

# Proyecto Fin de Carrera

## Ingeniería de Organización Industrial

### Impacto de la capacidad sobre el efecto Bullwhip en cadenas de suministro

Autor: Alfonso Peña Pérez

Tutor: Roberto Domínguez Cañizares

**Dpto. Organización Industrial y Gestión de  
Empresas I**

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**

Sevilla, 2020





Proyecto Fin de Carrera  
Ingeniería de Organización Industrial

# **Impacto de la capacidad sobre el efecto Bullwhip en cadenas de suministro**

Autor:

Alfonso Peña Pérez

Tutor:

Roberto Domínguez Cañizares

Profesor Contratado Doctor

Dpto. Organización Industrial y Gestión de Empresas I

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Proyecto Fin de Carrera: Impacto de la capacidad sobre el efecto Bullwhip en cadenas de suministro

Autor: Alfonso Peña Pérez

Tutor: Roberto Domínguez Cañizares

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El secretario del Tribunal



# Agradecimientos

---

*Me gustaría empezar dando las gracias a todas las personas que me han soportado a lo largo de estos cuatro años. A mi familia que siempre me han apoyado incluso cuando no lo merecía. Gracias a mis padres y hermanos por aguantar mis explicaciones ingenieriles e insinuarme el camino que me convenia y esperar a que yo lo tomara. Gracias a mis abuelos, quienes día a día, con su ejemplo me han inspirado a seguir sus pasos como persona y como profesional. Gracias a mis amigos que con “habilidad” me han ayudado a no agobiarme y a intentar que disfrutara de cada momento (nunca reconoce que lo hiciera). Gracias a mis tíos y primos por estar siempre predispuesto a pasar un buen rato. Y por último gracias a mi tutor Roberto que aunque llueva, truene o haya una pandemia mundial, ha podido dedicarme tiempo esfuerzo a lo largo de estos meses.*

*Alfonso Peña Pérez  
Sevilla, 2020*



<b>Agradecimientos</b>	<b>vii</b>
<b>Índice</b>	<b>ix</b>
<b>Índice de Ilustraciones</b>	<b>xi</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>xiii</b>
<b>Notación</b>	<b>xv</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. <i>Definición de cadena de suministro</i>	1
1.2. <i>Efecto Bullwhip</i>	1
1.3. <i>Concepto de Capacidad</i>	2
1.3.1 Tipos	2
1.3.2 Implementación de la capacidad en estudios anteriores	3
<b>2 Descripción del modelo</b>	<b>5</b>
2.1. <i>Aspectos generales</i>	5
2.2. <i>Secuencia de eventos</i>	6
2.3. <i>Método de Estimación</i>	7
2.4. <i>Implementación de la Capacidad</i>	8
2.5. <i>Datos resultantes del modelo</i>	9
<b>3 Implementación del modelo</b>	<b>10</b>
3.1. <i>Método de Implementación</i>	10
3.2. <i>Gestión de Datos</i>	10
3.2.1 Hoja-Cálculos	11
3.2.2 Hoja-Resultados	12
3.3. <i>Implementación en Arena</i>	12
3.3.1 Sección de Estimación	14
3.3.2 Sección de Generación y envío de orden	16
3.3.3 Sección de Llegada y satisfacción de demanda	18
3.3.4 Sección Backlog	20
3.3.5 Sección de Llegada de pedido	21
3.4. <i>Modelo completo</i>	22
<b>4 Validación del Modelo</b>	<b>23</b>
4.1. <i>Marco de la simulación</i>	23
4.2. <i>Exposición de resultados</i>	23
4.2.1 Resultados Bullwhip	24
4.2.2 Resultados Inventario medio	25
4.3. <i>Comparación de Resultados</i>	26
4.3.1 Resultados de Bullwhip	26
4.3.2 Resultados de Inventario Medios	26
<b>5 Diseño de Experimentos</b>	<b>27</b>
5.1. <i>Descripción de variables</i>	27
5.2. <i>Marco de la simulación</i>	28
<b>6 Resultados</b>	<b>29</b>
6.1. <i>Exposición de resultados</i>	29
6.1.1 Bullwhip	29
6.1.2 Inventario medio	30
6.1.3 Nivel de Servicio	31

<b>7 Conclusiones</b>	<b>32</b>
7.1 <i>Epilogo</i>	33
<b>Bibliografía</b>	<b>34</b>
<b>Anexo</b>	<b>35</b>

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

---

Ilustración 1- Efecto <i>Bullwhip</i> (Fuente: elaboración propia)	2
Ilustración 2-Rutina seguida en nodos (Fuente: elaboración propia)	6
Ilustración 3- Diagrama de flujo en Arena (Fuente: elaboración propia)	13
Ilustración 4 - Sección de estimación (Fuente: elaboración propia)	14
Ilustración 5 - Sección de estimación primera parte (Fuente: elaboración propia)	14
Ilustración 6 - Sección de estimación segunda parte (Fuente: elaboración propia)	15
Ilustración 7 - Sección de Generación (Fuente: elaboración propia)	16
Ilustración 8- Sección de Generación ampliada (Fuente: elaboración propia)	17
Ilustración 9 - Sección de capacidad Inflexible (Fuente: elaboración propia)	18
Ilustración 10 - Sección Llegada y Satisfacción de pedido (Fuente: elaboración propia)	18
Ilustración 11 - Sección Llegada y Satisfacción ampliada (Fuente: elaboración propia)	19
Ilustración 12 - Sección Backlog (Fuente: elaboración propia)	20
Ilustración 13 - Sección Backlog ampliada (Fuente: elaboración propia)	20
Ilustración 14 - Sección Llegada del pedido (Fuente: elaboración propia)	21
Ilustración 15 - Sección Llegada del pedido ampliada (Fuente: elaboración propia)	22
Ilustración 16 - Modelo Completo (Fuente: elaboración propia)	22
Ilustración 17 - Validación <i>Bullwhip</i>	26
Ilustración 18 - Validación Inventarios Medios	26



# ÍNDICE DE TABLAS Y ECUACIONES

---

## Tablas

Tabla 1- Hoja Cálculos: Escalones	11
Tabla 2 - Partición de Secciones	14
Tabla 3 - Configuración de Validación	23
Tabla 4 - Resultado validación Bullwhip	24
Tabla 5 - Resultados Validación inventario medio	25
Tabla 6 - Comparación resultados Bullwhip	26
Tabla 7 - Comparación Resultados Inventarios Medios	26
Tabla 8 - Configuración Fija Experimentos	28
Tabla 9 - Resultados Bullwhip primera parte	29
Tabla 10 - Resultados Bullwhip segunda parte	30
Tabla 11 - Resultados inventarios primera parte	30
Tabla 12 - Resultados inventarios segunda parte	31
Tabla 13 - Resultados nivel servicio	31

## Ecuaciones

Ecuación 1 - Desarrollo IQL2 (Fuente: elaboración propia)	7
Ecuación 2 - Punto de pedido IQL2 (Fuente: elaboración propia)	8
Ecuación 3 - Tamaño de Orden (Fuente: elaboración propia)	8
Ecuación 4 - Tiempo de producción (Fuente: elaboración propia)	8
Ecuación 5 – Inventario Medio (Fuente: Chatfield et al. (2004))	9
Ecuación 6 – Bullwhip (Fuente: Chatfield et al. (2004))	9
Ecuación 7 – Nivel de servicio (Fuente: Chatfield et al. (2004))	9
Ecuación 8 - Inventario Promedio (Fuente: elaboración propia)	12
Ecuación 9 - Nivel de servicio Promedio (Fuente: elaboración propia)	12
Ecuación 10 - <i>Bullwhip</i> promedio (Fuente: elaboración propia)	12



# NOTACIÓN

---

## VARIABLES DEL SISTEMA

$O_i^t$	Orden en el periodo “t” del escalón “i”
$B_i^t$	Unidades retrasadas en el periodo “t” del escalón “i”
$WIP_i^t$	Unidades procesándose (Work in progress) en el periodo “t” del escalón “i”
$S_i^t$	Punto de en el periodo “t” del escalón “i”
$I_i^t$	Inventario en el periodo “t” del escalón “i”
$\bar{D}_i^t$	Demanda estimada para el periodo “t” del escalón “i”
$S_{d_i}^t$	Desviación de la demanda en el periodo “t” del escalón “i”
$\bar{L}_i^t$	Tiempo de aprovisionamiento estimad para el periodo “t” del escalón “i” (lead-time)
$S_{l_i}^t$	Desviación de lead-time en el periodo “t” del escalón “i”
$R$	Periodo de revisión (igual a 1)
$z$	Factor de seguridad
$\alpha$	Limitador <i>Bullwhip</i>
$\rho$	Congestión de la Fábrica
$\sigma$	Desviación típica (utilizada en las funciones de probabilidad)
$\mu$	Media (utilizada en las funciones de probabilidad)

## MÓDULOS DE ARENA

Read/Write	Intercambia información entre Arena y Excel, es usada para “copiar” o para “pegar” datos.
Decide	Se utiliza para redirigir a las entidades que pasan por el según uno o varios criterios
Assign	Confiere o modifica propiedades a la entidad
Hold	Retiene a las entidades según un criterio o a la espera de una señal
Signal	Al pasar la entidad se produce una señal
Process	Desarrollo de una actividad que conlleva tiempo y puede requerir de una o varios recursos
Route	Punto de inicio de trayecto hacia el nodo “Station” que puede conllevar tiempo
Station	Punto final de trayecto hacia desde nodo “Route”
Separate	Modulo capaz de duplicar o divide una entidad agrupada



# 1 INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. Definición de cadena de suministro

Una cadena de suministro son todos aquellos eslabones que conforman la infraestructura por la cual un bien o servicio de consumo va transcurriendo desde su concepción hasta atender la demanda del cliente final. Su objetivo es el de incrementar el valor del producto o servicio. Cada uno de estos escalones es encargado de todas las funciones de una empresa: recepción, procesamiento del pedido, entrega, etc. Pero también incluye funciones como la distribución, el marketing y otras muchas actividades que, si bien no inciden directamente en el traspaso de bienes o servicios, influyen a que la empresa como conjunto sea capaz de realizarlo.

Este concepto se puede agrandar y complicar exponencialmente, ya que cada eslabón puede tener distintos productos, distintos proveedores y distintos clientes. Por tanto, es de vital importancia para el correcto funcionamiento de una cadena de suministros que el flujo de materiales, productos e información sea ágil. Sin embargo, la complejidad inherente de una cadena de suministro da lugar a ciertos fenómenos que perjudican su rendimiento, como el conocido efecto *Bullwhip*

## 1.2. Efecto Bullwhip

Cada uno de estos eslabones debe hacer pedidos de forma periódica a su eslabón anterior, o en otras palabras a su proveedor y así poder seguir dando un buen servicio a sus clientes. La concreción del número de unidades a pedir es una estimación realizada a ciegas. Dicha estimación puede estar basada en muchos factores, entre los que se podría destacar el histórico de demanda y los tiempos de aprovisionamiento.

Obtenida la cantidad que se desea pedir, la empresa suele prevenir un hipotético fallo en su estimación, siempre en pos del cliente. O como se diría de forma coloquial, la empresa suele “curarse en salud”. De forma que incrementan ligeramente el tamaño del pedido, para así, en caso de quedarse cortos por excesiva demanda, tienen un pequeño colchón en el cual poder respaldarse y poder seguir dando un buen nivel de servicio al cliente. Al aumentar esta práctica a toda la cadena de suministro se observa de forma clara que cada eslabón aumenta el ya aumentado pedido del escalón anterior. En situaciones en las que existe una buena comunicación entre cada eslabón y los colindantes esto no suele presentar problemas, pero si por el contrario no existe ningún tipo de retroalimentación, un aumento en la demanda por parte del cliente podría degenerar en enormes pedidos para la Fábrica; lo que a su vez generaría periodos de gran carga de trabajo seguidos de periodos sin trabajo.

Este efecto denominado “*Bullwhip effect*” (efecto látigo) se calcula como la ratio “variabilidad en los pedidos / demanda real” y detalla su aumento a medida que nos alejamos del cliente final. Tal y como Ilustración 1, cuya forma se asemeja mucho a la silueta de un látigo al ser descargado.

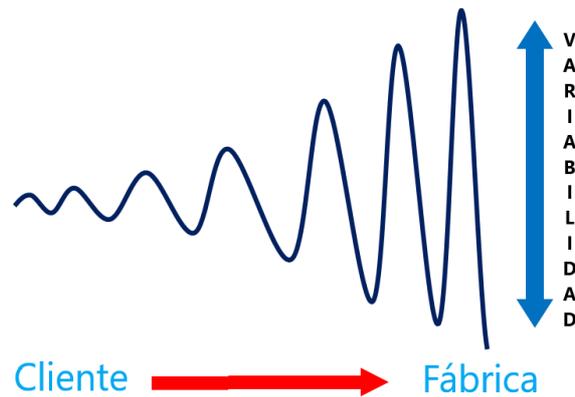


Ilustración 1- Efecto *Bullwhip* (Fuente: elaboración propia)

Esta situación tiene una consecuencia peligrosa, al exigirle a Fábrica una variación mucho más alta y menos constante les obligan a tener más capacidad productiva para poder hacer frente a los periodos de alta demanda, pero esta infraestructura queda inutilizada en periodos de baja demanda.

### 1.3. Concepto de Capacidad

El efecto *Bullwhip* ha sido ampliamente estudiado. Sin embargo, no todos los estudios incorporan como variable a la capacidad. El concepto de capacidad en este entorno se puede definir de muchas formas, si bien por compresión general se entiende como un límite o tope. Su utilización puede referirse al rendimiento productivo, que puede venir dado por la utilización de sus recursos. O a la cantidad máxima de unidades capaz producir en un periodo

#### 1.3.1 Tipos

**Capacidad flexible:** Situación que se da cuando la producción máxima que es capaz de sobrellevar la entidad productiva es extremadamente alta frente a la demanda a la que está sometida, de forma que no interfiere en su funcionamiento. Matemáticamente se puede modelar como capacidad infinita, sin embargo, esta situación no tiene nada de imposible como sugiere la palabra “infinita”; por ejemplo, si una empresa invierte en tener una capacidad productiva 6 veces superior a media que recibe, lo más probable es que este límite no se llegue a alcanzar. Pudiéndose considerar como capacidad infinita y facilitando su gestión.

**Capacidad inflexible:** En este caso sí existe una línea la cual no se puede sobrepasar, por lo que es de capital importancia tenerla en cuenta a la hora realizar estimaciones de cualquier índole. Como consecuencia, los tiempos de servicio serán estocásticos ya que pese a que su tiempo de transporte pueda ser constante su producción es dependiente de la congestión. De forma natural se entiende que esta es la situación habitual en la mayor parte de las empresas.

### 1.3.2 Implementación de la capacidad en estudios anteriores

Dadas las consecuencias que puede tener el efecto *Bullwhip* no es de extrañar la cantidad de estudios sobre él, si bien su perspectiva en cuanto a la capacidad no ha sido la misma.

Chatfield et al. (2004), es un estudio de referencia. En este se simula una cadena de suministro con cuatro escalones y capacidad flexible. Considera el factor de intercambio de información entre los distintos eslabones, define 3 grados para intentar englobar todas las situaciones Su objetivo es analizar el efecto de los tiempos de entrega estocásticos al igual que el efecto del intercambio de información y la calidad de esta. El modelo se simula mediante un programa de cosecha propia (CISCO).

En el estudio de Cannella et al. (2014) proponen una capacidad inflexible, fija un número máximo de unidades a pedir. De esta forma se limita de forma tajante e inequívoca el efecto máximo del *Bullwhip*, aparte también se puede justificar como límite físico del canal de suministro (capacidad de un camión o espacio de un container). Este método ha sido la estrategia más seguida en las investigaciones sobre este tema, algunos de los más relevantes son: Spiegler et al. 2016, Shukla and Naim (2017), Ponte et al. (2017), Lin and Naim (2019), Lin et al. (2020).

La investigación realizada en el estudio de Framinan (2017) asocia la capacidad como factor indirecto influyente en los *lead-times*. Esta asociación es utilizada a la hora de la realizar la estimación del punto de aprovisionamiento, e implementa en distintos escenarios donde estima según las medias: error cuadrático medio, media móvil, etc. Se puede entender como una forma de estimación dependiente a lo requerido y entregado anteriormente.

Otra estrategia usada a la hora de modelar la capacidad inflexible consiste en condicionar los *lead-times* de la fábrica según la carga que tenga en cada momento, asociando directamente la capacidad de la fábrica y los *lead-times* obtenidos. Mas abajo se describen dos estudios que modelan la capacidad de esta forma.

Por su parte en el estudio Boute et al. (2009), se genera un método analítico que estima el *bullwhip*. Su objetivo es hallar un factor que normalice el punto de pedido y así minimizar los costes asociados al efecto *Bullwhip*. Para modelar la capacidad se limita el número de unidades que se pueden procesar por periodo, mientras que la distribución de los *lead-times* es estimada mediante un modelo de colas en tiempo discreto.

Cannella et al. (2018), estima el plazo de entrega según una curva obtenida de forma empírica que relaciona la duración media de ciclo y el ratio de rendimiento (CT-PT). En esta curva se identifican dos zonas a modo de referencia. La primera en la que la carga de trabajo no afecta a los plazos de entrega y la segunda donde afecta a los plazos de entrega de forma exponencial. El estudio esta aplicado a un único escalón y para un único producto

En el presente trabajo se intentará ir en la línea de estos dos últimos estudios, desarrollando un modelo de simulación que permita modelar la relación entre capacidad y *lead-times* de la fábrica de forma explícita y directa. De esta forma se podrá observar el rendimiento de la cadena de suministro sin necesidad de realizar una estimación de los *lead-times* como en los trabajos mencionados anteriormente.

## 1.4. Objetivos del estudio

Frente a los enfoques revisados en la literatura, este estudio se ha planteado desde un punto de vista distinto. Se modelará una cadena de suministro de cuatro escalones. Su estructura, secuencia de eventos y ecuaciones serán muy similares a los descritos en el trabajo de Chatfield et al. (2004) y Boute et al. (2009). La mayor diferencia que se encontrará con respecto al trabajo de Chatfield et al. (2004) será a adición de capacidad al modelo. Con respecto al modelo de Boute et al. (2009) la diferencia estará en el modelado de la capacidad. Como se comentó en el apartado anterior, dicha capacidad se modelará de forma explícita mediante el tiempo de producción unitario, supeditada a la congestión de la Fábrica, mientras que Boute et al (2009) obtiene una aproximación a la distribución de los leads-times de producción basada en teoría de colas. En la experimentación se considerarán distintos factores, que forzarán al sistema a trabajar bajo ellos. Sus desempeños serán analizados con el fin de entender que acciones se deberían realizar para un mejor rendimiento, tanto productivo como hacia los clientes.

Desde esta perspectiva este trabajo tiene como objetivo el estudio del impacto de la capacidad modelada de forma explícita sobre: el efecto *Bullwhip*, el nivel de servicio y el inventario promedio de los distintos escalones de una cadena de suministro.

## 1.5. Estructura del Trabajo

El Apartado 2, describirá el funcionamiento general del modelo utilizado, sus limitaciones y los supuestos de partida.

A continuación, en el Apartado 3 se pasará a la explicación en detalle de su implementación en el entorno de simulación, y así constatar que el modelo generado cumple todos y cada uno de los requisitos necesarios para ser útil en la obtención de los objetivos marcados.

En el Apartado 4 se comparan los resultados del modelo frente a los obtenidos en el estudio de Chatfield et al. (2004), compartiendo las mismas premisas.

En el Apartado 5, se desarrollará el diseño de experimentos, donde se introducirán los parámetros variables, explicando los valores seleccionados para esos parámetros.

En el Apartado 6 se presentarán los resultados de los distintos experimentos, y en el Apartado 7 se analizarán dichos resultados para establecer las conclusiones.

# 2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

---

## 2.1. Aspectos generales

A continuación, se describen las características de la cadena de suministro.

La cadena de suministro que se modelará está basada en la cadena descrita en el estudio de Chatfield et al. (2004). Se modelará una cadena de tres escalones o nodos, a los que se denominarán: Distribuidor, Mayorista y Fábrica. Los nodos realizarán pedidos al nodo superior que se encargará de servir la demanda. La demanda por satisfacer será estocástica; para simplificar la complejidad del sistema y más concretamente la estimación de la demanda, la cadena procesará un único producto.

Como se ha comentado anteriormente, la diferencia más notable entre el modelo utilizado y el descrito en Chatfield et al. (2004) es la adición de capacidad inflexible; la cual influirá en el tiempo de producción. Si bien todos los escalones funcionan de forma idéntica solo a la Fábrica se le aplicará la capacidad.

Para poder satisfacer la demanda en el mismo momento en el que llega, es necesario disponer de la cantidad almacenada, esta política se denomina *make to stock*. Sin embargo, una gran cantidad de stock supone un alto coste. Para aunar un buen nivel de servicio y un stock lo más pequeño posible, es necesario calcular de forma correcta el punto de pedido. Esta cantidad debe ser la suficiente como para satisfacer a la demanda desde que se realiza el pedido hasta su recepción.

A la hora de calcular el punto de pedido se ha utilizado una política Order-Up-To de tipo (R, S) con  $R=1$  (es decir, se revisa el punto de pedido en cada periodo). El punto de pedido S se calcula dinámicamente en función de la demanda que se espera y lo que tarda el proveedor en entregarlo. Puesto que ni la demanda ni el lead-time son constantes, los nodos deben de estimarlos a partir de experiencias anteriores.

## 2.2. Secuencia de eventos

En este apartado se mostrarán los procesos que realizan los nodos.

Cada nodo tiene una serie de funciones descritas en el estudio Chatfield et al. (2004), que siguen un orden establecido. Estas funciones se podrían agrupar en: servir demanda, recibir pedidos, hacer pedidos y realizar previsiones. A lo largo de los periodos que dura la simulación, los nodos seguirán una rutina idéntica pero independiente, ya que sus situaciones diferirán.

