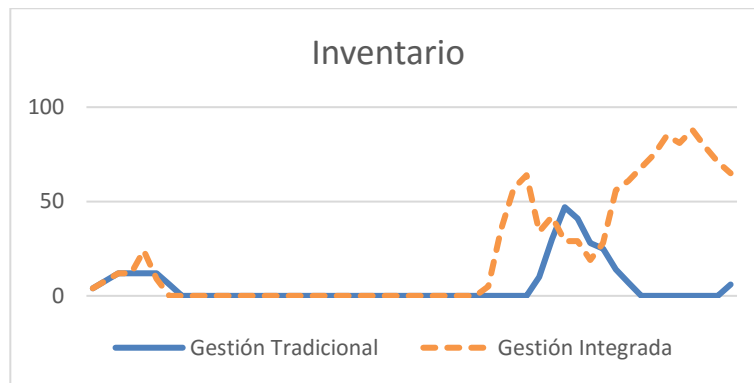


Figura 6-22: Comparación inventarios en escenario 6.



Figura 6-23: Comparación pedidos con retraso en escenario 6.

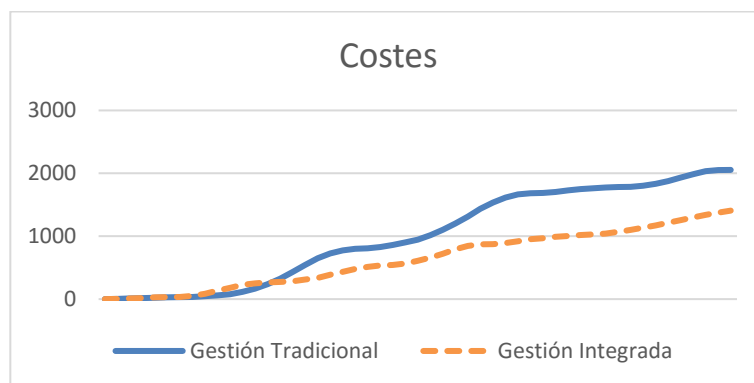


Figura 6-24: Comparación costes en escenario 6.

En este escenario se observa que los inventarios no logran alcanzar los niveles demandados, por lo que se encuentra una continua rotura de stock en ambas gestiones. Esto es debido a que los parámetros establecidos para las políticas no son los adecuados para hacer frente a una demanda tan alta. Debido a la continua rotura de stock, los costes en ambas gestiones son muy elevados. A pesar de todo, se observa como con la gestión integrada se consigue tener stock en el inventario y mantenerlo antes que con la gestión tradicional, lo que provoca que los costes disminuyan.

6.2.7 Escenario 7

Parámetros:

	<i>MINORISTA</i>	<i>MAYORISTA</i>	<i>DISTRIBUIDOR</i>	<i>FÁBRICA</i>
<i>Política</i>	<i>Updated s</i>	<i>Usuario</i>	<i>Updated s</i>	<i>Updated s</i>
<i>S</i>	<i>50</i>	<i>30</i>	<i>50</i>	<i>50</i>
<i>M</i>	<i>1,96</i>	<i>1,96</i>	<i>1,96</i>	<i>1,96</i>

Tabla 6-7: Parámetros escenario 7.

Demanda normal aleatoria:

- Media inicial (hasta la semana 4): 6
- Desviación inicial (hasta la semana 4): 2
- Media final: 12
- Desviación final: 3

Costes

- Mantenimiento: 0.5
- Rotura: 1

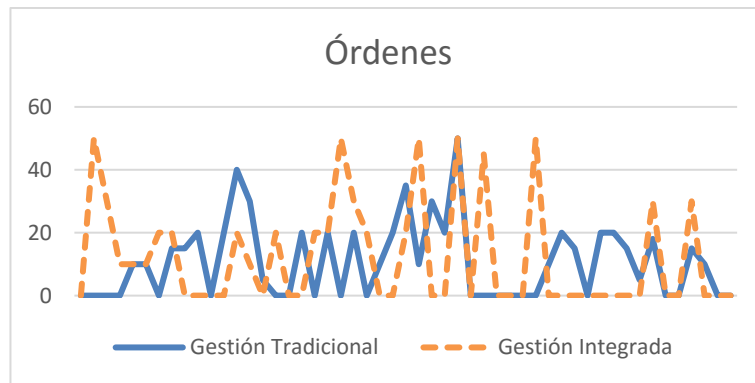


Figura 6-25: Comparación órdenes en escenario 7.

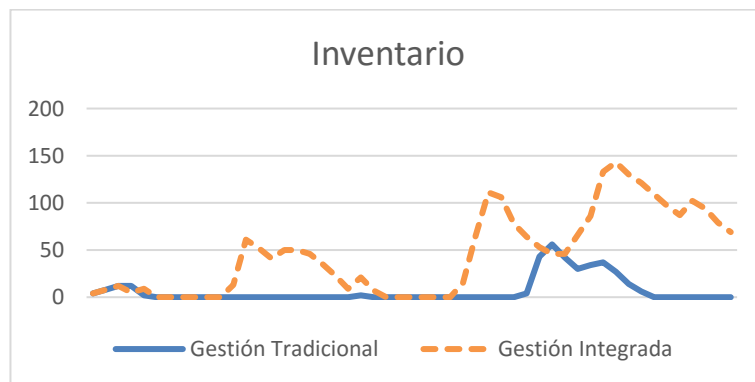


Figura 6-26: Comparación inventarios en escenario 7.



Figura 6-27: Comparación pedidos con retraso en escenario 7.

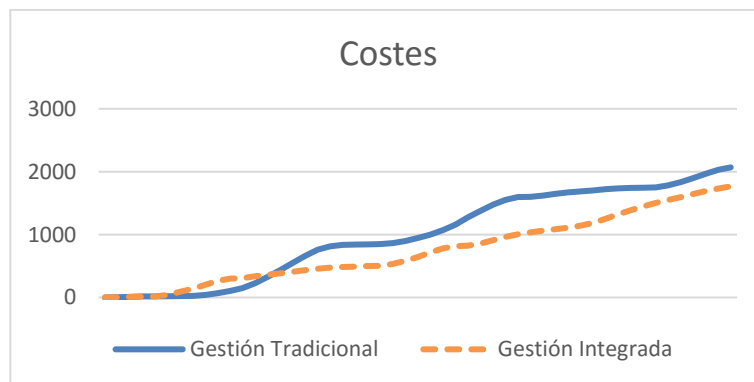


Figura 6-28: Comparación costes en escenario 7.

Este escenario plantea la misma situación que el escenario anterior, pero con los parámetros de las políticas reajustados para intentar obtener mejores resultados. Aun así, no logra establecer los niveles adecuados de inventarios en ninguna de las gestiones, ya que presenta numerosas roturas de stock y costes elevados. A pesar de eso, se observa que la gestión integrada genera mejores resultados, disminuyendo las roturas y los costes.

6.2.8 Escenario 8

Parámetros:

	<i>MINORISTA</i>	<i>MAYORISTA</i>	<i>DISTRIBUIDOR</i>	<i>FÁBRICA</i>
<i>Política</i>	<i>s-S</i>	<i>Usuario</i>	<i>Order to S</i>	<i>s-S</i>
<i>s</i>	10	4	10	10
<i>S</i>	50	30	50	50

Tabla 6-8: Parámetros escenario 8.

Demanda normal aleatoria:

- Media inicial (hasta la semana 4): 10
- Desviación inicial (hasta la semana 4): 2
- Media final: 15
- Desviación final: 3

Costes

- Mantenimiento: 0.5

- Rotura: 1

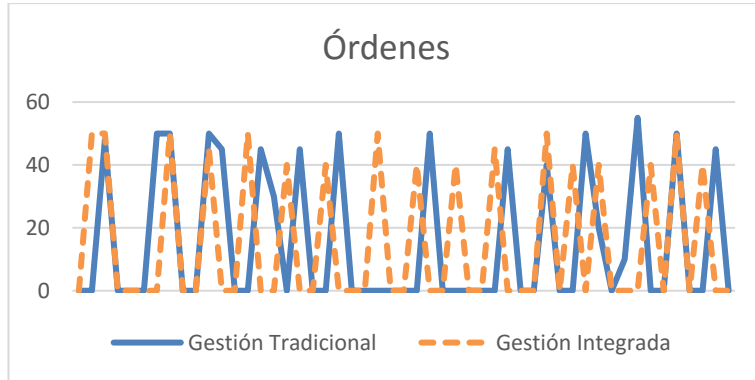


Figura 6-29: Comparación órdenes en escenario 8.

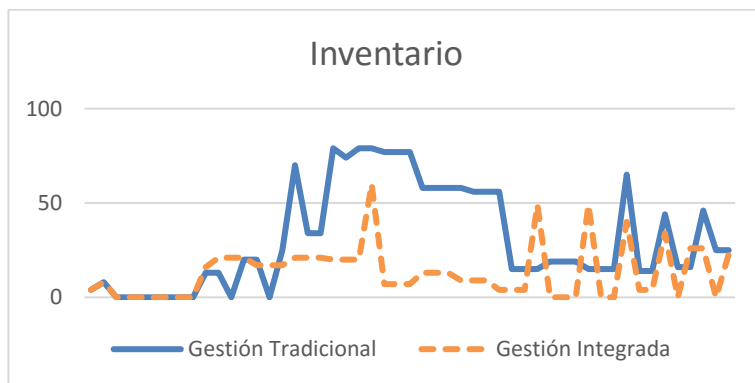


Figura 6-30: Comparación inventarios en escenario 8.



Figura 6-31: Comparación pedidos con retraso en escenario 8.

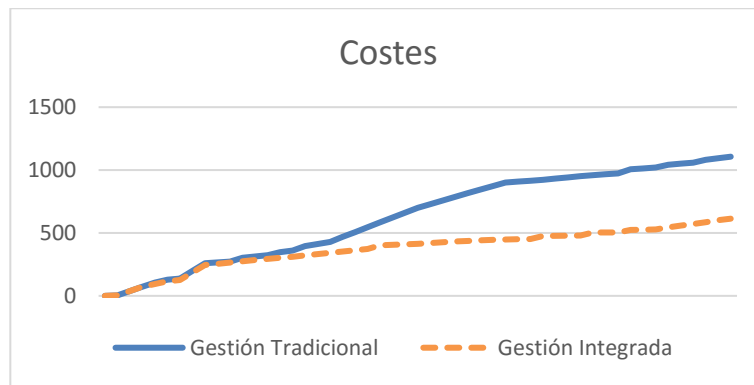


Figura 6-32: Comparación costes en escenario 8.

En este escenario se ha establecido una alta demanda y se han establecidos los parámetros de las diferentes políticas para intentar hacer frente a dicha demanda. Se observa que el lanzamiento de órdenes en ambas gestiones es más frecuente que en otros escenarios debido a la alta demanda del cliente. Debido a que en la gestión integrada se ha tenido previsión de la demanda, el inventario de dicha gestión se ajusta antes que el de la gestión tradicional. El sobredimensionamiento de inventario y las roturas de stock de la gestión tradicional hacen que el coste de esta sea mayor que el de la gestión integrada a pesar de que ésta también tiene alguna rotura de stock.

6.2.9 Escenario 9

Parámetros:

	<i>MINORISTA</i>	<i>MAYORISTA</i>	<i>DISTRIBUIDOR</i>	<i>FÁBRICA</i>
<i>Política</i>	<i>s-S</i>	<i>Usuario</i>	<i>s-S</i>	<i>s-S</i>
<i>s</i>	4	4	4	4
<i>S</i>	30	30	30	30

Tabla 6-9: Parámetros escenario 9.

Demanda normal aleatoria:

- Media: 6
- Desviación: 2

Costes

- Mantenimiento: 0.5
- Rotura: 1.5

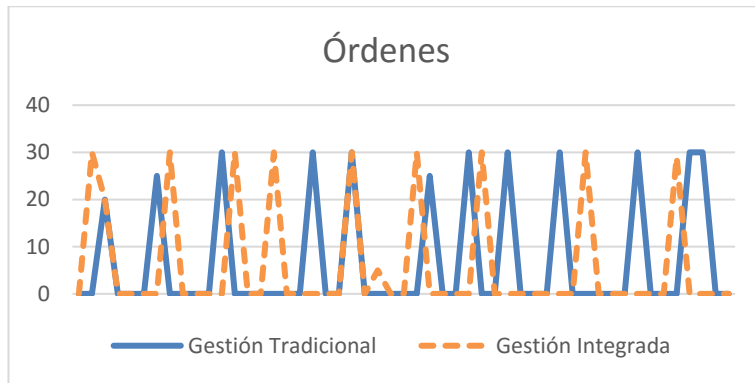


Figura 6-33: Comparación órdenes escenario 9.

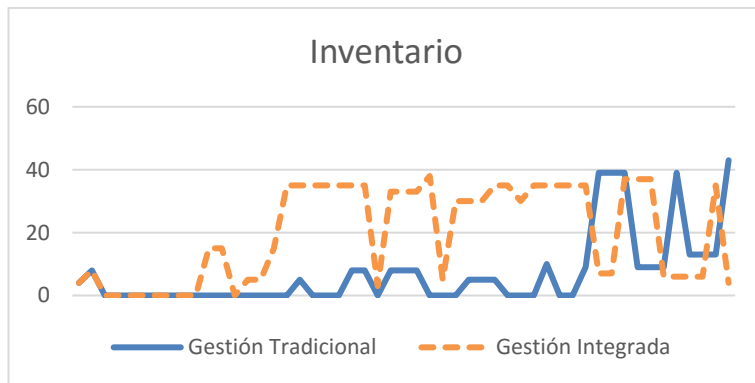


Figura 6-34: Comparación inventarios escenario 9.



Figura 6-35: Comparación pedidos con retraso escenario 9.

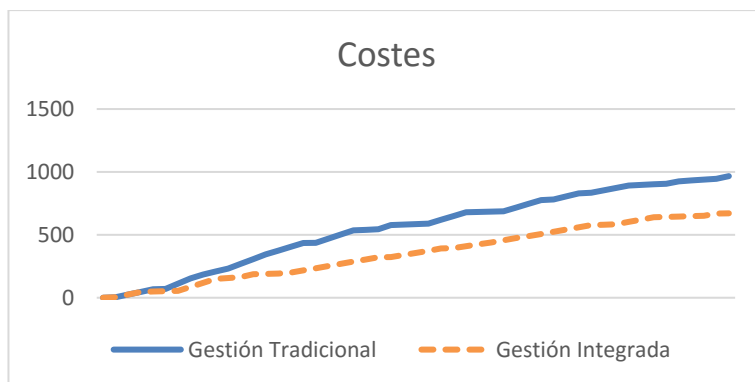


Figura 6-36: Comparación costes escenario 9.

En este caso, el inventario en la gestión integrada se mantiene con stock, lo que provoca que no haya rotura como la hay en la gestión tradicional, que es lo que provoca el elevado coste de la gestión tradicional debido al coste de rotura de stock.

6.2.10 Escenario 10

Parámetros:

	<i>MINORISTA</i>	<i>MAYORISTA</i>	<i>DISTRIBUIDOR</i>	<i>FÁBRICA</i>
<i>Política</i>	<i>s-S</i>	<i>Usuario</i>	<i>s-S</i>	<i>s-S</i>
<i>s</i>	10	4	10	10
<i>S</i>	50	30	50	50

Tabla 6-10: Parámetros escenario 10.

Demanda normal aleatoria:

- Media inicial (hasta la semana 4): 6
- Desviación inicial (hasta la semana 4): 2
- Media final: 12
- Desviación final: 3

Costes

- Mantenimiento: 0.5
- Rotura: 1,5

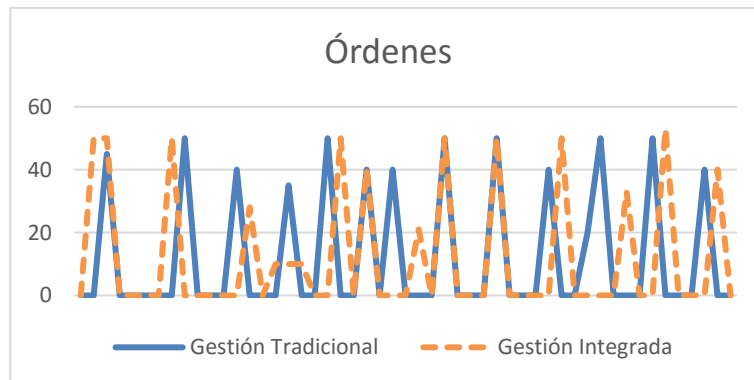


Figura 6-37: Comparación órdenes escenario 10.

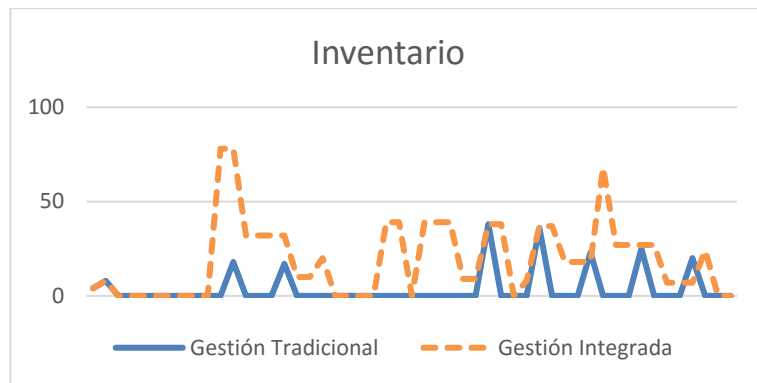


Figura 6-38: Comparación inventarios escenario 10.

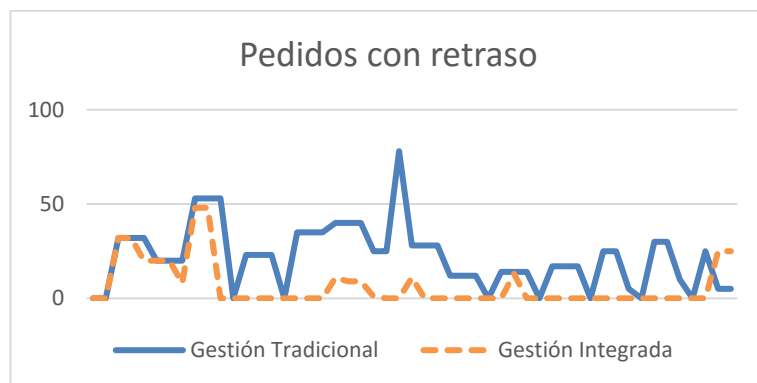


Figura 6-39: Comparación pedidos con retraso escenario 10.

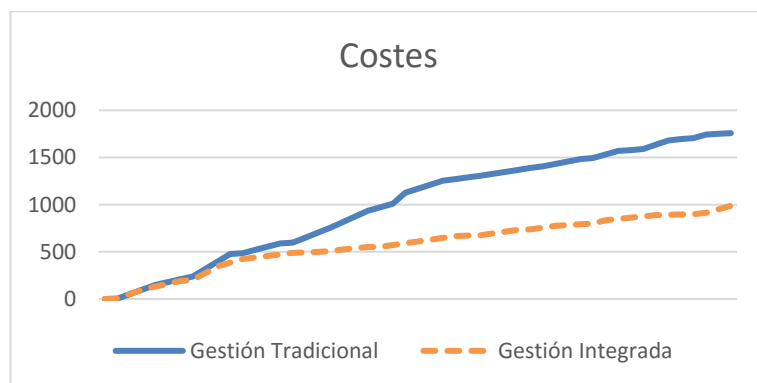


Figura 6-40: Comparación costes escenario 10.

En este escenario se observa que el inventario de la gestión integrada se sobredimensiona al principio para evitar las roturas iniciales, aunque es inevitable que se produzcan roturas en ambas gestiones. Ambos inventarios llegan aproximadamente a la misma cantidad, aunque el inventario de la gestión integrada se llena con más frecuencia gracias a que se lanzan más órdenes teniendo en cuenta la previsión de la demanda. La mayor cantidad de roturas de stock en la gestión tradicional es lo que provoca el elevado coste de dicha gestión.