El diagrama de la Ilustración 2 muestra, de forma simplificada, la secuencia de eventos seguida por cada nodo y que será explicada más adelante

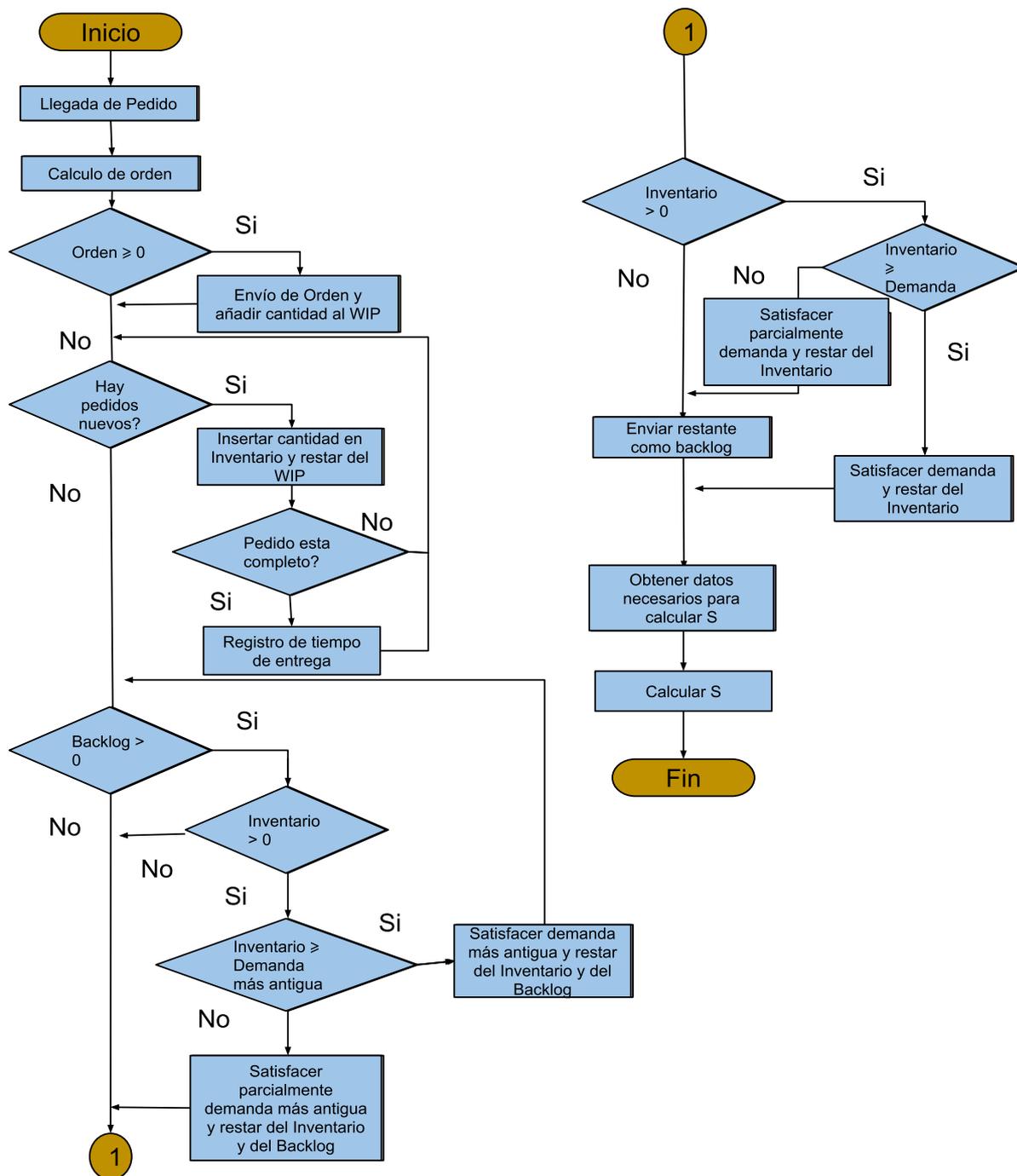


Ilustración 2 – Secuencia de eventos seguida por los nodos (Fuente: elaboración propia)

La secuencia de eventos comienza al recibir la demanda del cliente. Siendo el cliente de cada nodo el nodo inferior, las actuaciones de los nodos se realizarán de abajo hacia arriba en la cadena; no de forma simultánea.

Tras recibir la demanda del cliente, el nodo calcula si necesita hacer un pedido y su cantidad. Este compara el estado actual donde suma el inventario y las unidades pendientes de recepción (o Work In Progress, WIP) y resta las unidades retrasadas (Backlog). La diferencia entre el estado actual y el punto de pedido nos dará la cantidad de la orden a pedir. Las órdenes serán siempre superiores a cero, es decir no se devuelve el producto.

Siguiendo la secuencia de eventos, se integrarán las órdenes que hubieran llegado por parte del proveedor (en el caso que hubiera alguna). Simplemente se añadirían al inventario y se retirarían del WIP. Teniendo el inventario, en ese momento se pasaría a satisfacer la demanda. Es importante recalcar que si hubiera varios pedidos acumulados de demandas pasadas no satisfechas, se seguiría el criterio FIFO, por lo que la demanda más reciente será la última en ser satisfecha y las más antiguas las primeras en ser satisfechas.

Una vez enviado el producto al cliente se actualiza el punto de pedido del nodo. Para ello se recurre a los últimos datos recogidos, la demanda del mismo periodo y los lead-times de los pedidos completos entregados. Con estos datos el nodo será capaz de estimar la demanda y lead-times esperados, para lo cual se utilizará una media móvil. Apoyándose en estos datos, se generará el punto de pedido para la estimación del periodo siguiente.

### 2.3. Método de Estimación

A continuación, se expondrá el modo por el cual se obtiene el valor de  $S_i^t$  y  $O_i^t$ .

En el estudio Chatfield et al. (2004) se desarrollan distintos métodos de estimación (IQL1, IQL2, IQL3). En el modelo del presente estudio se permitirá la elección entre IQL1 e IQL2. Esta última será la aplicada a los experimentos. Seguidamente se comentará el proceso para la obtención de la IQL2. Así mismo la explicación del desarrollo de la Ecuación IQL1 se encuentra en el Anexo.

El primer sumando ( $\bar{X}$ ) es el número estimado de unidades que permitiría cubrir la demanda mientras dure el periodo de abastecimiento; para ello se estima la demanda ( $\bar{D}_i^t$ ) y el lead-time ( $\bar{L}_i^t$ ). El método para la estimación de ambos será mediante una media móvil. El término ( $s_{x_i}^t$ ) estima la desviación de la demanda y el tiempo de aprovisionamiento. Por su parte, el termino ( $z$ ) es el valor del porcentaje de “desviación” que se intenta cubrir, en este caso es el 97,72%, que se corresponde con  $z = 2$ .

$$S_i^t = \bar{X} + s_{x_i}^t \cdot z$$

$$\bar{X} = (\bar{L}_i^t + R) \cdot \bar{D}_i^t$$

$$s_{x_i}^{t^2} = (\bar{L}_i^t + R)s_{d_i}^{t^2} + \bar{D}_i^{t^2} \cdot s_{L_i}^{t^2}$$

$$S_i^t = (\bar{L}_i^t \cdot \bar{D}_i^t + R \cdot \bar{D}_i^t) + z \cdot \sqrt{(\bar{L}_i^t + R)s_{d_i}^{t^2} + \bar{D}_i^{t^2} \cdot s_{L_i}^{t^2}}$$

Ecuación 1 - Desarrollo IQL2 (Fuente: elaboración propia)

$$S_i^t = \bar{D}_i^t + \alpha \times \left( 2 \times \sqrt{(1 + \bar{L}_i^t) \times s_{d_i}^{t^2} + \bar{D}_i^{t^2} \times s_{L_i}^{t^2}} + \bar{L}_i^t \times \bar{D}_i^t \right)$$

Ecuación 2 - Punto de pedido IQL2 (Fuente: elaboración propia)

$$O_i^t \approx S_i^t - \alpha \times \left( (I_i^t + WIP_i^t) - B_i^t \right)$$

Ecuación 3 - Tamaño de la Orden (Fuente: elaboración propia)

Las dos ecuaciones anteriores representan respectivamente el punto de pedido y el valor de la orden. Ambas ecuaciones están en función de  $\alpha$ ; este es un limitador proporcional y su misión es mitigar el efecto *Bullwhip*. Para ello suaviza la diferencia entre el estado actual y el idóneo, sin llegar a rebajar lo que se estima que será la demanda del próximo periodo.

Como se ha comentado anteriormente el valor  $O_i^t$  siempre será mayor o igual a cero, ya que si saliera negativo indicaría que la posición de inventario actual es mayor que la ideal y supondría que se debería devolver unidades, lo cual, como se ha mencionado antes, no está contemplado puesto que el número de unidades tiene que ser un numero entero, la ecuación de  $O_i^t$  se aproxima al entero más cercano.

## 2.4. Implementación de la Capacidad

En esta sección se describirá el método utilizado para modelar la capacidad inflexible.

La fábrica estima la orden de la misma forma que los otros escalones, pero en su caso, a diferencia del resto, sus órdenes van a parar a la sección productiva de la fábrica. Aquí se retendrá cada orden un tiempo de producción según esta ecuación.

$$Tiempo\ Produccion\ Total = \left( \frac{1}{\mu} \times \rho \right) \times N^\circ\ Unidades$$

Ecuación 4 - Tiempo de producción (Fuente: elaboración propia)

Lo contenido dentro del paréntesis corresponde al tiempo de producción unitario por cada periodo de tiempo. Para obtenerlo, se fracciona un periodo de tiempo entre la media de unidades que demanda el cliente final en ese mismo periodo ( $\mu$ ), y se multiplica por la congestión a la que estará sometido el escalón ( $\rho$ ).

La limitación también radica en los recursos, solo se podrá procesar un pedido a la vez, por lo que en caso de que al llegar un pedido haya otro que se esté fabricando, el nuevo pedido deberá esperar a su turno según FIFO

## 2.5. Datos resultantes del modelo

En esta sección se explicarán los valores que resultan del modelo, su modo de cálculo y su significado.

**Inventario medio:** al final de cada periodo de cada réplica, se anotará el inventario que tiene cada escalón. Y al llegar el final de cada replica se hará la media aritmética de todos los valores parciales. Midiendo este resultado se puede comprobar cuán acertada ha sido la estimación

$$\bar{I}_{i_k} = \frac{1}{T} \times \sum_{t=1}^T I_i^t$$

Ecuación 5 – Inventario Medio (Fuente: Chatfield et al. (2004))

**Bullwhip:** representa el incremento de la varianza de los pedidos conforme avanzamos hacia arriba en los escalones de la cadena de suministro. Su cálculo es la división entre, la varianza del conjunto de pedidos que le llegan al escalón, y la varianza “real” de las demandas del cliente final.

$$\overline{BWE}_{i_k} = \frac{\sigma_{i_k}^2}{\sigma_0^2}$$

Ecuación 6 – Bullwhip (Fuente: Chatfield et al. (2004))

**Nivel de servicio:** este indicador representa la “efectividad” de la cadena de suministro. Es el porcentaje que suponen las unidades que se han podido servir en el mismo instante de recibir el pedido ( $D_t^{i*}$ ) sobre el total de unidades demandas. Su valor se obtiene exclusivamente del último escalón, el que entrega el producto al cliente final.

$$NS_k (\%) = \frac{\sum_{t=1}^T D_t^{3*}}{\sum_{t=1}^T D_t^3} \times 100$$

Ecuación 7 – Nivel de servicio (Fuente: Chatfield et al. (2004))

# 3 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO

---

## 3.1. Método de Implementación

A continuación se explicarán los recursos empleados para crear el modelo.

Para dar respuesta a los objetivos planteados es necesario diseñar un sistema que se verá sometido a las condiciones propias de una industria. Puesto que el objetivo es crear un modelo que tomara decisiones según su estado y experiencia, la solución más factible pasa por crear dicho sistema en un entorno de simulación, el programa elegido es Arena. Este posee numerosas cualidades que lo hacen idóneo. Permite simular de forma dinámica todos los nodos y cada una de las decisiones que se realizan siendo entre ellos independientes. Aparte, también añade un factor de realismo al sistema que no siempre se consigue con los modelos analíticos. Su misión dentro del estudio será la de amalgamar la estructura de los tres nodos, sus canales de intercambio de productos e información y generar los escenarios necesarios de los distintos experimentos.

Pese a las bondades del programa Arena este también posee algunas limitaciones que se tuvieron en cuenta a la hora de modelar el sistema. En primer lugar, dada la complejidad total del modelo y la duración de las distintas replicas (más adelante se comentará), se necesita mucho tiempo para correr todos los experimentos necesarios.

Por otra parte, el modelo requiere de acceso a un histórico de datos de considerable tamaño para realizar las estimaciones, y dado el complejo manejo en Arena, se ha optado por Excel para la gestión de los datos.

## 3.2. Gestión de Datos

Como se ha comentado arriba, para una cómoda organización de los datos históricos se ha utilizado el programa Excel. Este programa tendrá dos usos, por una parte, se utilizará un archivo al cual se denominará: "Hoja-Cálculos" que será encargado de almacenar todos y cada uno de los valores de la réplica en curso y de su procesamiento. Por otro lado, los resultados de cada replica se almacenan en otro archivo Excel llamado "Hoja-Resultados", en el que se comprueba la consistencia de dichos resultados. Algunos de estos resultados son medias aritméticas que intentan representar la aproximación global de cada replica.



### 3.2.2 Hoja-Resultados

En cada experimento se ha realizado varias replicas para constatar la consistencia de los resultados. Para su mejor comprensión se ha creado el archivo “Hoja-Resultados”, que calcula de forma automática los valores resultantes de cada replica, que como se ha comentado antes son: el nivel de servicio, el *Bullwhip* e inventario medio. Para cada uno de ellos se ha diseñado un libro dentro de dicho archivo.

Para calcular el inventario promedio se utiliza una tabla donde se recogen los inventarios promedios de cada eslabón en cada replica. Una vez obtenidos todos los resultados se realiza la media aritmética de ellos.

$$\bar{I}_i = \frac{1}{V} \times \sum_{k=1}^V \bar{I}_{i_k}$$

Ecuación 8 - Inventario Promedio (Fuente: elaboración propia)

Para el nivel de servicio, el modelo facilita el total de unidades demandadas durante el periodo de estudio, al igual que la cantidad servida en el instante de recibir el pedido. Con estos valores se obtiene el porcentaje de la réplica ( $NS_k$ ), y al igual que en el anterior caso, al tener cada uno de los porcentajes de las réplicas se aúna en una media general.

$$\overline{NS} = \frac{1}{V} \times \sum_{k=1}^V NS_k$$

Ecuación 9 - Nivel de servicio Promedio (Fuente: elaboración propia)

En el caso del *Bullwhip* para el cálculo son necesarios la variabilidad entre las órdenes de cada escalón. Estas son divididas entre la variabilidad real, es decir, entre la variabilidad de demanda del cliente final. Siguiendo el mismo método que en las anteriores métricas, se realiza el promedio con los valores parciales de cada escalón, y además se identifican los valores máximos y mínimos de entre todas las réplicas. Los valores promedios serán representados gráficamente junto a los máximos y mínimos.

$$\overline{BWE}_i = \frac{1}{V} \times \sum_{k=1}^V \overline{BWE}_{i_k}$$

Ecuación 10 - *Bullwhip* promedio (Fuente: elaboración propia)

### 3.3. Implementación en Arena

En este apartado se desarrollará en detalle el modelado del sistema en Arena.

Aunque el modelo guarda muchas similitudes con respecto a la versión descrita en el modelo de Chatfield et al. (2004), a la hora de implementarlo se ha tenido que acondicionar al programa Arena.

En la Ilustración 3 se muestra básicamente el mismo diagrama que en el apartado anterior, salvo por un par de diferencias. La primera y más obvia son los distintos tonos de los símbolos (más adelante se comentará). Y el segundo cambio corresponde a la ubicación del proceso del cálculo de  $S_i^t$ , el cual, ahora se encuentra prácticamente al inicio, tras la llegada del pedido. En el diagrama anterior dicho proceso era el último de la rutina.

Este cambio es para dar mayor facilidad al modelo en el cálculo de la orden, y afecta al desempeño del mismo.

En el modelo original de Chatfield et al. (2004) se estimaban las variables necesarias para el cálculo de  $S_i^t$  e inmediatamente se calculaba  $S_i^{t+1}$  cuyo valor sería utilizado en el siguiente periodo. Y en la implementación del modelo en Arena, las variables estimadas son almacenadas en memoria, y en el siguiente periodo se utilizan para calcular  $S_i^{t+1}$ ; por lo que a efectos prácticos el cambio de posición no influye en el comportamiento del sistema.

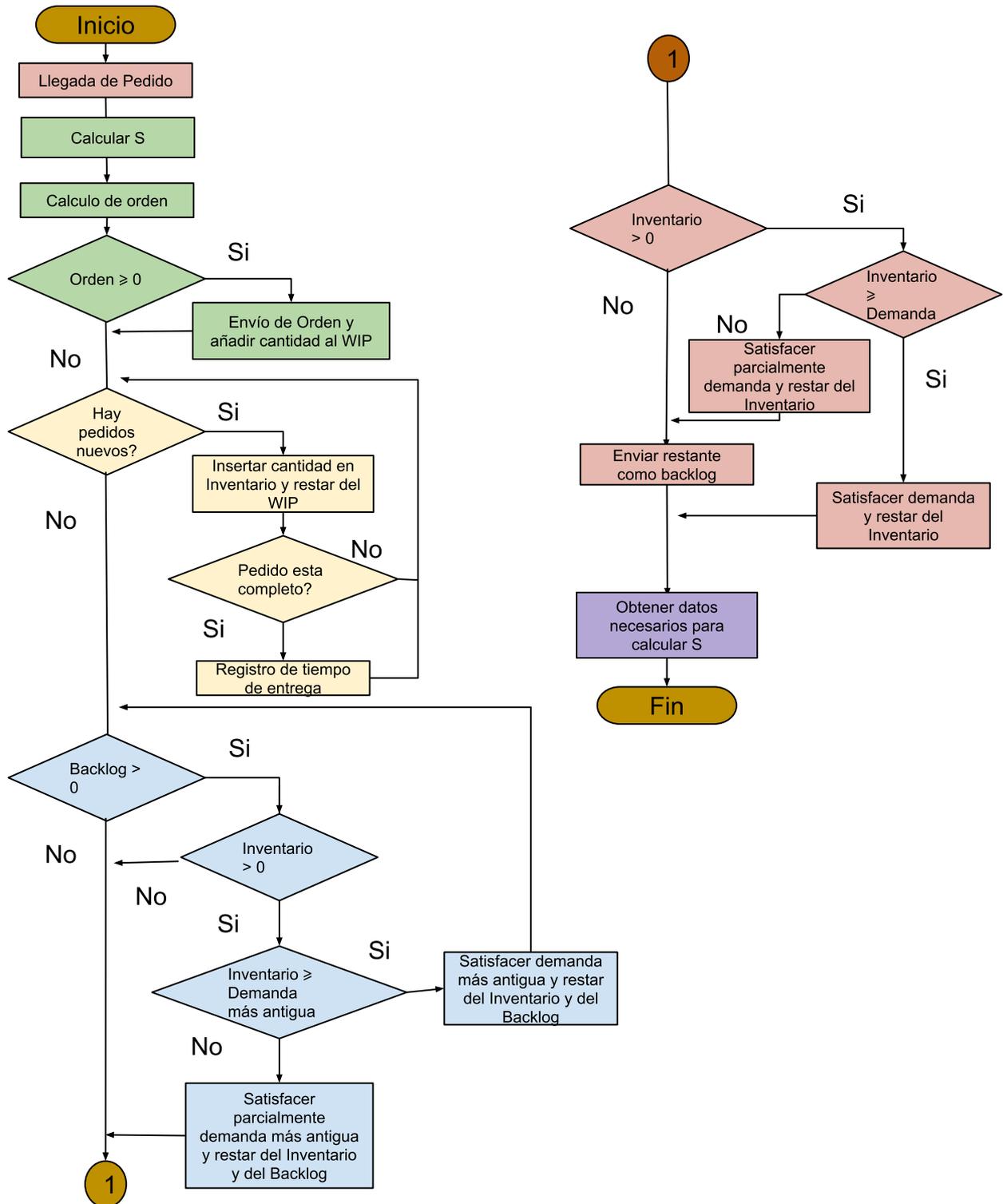


Ilustración 3- Diagrama de flujo en Arena (Fuente: elaboración propia)

Dado que el modelado de este diagrama en conjunto puede ser complejo, se ha optado por dividirlo en secciones que tengan el mismo objetivo. Nótese los distintos colores que conforman el diagrama.

Color	Nombre Sección
Rojo	Sección de llegada y satisfacción de demanda
Verde	Sección de generación de orden y envío
Amarillo	Sección recepción de pedidos
Azul	Sección Backlog
Malva	Sección de Estimación

Tabla 2 - Partición de Secciones

### 3.3.1 Sección de Estimación

Pese al nombre esta Sección no estima per se, puesto que como se ha dicho anteriormente, todas las estimaciones son realizadas automáticamente en el Excel. Esta sección hace dos funciones. La primera es actualizar la mayoría de las variables necesarias para la estimación. Para ello accede al Excel y lee los valores correspondientes a:  $\bar{D}_i^t$  y  $S_{d_i}^t$ . Y la segunda función es exportar los datos de cada replica, desde la Hoja-Cálculos a la Hoja-Resultados.



Ilustración 4 - Sección de estimación (Fuente: elaboración propia)

Consecuentemente, al modelar en Arena esta Sección, se hace en dos partes, una para realizar cada función. La primera (Ilustración 5), utiliza los dos primeros módulos “Read” que actualizan las variables de la  $\bar{D}_i^t$  y  $S_{d_i}^t$  desde la Hoja-Cálculos.



Ilustración 5 - Sección de estimación primera parte (Fuente: elaboración propia)

La segunda parte es la encargada de brindar información que permita después obtener resultados. Tras la lectura de  $\bar{D}_i^t$  y  $S_{d_i}^t$ , la entidad escribe en la Hoja-Cálculos el inventario en el que se encuentra el eslabón al final del periodo. Después de la actualización va un módulo “Decide”; su misión es, llegado el último periodo de la réplica, dirigir la entidad a la zona inferior de la Sección. Aquí se pasa por una serie de módulos que realizan una transferencia de datos entre los dos archivos.

Arena te permite tener hojas de cálculo cuyo contenido sea dependiente o independiente de la réplica en que se encuentre el experimento, pero no ambos casos a la vez. Por eso en el último periodo de la réplica, la “Hoja-Cálculos” transmite el resumen de los datos que ha obtenido durante el periodo, antes de ser reiniciada. Dentro de este grupo de información se encuentra: Inventario medio y varianzas de la órdenes realizadas. Aparte de esta información, en el caso del nodo Distribuidor, también se aporta la varianzas de la demanda del cliente final y los valores que determinan el nivel de servicio.