6.2.11 Escenario 11

Parámetros:

	<i>MINORISTA</i>	<i>MAYORISTA</i>	<i>DISTRIBUIDOR</i>	<i>FÁBRICA</i>
<i>Política</i>	<i>s-S</i>	<i>Usuario</i>	<i>Order to S</i>	<i>s-S</i>
<i>s</i>	10	4	10	10
<i>S</i>	50	30	50	50

Tabla 6-11: Parámetros escenario 11.

Demanda normal aleatoria:

- Media inicial (hasta la semana 4): 10
- Desviación inicial (hasta la semana 4): 2
- Media final: 15
- Desviación final: 3

Costes

- Mantenimiento: 0.5
- Rotura: 1,5

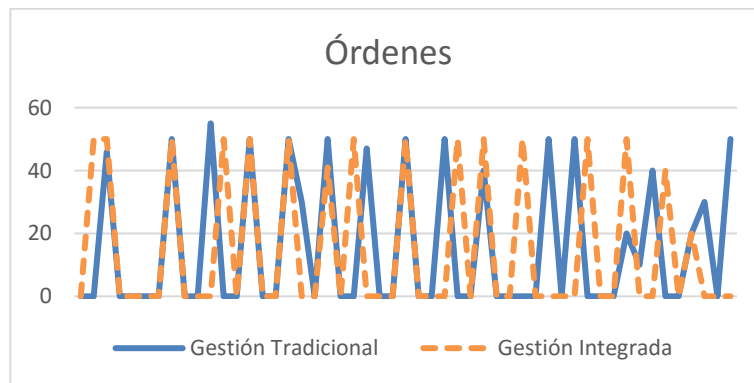


Figura 6-41: Comparación órdenes escenario 11.

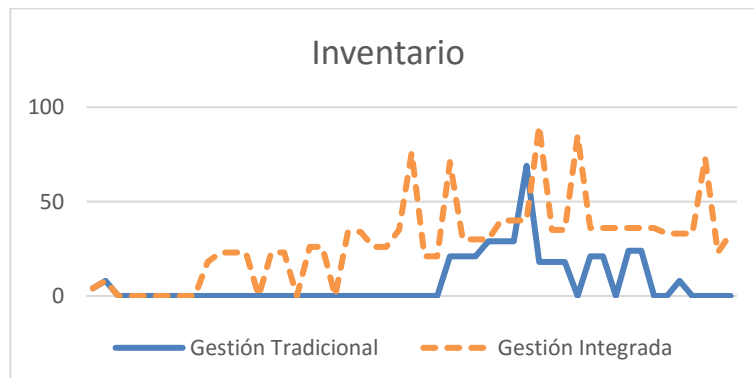


Figura 6-42: Comparación inventarios escenario 11.

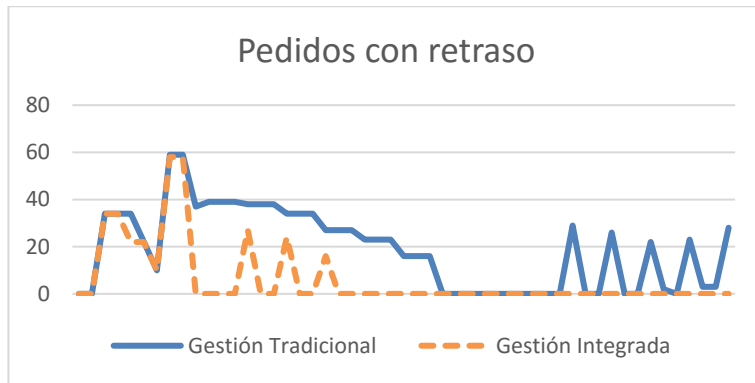


Figura 6-43: Comparación pedidos con retraso escenario 11.

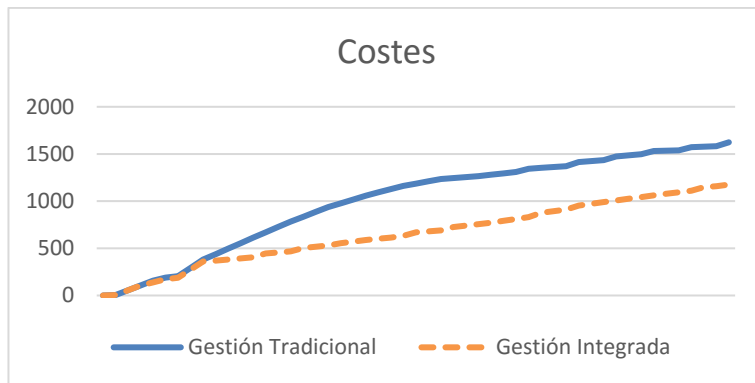


Figura 6-44: Comparación costes escenario 11.

En este escenario se observa de nuevo que la gestión integrada consigue mantener el stock en el inventario para evitar las roturas, aunque las roturas iniciales son inevitables debido a las condiciones iniciales preestablecidas. La falta de información provoca que la gestión tradicional presente frecuentes roturas de stock, lo que provoca el elevado coste de dicha gestión.

7 CONCLUSIONES

7.1 Objetivos

- Replicar el juego Beer Game para suplir a la anterior aplicación que se encuentra obsoleta para los ordenadores de la Escuela. De esta manera podrá usarse la herramienta en la docencia sin problemas de infraestructura. Se desarrollará en un entorno sencillo e intuitivo como es Microsoft Excel mediante VBA (Visual Basic for Applications).
- Demostrar las ventajas de la integración en una cadena de suministro frente a la gestión tradicional de ésta. Para ello se llevarán a cabo diferentes simulaciones en diferentes escenarios y se analizarán y compararán los resultados obtenidos en cada una de las simulaciones.

7.2 Herramienta de simulación

El primer objetivo del trabajo se ha visto cumplido a lo largo de su contenido: el desarrollo de la herramienta que permite llevar a cabo las simulaciones en Microsoft Excel. Como se ha visto a lo largo del trabajo, la herramienta ha sido desarrollada mediante Visual Basic for Applications a raíz del modelo definido en el primer capítulo (modelo completo en Anexo A). La infraestructura del programa se ha definido mediante módulos donde se han programado las secuencias de operaciones que seguirá cada sector en función de las políticas establecidas, además de las distintas opciones que se pueden establecer en las simulaciones. Dichos módulos están detallados en el capítulo correspondiente. Como resultado de esta programación, se ha obtenido una herramienta de simulación que cumple con las funcionalidades requeridas del juego a replicar Beer Game. Las pruebas llevadas a cabo para detectar posibles errores y las simulaciones posteriores concluyen que esta herramienta ha sido implementada con éxito.

La herramienta cuenta con una serie de políticas de inventarios para establecerlas en cualquiera de los sectores. Además, estas políticas no solo se rigen por su propia secuencia de operaciones para lanzar las órdenes, sino que también pueden establecerse todos los parámetros que intervienen, pudiendo establecerlos de forma diferente en cada uno de los sectores. Con todo esto, esta herramienta cuenta con 1296 combinaciones posibles. A pesar de ello, la cadena de suministro, que cuenta con cuatro sectores, es una cadena sencilla que se rige por reglas determinadas. Por ejemplo, el transporte de los pedidos siempre va a llegar a su destino tardando un periodo de tiempo que nunca se verá alterado por factores externos que se pueden encontrar en la realidad; o la capacidad infinita de producción de la fábrica. Existen una infinidad de factores externos imprevisibles a los que se hacen frente en la realidad que no han sido incluidos en la herramienta de simulación.

En definitiva, el producto resultante es una aplicación que permite simular una cadena de suministro sencilla y simplificada destinada a la docencia que permita entender a los alumnos de manera clara el funcionamiento de una cadena de suministro y como influye la variabilidad de la demanda a lo largo del recorrido produciendo desperdicios y costes adicionales para analizarlos y solucionarlos.

7.3 Efectos de la integración

La variabilidad de la demanda del cliente es un factor clave en la gestión de una cadena de suministro. Al ser un factor externo al control de los gestores, es necesario gestionar y controlar la cadena de suministro de manera que las consecuencias de esta variabilidad se vean reducidas. En la herramienta desarrollada se puede establecer la desviación de la demanda, lo que lleva a que se experimenten los cambios consecuentes a lo largo de la cadena de suministro que producen esta variabilidad.

Uno de los datos más relevantes en los que se ve reflejada esta variabilidad es en el lanzamiento de órdenes por parte de cada sector, que se va viendo incrementada conforme se va avanzando aguas arriba para evitar las roturas de stock. Ello implica que a su vez exista alta variabilidad en los inventarios, lo que genera el llamado **efecto bullwhip** (efecto látigo), de manera que se imputan altos costes para cada uno de los sectores, lo que

hace que no se cumplan los objetivos de la gestión. Esta variabilidad puede observarse en los siguientes ejemplos.

Ejemplo 6-1. Cadena de suministro donde los cuatro sectores se rigen por la política “Updated s” con una demanda normal aleatoria de media 6 y desviación 2.

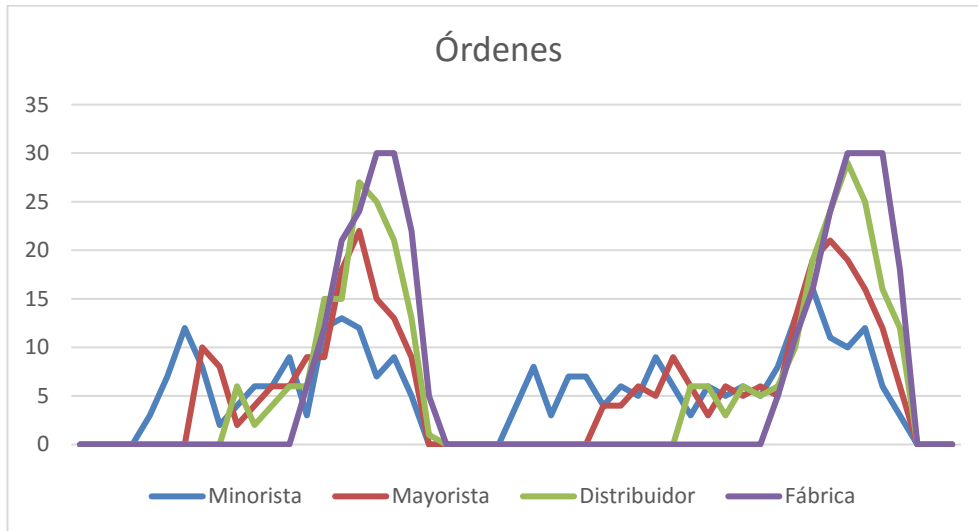


Figura 7-1: Ejemplo 6-1.