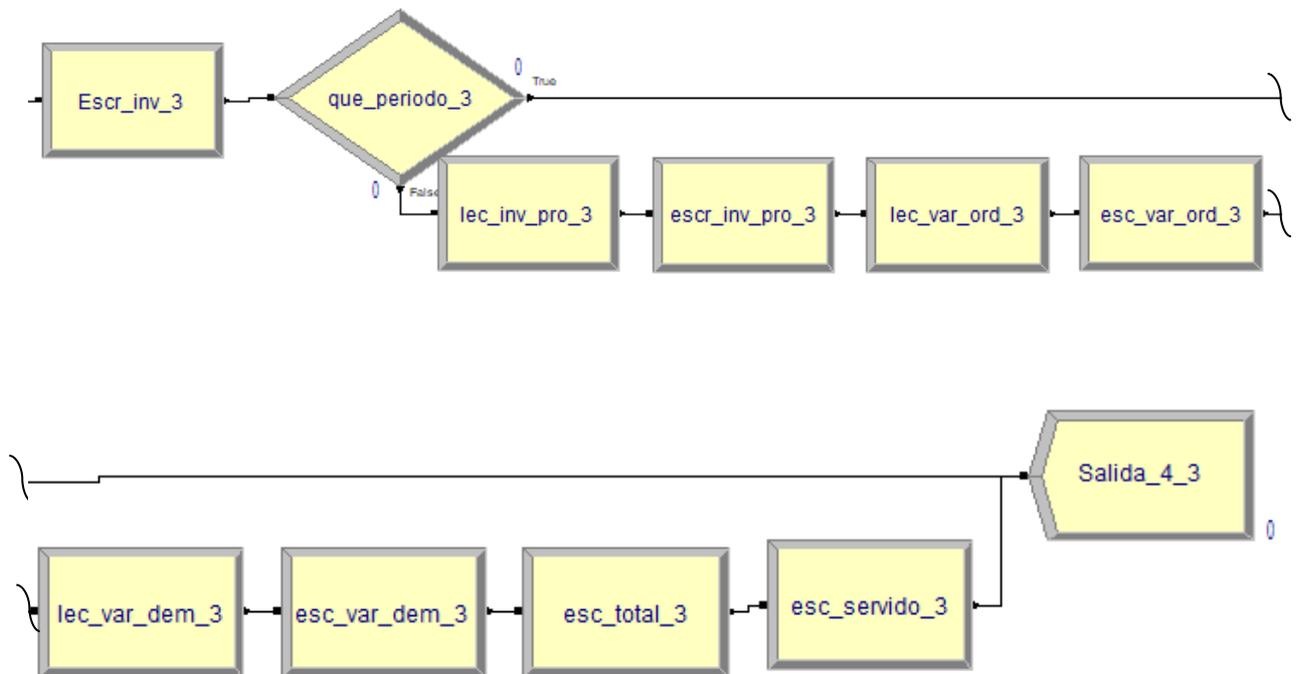


Ilustración 6 - Sección de estimación segunda parte (Fuente: elaboración propia)

En este caso la Ilustración 6 mostrada representa al nodo Distribuidor. Nótese la terminación de todos los procesos. El número tres hace referencia a este nodo; el dos al Mayorista y el uno lógicamente a la Fábrica. Su inclusión no tiene más relevancia que la de que Arena no admite procesos con el mismo nombre.

### 3.3.2 Sección de Generación y Envío de Orden

Esta sección se encarga del cálculo del valor de la orden y, si es superior a cero, del envío de la misma. La sección se activa en el instante cero de cada periodo, tras la recepción de la demanda. Primero se calcula el valor de la  $S_t^t$ , acto seguido se comprueba si el valor  $S_t^t$  es superior o inferior a la posición de inventario. En caso de ser necesario se realiza un pedido donde el número de unidades demandadas es la diferencia entre la  $S_t^t$  y la posición de Inventario.

Generación Orden Abastecimiento

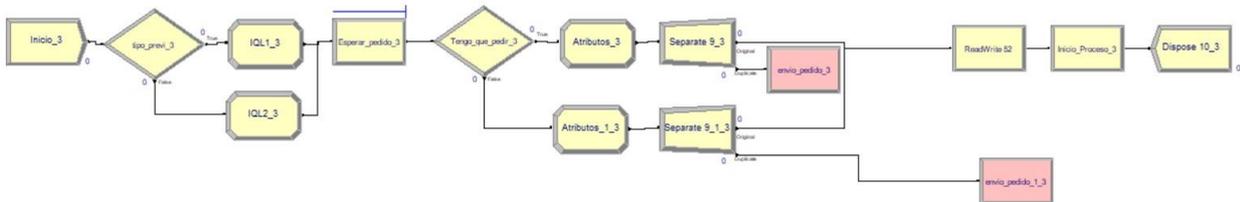


Ilustración 7 - Sección de Generación (Fuente: elaboración propia)

La sección comienza como ya se comentó anteriormente en el instante cero de cada periodo, acto seguido pasa por un módulo “Decide” donde con ayuda de una variable, el usuario puede elegir qué ecuación usar para calcular  $S_t^i$ : IQL1 ó IQL2. Dicha ecuación determinará, según la configuración deseada y los datos de los pedidos anteriores (unidades y lead-time), la posición de inventario idónea.

Tras el cálculo de  $S_t^i$  la entidad espera en el módulo “Hold” hasta que se termine la recepción de la demanda del periodo vigente, tal y como se indica en la secuencia de eventos. Una vez liberado, lo único que se realiza es el cálculo del valor de la orden. La ecuación es lógica, se busca eliminar la diferencia entre valor de  $S_t^t$  y la posición actual del inventario. Esta se puede sintetizar en: lo que el escalón tiene actualmente en el inventario, más lo que tiene pedido al proveedor pendiente de ser entregado y menos las unidades que tuviera pendientes de servir. Dado que el valor de  $O_t^t$  debe ser positivo y entero, el módulo “Decide” clasifica los valores de las órdenes, ya aproximados al entero más cercano, entre positivos (línea superior) y negativos (línea inferior), siendo estos últimos convertidos en demanda con valor 0.

Teniendo el valor de O se envía al proveedor en la entidad mandada se le asocia una fecha de envío para que a la hora de que se tramite el pedido completo se pueda ver el lead-time.

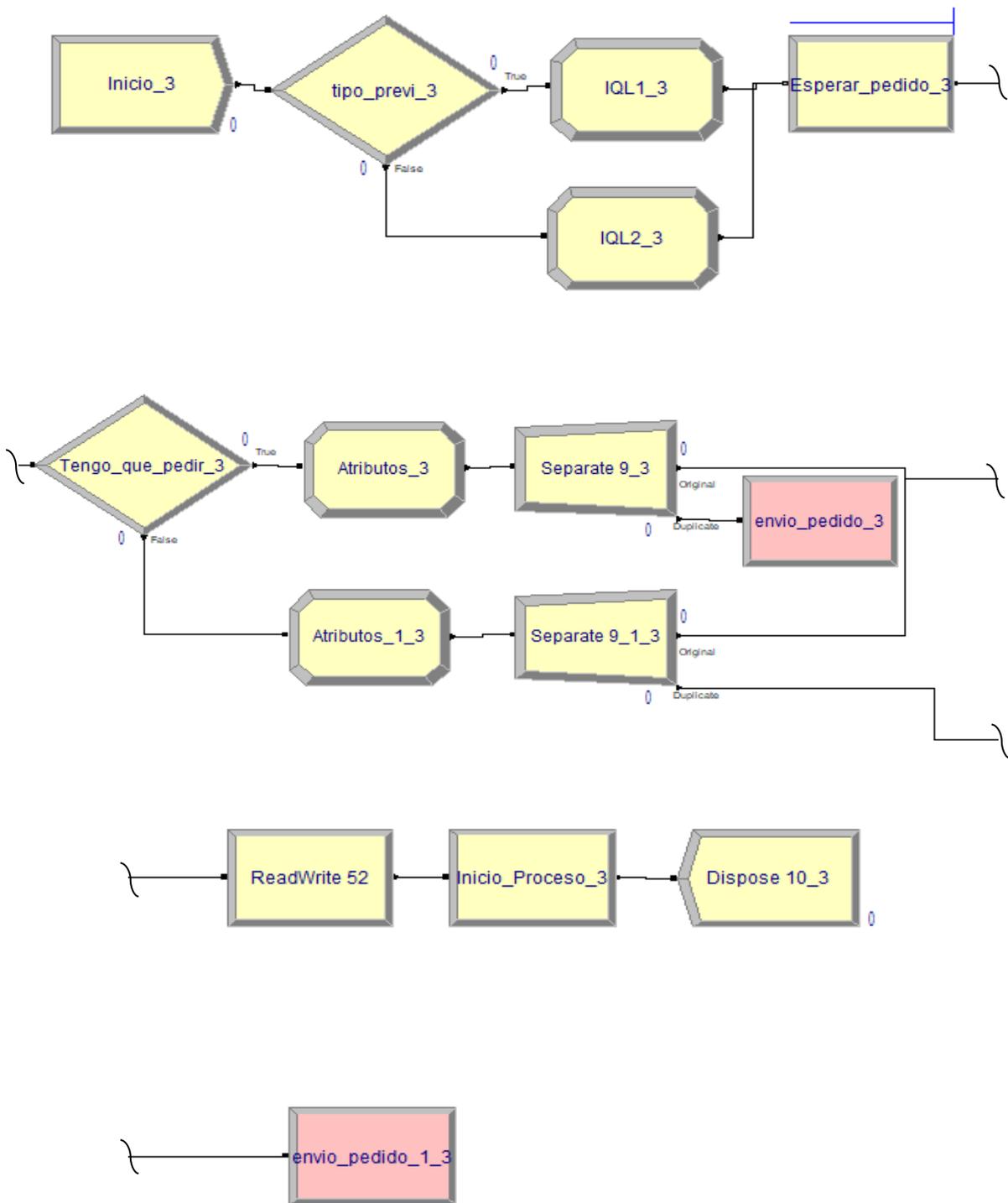


Ilustración 8- Sección de Generación ampliada (Fuente: elaboración propia)



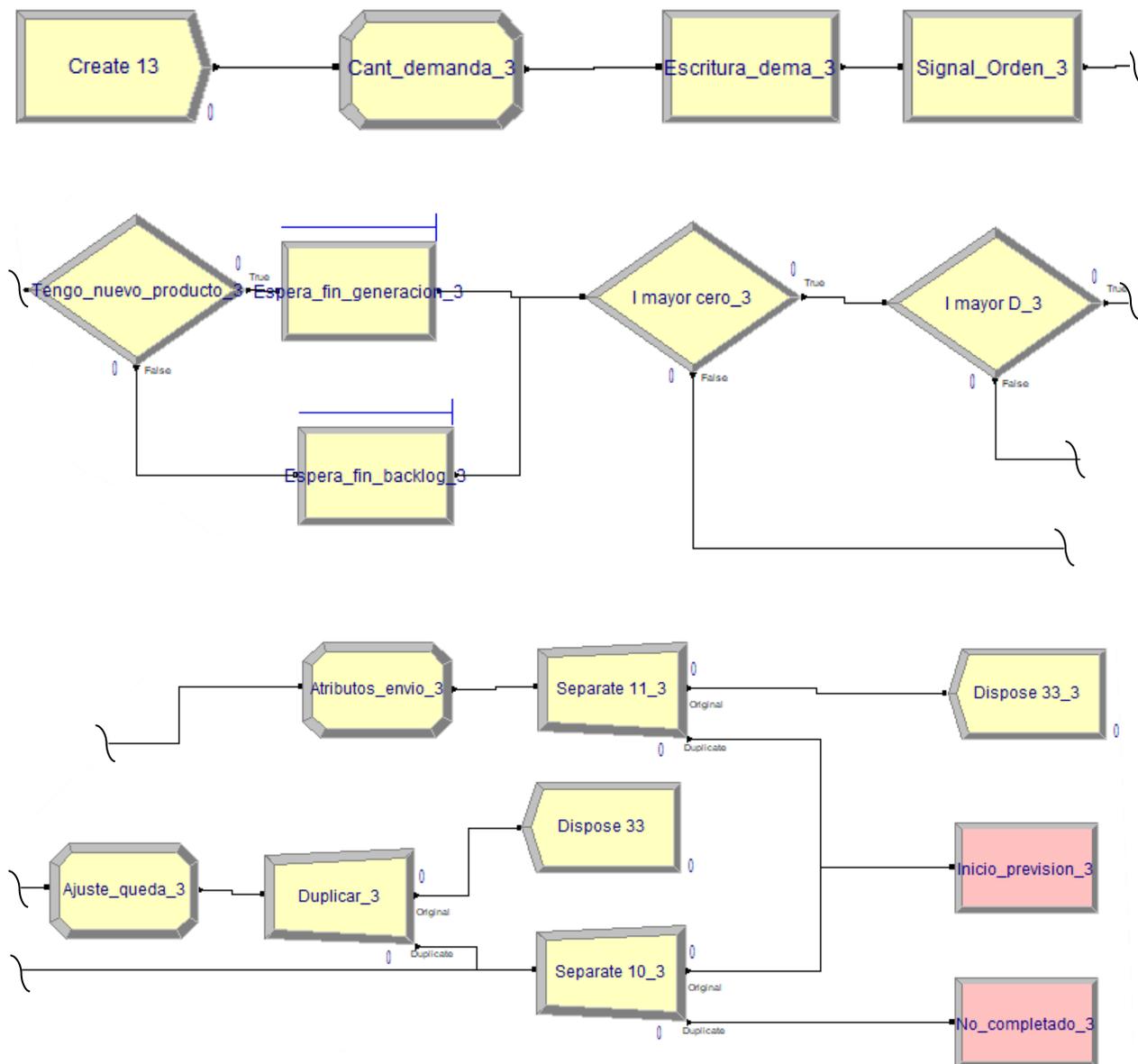


Ilustración 11 - Sección Llegada y Satisfacción ampliada (Fuente: elaboración propia)

### 3.3.4 Sección Backlog

Como se comentaba en el apartado anterior esta es el sección donde residen las demandas no satisfechas. La sección se pone en funcionamiento tras la recepción de un nuevo pedido. Al activarse se libera la demanda retrasada más antigua y se comprueba si hay inventario suficiente para satisfacerla de forma completa o parcial. Al igual que antes, si es de forma completa se marca como tal, y si no se envía lo disponible. En este último caso se actualizaría la cantidad que se debe satisfacer y esta vuelve al inicio.

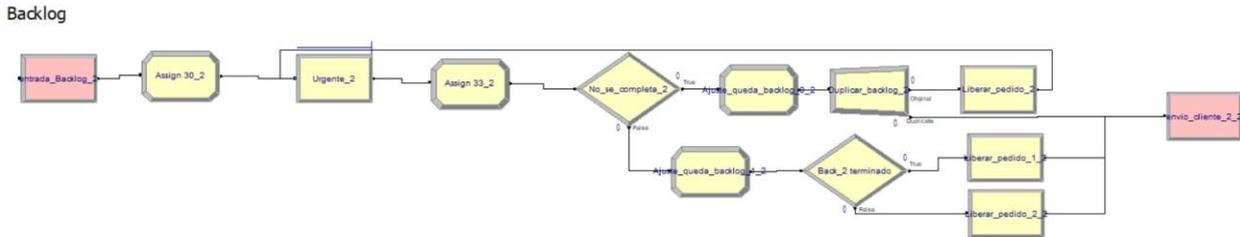


Ilustración 12 - Sección Backlog (Fuente: elaboración propia)

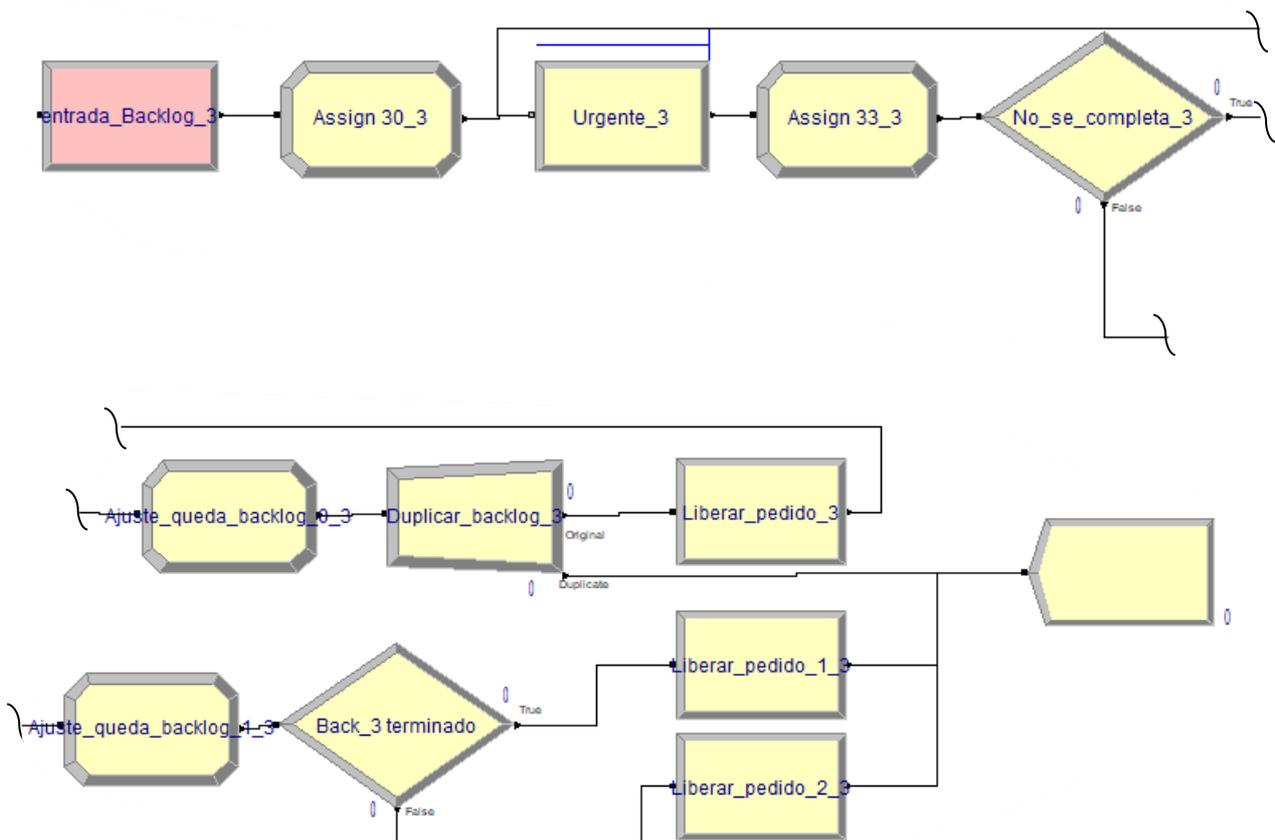


Ilustración 13 - Sección Backlog ampliada (Fuente: elaboración propia)

El modelado de esta sección no supone ninguna novedad; al llegar la entidad se lee el atributo cantidad y se añade a Backlog. Luego espera en la cola, que está ordenada según dos dimensiones: la primera y más relevante es por un atributo binario y la segunda por orden de llegada al módulo. Al activarse la cola, libera una entidad que pasa por un módulo “Assign” que pone valor 1 al atributo binario “Urgente”; el porqué de este proceso se debe a las veces que el pedido no se llega mandar de forma completa; si no fuera por el atributo “Urgente” al volver la entidad entraría en último lugar en vez de primero.

Luego se comprueba si se envía completo o no. Si se envía completo previamente se verifica si existe más Backlog o no antes de pasar al siguiente paso de la secuencia de eventos.

### 3.3.5 Sección de llegada de pedido

Esta sección, aunque va separada, funciona de forma conjunta con la sección del Backlog. Su misión es integrar las unidades recibidas de cada pedido, uno por uno, en el inventario del escalón; anotar los datos de los pedidos completos; e ir activando la sección de Backlog para su autogestión.

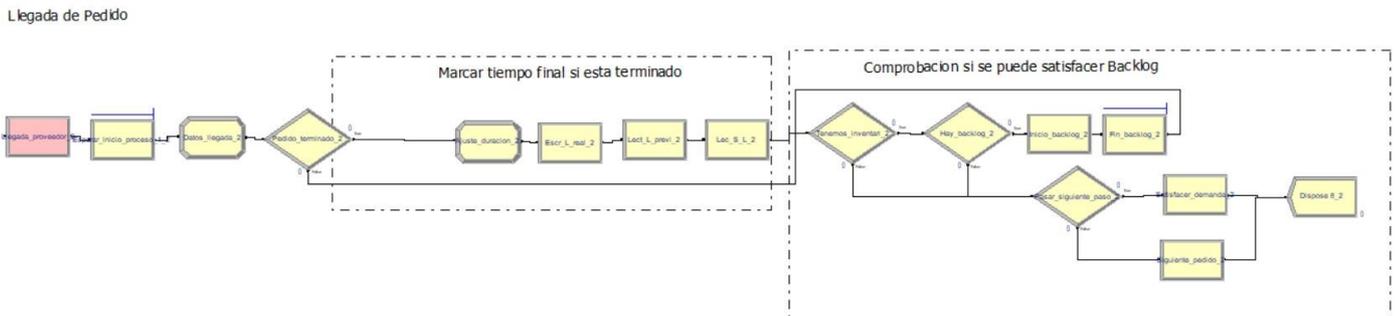


Ilustración 14 - Sección Llegada del pedido (Fuente: elaboración propia)

En primer lugar, al ser activado, según la secuencia de eventos, se añaden las unidades del pedido al inventario y se eliminan de WIP. En el módulo “Decide” se comprueba la variable binaria completo; ésta indica cuándo el proveedor ha satisfecho el total de una demanda y es el momento en el cual se contabiliza el tiempo que ha tardado (lead-time), y se actualiza el  $\bar{L}_i^t$  y  $S_i^t$ . Los valores se seguirán utilizando hasta que otro nuevo pedido se reciba completo. Si no estuviera completo, en el “Decide” se tomaría la línea inferior y no se contabilizaría nada.

En la segunda parte en los “Decide” consecutivos se comprueba en este orden: si hay inventario y si existe Backlog. Si ambas respuestas son positivas la entidad continuara recto, esperará hasta que la sección del Backlog se termine de ejecutar y volverá al punto de inicio en una (o ambas) de estas situaciones:

- El Backlog ha sido completamente satisfecho por lo que en el segundo “Decide” se iría por abajo
- El Inventario es 0 por lo que se iría por abajo en el primer “Decide”

En ambos casos la entidad va a parar a un conjunto de módulos que comprueban si existen más pedidos al inicio de la sección. Esta comprobación es relevante ya que se puede dar el caso que más de un pedido llegue en el mismo periodo. Si esto ocurre se libera dicho nuevo pedido, y si no se activa un módulo “Signal” que activa la siguiente sección.

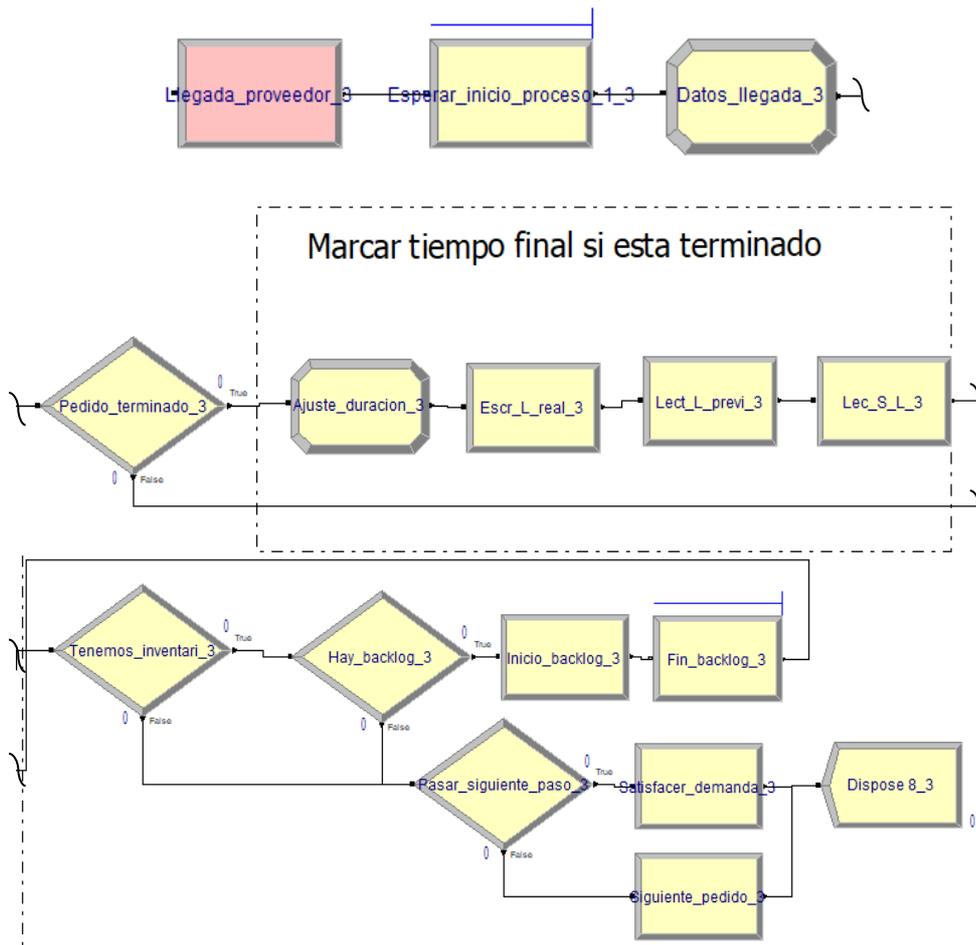


Ilustración 15 - Sección Llegada del pedido ampliada (Fuente: elaboración propia)

### 3.4 Modelo completo

Al juntar las distintas secciones el resultado global de la estructura de cada nodo toma esta forma.

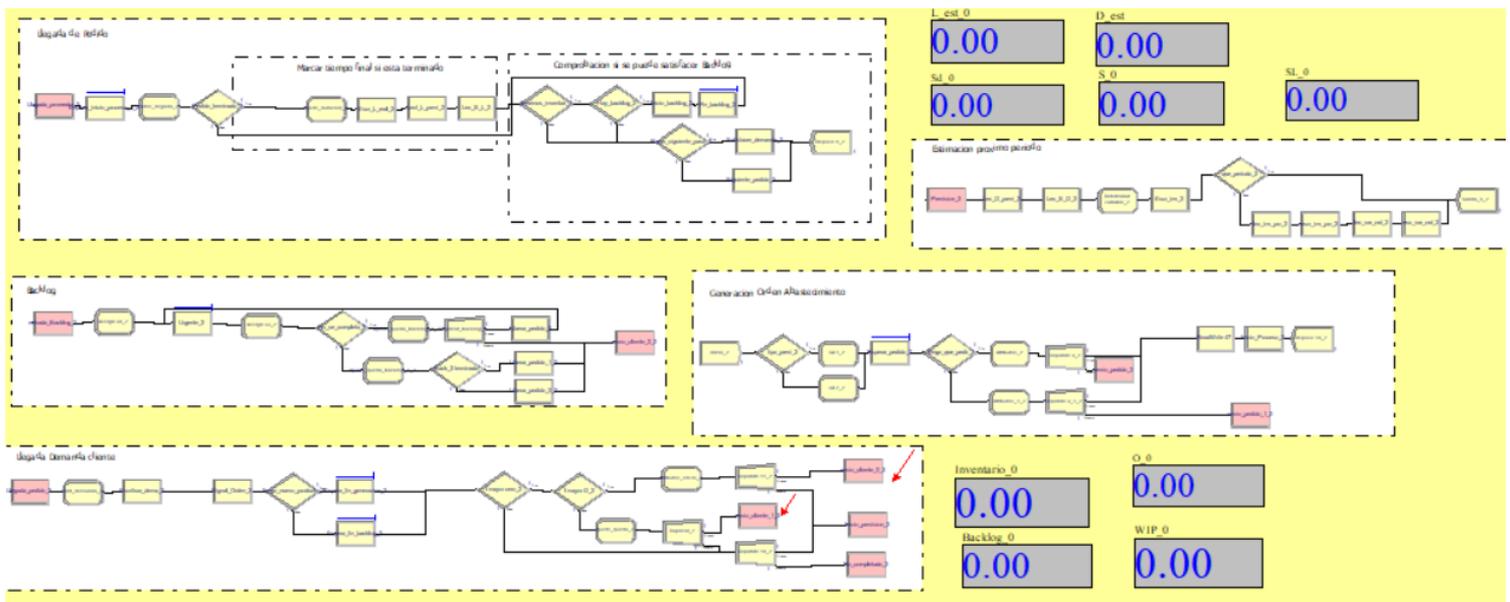


Ilustración 16 - Modelo Completo (Fuente: elaboración propia)

# 4 VALIDACIÓN DEL MODELO

---

## 4.1 Marco de la simulación

Con el objetivo de llegar a resultados fiables es pertinente comprobar el modelo diseñado. Siendo el modelo muy similar al presentado en Chatfield et al. (2004), se procederá a su validación utilizando la configuración de cadena de suministro y los resultados presentados en dicho estudio, todo lo cual se resume en el siguiente cuadro.

Cálculo de punto de pedido	Ecuación IQL2
Capacidad	Flexible
Tiempos de envío	Según distribución Gamma con $\mu = 4$ y $\sigma^2 = 0.5$
Tiempo de simulación	700 periodos con 200 de <i>warm-up</i>
Estructura del sistema	Cadena de suministro de tres escalones
Demanda cliente final	Según distribución Normal con $\mu = 50$ y $\sigma^2 = 20$

Tabla 3 - Configuración de Validación

Para realizar la validación se realizarán 20 réplicas.

## 4.2 Exposición de resultados

En el Anexo se muestran las gráficas de las órdenes y los inventarios de la última réplica

#### 4.2.1 Resultados Bullwhip

Tras el experimento se han obtenido estos resultados:

	Fábrica			Mayorista			Distribuidor		
1	6324,21	392,56	16,11015783	2895,24	392,56	7,37527	1094,11	392,56	2,7871039
2	6300,05	369,27	17,06098395	2868,27	369,27	7,7674764	1084,93	369,27	2,9380663
3	6316,78	397,29	15,89957719	2809,16	397,29	7,0707641	1130,04	397,29	2,8443565
4	5419,29	386,81	14,01015108	2475,68	386,81	6,4002087	960,29	386,81	2,4825691
5	5378,65	384,49	13,98887036	2644,75	384,49	6,8784947	1083,71	384,49	2,8185197
6	6765,25	404,85	16,71063795	2988,84	404,85	7,3826504	1136,91	404,85	2,808257
7	6793,55	434,65	15,62998632	3036,50	434,65	6,9860922	1167,94	434,65	2,6870971
8	6462,65	377,36	17,12580964	3016,55	377,36	7,9937541	1154,41	377,36	3,0591477
9	6931,33	415,15	16,69606585	2974,55	415,15	7,1650365	1127,38	415,15	2,7156217
10	6730,17	412,10	16,33146246	3119,64	412,10	7,570129	1176,36	412,10	2,8545513
11	6122,77	389,82	15,70652269	2840,63	389,82	7,2869722	1079,28	389,82	2,7686341
12	6546,37	428,39	15,2813685	3190,25	428,39	7,4470931	1274,40	428,39	2,9748789
13	8899,14	434,04	20,50304492	3866,98	434,04	8,9092797	1433,62	434,04	3,3029575
14	7193,91	412,93	17,42170252	3249,68	412,93	7,8698516	1185,41	412,93	2,8707545
15	6567,56	394,55	16,64580427	3249,74	394,55	8,2366348	1242,64	394,55	3,1495431
16	6698,52	390,50	17,15351086	2940,60	390,50	7,5302508	1132,78	390,50	2,9008155
17	6590,89	395,13	16,68011982	2914,83	395,13	7,3768101	1179,16	395,13	2,9841883
18	6172,27	363,96	16,95852251	2818,29	363,96	7,7433572	1098,29	363,96	3,0175929
19	6378,36	375,20	16,99977149	2900,50	375,20	7,7305001	1101,95	375,20	2,9369499
20	6414,23	399,80	16,04348653	3095,70	399,80	7,7430693	1177,63	399,80	2,9455386
Promedio			16,44787784			7,5231847			2,8923572

Tabla 4 - Resultado validación *Bullwhip*

Las columnas amarillas muestran la varianza de los pedidos que hace cada escalón. En rojo está la varianza de la demanda del cliente final, la cual es constante para todos los escalones. Y en verde está el *Bullwhip* fruto de la división entre las dos columnas anteriores. Al final se muestra el valor promedio de todas las réplicas.

Se ha realizado el intervalo de confianza al 95% de los valores medios, siendo el resultado final el siguiente:

- *Bullwhip* del nodo Fábrica: 16,44787784  $\pm$  0,59
- *Bullwhip* del nodo Mayorista: 7,523184748  $\pm$  0,23
- *Bullwhip* del nodo Distribuidor: 2,89235718  $\pm$  0,08

#### 4.2.2 Resultados Inventario medio

	Fabrica	Mayorista	Distribuidor
1	425,41	274,19	266,63
2	387,71	281,51	277,76
3	364,47	264,77	266,37
4	342,71	268,87	223,14
5	346,91	271,94	232,49
6	369,17	286,82	249,30
7	415,36	301,02	257,95
8	438,21	289,66	296,80
9	363,39	270,40	241,44
10	397,26	284,59	268,93
11	423,27	258,21	255,44
12	409,05	284,00	284,54
13	497,00	324,85	355,61
14	443,56	316,84	262,98
15	426,99	298,79	306,47
16	379,14	273,30	295,55
17	396,75	288,66	312,53
18	366,77	276,93	265,47
19	387,96	299,17	279,68
20	413,10	307,93	261,25
Media	399,71	286,12	273,02

Tabla 5 - Resultados Validación inventario medio

Se ha realizado el intervalo de confianza al 95% para obtener el valor promedio, siendo el resultado final el siguiente:

- Inventario del nodo Fábrica:  $399,71 \pm 16,42$
- Inventario del nodo Mayorista:  $286,12 \pm 7,72$
- Inventario del nodo Distribuidor:  $273,02 \pm 13,26$

El inventario medio de cada replica será la media del inventario al final de cada periodo.

### 4.3 Comparación de Resultados

A continuación, se comparan los resultados relativos al Bullwhip e Inventarios medios con los obtenidos en el estudio de Chatfield et al. (2004)

Dada la arbitrariedad de los modelos simulados no se obtiene una concordancia completa, aunque sí se obtienen resultados muy similares.

#### 4.3.1 Resultados de Bullwhip

	Distribuidor	Mayorista	Fábrica
Arena	2,89235718	7,52318475	16,4478778
Chatfield et al. (2004)	3,04564648	8,520075	17,6138813

Tabla 6 - Comparación resultados *Bullwhip*

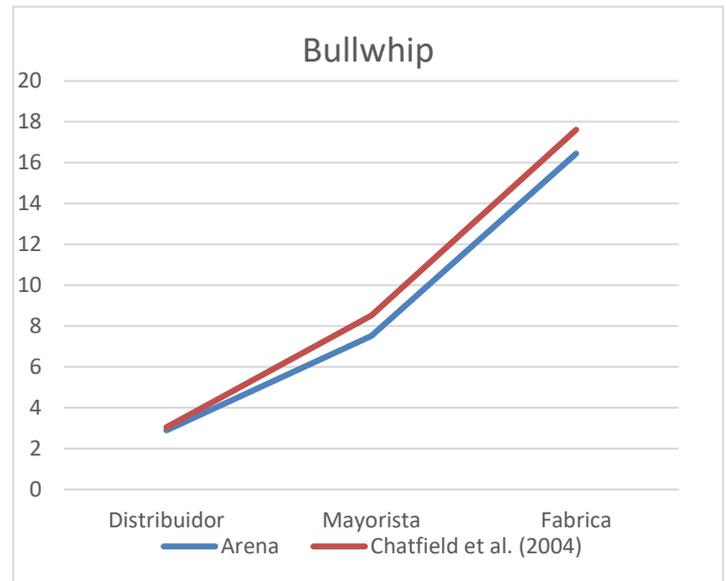


Ilustración 17 - Validación *Bullwhip*

#### 4.3.2 Resultados de Inventario medio

	Distribuidor	Mayorista	Fábrica
Arena	273,0171	286,1219	399,7087
Chatfield et al. (2004)	241,2025	274,7825	333,02

Tabla 7 - Comparación Resultados Inventarios Medios

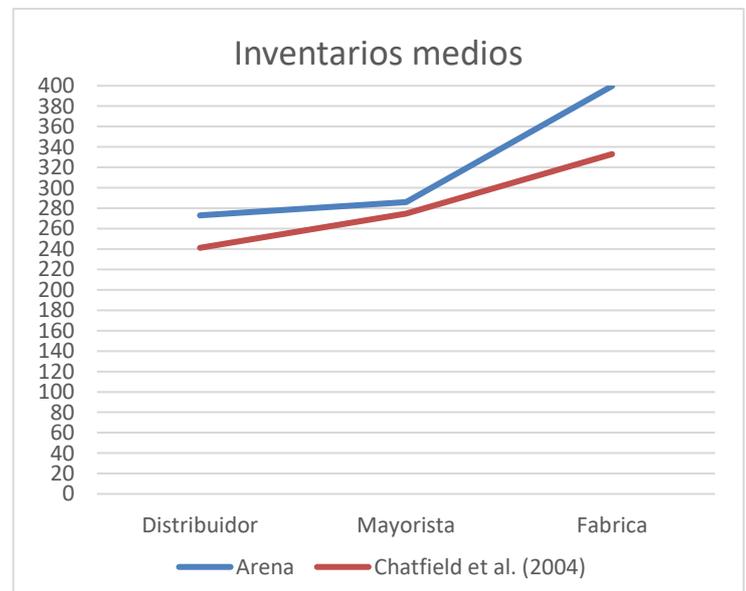


Ilustración 18 - Validación Inventarios Medios

# 5 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

## 5.1 Descripción de variables

Para el estudio se expondrá el modelo a distintos entornos. Las variaciones entre estos entornos vendrán dadas por una serie de variables:

Congestión promedio de la Fábrica ( $\rho$ ): Esta variable porcentual es responsable de definir el tiempo de producción unitario, (Ecuación 4) o en otras palabras la capacidad de la Fábrica. El valor de la congestión y el tiempo de proceso tienen una relación inversa. El valor  $\rho = 100\%$  indicaría que la Fábrica podría producir como máximo la media de unidades que el cliente final demanda, lo que implica que la más ligera variación por encima de esta cantidad supone que la Fábrica estaría obligada a trabajar por encima de su capacidad.

Limitador de *Bullwhip* ( $\alpha$ ): Dado que el efecto *Bullwhip* ha demostrado ser bastante notable, su efecto se puede magnificar notoriamente al añadir capacidad al sistema. Es por ello por lo que esta variable limita una porción de la cantidad estimada a ordenar, y por lo tanto los efectos del *Bullwhip*.

Estimación del lead-time: El lead-times se estimará de dos formas distintas. La primera de forma idéntica al estudio de Chatfield et al. (2004), que utiliza todo el histórico disponible para realizar una estimación a través de la media aritmética. Esto, sin embargo, no es muy apropiado en el caso de una cadena de suministro con capacidad inflexible, ya que los lead-times pueden sufrir grandes variaciones en ciertos momentos. Es por ello por lo que adicionalmente a este método se utilizará una media móvil para estimar el lead-time con los últimos 15 pedidos completados, es decir, los pedidos que el proveedor haya podido enviar totalmente. Y por consiguiente, los únicos cuyos lead-times hayan podido ser registrados en la Hoja-Cálculos.

A continuación, se indican los distintos valores que se aplicarán a las tres variables:

Variable	Valores
Congestión promedio de la Fábrica ( $\rho$ )	0,50,75,85,95
Limitador de <i>Bullwhip</i> ( $\alpha$ )	0,15;0,25;0,5;1
Estimación lead-time	15 o todos los periodos

Tabla 8 - Variables de los Experimentos

Combinando todos esos valores se obtienen un total de 40 experimentos

## 5.2 Marco de la simulación

Para los experimentos se utilizará en la siguiente configuración:

Cálculo de punto de pedido	ecuación IQL2
Capacidad	Inflexible
Tiempos de envío	1 periodo
Tiempo de simulación	2500 periodos con 1000 de <i>warm-up</i>
Estructura del sistema	Cadena de suministro de tres escalones
Demanda cliente final	Según distribución normal con $\mu = 50$ y $\sigma^2 = 20$

Tabla 9 - Configuración Fija Experimentos

Con esta configuración se correrá el modelo 10 veces en cada experimento

La valoración de los resultados se hará en base a las tres dimensiones descritas anteriormente: Inventario medio, *Bullwhip* y Nivel de servicio. Y puesto que de cada experimento se correrán 10 veces para sacar el resultado final, se realizará la media aritmética de todos ellos y se calculará el intervalo de confianza de los resultados con un nivel de confianza del 95%.

# 6 RESULTADOS

## 6.1 Exposición de resultados

Si bien en el modelo descrito en Chatfield et al. (2004) toma todos los pedidos para la estimación, como se ha comentado antes, esto puede acarrear un inconveniente en un modelo con capacidad inflexible. En un modelo con capacidad flexible cuya única variabilidad depende de una función de distribución, cuanto más datos se tengan, más acertada será la estimación. Sin embargo, al añadir capacidad inflexible los lead-times varían de forma rápida e imprevisible, debido a los tiempos de espera en fábrica. Y si para la estimación de los lead-times se utilizan todos los periodos, el sistema pierde “agilidad” frente a los cambios. Por lo que en esta exposición se mostrarán los resultados de los experimentos en los cuales para la estimación de los lead-times se hayan utilizado solo los últimos 15 pedidos (el resto de los resultados se podrán ver en el Anexo).

### 6.1.1 Bullwhip

En cada casilla se encontrará el valor resultante del *Bullwhip* y el intervalo de confianza al 95%.

Carga	Lead-time	$\alpha=0,15$			$\alpha=0,25$		
		Fábrica	Mayorista	Distribuidor	Fábrica	Mayorista	Distribuidor
0	15	1,523308574	0,867786470	0,324992012	1,872362285	1,078973588	0,427134047
	$IC_{95}$	$\pm 0,189404926$	$\pm 0,111196874$	$\pm 0,032098050$	$\pm 0,172377575$	$\pm 0,097935852$	$\pm 0,026986353$
0,5	15	1,604313841	0,860756548	0,319677661	2,053903707	1,066363136	0,420855531
	$IC_{95}$	$\pm 0,240199419$	$\pm 0,118016950$	$\pm 0,032651063$	$\pm 0,229637390$	$\pm 0,102012841$	$\pm 0,029999950$
0,75	15	2,521062594	0,815177350	0,292007023	4,429428248	1,082789496	0,408168436
	$IC_{95}$	$\pm 0,449457808$	$\pm 0,106647174$	$\pm 0,031545598$	$\pm 0,784922836$	$\pm 0,093271655$	$\pm 0,024728408$
0,85	15	11,238280818	0,889715448	0,306592754	45,798921011	0,883366085	0,391037330
	$IC_{95}$	$\pm 9,714505914$	$\pm 0,178664037$	$\pm 0,034658534$	$\pm 31,830624663$	$\pm 0,244731283$	$\pm 0,026445026$
0,95	15	57168,290689560	66,907665549	0,520072337	220201,770230310	130,288098050	0,903686520
	$IC_{95}$	$\pm 55629,398775681$	$\pm 62,566496282$	$\pm 0,253073096$	$\pm 223196,818720242$	$\pm 104,516446051$	$\pm 0,495512691$

Tabla 10 - Resultados *Bullwhip* primera parte

Carga	Lead-time	$\alpha=0,5$			$\alpha=1$		
		Fábrica	Mayorista	Distribuidor	Fábrica	Mayorista	Distribuidor
0	15	1,423060050	0,946593205	0,618618996	3,732728793	2,313769302	1,418091672
	$IC_{95}$	$\pm 0,122370210$	$\pm 0,075319990$	$\pm 0,030421176$	$\pm 0,120158342$	$\pm 0,058432594$	$\pm 0,020006140$
0,5	15	1,686363775	1,015235896	0,624763135	4,903021146	2,687981702	1,470345813
	$IC_{95}$	$\pm 0,166011747$	$\pm 0,082932988$	$\pm 0,032016368$	$\pm 0,280718935$	$\pm 0,151658914$	$\pm 0,040495976$
0,75	15	4,755824188	1,254823637	0,643777107	29480,414358761	11,043504725	2,764655934
	$IC_{95}$	$\pm 1,006616186$	$\pm 0,109356226$	$\pm 0,029318463$	$\pm 31928,804513400$	$\pm 5,151381114$	$\pm 0,784849227$
0,85	15	572,650806985	1,615999692	0,736215972	42606,024151729	18,781103978	3,219752471
	$IC_{95}$	$\pm 947,815217820$	$\pm 0,766189360$	$\pm 0,145275302$	$\pm 22425,779193495$	$\pm 8,064684471$	$\pm 0,610300925$
0,95	15	3757316,587173730	967,950104935	2,703253248	3568115,730705550	994,504945359	6,540165342
	$IC_{95}$	$\pm 3328516,167037250$	$\pm 377,845475078$	$\pm 1,102842572$	$\pm 2604253,674396070$	$\pm 559,823590067$	$\pm 5,555761321$

Tabla 11 - Resultados *Bullwhip* segunda parte

## 6.1.2 Inventario medio

De igual modo se representarán los resultados de los inventarios promedios y los intervalos de confianza.