La inestabilidad de la demanda va produciendo la distorsión de las órdenes que va avanzando hacia arriba en la cadena de suministro de manera amplificada, viéndose de esta forma afectados los inventarios como puede observarse en el ejemplo siguiente. Esta distorsión es consecuencia de la falta de información, de manera que los diversos intentos para ajustar los inventarios son los que generarán el efecto látigo observado en este ejemplo.

Ejemplo 6-2. Cadena de suministro donde el sector “Mayorista” es controlado por el usuario. Corresponde al escenario 8 simulado mediante gestión tradicional.



Figura 7-2: Ejemplo 6-2. Inventario sector Mayorista.

Como se observa en este ejemplo, el inventario del sector sufre las consecuencias de la variabilidad generándose excesos, lo que conlleva a un despilfarro de la producción que se verá imputado en altos costes. Esto es consecuencia de querer aumentar el stock para poder cubrir pedidos inesperados

mediante la predicción de los pedidos futuros, pero al no tener información completa se generan picos de inventarios que posteriormente se intentarán reducir mediante nuevos ajustes, lo que lleva al efecto látigo.

Para subsanar estos despilfarros y así evitar que se imputen en altos costes se propone la integración de la cadena de suministro, que no es más que compartir la información de todas las partes de manera transparente para que se pueda gestionar de una manera eficiente y óptima. En el siguiente ejemplo se muestra el inventario de un escenario que se ha simulado con gestión integrada.

Ejemplo 6-3. Cadena de suministro donde el sector “Mayorista” es controlado por el usuario. Corresponde al escenario 8 simulado mediante gestión integrada.



Figura 7-3: Ejemplo 6-3. Inventario sector Mayorista.

Este ejemplo corresponde al mismo escenario que se ha mostrado en el Ejemplo 6-2, pero esta vez con gestión integrada. A pesar de haberse obtenido picos en los niveles de stock, no se ha llegado a tener exceso de inventario y se ha mantenido el nivel en valores más bajos, pero sin llegar a la rotura. El gráfico siguiente muestra los costes obtenidos mediante las diferentes gestiones, haciéndose evidente que la gestión integrada proporciona más beneficios.

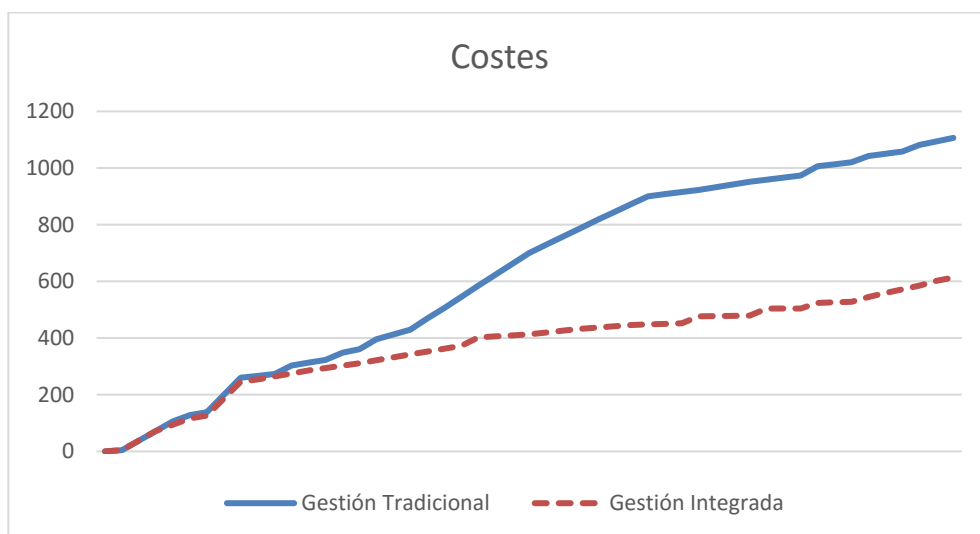


Figura 7-4: Ejemplo 6-3. Costes de sector Mayorista en ambas gestiones.

Como se ha visto en el capítulo 5, todas las simulaciones realizadas con la gestión integrada en los diferentes escenarios han generado costes inferiores a las simulaciones realizadas con la gestión tradicional, es decir, sin información. A continuación se muestran las reducciones que han sufrido los costes en los distintos escenarios.

<i>Escenario</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
<i>Reducción costes (%)</i>	<i>39.27</i>	<i>14.72</i>	<i>6.54</i>	<i>31.25</i>	<i>53.57</i>	<i>31.50</i>	<i>14.62</i>	<i>44.55</i>	<i>30.57</i>	<i>43.84</i>	<i>27.59</i>

Tabla 7-1: Reducción de los costes en los escenarios simulados en Capítulo 5.

Reducción de costes media: 30.73%.

Los costes son los indicadores más relevantes a la hora de gestionar una cadena de suministro, es por ello que la integración en una cadena de suministro muestra una clara ventaja sobre la gestión tradicional proporcionando mejores resultados.

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Jordi Bosch Pagans, Fernanda Strozzi, José Manuel Zaldivar Comenges. “Beer Game Order Policy Optimization Using Genetic Algorithms.” *Liuc Papers* n. 179, Serie Metodi quantitativi 17, suppl. a ottobre 2005.
- [2] Juan Carlos Vergara Schmalbach, Tomás Fontalvo Herrera, Efraín de la Hoz Granadillo. “Efectos de la variación de la demanda y políticas de inventario en la cadena de suministro: un análisis desde la óptica de la dinámica de sistemas.” *Ingeniare*, Año 7 (2012), No. 13, pp. 25-38. Universidad Libre de Barranquilla.
- [3] José Alfredo Arévalo Hernández, Samuel Prieto Mejía. “El Juego de la Cerveza, un ejemplo popularizado del enfoque sistémico. Implementación en vensim.” Universidad del Magdalena, 2013.
- [4] Mert Edali, Hakan Yasarcan. “A Mathematical Model of The Beer Game”. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 17 (4) 2, 2014.
- [5] Kimberly M. Thompson, Nima D. Badizadegan. “Valuing Information in Complex Systems: An Integrated Analytical Approach to Achieve Optimal Performance in the Beer Distribution Game.” *IEEE Access*, vol. 3, pp. 2677-2686, 2015.
- [6] “Business Simulation: Can We Replay the Beer Game on the Computer?”. <https://public.wsu.edu/~forda/Beer%20Game%20Bweb.pdf>
- [7] Rachel Croson, Karen Donohue, Elena Katok, John Sterman. “Order Stability in Supply Chains: Coordination Risk and the Role of Coordination Stock”. *Production and Operations Management*, Vol. 23, No. 2, February 2014, pp. 176–196.
- [8] Ken Carney, “Adding Charts to an Excel VBA User Form.” *Visual Basic .NET For Complete Beginners*. 2010.
- [9] Ken Carney, “Excel Chart Images” *Visual Basic .NET For Complete Beginners*. 2010.
- [10] Adolfo Aparicio. “Simulación de una Distribución Normal”. *ExcelAvanzado.com*, 2008.
- [11] Ayuda de Microsoft Visual Basic para Aplicaciones.

Anexo A. Modelo del Sistema

A.1 Definición de variables

A.1.1 Variables independientes y constantes del modelo

- s : Inventario mínimo.
- S : Inventario máximo.
- Q : Lote establecido.
- M : Períodos para la estimación de la desviación estándar.
- ID : Demanda inicial para la demanda determinista.
- FWD : Período final para ID en la demanda determinista.
- FD : Demanda que se aplica a partir de FWD en la demanda determinista.
- IM : Media inicial para la demanda aleatoria.
- IS : Desviación inicial para la demanda aleatoria.
- FWN : Período final para (IM, IS) en la demanda aleatoria.
- FM : Media final para la demanda aleatoria que se aplica a partir de FWN .
- FS : Desviación final para la demanda aleatoria que se aplica a partir de FWN .
- L : Constante que vale 3. Se usa en la política Echelon.
- h : Coste de mantenimiento de inventario por unidad y tiempo.
- b : Coste de pedido no servido por unidad y tiempo.
- t : Instante actual.

A.1.2 Variables de flujo

- RIS_t : Pedidos entrantes al sector 'Minorista' en t .
- WIS_t : Pedidos entrantes al sector 'Mayorista' en t .
- DIS_t : Pedidos entrantes al sector 'Distribuidor' en t .
- $FPD1_t$: Retraso 1 de producción en 'Fábrica' en t .
- WOS_t : Pedidos salientes del sector 'Mayorista' en t .
- DOS_t : Pedidos salientes del sector 'Distribuidor' en t .
- FOS_t : Pedidos salientes del sector 'Fábrica' en t .
- $FPD2_t$: Retraso 2 de producción en 'Fábrica' en t .

A.1.3 Variables de nivel

- $RINV_t$: Inventario del sector 'Minorista' en t .
- $WINV_t$: Inventario del sector 'Mayorista' en t .
- $DINV_t$: Inventario del sector 'Distribuidor' en t .
- $FINV_t$: Inventario del sector 'Fábrica' en t .
- RBL_t : Pedidos retrasados del sector 'Minorista' en t .
- WBL_t : Pedidos retrasados del sector 'Mayorista' en t .
- DBL_t : Pedidos retrasados del sector 'Distribuidor' en t .
- FBL_t : Pedidos retrasados del sector 'Fábrica' en t .

- $RCOS_t$: Coste total del sector ‘Minorista’ en t.
- $WCOS_t$: Coste total del sector ‘Mayorista’ en t.
- $DCOS_t$: Coste total del sector ‘Distribuidor’ en t.
- $FCOS_t$: Coste total del sector ‘Fábrica’ en t.