Carga	Lead-time	$\alpha=0,15$			$\alpha=0,25$		
		Fábrica	Mayorista	Distribuidor	Fábrica	Mayorista	Distribuidor
0	15	55,8748	79,3047	86,1293	58,6872	78,2536	83,4689
	$IC_{95}$	$\pm 4,426864481$	$\pm 2,987913640$	$\pm 2,121105349$	$\pm 3,299189563$	$\pm 2,319676117$	$\pm 1,594988111$
0,5	15	60,3780	78,9935	85,8273	69,9051	76,3713	82,5867
	$IC_{95}$	$\pm 6,985442163$	$\pm 2,980689355$	$\pm 2,093782384$	$\pm 7,602944565$	$\pm 2,362333697$	$\pm 1,662099345$
0,75	15	133,2670	77,1971	84,2279	223,9344	75,0311	83,0552
	$IC_{95}$	$\pm 34,807721936$	$\pm 2,542686548$	$\pm 2,120926248$	$\pm 57,589737754$	$\pm 2,081547277$	$\pm 2,088804935$
0,85	15	1914,8628	73,7060	88,0091	14153,3478	61,5022	83,7496
	$IC_{95}$	$\pm 2501,518997682$	$\pm 9,969302851$	$\pm 2,813481703$	$\pm 4282,589596725$	$\pm 15,761661000$	$\pm 3,081175362$
0,95	15	2903,6145	1007,0426	88,0447	2124,2926	1267,6817	0,4357
	$IC_{95}$	$\pm 1571,954290378$	$\pm 640,437799713$	$\pm 19,514264600$	$\pm 1294,789765869$	$\pm 548,092593802$	$\pm 50,850337856$

Tabla 12 - Resultados inventarios primera parte

Carga	Lead-time	$\alpha=0,5$			$\alpha=1$		
		Fábrica	Mayorista	Distribuidor	Fábrica	Mayorista	Distribuidor
0	15	49,4481	68,0852	72,0642	85,2761	73,9821	62,0122
	$IC_{95}$	$\pm 2,269407398$	$\pm 1,629998051$	$\pm 1,131748173$	$\pm 1,486339946$	$\pm 0,874715224$	$\pm 0,744318385$
0,5	15	58,6589	69,8158	72,8308	177,8376	84,6929	64,4447
	$IC_{95}$	$\pm 4,570875661$	$\pm 1,950424098$	$\pm 1,369930064$	$\pm 443,772660454$	$\pm 2,627121708$	$\pm 1,062524126$
0,75	15	222,2373	76,4888	75,9396	7844,5907	123,3817	54,9249
	$IC_{95}$	$\pm 58,727497431$	$\pm 2,600344571$	$\pm 1,673245587$	$\pm 3497,454561605$	$\pm 34,223800210$	$\pm 8,992970717$
0,85	15	8728,1179	158,5386	73,4490	6496,87	199,8545	50,0994
	$IC_{95}$	$\pm 0,835299869$	$\pm 0,649949916$	$\pm 0,885026085$	$\pm 2911,170630027$	$\pm 127,810983494$	$\pm 6,566199082$
0,95	15	0,0000	2182,4538	96,6768	104,5568	724,9554	39,7006
	$IC_{95}$	$\pm 0,000000000$	$\pm 595,369376443$	$\pm 58,132031316$	$\pm 142,171795891$	$\pm 387,389491330$	$\pm 16,978612105$

Tabla 13 - Resultados inventarios segunda parte

### 6.1.3 Nivel de Servicio

En este caso se indicará el nivel de servicio del nodo Distribuidor con el cliente final, junto con su intervalo de confianza correspondiente al 95%

Carga	Lead-time	$\alpha$			
		0,15	0,25	0,5	1
0	15	88,79%	91,65%	96,48%	98,75%
	$IC_{95}$	$\pm 0,01300$	$\pm 0,00968$	$\pm 0,00510$	$\pm 0,00246$
0,5	15	89,01%	91,98%	96,40%	98,42%
	$IC_{95}$	$\pm 0,01414$	$\pm 0,00950$	$\pm 0,00513$	$\pm 0,00342$
0,75	15	90,64%	92,70%	96,54%	75,55%
	$IC_{95}$	$\pm 0,01009$	$\pm 0,00754$	$\pm 0,00754$	$\pm 0,13187$
0,85	15	90,94%	93,90%	95,80%	67,06%
	$IC_{95}$	$\pm 0,01780$	$\pm 0,01084$	$\pm 0,02560$	$\pm 0,13246$
0,95	15	85,98%	87,01%	69,01%	24,54%
	$IC_{95}$	$\pm 0,07622$	$\pm 0,07101$	$\pm 0,08866$	$\pm 0,10233$

Tabla 14 - Resultados nivel servicio

# 7 CONCLUSIONES

---

A la hora de encarar el efecto de la capacidad sobre una cadena de suministro se ha propuesto una serie de experimentos, y para su valoración se han esgrimido varios indicadores que faciliten su calificación. Estos han sido: *Bullwhip*, inventario promedio y nivel de servicio. La diferencia entre los experimentos ha sido dada por otras variables para someter al sistema modelado a unas condiciones externas y obligarlo a trabajar en ellas. Estas otras variables han sido el tipo de estimación a realizar (con últimos 15 lead-times o con todos), la congestión en la que trabajaba la Fábrica ( $\rho$ ) y para combatir el efecto *Bullwhip* se ha añadido una variable que limitaría proporcionalmente la magnitud de la orden a realizar ( $\alpha$ ).

Pese a los diferentes indicadores que facilitan la valoración en su conjunto, esta no es simple, ya que sus ideales suelen estar inversamente relacionados. Un ejemplo claro se da con el nivel de servicio e inventario. Como es lógico cuanto más inventario se tiene en stock, más probable es satisfacer al cliente. Sin embargo, se incurre en un mayor coste, como pudiera ser de almacenamiento. Sabiendo esto, el cálculo del impacto de la capacidad en su conjunto se debería de entender como un problema de optimización, del cual se hablará a continuación. Se comenzará a valorar la respuesta del sistema según la congestión promedio aplicada al nodo Fábrica. Entre los distintos valores utilizados para la congestión, estos se podrían agrupar en tres franjas: baja (0 a 50), intermedia (75) y alta (85 a 95).

Viendo los resultados obtenidos con la congestión de la fábrica en la franja baja lo primero que sorprende es el decrecimiento de los inventarios conforme nos alejamos del cliente final. La razón de este efecto radica en la menor desviación del tiempo de aprovisionamiento según nos acercamos a la fábrica: a menor desviación, menor es el valor de la orden. La menor desviación es también la razón por la cual al estimar los datos usando todos los pedidos anteriores se obtienen, en la mayoría de los casos, mejores resultados en todas las métricas. Con este método se minimizará los cambios repentinos de los lead-times, y hará que el sistema sea más exacto en la mayoría de las situaciones. Y por otro lado,  $\alpha$ , genera una respuesta esperada conforme su valor se incrementa. Al hacerlo, se incrementa el porcentaje de desviación abarcado en las ecuaciones  $S_i^t$  y  $O_i^t$  (Ecuación 2, Ecuación 3), que resultará de forma general en: mayor inventario y coherentemente en un mayor nivel de servicio.

Dentro de lo que se ha denominado la congestión en la franja intermedia se ve perfectamente cómo los resultados referentes al *Bullwhip* e Inventarios medios, son mejores al estimar el lead-time con 15 pedidos; y peores en nivel de servicio. Al variar  $\alpha$  hace crecer de forma gradual los inventarios y el *Bullwhip* conforme su valor lo hace, pero al llegar al valor 1 estas métricas experimentan una vertiginosa subida, que no supone un mejor nivel de servicio

Llegando a la congestión en la franja alta lo primero a resaltar es la diferencia entre los métodos de estimación utilizados. En este caso, en global, los resultados obtenidos que utilizan 15 pedidos son sustancialmente mejores en las métricas de Inventarios y *Bullwhip*, e iguales con respecto al nivel de servicio. Al incrementar el valor de  $\alpha$  se alteran los resultados de forma similar lo observado en la franja intermedia. Por una parte, los valores del *Bullwhip* incrementan de forma más gradual, pero al igual que antes, existe un notorio escalón entre los valores de 0,25 y 0,50. La evolución del Inventario comienza por una subida en los primeros periodos, seguida de una bajada. Este comportamiento describe la incapacidad de los escalones para satisfacer la demanda. La Fábrica recibe demandas que son muy superiores a lo que puede procesar en cada periodo. Mientras se procesa, el inventario se mantendrá a 0 y cuando termine de ser procesado será rápidamente utilizado para aliviar el Backlog acumulado. La misma evolución se ve en el nivel de servicio, una subida seguida de una bajada.

Cada una de las variables utilizadas en los experimentos insta una serie de consecuencias concatenadas. De forma sencilla, el aumento de la congestión promedio, lógicamente incrementa el tiempo necesario para producir y la probabilidad de que exista cola de pedidos para ser “fabricados”. En sí, la cola ya aumenta los lead-times. Y finalmente se incrementaría el tamaño de la orden y se cerraría el círculo.

De entre los dos métodos usados para la estimación del lead-time, los resultados demuestran que no es recomendable estimarlo utilizando el histórico completo. Si bien a costa del rendimiento en los nodos aguas arriba, solo al usar el histórico completo se consigue un nivel de servicio del 100%. Como se ha comentado antes, al utilizar el histórico completo puede quedarse “anclado en el pasado” haciendo imposible que los cambios repercutan en sus estimaciones. Su uso solo estaría recomendado cuando no exista una diferencia muy notable entre los valores del histórico.

En último lugar, el valor de  $\alpha$ . Como se ha comentado con anterioridad, al incrementar el porcentaje que se desea cubrir entre el punto de pedido y el estado actual, se genera un pedido más grande. Como se ha podido comprobar aunque es beneficioso en términos de nivel de servicio, todo tiene su medida. Mientras las ordenes generadas no suelen superar la capacidad productiva de la fábrica no existe problema alguno. Si por el contrario, el sistema está sometido a una alta congestión, los resultados muestran que es más conveniente el uso de un valor reducido de  $\alpha$  (desde el punto de vista del valor del *Bullwhip*). En estos casos los nodos se encontrarán con tiempos de servicio muy elevados, y con un limitador muy exigente se pueden reducir los pedidos desorbitado, y por consiguiente disminuir el tamaño de pedido que ha de producirse.

## 7.1 Epilogo

Aunque la capacidad del estudio ha sido limitada, ofrece nuevos enfoques al estudio que pudieran ser relevantes. A ojos del autor una de las más interesante podría ser la modificación de la ecuación original para obtener la  $S_i^t$ , y la razón es la siguiente. En el modelo de Chatfield et al. (2004) al no tener límite de capacidad solo se preocupa del tiempo de envío, pero al tener capacidad el modelo no es capaz de relacionar que a más cantidad de pedido más tiempo de aprovisionamiento o producción, lo cual en el mundo real se presupone. Este problema se podría suplir estimando el tiempo medio que se suele tardar en producir la unidad en vez de estimar el lead-time del pedido.

Pese a ello se ha logrado modelar un sistema realista y estable (dentro de los márgenes marcados), que ha sido capaz de responder al objetivo establecido.

# BIBLIOGRAFÍA

---

- Boute, R. N., Disney, S. M., Lambrecht, M. R., Van Houdt, B. (2009). Designing replenishment rules in a two-echelon supply chain with a flexible or an inflexible capacity strategy. *International Journal of Production Economics*, 119(1), 187-198.
- Cannella, S., Framinan, J. M., Barbosa-Póvoa, A. (2014). An IT-enabled supply chain model: a simulation study. *International Journal of Systems Science*, 45(11), 2327-2341.
- Cannella, S., Dominguez, R., Ponte, B., & Framinan, J. M. (2018). Capacity restrictions and supply chain performance: Modelling and analysing load-dependent lead times. *International Journal of Production Economics*, 204, 264-277.
- Framinan (2017). Capacity considerations in the bullwhip effect in supply chains: The effect on lead times. Paper presented at the *11th Conference on Stochastic Models of Manufacturing and Service Operations*. June 4-9, 2017, Acaya, Italy.
- Lin, J., & Naim, M. M. (2019). Why do nonlinearities matter? The repercussions of linear assumptions on the dynamic behaviour of assemble-to-order systems. *International Journal of Production Research*, 57(20), 6424-6451.
- Lin, J., Naim, M. M., & Spiegler, V. L. (2020). Delivery time dynamics in an assemble-to-order inventory and order-based production control system. *International Journal of Production Economics*, 107531.
- Ponte, B., Wang, X., de la Fuente, D., Disney, S. M. (2017). Exploring nonlinear supply chains: the dynamics of capacity constraints. *International Journal of Production Research*, 55(14), 4053-4067.
- Shukla, V., Naim, M. M. (2017). Detecting disturbances in supply chains-the case of capacity constraints. *International Journal of Logistics Management*, 28(2), 398-416.
- Spiegler, V. L., Naim, M. M., Towill, D. R., & Wikner, J. (2016). A technique to develop simplified and linearised models of complex dynamic supply chain systems. *European Journal of Operational Research*, 251(3), 888-903.
- Disney, S. M., Farasyn, I., Lambrecht, M. R., Towill, D. R., & Van De Velde, W. (2007). Controlling bullwhip and inventory variability with the golden smoothing rule. *European Journal of Industrial Engineering*, 1(3), 241-265.

## 1. Ecuación IQL1

$$S_i^t = \bar{X} + z \cdot s_{x_i}^t$$

$$\bar{X} = (\bar{L} + R) \cdot \bar{D} ; \quad s_{x_i}^{t2} = (\bar{L} + R) s_{d_i}^{t2}$$

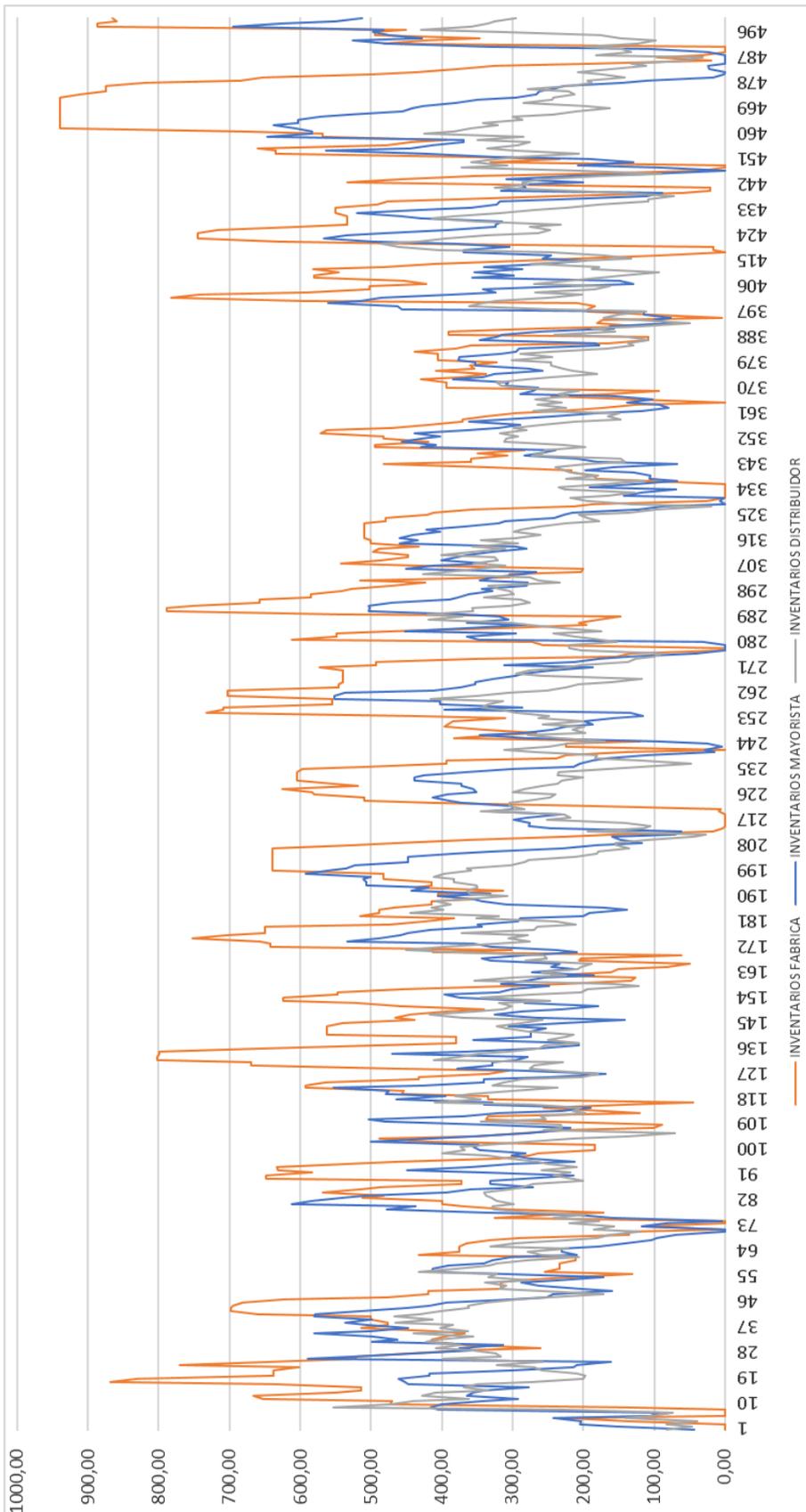
$$S_i^t = (\bar{L} \cdot \bar{D} + R \cdot \bar{D}) + z \cdot \sqrt{(\bar{L} + R) s_{d_i}^{t2}}$$

$$S_i^t = \bar{D}_i^t + 2 \times \sqrt{(1 + \bar{L}_i^t) \times s_{d_i}^{t2}} + \bar{L}_i^t \times \bar{D}_i^t$$

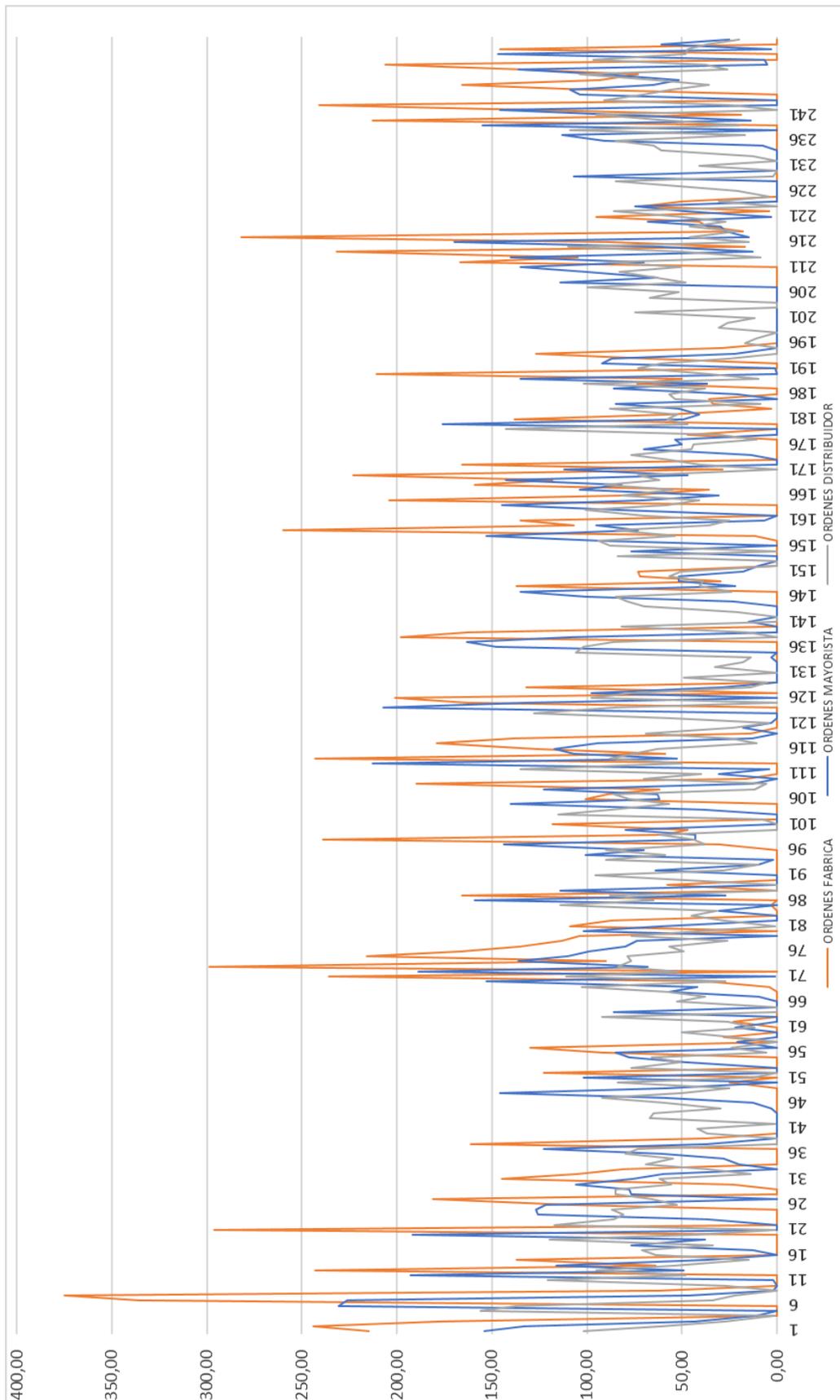
## 2. Gráficas validación Chatfield

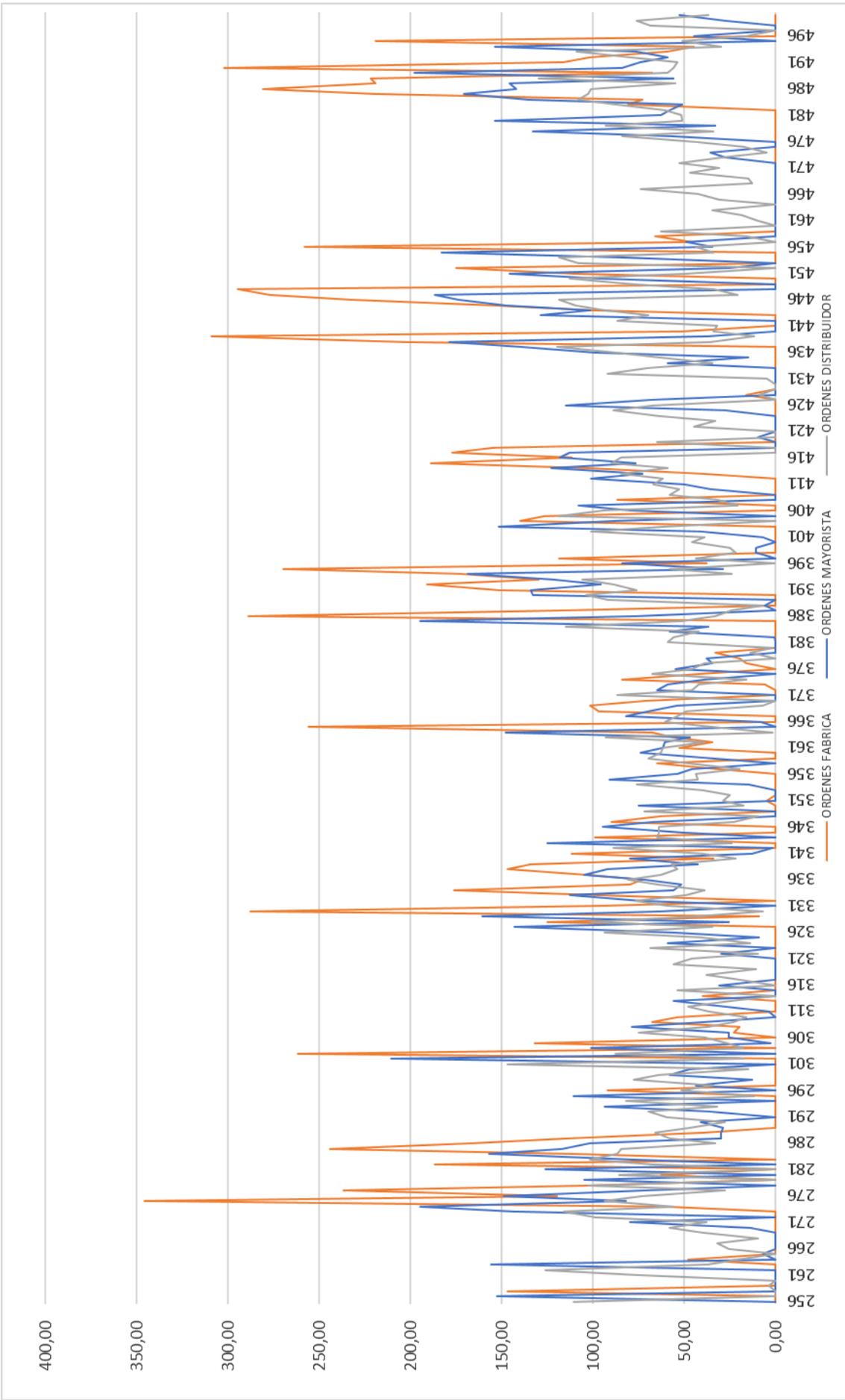
Las gráficas mostrada muestran la evolución de los nodos pasado el periodo de warm-up

### a. Grafica Inventario



b. Grafica Órdenes





3. Resultados de cada experimento

a. Experimento con  $\rho = 0; \alpha = 0,15; estimacion\ lead - time\ de\ 15\ periodos$

i. Nivel de servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	64670	73266	88%
2	68733	75299	91%
3	66969	74637	90%
4	63543	73395	87%
5	65894	73985	89%
6	65672	73176	90%
7	65908	74781	88%
8	68292	75262	91%
9	62836	74527	84%
10	67224	74497	90%
Promedio			89%

ii. Inventarios

1	INVENTARIOS PROMEDIOS 1 →	61,30	INVENTARIOS PROMEDIOS 2 →	84,31	INVENTARIOS PROMEDIOS 3 →	87,69
2		48,32		74,10		81,59
3		54,22		78,06		87,05
4		59,61		81,63		87,60
5		56,25		80,50		84,95
6		48,55		73,18		81,86
7		57,28		80,40		87,57
8		50,54		74,46		83,38
9		72,32		88,62		93,15
10		54,18		79,09		87,06
Promedio		55,87		79,30		86,13

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	653,23	372,63	1,753	373,88	372,63	1,003	131,39	372,63	0,353
2	445,43	392,12	1,136	256,14	392,12	0,653	108,21	392,12	0,276
3	582,95	395,69	1,473	325,83	395,69	0,823	118,28	395,69	0,299
4	678,69	387,91	1,750	386,15	387,91	0,995	143,53	387,91	0,370
5	581,16	387,83	1,499	331,82	387,83	0,856	129,40	387,83	0,334
6	472,24	376,30	1,255	265,87	376,30	0,707	101,46	376,30	0,270
7	624,19	397,76	1,569	357,48	397,76	0,899	133,71	397,76	0,336
8	473,24	386,05	1,226	270,11	386,05	0,700	104,27	386,05	0,270
9	866,39	400,72	2,162	500,80	400,72	1,250	173,66	400,72	0,433
10	578,12	409,84	1,411	324,64	409,84	0,792	126,87	409,84	0,310
Promedio			1,523			0,868			0,325

b. Experimento con  $\rho = 0$ ;  $\alpha = 0,15$ ; estimacion lead – time de todos los periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	71949	73266	98%
2	74192	75299	99%
3	74206	74637	99%
4	70047	73395	95%
5	70647	73985	95%
6	72307	73176	99%
7	73059	74781	98%
8	74249	75262	99%
9	71275	74527	96%
10	72693	74497	98%
Promedio			98%

ii. Inventarios

1	INVENTARIOS PROMEDIOS 1 →	29,55	INVENTARIOS PROMEDIOS 2 →	87,23	INVENTARIOS PROMEDIOS 3 →	80,70
2		32,47		88,12		85,34
3		26,47		86,45		83,28
4		33,17		80,35		74,63
5		31,89		83,54		73,62
6		26,46		82,97		75,55
7		32,07		83,63		81,54
8		27,95		78,81		75,05
9		34,84		81,89		78,59
10		29,67		86,40		83,08
Promedio		30,33		83,89		79,04

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor				
1	160,50	372,63	0,431	103,21	372,63	0,277	75,70	372,63	0,203		
2	182,56	392,12	0,466	117,91	392,12	0,301	86,94	392,12	0,222		
3	131,27	395,69	0,332	85,77	395,69	0,217	69,54	395,69	0,176		
4	196,11	387,91	0,506	127,14	387,91	0,328	89,76	387,91	0,231		
5	194,37	387,83	0,501	129,10	387,83	0,333	93,74	387,83	0,242		
6	127,12	376,30	0,338	85,42	376,30	0,227	67,41	376,30	0,179		
7	182,65	397,76	0,459	117,06	397,76	0,294	85,62	397,76	0,215		
8	144,65	386,05	0,375	92,74	386,05	0,240	70,58	386,05	0,183		
9	218,12	400,72	0,544	133,02	400,72	0,332	90,53	400,72	0,226		
10	165,89	409,84	0,405	106,63	409,84	0,260	81,91	409,84	0,200		
Promedio			0,436				0,281				0,208

c. Experimento con  $\rho = 0; \alpha = 0,25$ ; estimacion lead – time de 15 periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	65645	73266	90%
2	70543	75299	94%
3	70305	74637	94%
4	66401	73395	90%
5	68649	73985	93%
6	67213	73176	92%
7	68166	74781	91%
8	68702	75262	91%
9	66823	74527	90%
10	68450	74497	92%
Promedio			92%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	64,58	84,70	85,16
2	53,07	73,46	79,94
3	51,44	75,23	80,17
4	59,23	77,88	82,04
5	54,24	73,35	81,94
6	56,71	77,34	83,30
7	62,44	79,40	85,01
8	60,41	79,57	84,41
9	68,46	83,07	88,40
10	58,42	79,34	84,68
Promedio	58,69	78,25	83,47

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	860,32	372,63	2,309	486,68	372,63	1,306	175,73	372,63	0,472
2	599,62	392,12	1,529	348,81	392,12	0,890	152,92	392,12	0,390
3	589,78	395,69	1,491	334,35	395,69	0,845	138,66	395,69	0,350
4	735,46	387,91	1,896	430,52	387,91	1,110	173,27	387,91	0,447
5	637,29	387,83	1,643	375,66	387,83	0,969	165,41	387,83	0,427
6	703,34	376,30	1,869	392,77	376,30	1,044	146,27	376,30	0,389
7	771,14	397,76	1,939	461,07	397,76	1,159	186,04	397,76	0,468
8	806,56	386,05	2,089	453,83	386,05	1,176	166,89	386,05	0,432
9	889,16	400,72	2,219	518,26	400,72	1,293	196,23	400,72	0,490
10	713,13	409,84	1,740	409,35	409,84	0,999	167,10	409,84	0,408
Promedio		1,872			1,079			0,427	

d. Experimento con  $\rho = 0$ ;  $\alpha = 0,25$ ; estimacion lead – time de todos los periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	72011	73266	98%
2	73998	75299	98%
3	74226	74637	99%
4	71484	73395	97%
5	71037	73985	96%
6	72187	73176	99%
7	73399	74781	98%
8	74432	75262	99%
9	72154	74527	97%
10	72892	74497	98%
Promedio			98%

ii. Inventarios

1	INVENTARIOS PROMEDIOS 1 →	30,35	INVENTARIOS PROMEDIOS 2 →	75,92	INVENTARIOS PROMEDIOS 3 →	74,54
2		34,44		77,52		79,30
3		28,24		76,39		75,33
4		33,95		71,68		70,88
5		34,92		72,93		71,53
6		28,57		73,72		71,13
7		33,96		74,27		76,83
8		28,89		70,69		71,49
9		35,03		74,51		72,08
10		31,03		77,14		76,62
Promedio		31,82		74,45		73,92

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor				
1	187,26	372,63	0,503	126,68	372,63	0,340	104,57	372,63	0,281		
2	230,17	392,12	0,587	151,11	392,12	0,385	122,17	392,12	0,312		
3	154,09	395,69	0,389	107,85	395,69	0,273	100,28	395,69	0,253		
4	239,70	387,91	0,618	155,32	387,91	0,400	120,61	387,91	0,311		
5	245,19	387,83	0,632	162,46	387,83	0,419	126,50	387,83	0,326		
6	160,73	376,30	0,427	109,53	376,30	0,291	95,54	376,30	0,254		
7	233,94	397,76	0,588	149,88	397,76	0,377	118,94	397,76	0,299		
8	175,98	386,05	0,456	115,35	386,05	0,299	100,25	386,05	0,260		
9	259,51	400,72	0,648	161,35	400,72	0,403	121,55	400,72	0,303		
10	194,66	409,84	0,475	131,91	409,84	0,322	114,93	409,84	0,280		
Promedio			0,532				0,351				0,288

e. Experimento con  $\rho = 0$ ;  $\alpha = 0,50$ ; estimacion lead – time de 15 periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	70708	73266	97%
2	72468	75299	96%
3	73025	74637	98%
4	70468	73395	96%
5	70419	73985	95%
6	70775	73176	97%
7	71618	74781	96%
8	73594	75262	98%
9	71891	74527	96%
10	71781	74497	96%
Promedio			96%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	47,41	67,14	69,71
2	55,53	72,20	74,05
3	44,20	64,08	69,95
4	50,14	67,46	71,54
5	53,13	70,71	73,30
6	45,62	65,03	70,59
7	52,82	69,98	74,95
8	46,24	65,92	70,82
9	50,73	69,34	73,48
10	49,88	69,46	72,46
Promedio	49,45	68,09	72,06

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	523,92	372,63	1,406	349,03	372,63	0,937	227,82	372,63	0,611
2	653,88	392,12	1,668	441,82	392,12	1,127	273,19	392,12	0,697
3	400,89	395,69	1,013	282,95	395,69	0,715	211,61	395,69	0,535
4	580,96	387,91	1,498	388,25	387,91	1,001	248,62	387,91	0,641
5	612,59	387,83	1,580	402,33	387,83	1,037	254,66	387,83	0,657
6	478,18	376,30	1,271	317,73	376,30	0,844	214,37	376,30	0,570
7	640,33	397,76	1,610	419,84	397,76	1,056	262,26	397,76	0,659
8	487,96	386,05	1,264	325,16	386,05	0,842	221,74	386,05	0,574
9	608,12	400,72	1,518	395,62	400,72	0,987	255,52	400,72	0,638
10	575,65	409,84	1,405	376,96	409,84	0,920	247,83	409,84	0,605
Promedio		1,423			0,947			0,619	

f. Experimento con  $\rho = 0$ ;  $\alpha = 0,50$ ; estimacion lead – time con todos los periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	72398	73266	99%
2	74587	75299	99%
3	74115	74637	99%
4	72193	73395	98%
5	72429	73985	98%
6	72778	73176	99%
7	73752	74781	99%
8	74764	75262	99%
9	73237	74527	98%
10	73658	74497	99%
Promedio			99%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	36,51	65,17	65,58
2	40,23	68,43	69,03
3	37,40	65,19	68,98
4	38,87	64,80	65,76
5	41,27	65,35	65,38
6	35,42	62,91	66,63
7	39,55	67,59	67,57
8	36,81	65,28	65,69
9	39,90	67,42	67,00
10	39,48	65,76	68,11
Promedio	38,50	65,77	66,96

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	246,70	372,63	0,662	195,62	372,63	0,525	193,61	372,63	0,520
2	294,05	392,12	0,750	231,89	392,12	0,591	220,37	392,12	0,562
3	235,27	395,69	0,595	193,36	395,69	0,489	200,47	395,69	0,507
4	295,28	387,91	0,761	223,59	387,91	0,576	212,06	387,91	0,547
5	323,36	387,83	0,834	236,88	387,83	0,611	217,00	387,83	0,560
6	222,34	376,30	0,591	177,64	376,30	0,472	184,49	376,30	0,490
7	292,80	397,76	0,736	222,86	397,76	0,560	213,98	397,76	0,538
8	242,91	386,05	0,629	191,60	386,05	0,496	195,85	386,05	0,507
9	312,73	400,72	0,780	232,58	400,72	0,580	217,14	400,72	0,542
10	274,12	409,84	0,669	217,34	409,84	0,530	217,05	409,84	0,530
Promedio		0,701			0,543			0,530	

g. Experimento con  $\rho = 0$ ;  $\alpha = 1,00$ ; estimacion lead – time con 15 periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	72457	73266	98,90%
2	74355	75299	98,75%
3	73854	74637	98,95%
4	71878	73395	97,93%
5	72796	73985	98,39%
6	72606	73176	99,22%
7	73822	74781	98,72%
8	74645	75262	99,18%
9	73379	74527	98,46%
10	73756	74497	99,01%
Promedio			98,75%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	82,73	72,87	60,87
2	87,94	75,09	63,28
3	83,98	73,40	62,29
4	87,20	75,25	62,62
5	85,17	74,44	61,88
6	81,26	71,45	59,93
7	87,32	75,13	62,69
8	83,11	72,23	60,62
9	87,67	75,42	63,67
10	86,68	74,67	62,39
Promedio	85,28	73,98	62,01

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	1347,77	372,63	3,617	850,98	372,63	2,284	529,77	372,63	1,422
2	1539,73	392,12	3,927	948,27	392,12	2,418	566,45	392,12	1,445
3	1438,88	395,69	3,636	873,28	395,69	2,207	542,34	395,69	1,371
4	1578,53	387,91	4,069	953,13	387,91	2,457	568,20	387,91	1,465
5	1429,37	387,83	3,686	898,28	387,83	2,316	552,65	387,83	1,425
6	1323,90	376,30	3,518	827,19	376,30	2,198	515,89	376,30	1,371
7	1503,54	397,76	3,780	943,05	397,76	2,371	575,81	397,76	1,448
8	1349,77	386,05	3,496	854,18	386,05	2,213	538,46	386,05	1,395
9	1585,35	400,72	3,956	962,22	400,72	2,401	575,74	400,72	1,437
10	1492,47	409,84	3,642	931,35	409,84	2,272	575,46	409,84	1,404
Promedio		3,733			2,314			1,418	

h. Experimento con  $\rho = 0$ ;  $\alpha = 1,00$ ; estimacion lead – time con todos los periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	72767	73266	99,32%
2	74639	75299	99,12%
3	74254	74637	99,49%
4	72405	73395	98,65%
5	73416	73985	99,23%
6	72816	73176	99,51%
7	74286	74781	99,34%
8	74903	75262	99,52%
9	73892	74527	99,15%
10	73954	74497	99,27%
Promedio			99,26%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	80,34	73,38	61,64
2	84,49	76,19	63,49
3	82,97	75,27	64,29
4	84,23	74,77	61,84
5	82,95	73,84	61,95
6	80,15	73,39	61,72
7	84,90	75,66	63,82
8	81,91	74,52	62,79
9	85,41	75,18	63,46
10	85,54	76,08	63,60
Promedio	83,27	74,82	62,85

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	1259,07	372,63	3,379	790,78	372,63	2,122	514,65	372,63	1,381
2	1399,97	392,12	3,570	863,01	392,12	2,201	546,55	392,12	1,394
3	1379,00	395,69	3,485	844,47	395,69	2,134	543,47	395,69	1,373
4	1424,40	387,91	3,672	868,46	387,91	2,239	547,26	387,91	1,411
5	1334,76	387,83	3,442	840,93	387,83	2,168	540,08	387,83	1,393
6	1257,38	376,30	3,341	790,54	376,30	2,101	513,31	376,30	1,364
7	1412,63	397,76	3,551	879,70	397,76	2,212	560,78	397,76	1,410
8	1307,64	386,05	3,387	823,04	386,05	2,132	534,35	386,05	1,384
9	1479,42	400,72	3,692	896,32	400,72	2,237	563,78	400,72	1,407
10	1452,66	409,84	3,544	896,12	409,84	2,187	569,72	409,84	1,390
Promedio		3,506			2,173			1,391	

i. Experimento con  $\rho = 0,50$ ;  $\alpha = 0,15$  ; estimacion lead – time con 15 periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	65367	73331	89,14%
2	69160	75349	91,79%
3	67194	74683	89,97%
4	62409	73416	85,01%
5	65628	74038	88,64%
6	65519	73240	89,46%
7	66724	74808	89,19%
8	68826	75333	91,36%
9	63566	74546	85,27%
10	67496	74558	90,53%
Promedio			89,01%

ii. Inventarios

1	INVENTARIOS PROMEDIOS 1 →	68,64	INVENTARIOS PROMEDIOS 2 →	81,61	INVENTARIOS PROMEDIOS 3 →	87,10
2		49,64		74,54		82,30
3		57,13		78,24		86,29
4		74,39		85,40		90,38
5		59,86		81,49		85,20
6		49,58		73,47		81,88
7		61,33		78,17		85,85
8		50,94		73,30		82,07
9		83,70		87,28		91,96
10		57,28		77,73		85,84
Promedio		60,38		78,99		85,83

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	660,29	372,63	1,772	358,01	372,63	0,961	127,63	372,63	0,342
2	453,81	392,12	1,157	247,55	392,12	0,631	103,85	392,12	0,265
3	596,09	395,69	1,506	315,67	395,69	0,798	115,65	395,69	0,292
4	834,16	387,91	2,150	434,16	387,91	1,119	152,57	387,91	0,393
5	617,53	387,83	1,592	337,63	387,83	0,871	130,02	387,83	0,335
6	482,03	376,30	1,281	268,41	376,30	0,713	101,72	376,30	0,270
7	639,98	397,76	1,609	340,77	397,76	0,857	127,91	397,76	0,322
8	463,18	386,05	1,200	258,75	386,05	0,670	100,76	386,05	0,261
9	932,68	400,72	2,328	487,54	400,72	1,217	165,77	400,72	0,414
10	593,22	409,84	1,447	315,97	409,84	0,771	123,78	409,84	0,302
Promedio			1,604			0,861			0,320

j. Experimento con  $\rho = 0,50$ ;  $\alpha = 0,15$ ; estimacion lead – time con todos los periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	71771	73331	97,87%
2	74481	75349	98,85%
3	74212	74683	99,37%
4	72740	73416	99,08%
5	70814	74038	95,65%
6	72668	73240	99,22%
7	74144	74808	99,11%
8	75066	75333	99,65%
9	71264	74546	95,60%
10	72770	74558	97,60%
Promedio			98,19%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3	
1	56,63	66,68	77,29	
2	141,55	95,33	85,36	
3	58,00	66,98	82,03	
4	192,29	106,64	86,14	
5	72,68	67,10	75,32	
6	95,45	70,64	76,34	
7	185,27	100,55	88,40	
8	122,07	91,89	85,70	
9	53,25	65,30	80,70	
10	70,59	66,22	79,90	
Promedio	93,80	78,24	81,60	

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	166,82	372,63	0,448	95,92	372,63	0,257	75,20	372,63	0,202
2	242,46	392,12	0,618	116,53	392,12	0,297	86,97	392,12	0,222
3	137,46	395,69	0,347	80,24	395,69	0,203	69,30	395,69	0,175
4	313,40	387,91	0,808	134,82	387,91	0,348	91,96	387,91	0,237
5	211,28	387,83	0,545	122,52	387,83	0,316	94,04	387,83	0,242
6	147,54	376,30	0,392	80,72	376,30	0,215	67,44	376,30	0,179
7	275,57	397,76	0,693	119,47	397,76	0,300	86,51	397,76	0,218
8	191,02	386,05	0,495	94,48	386,05	0,245	72,23	386,05	0,187
9	224,17	400,72	0,559	126,58	400,72	0,316	91,31	400,72	0,228
10	178,36	409,84	0,435	99,93	409,84	0,244	81,52	409,84	0,199
Promedio		0,534			0,274			0,209	

k. Experimento con  $\rho = 0,50$ ;  $\alpha = 0,25$ ; estimacion lead – time con 15 periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	65642	73331	89,51%
2	70438	75349	93,48%
3	70558	74683	94,48%
4	67508	73416	91,95%
5	66958	74038	90,44%
6	67899	73240	92,71%
7	68997	74808	92,23%
8	69961	75333	92,87%
9	67313	74546	90,30%
10	68560	74558	91,96%
Promedio			91,98%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	74,26	83,03	85,06
2	61,59	73,56	81,21
3	54,62	70,65	79,20
4	68,72	72,06	79,85
5	77,24	79,14	84,69
6	62,63	76,31	83,08
7	73,56	75,82	82,59
8	63,72	76,23	79,47
9	99,51	80,70	87,25
10	71,95	77,06	83,87
Promedio	69,91	76,37	82,59