A.1.4 Variables auxiliares

- WIO_t : Órdenes entrantes al sector ‘Mayorista’ en t.
- DIO_t : Órdenes entrantes al sector ‘Distribuidor’ en t.
- FIO_t : Órdenes entrantes al sector ‘Fábrica’ en t.
- COR_t : Demanda exógena en t.
- ROP_t : Orden realizada por el sector ‘Minorista’ en t.
- WOP_t : Orden realizada por el sector ‘Mayorista’ en t.
- DOP_t : Orden realizada por el sector ‘Distribuidor’ en t.
- FPR_t : Orden realizada por el sector ‘Fábrica’ en t.

A.2 Ecuaciones del modelo

A.2.1 Ecuaciones auxiliares

$$WIO_t = ROP_t \quad (A.1)$$

$$DIO_t = WOP_t \quad (A.2)$$

$$FIO_t = DOP_t \quad (A.3)$$

Demanda (COR):

- Deterministic

$$COR_t = \begin{cases} ID & \text{si } t \leq FWD \\ FD & \text{si } t > FWD \end{cases} \quad (A.4)$$

- Random Normal

$$\begin{cases} COR_t \sim N(IM, IS) & \text{si } t \leq FWN \\ COR_t \sim N(FM, FS) & \text{si } t > FWN \end{cases} \quad (A.5)$$

Políticas de lanzamiento de órdenes (OP):

- s-S

$$ROP_t = \begin{cases} S - RINV_t - RIS_t - WOS_t + RBL_t - WBL_t & \text{si } RINV_t + RIS_t + WOS_t - RBL_t + WBL_t \leq s \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (A.6)$$

$$WOP_t = \begin{cases} S - WINV_t - WIS_t - DOS_t + WBL_t - DBL_t & \text{si } WINV_t + WIS_t + DOS_t - WBL_t + DBL_t \leq s \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (A.7)$$

$$DOP_t = \begin{cases} S - DINV_t - DIS_t - FOS_t + DBL_t - FBL_t & \text{si } DINV_t + DIS_t + FOS_t - DBL_t + FBL_t \leq s \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (A.8)$$

$$FPR_t = \begin{cases} S - FINV_t - FPD1_t - FPD2_t + FBL_t & \text{si } FINV_t + FPD1_t + FPD2_t - FBL_t \leq s \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (\text{A.9})$$

○ **s-Q**

$$ROP_t = \begin{cases} Q & \text{si } RINV_t + RIS_t + WOS_t - RBL_t + WBL_t \leq s \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (\text{A.10})$$

$$WOP_t = \begin{cases} Q & \text{si } WINV_t + WIS_t + DOS_t - WBL_t + DBL_t \leq s \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (\text{A.11})$$

$$DOP_t = \begin{cases} Q & \text{si } DINV_t + DIS_t + FOS_t - DBL_t + FBL_t \leq s \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (\text{A.12})$$

$$FPR_t = \begin{cases} Q & \text{si } FINV_t + FPD1_t + FPD2_t - FBL_t \leq s \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (\text{A.13})$$

○ **ORDER TO S**

$$ROP_t = \text{Max}\{0; S - RINV_t - RIS_t - WOS_t + RBL_t - WBL_t\} \quad (\text{A.14})$$

$$WOP_t = \text{Max}\{0; S - WINV_t - WIS_t - DOS_t + WBL_t - DBL_t\} \quad (\text{A.15})$$

$$DOP_t = \text{Max}\{0; S - DINV_t - DIS_t - FOS_t + DBL_t - FBL_t\} \quad (\text{A.16})$$

$$FPR_t = \text{Max}\{0; S - FINV_t - FPD1_t - FPD2_t + FBL_t\} \quad (\text{A.17})$$

○ **ORDER Q**

$$ROP_t = Q \quad (\text{A.18})$$

$$WOP_t = Q \quad (\text{A.19})$$

$$DOP_t = Q \quad (\text{A.20})$$

$$FPR_t = Q \quad (\text{A.21})$$

○ **UPDATED S**

$$ROP_t = \begin{cases} \text{Min}\{S; s_t - RINV_t - RIS_t - WOS_t + RBL_t - WBL_t\} & \text{si } RINV_t + RIS_t + WOS_t - RBL_t + WBL_t \leq s_t \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (\text{A.22})$$

$$WOP_t = \begin{cases} \text{Min}\{S; s_t - WINV_t - WIS_t - DOS_t + WBL_t - DBL_t\} & \text{si } WINV_t + WIS_t + DOS_t - WBL_t + DBL_t \leq s_t \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (\text{A.23})$$

$$DOP_t = \begin{cases} \text{Min}\{S; s_t - DINV_t - DIS_t - FOS_t + DBL_t - FBL_t\} & \text{si } DINV_t + DIS_t + FOS_t - DBL_t + FBL_t \leq s_t \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (\text{A.24})$$

$$FPR_t = \begin{cases} \text{Min}\{S; s_t - FINV_t - FPD1_t - FPD2_t + FBL_t\} & \text{si } FINV_t + FPD1_t + FPD2_t - FBL_t \leq s_t \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (\text{A.25})$$

Siendo $s_t = AVG(D) + M * STD(D)$

AVG(D): Media móvil de la demanda en las últimas 10 semanas.

STD(D): Desviación estándar de la demanda en las últimas 10 semanas.

○ ECHELON

$$ROP_t = \begin{cases} \text{Min}\{S; s_t - RINV_t - RIS_t - WOS_t + RBL_t - WBL_t\} & \text{si } RINV_t + RIS_t + WOS_t - RBL_t + WBL_t \leq s_t \\ 0 \text{ e.o.c.} & \end{cases} \quad (\text{A.26})$$

$$\text{Siendo } s_t = L * AVG(D) + M * STD(D) * \sqrt{L}$$

$$WOP_t = \begin{cases} \text{Min}\{S; s_t - WINV_t - WIS_t - DOS_t + WBL_t - DBL_t\} & \text{si } WINV_t + WIS_t + DOS_t - WBL_t + DBL_t \leq s_t \\ 0 \text{ e.o.c.} & \end{cases} \quad (\text{A.27})$$

$$\text{Siendo } s_t = (L-1+L) * AVG(D) + M * STD(D) * \sqrt{L-1+L}$$

$$DOP_t = \begin{cases} \text{Min}\{S; s_t - DINV_t - DIS_t - FOS_t + DBL_t - FBL_t\} & \text{si } DINV_t + DIS_t + FOS_t - DBL_t + FBL_t \leq s_t \\ 0 \text{ e.o.c.} & \end{cases} \quad (\text{A.28})$$

$$\text{Siendo } s_t = (2*(L-1)+L) * AVG(D) + M * STD(D) * \sqrt{2*(L-1)+L}$$

$$FPR_t = \begin{cases} \text{Min}\{S; s_t - FINV_t - FPD1_t - FPD2_t + FBL_t\} & \text{si } FINV_t + FPD1_t + FPD2_t - FBL_t \leq s_t \\ 0 \text{ e.o.c.} & \end{cases} \quad (\text{A.29})$$

$$\text{Siendo } s_t = (3*(L-1)+L) * AVG(D) + M * STD(D) * \sqrt{3*(L-1)+L}$$

A.2.2 Ecuaciones de nivel

$$RINV_t = \begin{cases} RINV_{t-1} + RIS_{t-1} - RBL_{t-1} - COR_{t-1} & \text{si } RINV_{t-1} + RIS_{t-1} > RBL_{t-1} + COR_{t-1} \\ 0 \text{ e.o.c.} & \end{cases} \quad (\text{A.30})$$

$$WINV_t = \begin{cases} WINV_{t-1} + WIS_{t-1} - WBL_{t-1} - WIO_{t-1} & \text{si } WINV_{t-1} + WIS_{t-1} > WBL_{t-1} + WIO_{t-1} \\ 0 \text{ e.o.c.} & \end{cases} \quad (\text{A.31})$$

$$DINV_t = \begin{cases} DINV_{t-1} + DIS_{t-1} - DBL_{t-1} - DIO_{t-1} & \text{si } DINV_{t-1} + DIS_{t-1} > DBL_{t-1} + DIO_{t-1} \\ 0 \text{ e.o.c.} & \end{cases} \quad (\text{A.32})$$

$$FINV_t = \begin{cases} FINV_{t-1} + FPD1_{t-1} - FBL_{t-1} - FIO_{t-1} & \text{si } FINV_{t-1} + FPD1_{t-1} > FBL_{t-1} + FIO_{t-1} \\ 0 \text{ e.o.c.} & \end{cases} \quad (\text{A.33})$$

$$RBL_t = \begin{cases} RBL_{t-1} + COR_{t-1} - RINV_{t-1} - RIS_{t-1} & \text{si } RBL_{t-1} + COR_{t-1} > RINV_{t-1} + RIS_{t-1} \\ 0 \text{ e.o.c.} & \end{cases} \quad (\text{A.34})$$

$$WBL_t = \begin{cases} WBL_{t-1} + WIO_{t-1} - WINV_{t-1} - WIS_{t-1} & \text{si } WBL_{t-1} + WIO_{t-1} > WINV_{t-1} + WIS_{t-1} \\ 0 \text{ e.o.c.} & \end{cases} \quad (\text{A.35})$$

$$DBL_t = \begin{cases} DBL_{t-1} + DIO_{t-1} - DINV_{t-1} - DIS_{t-1} & \text{si } DBL_{t-1} + DIO_{t-1} > DINV_{t-1} + DIS_{t-1} \\ 0 \text{ e.o.c.} & \end{cases} \quad (\text{A.36})$$

$$FBL_t = \begin{cases} FBL_{t-1} + FIO_{t-1} - FINV_{t-1} - FPD1_{t-1} & \text{si } FBL_{t-1} + FIO_{t-1} > FINV_{t-1} + FPD1_{t-1} \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (\text{A.37})$$