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	914,65	372,63	2,455	475,28	372,63	1,275	170,72	372,63	0,458
2	684,86	392,12	1,747	368,09	392,12	0,939	157,37	392,12	0,401
3	576,96	395,69	1,458	304,19	395,69	0,769	132,01	395,69	0,334
4	731,87	387,91	1,887	391,36	387,91	1,009	165,23	387,91	0,426
5	896,58	387,83	2,312	454,92	387,83	1,173	181,01	387,83	0,467
6	744,37	376,30	1,978	382,51	376,30	1,017	142,70	376,30	0,379
7	803,43	397,76	2,020	431,47	397,76	1,085	175,88	397,76	0,442
8	751,83	386,05	1,947	399,28	386,05	1,034	151,12	386,05	0,391
9	1108,05	400,72	2,765	536,94	400,72	1,340	200,67	400,72	0,501
10	807,64	409,84	1,971	419,41	409,84	1,023	167,68	409,84	0,409
Promedio		2,054			1,066			0,421	

1. Experimento con  $\rho = 0,50$ ;  $\alpha = 0,25$ ; estimacion lead – time con todos los periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	71936	73331	98,10%
2	74771	75349	99,23%
3	74151	74683	99,29%
4	73158	73416	99,65%
5	72478	74038	97,89%
6	72937	73240	99,59%
7	74473	74808	99,55%
8	75159	75333	99,77%
9	72582	74546	97,37%
10	73692	74558	98,84%
Promedio			98,92%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	95,51	60,23	68,71
2	198,97	110,95	84,91
3	91,80	62,27	72,34
4	273,44	140,93	89,56
5	127,56	80,12	73,38
6	172,80	91,00	75,90
7	294,23	129,60	87,19
8	194,99	106,98	82,39
9	101,01	63,25	71,45
10	119,27	69,82	72,97
Promedio	153,51	87,46	77,57

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	220,01	372,63	0,590	116,85	372,63	0,314	102,92	372,63	0,276
2	402,65	392,12	1,027	164,80	392,12	0,420	124,24	392,12	0,317
3	180,05	395,69	0,455	101,45	395,69	0,256	99,53	395,69	0,252
4	573,49	387,91	1,478	192,37	387,91	0,496	126,58	387,91	0,326
5	331,16	387,83	0,854	162,96	387,83	0,420	126,68	387,83	0,327
6	253,07	376,30	0,673	113,33	376,30	0,301	96,74	376,30	0,257
7	530,52	397,76	1,334	171,80	397,76	0,432	121,89	397,76	0,306
8	304,90	386,05	0,790	126,82	386,05	0,329	103,21	386,05	0,267
9	308,01	400,72	0,769	152,15	400,72	0,380	121,14	400,72	0,302
10	248,18	409,84	0,606	126,11	409,84	0,308	113,62	409,84	0,277
Promedio		0,857			0,366			0,291	

m. Experimento con  $\rho = 0,50$ ;  $\alpha = 0,50$ ; estimacion lead – time con 15 periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	70640	73331	96,33%
2	72729	75349	96,52%
3	73014	74683	97,77%
4	70455	73416	95,97%
5	70561	74038	95,30%
6	70524	73240	96,29%
7	71529	74808	95,62%
8	73721	75333	97,86%
9	71593	74546	96,04%
10	71810	74558	96,31%
Promedio			96,40%

ii. Inventarios

1	INVENTARIOS PROMEDIOS 1 →	55,85	INVENTARIOS PROMEDIOS 2 →	67,82	INVENTARIOS PROMEDIOS 3 →	70,06
2		69,09		73,69		76,34
3		47,89		65,30		70,29
4		56,95		68,42		71,59
5		66,01		72,36		73,43
6		53,84		66,86		71,66
7		66,58		73,91		76,07
8		51,21		66,96		71,63
9		66,25		71,35		74,30
10		57,09		72,12		73,24
Promedio		58,66		69,82		72,83

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	605,27	372,63	1,624	369,48	372,63	0,992	228,57	372,63	0,613
2	777,01	392,12	1,982	466,44	392,12	1,190	277,37	392,12	0,707
3	455,94	395,69	1,152	300,08	395,69	0,758	213,40	395,69	0,539
4	658,29	387,91	1,697	404,90	387,91	1,044	250,19	387,91	0,645
5	719,80	387,83	1,856	428,46	387,83	1,105	255,50	387,83	0,659
6	591,79	376,30	1,573	349,07	376,30	0,928	214,86	376,30	0,571
7	796,14	397,76	2,002	465,62	397,76	1,171	268,42	397,76	0,675
8	539,28	386,05	1,397	341,05	386,05	0,883	224,02	386,05	0,580
9	760,28	400,72	1,897	436,99	400,72	1,091	259,92	400,72	0,649
10	690,20	409,84	1,684	406,62	409,84	0,992	249,61	409,84	0,609
Promedio			1,686			1,015			0,625

n. Experimento con  $\rho = 0,50$ ;  $\alpha = 0,50$ ; estimacion lead – time con todos los periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	72873	73331	99,38%
2	75190	75349	99,79%
3	74216	74683	99,37%
4	73322	73416	99,87%
5	73786	74038	99,66%
6	73124	73240	99,84%
7	74783	74808	99,97%
8	75316	75333	99,98%
9	74141	74546	99,46%
10	74193	74558	99,51%
Promedio			99,68%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	204,53	88,59	68,05
2	350,27	150,22	86,50
3	128,97	78,74	67,69
4	614,84	227,58	97,66
5	249,28	121,37	78,11
6	250,36	126,39	79,31
7	654,34	203,63	104,68
8	283,38	140,26	89,93
9	217,62	105,73	72,96
10	166,96	94,94	71,82
Promedio	274,04	126,49	80,82

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	427,50	372,63	1,147	208,37	372,63	0,559	195,07	372,63	0,523
2	845,42	392,12	2,156	306,77	392,12	0,782	233,48	392,12	0,595
3	318,11	395,69	0,804	198,61	395,69	0,502	199,82	395,69	0,505
4	1669,14	387,91	4,303	378,20	387,91	0,975	233,30	387,91	0,601
5	698,25	387,83	1,800	285,28	387,83	0,736	226,15	387,83	0,583
6	495,80	376,30	1,318	219,59	376,30	0,584	193,07	376,30	0,513
7	1594,29	397,76	4,008	355,25	397,76	0,893	239,74	397,76	0,603
8	613,33	386,05	1,589	251,46	386,05	0,651	212,15	386,05	0,550
9	587,96	400,72	1,467	261,50	400,72	0,653	221,20	400,72	0,552
10	431,68	409,84	1,053	235,92	409,84	0,576	219,43	409,84	0,535
Promedio		1,965			0,691			0,556	

o. Experimento con  $\rho = 0,50$ ;  $\alpha = 1,00$ ; estimacion lead – time con 15 periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	72256	73331	98,53%
2	74158	75349	98,42%
3	73777	74683	98,79%
4	71339	73416	97,17%
5	72473	74038	97,89%
6	72473	73240	98,95%
7	73707	74808	98,53%
8	74630	75333	99,07%
9	73282	74546	98,30%
10	73480	74558	98,55%
Promedio			98,42%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	100,94	84,09	63,48
2	108,82	88,95	66,18
3	95,27	82,82	64,01
4	120,30	88,83	66,79
5	104,17	85,14	65,14
6	745,08	77,78	61,84
7	110,30	86,86	64,58
8	2352,43	77,82	61,75
9	113,42	89,12	65,81
10	110,03	86,49	65,08
Promedio	177,84	84,69	64,44

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	1784,74	372,63	4,790	1010,36	372,63	2,711	543,09	372,63	1,457
2	1965,75	392,12	5,013	1104,11	392,12	2,816	595,60	392,12	1,519
3	1658,00	395,69	4,190	954,75	395,69	2,413	545,38	395,69	1,378
4	2310,50	387,91	5,956	1228,02	387,91	3,166	621,56	387,91	1,602
5	1828,08	387,83	4,714	1039,96	387,83	2,681	574,85	387,83	1,482
6	1724,17	376,30	4,582	910,40	376,30	2,419	527,07	376,30	1,401
7	1951,16	397,76	4,905	1097,10	397,76	2,758	591,25	397,76	1,486
8	1856,91	386,05	4,810	906,82	386,05	2,349	544,34	386,05	1,410
9	2058,75	400,72	5,138	1140,40	400,72	2,846	602,28	400,72	1,503
10	2021,52	409,84	4,932	1114,84	409,84	2,720	600,05	409,84	1,464
Promedio		4,903			2,688			1,470	

p. Experimento con  $\rho = 0,50$ ;  $\alpha = 1,00$ ; estimacion lead – time con todos los periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	34156	73331	46,58%
2	75349	75349	100,00%
3	74683	74683	100,00%
4	29184	73416	39,75%
5	18885	74038	25,51%
6	0	73240	0,00%
7	74808	74808	100,00%
8	6223	75333	8,26%
9	74546	74546	100,00%
10	22299	74558	29,91%
Promedio			55,00%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	103,31	14343,21	20118,43
2	307,73	56526,85	3401,91
3	1982,82	501,17	164,41
4	0,00	4508,26	1398,80
5	208,03	12215,79	16255,31
6	0,00	0,00	0,00
7	5645,13	678,07	213,34
8	0,00	131,28	118,99
9	5748,59	687,10	231,36
10	17,37	2690,64	606,55
Promedio	1401,30	9228,24	4250,91

iii. Bullwhip

	Fábrica			Mayorista			Distribuidor		
1	65450747858866,70	372,63	175643299932,164	12638166556,39	372,63	33915720,625	1079966,62	372,63	2898,193
2	0,00	392,12	0,000	687964,08	392,12	1754,457	6669,65	392,12	17,009
3	12148,93	395,69	30,703	2255,68	395,69	5,701	711,03	395,69	1,797
4	0,00	387,91	0,000	32337,38	387,91	83,364	7140,61	387,91	18,408
5	199153479064598,00	387,83	513509920690,647	12182338893,81	387,83	31411712,758	1616467,35	387,83	4168,002
6	0,00	376,30	0,000	86767,84	376,30	230,582	5184,77	376,30	13,778
7	28944,36	397,76	72,769	3091,54	397,76	7,772	807,60	397,76	2,030
8	3087581,17	386,05	7997,843	117963,87	386,05	305,565	3538,63	386,05	9,166
9	31575,35	400,72	78,797	3219,26	400,72	8,034	851,64	400,72	2,125
10	1867979,19	409,84	4557,848	86616,70	409,84	211,344	4428,03	409,84	10,804
Promedio			68915323336,077			6533004,020			714,131

q. Experimento con  $\rho = 0,75$ ;  $\alpha = 0,15$ ; estimacion lead – time con 15 periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	66735	73331	91,01%
2	68945	75349	91,50%
3	69645	74683	93,25%
4	64328	73416	87,62%
5	65864	74038	88,96%
6	66998	73240	91,48%
7	67858	74808	90,71%
8	69351	75333	92,06%
9	67313	74546	90,30%
10	66711	74558	89,48%
Promedio			90,64%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	134,68	75,62	83,85
2	118,17	79,87	86,87
3	88,96	71,55	80,26
4	188,16	83,80	89,46
5	269,83	79,64	87,43
6	105,87	70,98	79,55
7	105,09	80,60	83,19
8	82,10	76,46	80,56
9	117,76	74,60	83,99
10	122,04	78,86	87,12
Promedio	133,27	77,20	84,23

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	999,30	372,63	2,682	310,92	372,63	0,834	113,44	372,63	0,304
2	1010,85	392,12	2,578	325,58	392,12	0,830	115,17	392,12	0,294
3	694,86	395,69	1,756	234,07	395,69	0,592	89,22	395,69	0,225
4	1366,63	387,91	3,523	450,29	387,91	1,161	146,67	387,91	0,378
5	1549,61	387,83	3,996	402,97	387,83	1,039	142,22	387,83	0,367
6	794,32	376,30	2,111	268,45	376,30	0,713	93,86	376,30	0,249
7	886,07	397,76	2,228	301,01	397,76	0,757	108,36	397,76	0,272
8	715,25	386,05	1,853	247,56	386,05	0,641	90,02	386,05	0,233
9	816,49	400,72	2,038	307,61	400,72	0,768	119,98	400,72	0,299
10	1003,04	409,84	2,447	334,69	409,84	0,817	121,81	409,84	0,297
Promedio		2,521			0,815			0,292	

r. Experimento con  $\rho = 0,75$ ;  $\alpha = 0,15$ ; estimacion lead – time con todos los periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	73331	73331	100,00%
2	75349	75349	100,00%
3	74683	74683	100,00%
4	73416	73416	100,00%
5	73827	74038	99,72%
6	73240	73240	100,00%
7	74808	74808	100,00%
8	75333	75333	100,00%
9	74372	74546	99,77%
10	74558	74558	100,00%
Promedio			99,95%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	6639,22	677,71	169,37
2	8643,96	782,33	213,05
3	2103,83	430,69	153,05
4	11502,98	1048,76	262,86
5	1165,15	332,74	123,49
6	5131,48	670,06	177,88
7	24737,76	1450,53	323,21
8	11512,26	1150,14	249,24
9	1027,34	255,88	113,28
10	2277,11	449,00	163,95
Promedio	7474,11	724,79	194,94

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	7707,60	372,63	20,684	325,24	372,63	0,873	90,66	372,63	0,243
2	10444,13	392,12	26,635	452,10	392,12	1,153	114,12	392,12	0,291
3	2342,08	395,69	5,919	182,57	395,69	0,461	80,98	395,69	0,205
4	13911,59	387,91	35,863	764,78	387,91	1,972	132,42	387,91	0,341
5	1712,39	387,83	4,415	224,56	387,83	0,579	104,67	387,83	0,270
6	5270,01	376,30	14,005	277,30	376,30	0,737	84,20	376,30	0,224
7	37476,66	397,76	94,220	1028,19	397,76	2,585	136,37	397,76	0,343
8	12271,87	386,05	31,788	569,06	386,05	1,474	100,66	386,05	0,261
9	1508,09	400,72	3,763	197,42	400,72	0,493	97,98	400,72	0,245
10	3035,97	409,84	7,408	242,61	409,84	0,592	97,18	409,84	0,237
Promedio			24,470			1,092			0,266

s. Experimento con  $\rho = 0,75$ ;  $\alpha = 0,25$ ; estimacion lead – time con 15 periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	67752	73331	92,39%
2	69984	75349	92,88%
3	69782	74683	93,44%
4	68560	73416	93,39%
5	68517	74038	92,54%
6	68340	73240	93,31%
7	67627	74808	90,40%
8	71066	75333	94,34%
9	67761	74546	90,90%
10	69672	74558	93,45%
Promedio			92,70%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	241,22	75,00	83,38
2	239,19	79,10	85,91
3	121,08	72,55	81,25
4	112,66	70,92	78,22
5	209,41	75,24	84,82
6	179,86	77,00	78,66
7	272,84	81,62	87,68
8	148,61	73,47	79,92
9	422,25	73,52	86,59
10	292,23	71,89	84,13
Promedio	223,93	75,03	83,06

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	1712,67	372,63	4,596	429,69	372,63	1,153	159,74	372,63	0,429
2	1632,38	392,12	4,163	443,09	392,12	1,130	170,53	392,12	0,435
3	1215,80	395,69	3,073	374,48	395,69	0,946	141,73	395,69	0,358
4	970,16	387,91	2,501	331,40	387,91	0,854	148,84	387,91	0,384
5	1974,63	387,83	5,092	494,68	387,83	1,276	171,83	387,83	0,443
6	1402,69	376,30	3,728	367,15	376,30	0,976	134,66	376,30	0,358
7	2186,04	397,76	5,496	494,55	397,76	1,243	172,99	397,76	0,435
8	1516,62	386,05	3,929	361,22	386,05	0,936	138,29	386,05	0,358
9	2783,95	400,72	6,947	502,47	400,72	1,254	185,57	400,72	0,463
10	1955,22	409,84	4,771	434,41	409,84	1,060	171,76	409,84	0,419
Promedio		4,429			1,083			0,408	

t. Experimento con  $\rho = 0,75$ ;  $\alpha = 0,25$ ; estimacion lead – time con todos los periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	73331	73331	100,00%
2	75349	75349	100,00%
3	74683	74683	100,00%
4	73416	73416	100,00%
5	73999	74038	99,95%
6	73240	73240	100,00%
7	74808	74808	100,00%
8	75333	75333	100,00%
9	74527	74546	99,97%
10	74558	74558	100,00%
Promedio			99,99%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	16933,02	943,03	177,13
2	26470,10	1137,51	237,80
3	3318,67	451,18	143,02
4	28636,23	1590,72	307,17
5	2475,06	429,45	136,38
6	13351,95	882,57	196,08
7	24717,15	2065,47	359,35
8	23437,89	1436,06	249,62
9	2351,52	343,02	122,48
10	4626,53	550,47	169,89
Promedio	14631,81	982,95	209,89

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	25577,45	372,63	68,640	706,31	372,63	1,895	133,95	372,63	0,359
2	60592,16	392,12	154,523	1050,44	392,12	2,679	178,15	392,12	0,454
3	5056,00	395,69	12,778	276,52	395,69	0,699	119,45	395,69	0,302
4	76940,28	387,91	198,348	1793,06	387,91	4,622	206,13	387,91	0,531
5	5603,96	387,83	14,450	400,10	387,83	1,032	149,40	387,83	0,385
6	16895,38	376,30	44,899	604,22	376,30	1,606	130,08	376,30	0,346
7	174819,49	397,76	439,512	2344,21	397,76	5,894	218,44	397,76	0,549
8	46681,46	386,05	120,920	1119,55	386,05	2,900	151,88	386,05	0,393
9	4595,70	400,72	11,469	330,56	400,72	0,825	139,21	400,72	0,347
10	8643,03	409,84	21,089	427,97	409,84	1,044	144,02	409,84	0,351
Promedio		108,663				2,320			0,402

u. Experimento con  $\rho = 0,75$ ;  $\alpha = 0,50$ ; estimacion lead – time con 15 periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	71514	73331	97,52%
2	73361	75349	97,36%
3	72819	74683	97,50%
4	70775	73416	96,40%
5	70562	74038	95,31%
6	71419	73240	97,51%
7	70977	74808	94,88%
8	73920	75333	98,12%
9	70797	74546	94,97%
10	71436	74558	95,81%
Promedio			96,54%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	160,60	74,52	75,01
2	157,11	80,27	76,41
3	175,47	77,54	76,61
4	181,57	70,58	72,76
5	269,98	73,39	76,99
6	138,02	71,05	71,23
7	302,23	83,67	79,75
8	129,88	75,81	73,89
9	424,56	78,88	78,66
10	282,95	79,18	78,08
Promedio	222,24	76,49	75,94

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	1574,63	372,63	4,226	462,41	372,63	1,241	236,66	372,63	0,635
2	1349,52	392,12	3,442	485,25	392,12	1,237	257,31	392,12	0,656
3	1645,59	395,69	4,159	479,75	395,69	1,212	241,05	395,69	0,609
4	1459,41	387,91	3,762	426,25	387,91	1,099	248,37	387,91	0,640
5	2209,82	387,83	5,698	518,10	387,83	1,336	264,84	387,83	0,683
6	1119,71	376,30	2,976	369,78	376,30	0,983	212,91	376,30	0,566
7	2654,99	397,76	6,675	618,42	397,76	1,555	277,21	397,76	0,697
8	1228,54	386,05	3,182	412,77	386,05	1,069	225,85	386,05	0,585
9	3137,03	400,72	7,829	575,49	400,72	1,436	285,47	400,72	0,712
10	2299,48	409,84	5,611	565,51	409,84	1,380	268,03	409,84	0,654
Promedio		4,756			1,255			0,644	

v. Experimento con  $\rho = 0,75$ ;  $\alpha = 0,50$ ; estimacion lead – time con todos los periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	73331	73331	100,00%
2	75349	75349	100,00%
3	74683	74683	100,00%
4	73416	73416	100,00%
5	74038	74038	100,00%
6	73240	73240	100,00%
7	74808	74808	100,00%
8	75333	75333	100,00%
9	74546	74546	100,00%
10	74558	74558	100,00%
Promedio			100,00%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	25922,27	2449,90	262,13
2	24801,28	2168,85	299,38
3	11498,70	689,93	154,32
4	25502,81	2819,28	410,41
5	15818,64	773,67	187,59
6	29143,94	1407,05	249,38
7	17800,68	7031,23	529,50
8	22474,48	3299,43	400,46
9	18273,30	837,81	187,13
10	22264,75	922,11	224,76
Promedio	21350,08	2239,93	290,51

iii. Bullwhip

	Fábrica			Mayorista			Distribuidor		
1	397560,52	372,63	1066,891	3568,18	372,63	9,576	319,27	372,63	0,857
2	415286,22	392,12	1059,070	3616,60	392,12	9,223	389,85	392,12	0,994
3	23578,57	395,69	59,588	866,20	395,69	2,189	255,34	395,69	0,645
4	564605,36	387,91	1455,520	5048,28	387,91	13,014	467,70	387,91	1,206
5	52055,13	387,83	134,222	1287,15	387,83	3,319	304,69	387,83	0,786
6	112118,01	376,30	297,949	2077,64	376,30	5,521	301,09	376,30	0,800
7	3053887,00	397,76	7677,748	12874,12	397,76	32,367	574,82	397,76	1,445
8	814352,86	386,05	2109,440	5545,44	386,05	14,365	426,72	386,05	1,105
9	39797,04	400,72	99,314	1336,74	400,72	3,336	302,98	400,72	0,756
10	65728,72	409,84	160,377	1452,88	409,84	3,545	324,23	409,84	0,791
Promedio			1412,012			9,645			0,939

w. Experimento con  $\rho = 0,75$ ;  $\alpha = 1,00$ ; estimacion lead – time con 15 periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	39257	73331	53,53%
2	74116	75349	98,36%
3	52938	74683	70,88%
4	71910	73416	97,95%
5	72067	74038	97,34%
6	52567	73240	71,77%
7	23102	74808	30,88%
8	55109	75333	73,15%
9	60123	74546	80,65%
10	60399	74558	81,01%
Promedio			75,55%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	9305,28	111,29	41,13
2	221,82	89,11	65,88
3	10881,97	120,87	52,45
4	13260,45	74,22	63,78
5	340,80	99,69	68,91
6	14618,61	95,34	46,62
7	4857,05	162,99	26,83
8	8873,47	112,86	51,83
9	14188,49	101,90	56,05
10	1897,97	265,54	75,77
Promedio	7844,59	123,38	54,92