$$RCOS_t = RCOS_{t-1} + RINV_t * h + RBL_t * b \quad (\text{A.38})$$

$$WCOS_t = WCOS_{t-1} + WINV_t * h + WBL_t * b \quad (\text{A.39})$$

$$DCOS_t = DCOS_{t-1} + DINV_t * h + DBL_t * b \quad (\text{A.40})$$

$$FCOS_t = FCOS_{t-1} + FINV_t * h + FBL_t * b \quad (\text{A.41})$$

A.2.3 Ecuaciones de flujo

$$RIS_t = WOS_{t-1} \quad (\text{A.42})$$

$$WIS_t = DOS_{t-1} \quad (\text{A.43})$$

$$DIS_t = FOS_{t-1} \quad (\text{A.44})$$

$$FPD1_t = FPD2_{t-1} \quad (\text{A.45})$$

$$WOS_t = \text{Min} \{ WINV_{t-1} + WIS_{t-1}; WBL_{t-1} + WIO_{t-1} \} \quad (\text{A.46})$$

$$DOS_t = \text{Min} \{ DINV_{t-1} + DIS_{t-1}; DBL_{t-1} + DIO_{t-1} \} \quad (\text{A.47})$$

$$FOS_t = \text{Min} \{ FINV_{t-1} + FPD1_{t-1}; FBL_{t-1} + FIO_{t-1} \} \quad (\text{A.48})$$

$$FPD2_t = FPR_{t-1} \quad (\text{A.49})$$

A.3 Esquema del Sistema

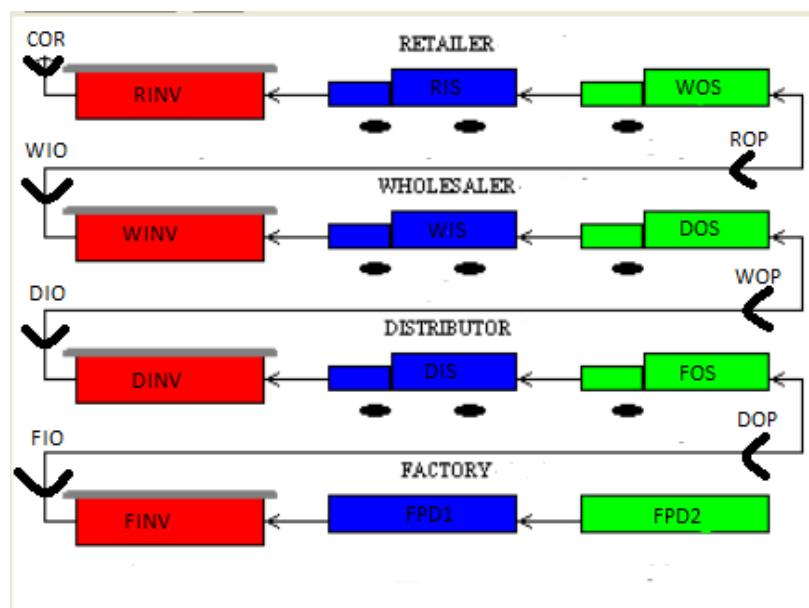


Figura 8-1: Esquema del sistema.

Anexo B. Manual de usuario

B.1 Introducción

El Beer Game es una herramienta de simulación desarrollada en los años 60 para mostrar las ventajas de la integración aplicadas a la gestión de una cadena de suministro. Esta herramienta software ha sido desarrollada para hacer más fácil el juego del Beer Game, así como para mostrar los problemas de la gestión de una cadena de suministro que no pueden ser mostradas en el juego tradicional (juego no computarizado).

B.2 Escenario

El Beer Game es una simulación donde el jugador hace frente al siguiente escenario:

Se considerará un escenario sencillo de una cadena de suministro de cerveza, que consiste en un solo minorista, un solo mayorista que provee al minorista, un solo distribuidor que provee al mayorista y una sola fábrica que provee al distribuidor. Cada componente en la cadena de suministro tiene capacidad ilimitada de inventario, y hay un plazo de entrega y retraso de las órdenes por cada componente.

Cada semana, cada componente en la cadena de suministro intenta proveer la demanda que se le ha ordenado por el sector anterior. Si alguna orden no se provee queda registrada como pedido no servido, que será provisto nada más que el sector pueda. En cada periodo, cada sector es cargado con un coste por pedido no servido que es establecido por el jugador (1.00 u.m. por defecto). Además, en cada periodo, cada sector posee el inventario en sus instalaciones, por lo que se imputa un coste de mantenimiento por unidad de inventario que es establecido por el jugador (0.5 u.m. por defecto).

Cada sector de la cadena de suministro ordena una cierta cantidad a su proveedor. Esto lleva una semana para que la orden llegue al proveedor del sector. Una vez que la orden ha llegado, el proveedor intentará cumplir con la orden con el inventario del que disponga, pero luego llevará dos semanas de transporte para llegar al sector que ha solicitado el pedido.

El objetivo del minorista, mayorista, distribuidor y fábrica es minimizar el coste total, ya sea de forma individual o el total del sistema.

B.3 Simulación en funcionamiento

Cuando se abre el Beer Game, aparece la siguiente pantalla:

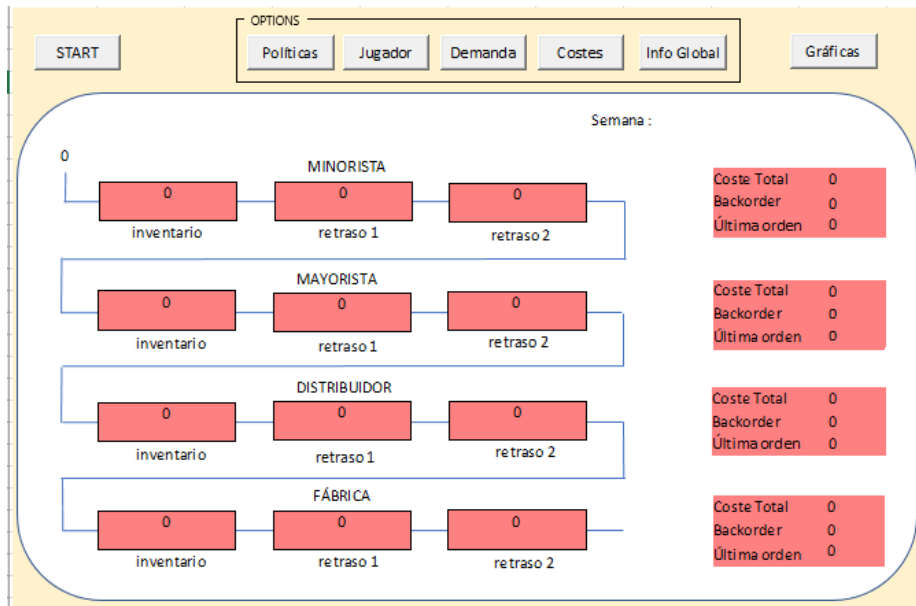


Figura 8-2: Pantalla inicial.

En esta simulación, el jugador toma el rol de gestor de uno de los sectores (o ninguno) de la cadena de suministro. El sistema tomará el control del resto de sectores que no sean controlados por el usuario. En la pantalla del juego, el sector que maneja el usuario estará marcado en color y el resto estarán en blanco. Además, la información del sector controlado se mostrará al usuario, pero la información del resto de sectores estará oculta (a excepción de los pedidos no servidos del sector aguas arriba). La pantalla del juego quedaría de la siguiente manera:

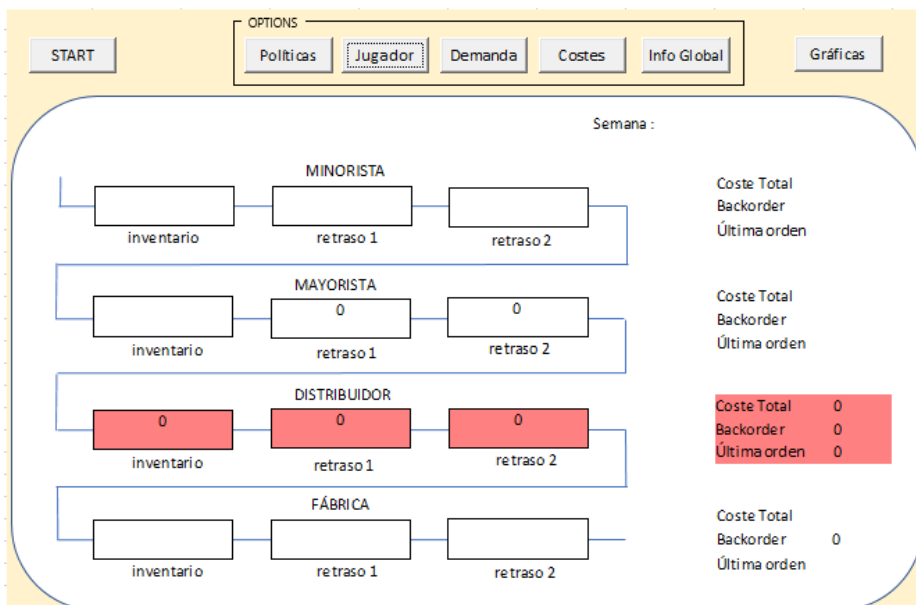


Figura 8-3: Pantalla inicial con sector seleccionado.

En la pantalla de ejemplo, el sector controlado es 'Distribuidor'.

Orden de los eventos: la simulación corre en series de 1 semana. Para cada semana, primero el minorista, después el mayorista, a continuación, el distribuidor y finalmente la fábrica, ejecutan la siguiente serie de eventos:

- Paso 1: El contenido de 'retraso 2' pasa a 'retraso 1', y el contenido de 'retraso 1' pasa al inventario de 'Fábrica'. En este punto, el contenido de 'retraso 2' es 0.
- Paso 2: Las órdenes del sector previo (o en caso de 'Minorista', el cliente) son servidas con el contenido disponible. Una orden consiste en la orden actual más la acumulación de pedidos no

servidos anteriormente. A excepción del ‘Minorista’, que sirve al cliente externo, los pedidos pasan a ‘retraso 2’ del sector aguas abajo inmediato.

- Paso 3: Costes de inventario y pedidos no servidos son calculados.
- Paso 4: Se realizan las órdenes. Si se ha especificado un sector para el usuario, éste indica la cantidad que desea. Si el sector está controlado por el sistema, el ordenador realiza la orden en función de la política de inventario establecida.

Retrasos y realización de órdenes: Destacar que esta secuencia de eventos implica varias cosas. Primero, una vez que el sector aguas arriba realiza la orden, hay dos periodos de retraso antes de que se pueda usar el material. Además, hay un periodo de retraso para la orden. Esto significa que si, por ejemplo, el minorista realiza una orden de 5 unidades en este periodo, el mayorista no podrá servirle hasta el siguiente periodo. Este periodo, el mayorista intenta servir la orden del periodo anterior. Así, hay un total de tres periodos de retraso entre el lanzamiento de la orden del sector y la llegada del material al inventario del sector.

Además, recalcar que esto no garantiza que la orden sea servida en su totalidad, incluso con los tres periodos de retraso. Un sector aguas arriba solo puede servir una orden en su totalidad si tiene el inventario necesario. En otro caso, el sector registrará la orden como no servida para intentar servirla lo antes posible. La excepción en esto es el sector ‘Fábrica’. Este sector no tiene límite de capacidad de producción, por lo que las órdenes del sector ‘Fábrica’ siempre serán servidas.

B.4 Entendiendo la pantalla

Cada sector en la cadena de suministro se representa en la pantalla. Ejemplo del sector ‘Distribuidor’:

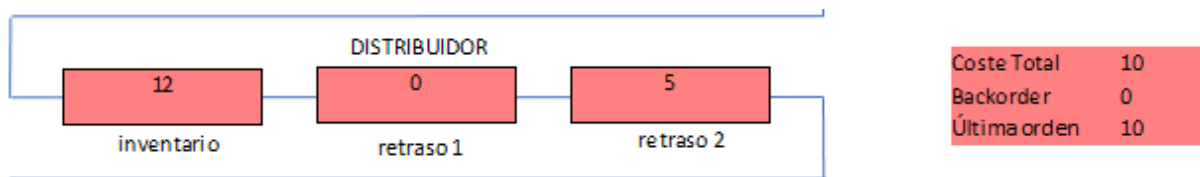


Figura 8-4: Sector en pantalla.

A la izquierda se muestra el número de ítems en inventario. Los siguientes dos elementos a la derecha representan los ítems en camino al inventario, esto es, el número en la caja de ‘retraso 1’ representa el número de ítems que llegará al inventario en una semana, y de manera análoga para ‘retraso 2’. Las etiquetas de la derecha representan, en este orden, el coste total de mantenimiento de stock y pedidos no servidos; los pedidos no servidos, esto es, la demanda que se ha recibido, pero no se ha servido todavía por falta de inventario; y la orden más reciente lanzada por el sector, en este caso ‘Distribuidor’ hacia el sector que tiene aguas arriba, en este caso a ‘Fábrica’. Destacar en este caso, que Backorders se refiere a los pedidos que ‘Distribuidor’ no ha podido servir al sector ‘Mayorista’ por falta de inventario y que irá sirviendo conforme vayan llegando ítems al inventario del sector ‘Distribuidor’.

B.5 Jugando al Beer Game

Para empezar el juego, pulsar el botón START. Al pulsar el botón, los inventarios se inicializan y el juego se establece en la semana 0. Para avanzar la semana, pulsar el botón NEXT. Los inventarios serán actualizados. El sistema actualizará automáticamente los sectores que no controla el usuario. Por ejemplo, si el sector ‘Distribuidor’ es controlado por el usuario, el sistema actualizará el sector ‘Minorista’ y ‘Mayorista’, en ese orden. Una vez esto se ha hecho, aparece un cuadro de diálogo para introducir la orden del sector ‘Distribuidor’ como la siguiente:

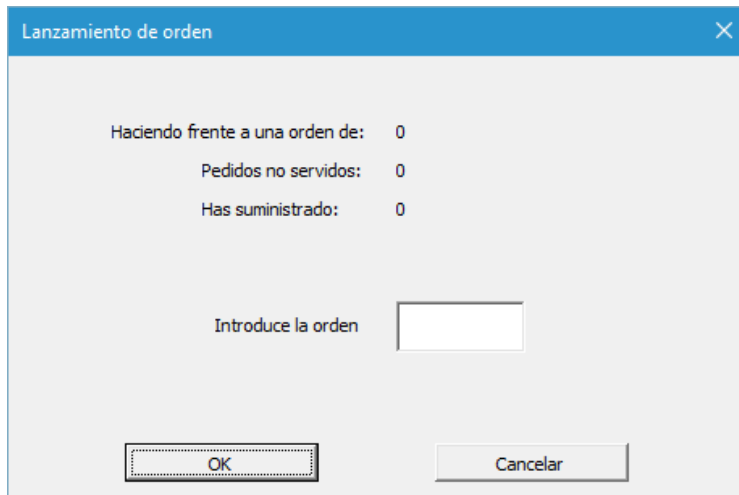


Figura 8-5: Cuadro de diálogo para el lanzamiento de órdenes.

Los inventarios se inicializan con 4 unidades, mientras que en cada uno de los retrasos también hay 4 unidades. No hay pedidos retrasados iniciales ni órdenes iniciales de ningún sector.

El cuadro de diálogo de lanzamiento de órdenes indica el total de pedidos retrasados, la orden a la que el sector hace frente en la ronda actual y qué cantidad ha suministrado. El cuadro 'Backorders' del juego indica la cantidad no servida al final de la ronda, mientras que la cantidad de pedidos no servidos que muestra el cuadro de diálogo para el lanzamiento de órdenes muestra la cantidad no servida al inicio de la ronda. Llegados a este punto, hay que introducir la cantidad a pedir. Ten en cuenta que hay que minimizar costes. Además, se puede ver los pedidos retrasados del sector suministrador (en este caso del sector 'Fábrica') para tenerlos en cuenta a la hora de realizar la orden. Una vez se ha introducido la orden, los sectores restantes aguas arriba se actualizan automáticamente (en este caso 'Fábrica') y se actualiza la pantalla con todos los valores. Cuando se introduce la orden, se puede observar la cantidad ordenada en la pantalla (cuadro de la derecha):

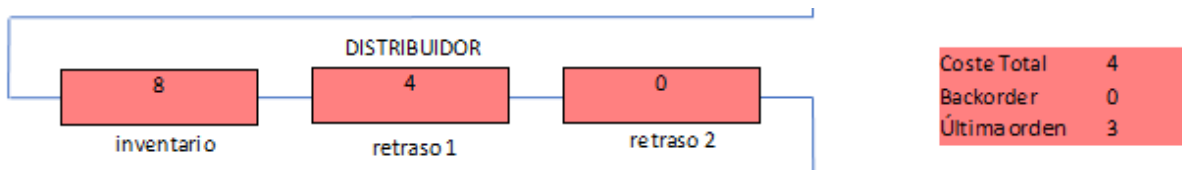


Figura 8-6: Sector en pantalla.

La orden (en este caso de 3) queda reflejada en el cuadro de la derecha. Para pasar a la siguiente ronda, pulsar NEXT. El sistema volverá a realizar los mismos pasos descritos anteriormente.

Durante el juego, en cualquier momento, se pueden ver las gráficas de cada uno de los sectores o del sistema pulsando el botón Gráficas. Al pulsarlo, aparece la siguiente pantalla:

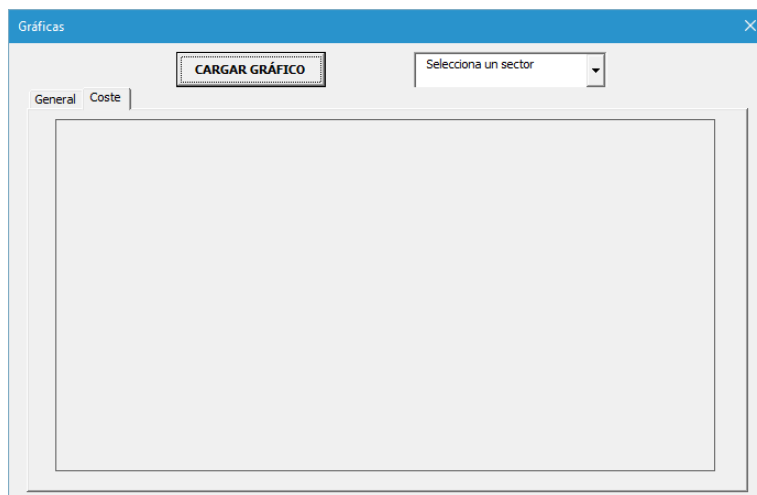


Figura 8-7: Cuadro de diálogo para gráficas.

Para cargar la gráfica es necesario seleccionar el sector requerido en el cuadro de la derecha. Se desplegará una lista donde seleccionar el sector o sistema. Una vez se ha seleccionado, se pulsa el botón CARGAR GRÁFICO. En el caso del sector 'Distribuidor' quedaría como sigue:

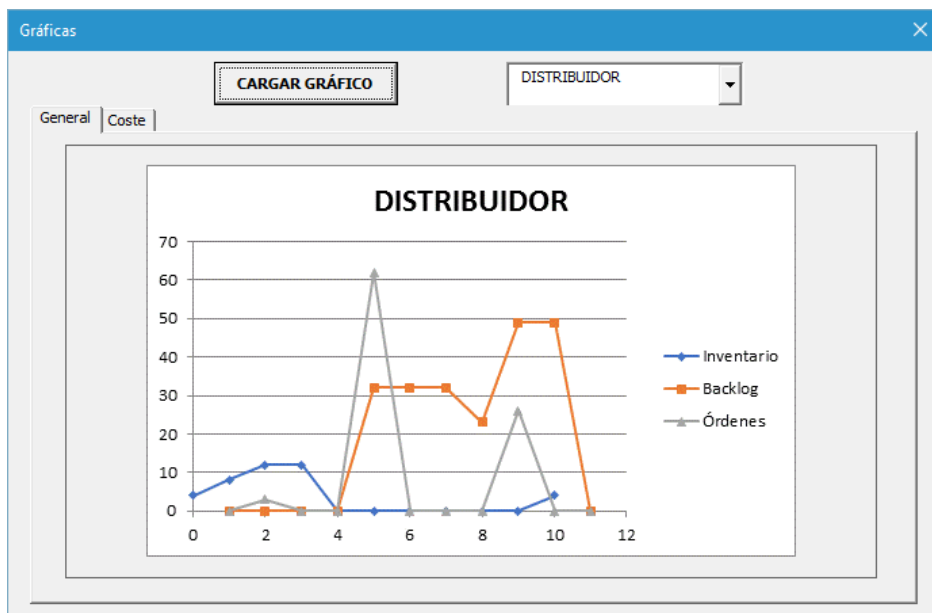


Figura 8-8: Cuadro de diálogo para gráficas.

En esta pantalla aparecen los datos de Inventario, Pedidos retrasado y Órdenes lanzadas. Se puede ver la gráfica de los costes cambiando de pestaña:

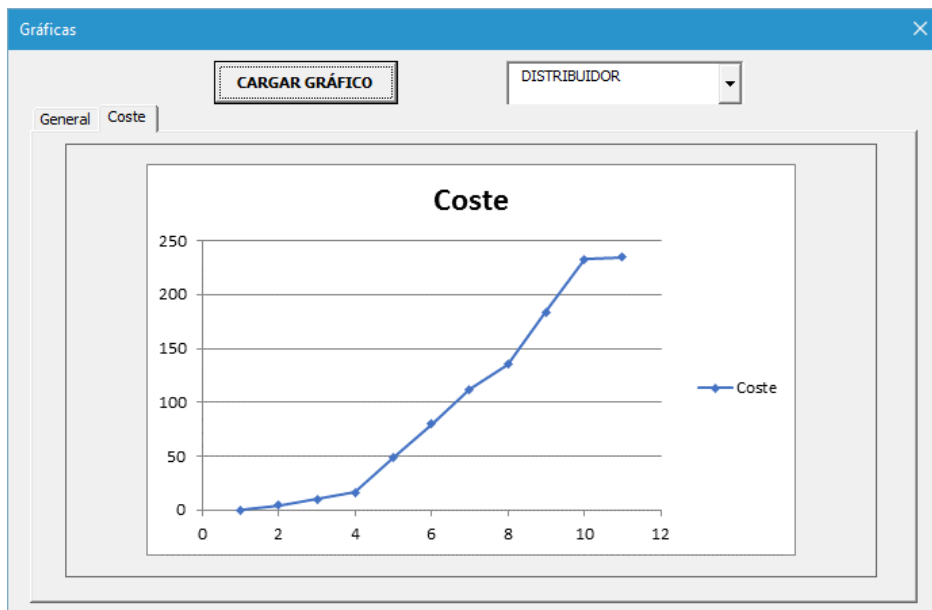


Figura 8-9: Cuadro de diálogo para gráficas.

B.6 Opciones

Beer Game presenta numerosas opciones para el jugador, implementadas para ayudar al usuario a comprender los diferentes aspectos de la gestión de una cadena de suministro.

B.6.1 Políticas

Al pulsar el botón de Políticas aparece el cuadro siguiente:

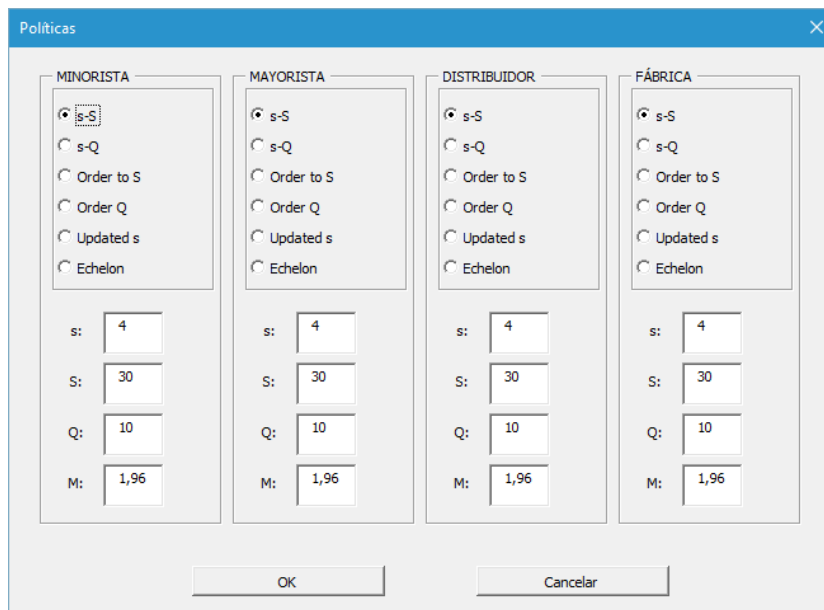


Figura 8-10: Cuadro de diálogo de Políticas.

En este cuadro de diálogo se podrá establecer la política que registrará el sector controlado por el sistema, así como los parámetros que intervienen: punto de pedido, inventario máximo, lote económico y periodos para la estimación de la desviación estándar. Seis políticas son las que están disponibles:

- **s-S**: Cuando el inventario cae por debajo de s el sistema lanza una orden para llevar el inventario a S .
- **s-Q**: Cuando el inventario cae por debajo de s el sistema lanza una orden de cantidad Q .
- **Order to S**: El sistema realiza una orden para llevar el inventario a S .
- **Updated s**: El nivel de s es constantemente actualizado al siguiente valor: la media móvil de la demanda del cliente recibida en las pasadas 10 semanas (o menos de 10 semanas si no se han simulado aún) más M veces la estimación de la desviación estándar en el mismo periodo que la media móvil anterior. Cuando el inventario cae por debajo de dicha s , el sistema lanza una orden para llegar a s . Sin embargo, la cantidad máxima posible a pedir es S .
- **Echelon**: El valor de s para cada sector se determina como sigue:
 - Minorista: $s = L * AVG(D) + M * STD(D) * \text{sqrt}(L)$
 - Mayorista: $s = (L-1+L) * AVG(D) + M * STD(D) * \text{sqrt}(L-1+L)$
 - Distribuidor: $s = (2*(L-1)+L) * AVG(D) + M * STD(D) * \text{sqrt}(2*(L-1)+L)$
 - Fábrica: $s = (3*(L-1)+L) * AVG(D) + M * STD(D) * \text{sqrt}(3*(L-1)+L)$

Siendo $AVG(D)$ la media móvil de la demanda del cliente en las pasadas 10 semanas y $STD(D)$ la desviación estándar de la demanda en el mismo periodo. Cuando el inventario cae por debajo de s , el sistema lanza una orden para llevarlo a s . Sin embargo, el pedido máximo es S .

B.6.2 Jugador

Se podrá elegir el sector que controlará el usuario con esta opción. Al pulsar el botón Jugador aparece el cuadro siguiente donde se podrá seleccionar el sector o no controlar ningún sector para dejar que el sistema controle toda la cadena de suministro.

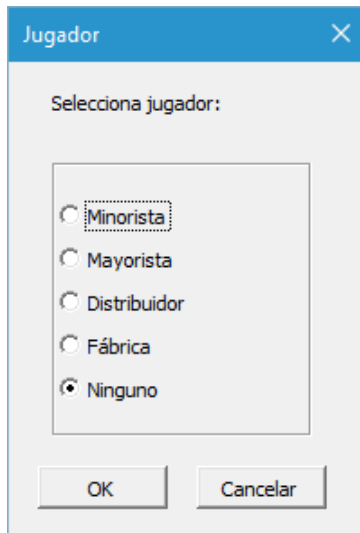


Figura 8-11: Cuadro de diálogo para seleccionar sector.

B.6.3 Demanda

Para establecer la demanda del cliente que entra al sector 'Minorista' se usa el cuadro de diálogo siguiente:

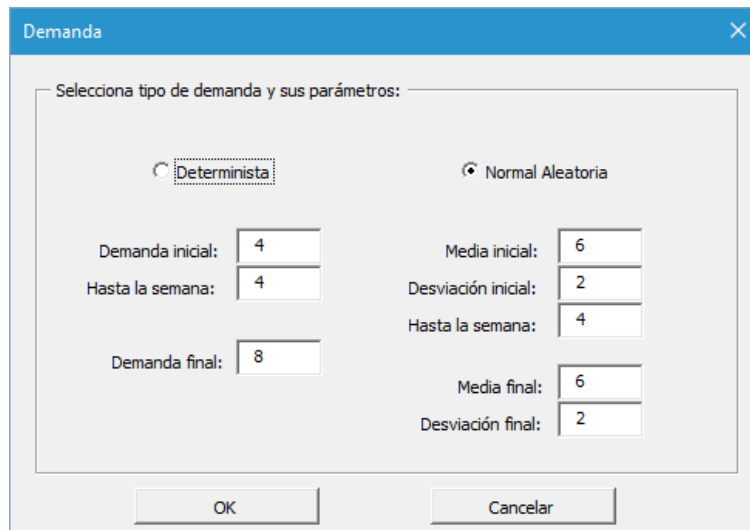


Figura 8-12: Cuadro de diálogo para establecer la demanda del cliente.

Podrá seleccionarse el tipo de demanda junto a sus parámetros.

B.6.4 Costes

Pueden establecerse los costes que se imputarán a cada unidad en inventario y a cada unidad no servida por instante de tiempo. Para establecer dichos costes se usará el siguiente cuadro de diálogo:

The image shows a dialog box with a blue title bar containing the text 'Costes' and a close button (X). The main area is light gray and contains two rows of text. The first row is 'Coste de mantenimiento:' followed by a text input field containing '0,5' and the text 'u.m.' to its right. The second row is 'Coste de rotura de inventario:' followed by a text input field containing '1' and the text 'u.m.' to its right. At the bottom of the dialog, there are two buttons: 'OK' on the left and 'Cancelar' on the right.

Figura 8-13: Cuadro de diálogo para establecer costes.

B.6.5 Info Global

Al pulsar este botón se mostrará en pantalla la información de los sectores que no son controlados por el usuario. Si esta opción está activada cuando se pulsa, se ocultará toda esa información para dejar solo la información del sector controlado por el usuario.