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor			
1	11370131,82	372,63	30512,829	5533,65	372,63	14,850	1172,55	372,63	3,147	
2	3160,91	392,12	8,061	1144,57	392,12	2,919	594,20	392,12	1,515	
3	11287130,46	395,69	28525,061	6211,94	395,69	15,699	1259,41	395,69	3,183	
4	18209,60	387,91	46,943	1023,74	387,91	2,639	578,95	387,91	1,492	
5	5120,78	387,83	13,204	1453,14	387,83	3,747	613,30	387,83	1,581	
6	11242154,67	376,30	29875,559	3787,21	376,30	10,064	933,72	376,30	2,481	
7	68220752,61	397,76	8	3228,92	397,76	8,118	1313,88	397,76	3,303	
8	3871212,10	386,05	10027,703	4844,75	386,05	12,549	1071,39	386,05	2,775	
9	8043425,44	400,72	20072,498	3723,27	400,72	9,291	961,29	400,72	2,399	
10	1725063,87	409,84	4209,137	12523,8	3	409,84	30,558	2364,45	409,84	5,769
Promedio			29480,414			11,044			2,765	

x. Experimento con  $\rho = 0,75$ ;  $\alpha = 1,00$ ; estimacion lead – time con todos los periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	9435	73331	12,87%
2	14201	75349	18,85%
3	28530	74683	38,20%
4	25575	73416	34,84%
5	25184	74038	34,01%
6	4925	73240	6,72%
7	18074	74808	24,16%
8	16099	75333	21,37%
9	13329	74546	17,88%
10	24559	74558	32,94%
Promedio			24,18%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	0,00	0,00	601,55
2	0,00	0,00	1360,31
3	0,00	12,51	11450,85
4	0,00	26,44	9944,52
5	0,00	0,00	4247,71
6	0,00	0,00	167,65
7	0,00	17,62	2166,43
8	0,00	0,60	1734,80
9	0,00	0,00	1213,51
10	0,00	0,00	3809,13
Promedio	0,00	5,72	3669,65

iii. Bullwhip

	Fábrica			Mayorista			Distribuidor		
1	0,00	372,63	0,000	1127428,36	372,63	3025,561	30494,73	372,63	81,836
2	0,00	392,12	0,000	0,00	392,12	0,000	43589,21	392,12	111,162
3	1687939133142,64	395,69	4265793446,766	971058659,36	395,69	2454078,814	1257651,55	395,69	3178,362
4	309543006688249,00	387,91	797984156759,851	47457788370,93	387,91	122343462,513	2083707,87	387,91	5371,680
5	0,00	387,83	0,000	5088419,55	387,83	13120,303	120353,55	387,83	310,327
6	0,00	376,30	0,000	0,00	376,30	0,000	54447,07	376,30	144,691
7	32984597704827,80	397,76	82926264852,362	8672230972,83	397,76	21802773,796	1576377,65	397,76	3963,156
8	119918447969,39	386,05	310627927,405	75968182,28	386,05	196782,392	106365,55	386,05	275,522
9	0,00	400,72	0,000	0,00	400,72	0,000	34887,17	400,72	87,061
10	0,00	409,84	0,000	9070087,70	409,84	22130,913	88675,04	409,84	216,366
Promedio			88548684298,638			14683537,429			1374,016

y. Experimento con  $\rho = 0,85$ ;  $\alpha = 0,15$ ; estimacion lead – time con 15 periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	65007	73331	88,65%
2	69847	75349	92,70%
3	68071	74683	91,15%
4	63956	73416	87,11%
5	64052	74038	86,51%
6	66933	73240	91,39%
7	69802	74808	93,31%
8	70955	75333	94,19%
9	66879	74546	89,72%
10	70564	74558	94,64%
Promedio			90,94%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	660,73	78,59	88,91
2	312,82	84,82	90,71
3	196,17	86,13	87,37
4	579,63	82,54	96,49
5	1572,30	75,12	89,98
6	222,69	78,10	84,21
7	13323,40	30,61	82,21
8	1376,70	66,91	81,35
9	566,25	76,48	90,98
10	337,93	77,77	87,88
Promedio	1914,86	73,71	88,01

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	2929,39	372,63	7,861	412,87	372,63	1,108	122,64	372,63	0,329
2	1686,83	392,12	4,302	362,13	392,12	0,923	120,32	392,12	0,307
3	1446,13	395,69	3,655	329,59	395,69	0,833	102,59	395,69	0,259
4	3255,25	387,91	8,392	502,17	387,91	1,295	155,45	387,91	0,401
5	5402,34	387,83	13,930	497,96	387,83	1,284	150,99	387,83	0,389
6	1389,84	376,30	3,693	306,92	376,30	0,816	97,92	376,30	0,260
7	21853,53	397,76	54,942	144,22	397,76	0,363	109,12	397,76	0,274
8	1827,82	386,05	4,735	253,77	386,05	0,657	96,42	386,05	0,250
9	2588,24	400,72	6,459	370,23	400,72	0,924	135,32	400,72	0,338
10	1809,28	409,84	4,415	284,74	409,84	0,695	106,00	409,84	0,259
Promedio		11,238			0,890			0,307	

z. Experimento con  $\rho = 0,85$ ;  $\alpha = 0,15$ ; estimacion lead – time con todos los periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	73331	73331	100,00%
2	75349	75349	100,00%
3	74683	74683	100,00%
4	73416	73416	100,00%
5	74038	74038	100,00%
6	73240	73240	100,00%
7	74808	74808	100,00%
8	75333	75333	100,00%
9	74546	74546	100,00%
10	74558	74558	100,00%
Promedio			100,00%

ii. Inventarios

1	INVENTARIOS PROMEDIOS 1 →	7751,12	INVENTARIOS PROMEDIOS 2 →	7188,97	INVENTARIOS PROMEDIOS 3 →	610,20
2		5958,54		6645,75		536,27
3		13257,73		2356,87		310,83
4		9316,83		6459,00		688,75
5		14757,54		1058,61		226,83
6		12179,19		4041,47		474,90
7		22,63		11977,48		1083,34
8		2473,97		10225,57		880,73
9		14431,43		995,90		187,34
10		12740,33		2193,31		350,31
Promedio		9288,93		5314,29		534,95

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	435864,37	372,63	1169,683	5262,98	372,63	14,124	184,67	372,63	0,496
2	471701,20	392,12	1202,940	5103,74	392,12	13,016	193,45	392,12	0,493
3	114704,94	395,69	289,885	1293,11	395,69	3,268	108,28	395,69	0,274
4	747542,34	387,91	1927,121	5429,65	387,91	13,997	252,82	387,91	0,652
5	43405,78	387,83	111,920	691,76	387,83	1,784	128,06	387,83	0,330
6	229687,12	376,30	610,384	2538,18	376,30	6,745	139,69	376,30	0,371
7	1681057,50	397,76	4226,331	18381,17	397,76	46,212	365,41	397,76	0,919
8	1719992,06	386,05	4455,341	7748,15	386,05	20,070	246,17	386,05	0,638
9	22705,29	400,72	56,661	643,98	400,72	1,607	114,13	400,72	0,285
10	121556,83	409,84	296,597	1510,31	409,84	3,685	135,83	409,84	0,331
Promedio			1434,686			12,451			0,479

aa. Experimento con  $\rho = 0,85$ ;  $\alpha = 0,25$ ; estimacion lead – time con 15 periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	69730	73331	95,09%
2	72344	75349	96,01%
3	69543	74683	93,12%
4	68299	73416	93,03%
5	67522	74038	91,20%
6	69509	73240	94,91%
7	70986	74808	94,89%
8	72445	75333	96,17%
9	68375	74546	91,72%
10	69226	74558	92,85%
Promedio			93,90%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	14153,35	32,05	77,05
2	15054,03	34,87	79,75
3	521,67	86,57	88,93
4	3487,18	69,05	85,26
5	331,31	89,93	90,24
6	374,58	72,06	84,14
7	13898,51	33,89	80,23
8	14221,18	30,99	77,04
9	733,88	87,11	85,73
10	1013,51	78,51	89,11
Promedio	6378,92	61,50	83,75

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	24580,32	372,63	65,964	163,61	372,63	0,439	132,56	372,63	0,356
2	36138,53	392,12	92,161	186,02	392,12	0,474	151,89	392,12	0,387
3	2846,18	395,69	7,193	491,36	395,69	1,242	152,45	395,69	0,385
4	4082,18	387,91	10,524	434,47	387,91	1,120	171,75	387,91	0,443
5	2485,29	387,83	6,408	541,96	387,83	1,397	177,85	387,83	0,459
6	2202,33	376,30	5,853	369,52	376,30	0,982	134,33	376,30	0,357
7	55014,23	397,76	138,311	185,48	397,76	0,466	148,67	397,76	0,374
8	42788,28	386,05	110,836	150,91	386,05	0,391	124,27	386,05	0,322
9	3894,28	400,72	9,718	493,02	400,72	1,230	172,59	400,72	0,431
10	4517,45	409,84	11,023	447,30	409,84	1,091	162,85	409,84	0,397
Promedio		45,799			0,883			0,391	

bb. Experimento con  $\rho = 0,85$ ;  $\alpha = 0,25$ ; estimacion lead – time con todos los periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	73331	73331	100,00%
2	75349	75349	100,00%
3	74683	74683	100,00%
4	73416	73416	100,00%
5	74038	74038	100,00%
6	73240	73240	100,00%
7	74808	74808	100,00%
8	75333	75333	100,00%
9	74546	74546	100,00%
10	74558	74558	100,00%
Promedio			100,00%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	2038,53	12247,89	728,43
2	1244,84	11625,96	592,02
3	12088,79	3004,29	300,32
4	4313,64	10759,69	835,87
5	13634,52	1507,52	260,32
6	6907,60	8193,04	557,46
7	0,00	11390,04	1340,00
8	49,56	11768,79	947,17
9	13918,37	1669,89	210,51
10	10766,86	3298,40	373,20
Promedio	6496,27	7546,55	614,53

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	2194803,97	372,63	5889,965 10728,62	14936,14	372,63	40,083	345,79	372,63	0,928
2	4206944,61	392,12	0	15029,35	392,12	38,328	332,02	392,12	0,847
3	208576,05	395,69	527,118	2467,08	395,69	6,235	166,02	395,69	0,420
4	2085081,25	387,91	5375,220	13567,19	387,91	34,975	469,05	387,91	1,209
5	195418,02	387,83	503,878	1640,30	387,83	4,229	195,41	387,83	0,504
6	939482,09	376,30	2496,635 17426,58	7859,50	376,30	20,886 126,66	252,51	376,30	0,671
7	6931567,67	397,76	9 13350,50	50380,87	397,76	2	751,97	397,76	1,891
8	5153985,56	386,05	5	19503,97	386,05	50,522	440,44	386,05	1,141
9	154556,64	400,72	385,699	1735,47	400,72	4,331	170,63	400,72	0,426
10	338185,38	409,84	825,169	3456,35	409,84	8,433	215,39	409,84	0,526
	Promedio		5750,940			33,468			0,856

cc. Experimento con  $\rho = 0,85$ ;  $\alpha = 0,50$ ; estimacion lead – time con 15 periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	69634	73331	94,96%
2	73746	75349	97,87%
3	72539	74683	97,13%
4	71597	73416	97,52%
5	70030	74038	94,59%
6	72109	73240	98,46%
7	63362	74808	84,70%
8	74314	75333	98,65%
9	72825	74546	97,69%
10	71880	74558	96,41%
Promedio			95,80%

ii. Inventarios

1	INVENTARIOS PROMEDIOS 1 →	10250,63	INVENTARIOS PROMEDIOS 2 →	71,12	INVENTARIOS PROMEDIOS 3 →	72,94
2		7462,51		57,62		74,92
3		822,26		77,21		78,71
4		16340,32		40,78		70,02
5		4812,67		115,15		81,67
6		9712,93		44,71		68,63
7		7426,28		1022,12		66,52
8		13818,21		39,44		70,83
9		15925,05		41,82		72,80
10		710,31		75,41		77,44
Promedio		8728,12		158,54		73,45

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	1832298,10	372,63	4917,146	1077,23	372,63	2,891	444,88	372,63	1,194
2	11237,53	392,12	28,658	398,18	392,12	1,015	256,47	392,12	0,654
3	3622,17	395,69	9,154	596,31	395,69	1,507	252,81	395,69	0,639
4	95882,54	387,91	247,180	246,33	387,91	0,635	235,30	387,91	0,607
5	28593,85	387,83	73,728	1331,72	387,83	3,434	334,54	387,83	0,863
6	21062,83	376,30	55,974	211,60	376,30	0,562	193,18	376,30	0,513
7	0,00	397,76	0,000	1456,07	397,76	3,661	434,78	397,76	1,093
8	89512,26	386,05	231,866	211,82	386,05	0,549	214,27	386,05	0,555
9	61719,08	400,72	154,021	261,67	400,72	0,653	244,95	400,72	0,611
10	3598,97	409,84	8,781	513,60	409,84	1,253	259,59	409,84	0,633
Promedio			572,651			1,616			0,736

dd. Experimento con  $\rho = 0,85$ ;  $\alpha = 0,50$ ; estimacion lead – time con todos los periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	73331	73331	100,00%
2	75349	75349	100,00%
3	74683	74683	100,00%
4	73416	73416	100,00%
5	74038	74038	100,00%
6	73240	73240	100,00%
7	73598	74808	98,38%
8	71983	75333	95,55%
9	74546	74546	100,00%
10	74558	74558	100,00%
Promedio			99,39%

ii. Inventarios

1	INVENTARIOS PROMEDIOS 1 →	0,00	INVENTARIOS PROMEDIOS 2 →	11760,72	INVENTARIOS PROMEDIOS 3 →	1771,01
2		0,00		10828,43		1093,60
3		7418,67		5601,76		353,53
4		0,00		11668,19		1262,32
5		8004,64		5358,87		360,99
6		658,62		14306,74		709,24
7		0,00		7723,65		2913,30
8		0,00		4877,44		3569,69
9		3706,65		9659,35		539,32
10		1998,41		9800,21		470,98
Promedio		2178,70		9158,54		1304,40

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	138263274,99	372,63	371042,634	190946,04	372,63	512,422	1751,93	372,63	4,701
2	84758445,66	392,12	216152,402	127845,77	392,12	326,034	1178,66	392,12	3,006
3	1231514,43	395,69	3112,308	8866,81	395,69	22,408	395,92	395,69	1,001
4	55270314,30	387,91	142483,707	123735,38	387,91	318,983	1343,09	387,91	3,462
5	1610101,75	387,83	4151,588	9652,82	387,83	24,889	441,46	387,83	1,138
6	5697707,30	376,30	15141,420	28749,28	376,30	76,400	672,84	376,30	1,788
7	585028129,13	397,76	1470813,681	521808,44	397,76	1311,874	3606,73	397,76	9,068
8	600904539,22	386,05	1556538,921	906005,25	386,05	2346,849	4562,12	386,05	11,817
9	1849942,74	400,72	4616,562	17206,13	400,72	42,938	605,30	400,72	1,511
10	3025995,32	409,84	7383,395	18252,39	409,84	44,536	523,13	409,84	1,276
Promedio			379143,662			502,733			3,877

ee. Experimento con  $\rho = 0,85$ ;  $\alpha = 1,00$ ; estimacion lead – time con 15 periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	49838	73331	67,96%
2	34101	75349	45,26%
3	27086	74683	36,27%
4	60261	73416	82,08%
5	28810	74038	38,91%
6	72682	73240	99,24%
7	65767	74808	87,91%
8	54820	75333	72,77%
9	58656	74546	78,68%
10	45880	74558	61,54%
Promedio			67,06%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1,00	6892,49	156,55	52,89
2,00	4020,50	134,33	39,09
3,00	2453,10	127,45	33,55
4,00	9310,20	93,06	55,91
5,00	3331,78	115,23	34,70
6,00	17048,54	63,79	59,95
7,00	7081,26	767,95	62,16
8,00	5380,46	196,50	59,05
9,00	9128,51	101,43	53,81
10,00	321,87	242,27	49,88
Promedio	6496,87	199,85	50,10

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	19724973,99	372,63	52933,842	8048,79	372,63	21,600	1493,83	372,63	4,009
2	17690905,82	392,12	45115,643	8176,51	392,12	20,852	1556,70	392,12	3,970
3	8479224,18	395,69	21428,864	6822,92	395,69	17,243	1367,29	395,69	3,455
4	24676333,61	387,91	63614,176	3757,84	387,91	9,687	937,81	387,91	2,418
5	16867447,17	387,83	43492,092	6561,07	387,83	16,917	1300,40	387,83	3,353
6	69649,84	376,30	185,092	776,77	376,30	2,064	515,90	376,30	1,371
7	51196781,54	397,76	128713,344	5541,14	397,76	13,931	1333,47	397,76	3,352
8	13513730,41	386,05	35004,973	10620,57	386,05	27,511	1853,25	386,05	4,801
9	11827840,54	400,72	29516,567	3434,84	400,72	8,572	912,37	400,72	2,277
10	2481834,33	409,84	6055,648	20259,89	409,84	49,434	1308,14	409,84	3,192
Promedio			42606,024			18,781			3,220

ff. Experimento con  $\rho = 0,85$ ;  $\alpha = 1,00$ ; estimacion lead – time con todos los periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	2595	73331	3,54%
2	13001	75349	17,25%
3	4508	74683	6,04%
4	0	73416	0,00%
5	12069	74038	16,30%
6	27510	73240	37,56%
7	0	74808	0,00%
8	0	75333	0,00%
9	16251	74546	21,80%
10	4991	74558	6,69%
Promedio			10,92%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1,00	0,00	0,00	42,98
2,00	0,00	0,00	2291,51
3,00	0,00	0,00	133,48
4,00	0,00	0,00	0,00
5,00	0,00	0,20	987,80
6,00	0,00	7,74	3150,55
7,00	0,00	0,00	0,00
8,00	0,00	0,00	0,00
9,00	0,00	9,69	3531,27
10,00	0,00	0,00	165,54
Promedio	0,00	1,76	1030,31

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	0,00	372,63	0,000	0,00	372,63	0,000	39234,69	372,63	105,290
2	261556136892791,00	392,12	667024821943,560	30124211942,02	392,12	76823267,638	1408010,06	392,12	3590,731
3	0,00	395,69	0,000	0,00	395,69	0,000	49083,99	395,69	124,046
4	0,00	387,91	0,000	76675,35	387,91	197,665	17392,47	387,91	44,837
5	21851382897416,20	387,83	56342987083,813	7299346048,30	387,83	18821095,308	690252,70	387,83	1779,791
6	53305395243984,80	376,30	141656872908,595	24488166017,77	376,30	65076283,657	1700850,39	376,30	4519,939
7	8865181,07	397,76	22287,868	155152,24	397,76	390,067	11257,98	397,76	28,304
8	0,00	386,05	0,000	0,00	386,05	0,000	69770,69	386,05	180,729
9	2382687479285020,00	400,72	5946035158345,600	221031550054,62	400,72	551587809,629	5575002,58	400,72	13912,509
10	0,00	409,84	0,000	0,00	409,84	0,000	64484,74	409,84	157,342
Promedio		681105986256,943			71230904,396			2444,352	

gg. Experimento con  $\rho = 0,95$ ;  $\alpha = 0,15$ ; estimacion lead – time con 15 periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	58864	73331	80,27%
2	68058	75349	90,32%
3	71403	74683	95,61%
4	68062	73416	92,71%
5	68533	74038	92,56%
6	69586	73240	95,01%
7	46365	74808	61,98%
8	50017	75333	66,39%
9	68050	74546	91,29%
10	69834	74558	93,66%
Promedio			85,98%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3	
1	0,00	2492,50	68,52	
2	0,00	2836,64	67,67	
3	4273,81	172,72	76,65	
4	4138,05	1177,07	71,69	
5	5355,53	30,57	82,49	
6	5373,28	580,02	71,59	
7	0,00	1508,92	173,03	
8	0,00	1208,39	100,93	
9	5334,92	33,44	85,24	
10	4560,57	30,16	82,65	
Promedio	2903,61	1007,04	88,04	

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	69719269,54	372,63	187098,283	48512,51	372,63	130,188	254,96	372,63	0,684
2	6798215,79	392,12	17336,923	19165,58	392,12	48,876	200,85	392,12	0,512
3	73451,91	395,69	185,629	266,68	395,69	0,674	84,28	395,69	0,213
4	351074,58	387,91	905,050	1584,68	387,91	4,085	107,17	387,91	0,276
5	18086,41	387,83	46,635	153,70	387,83	0,396	115,05	387,83	0,297
6	14050,50	376,30	37,339	491,16	376,30	1,305	76,59	376,30	0,204
7	88076833,49	397,76	221433,133	102903,81	397,76	258,709	568,40	397,76	1,429
8	55737528,57	386,05	144378,394	86488,88	386,05	224,034	388,29	386,05	1,006
9	57215,57	400,72	142,782	186,92	400,72	0,466	128,03	400,72	0,319
10	48662,92	409,84	118,737	139,85	409,84	0,341	106,78	409,84	0,261
Promedio			57168,291			66,908			0,520

hh. Experimento con  $\rho = 0,95$ ;  $\alpha = 0,15$ ; estimacion lead – time con todos los periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	68812	73331	93,84%
2	61390	75349	81,47%
3	72633	74683	97,26%
4	73416	73416	100,00%
5	73773	74038	99,64%
6	69239	73240	94,54%
7	61137	74808	81,73%
8	69633	75333	92,43%
9	74546	74546	100,00%
10	73210	74558	98,19%
Promedio			93,91%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	0,00	0,00	3542,64
2	0,00	0,00	2164,73
3	0,00	1056,77	3008,85
4	0,00	1045,44	3942,16
5	0,00	3555,86	748,73
6	0,00	617,60	2997,80
7	0,00	0,00	1639,08
8	0,00	0,00	2028,14
9	0,00	3739,42	996,80
10	0,00	1125,04	2357,65
Promedio	0,00	1114,01	2342,66

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	73513508,47	372,63	197280,484	321831,18	372,63	863,665	3678,43	372,63	9,871
2	737189113,02	392,12	1879991,969	757047,72	392,12	1930,636	3479,23	392,12	8,873
3	27370037,92	395,69	69170,106	150059,68	395,69	379,234	1323,21	395,69	3,344
4	55435873,20	387,91	142910,509	224077,59	387,91	577,659	1983,28	387,91	5,113
5	8465924,11	387,83	21829,074	27559,98	387,83	71,062	285,79	387,83	0,737
6	61563003,72	376,30	163601,124	231896,53	376,30	616,255	1690,51	376,30	4,492
7	139210252,72	397,76	349987,179	609007,02	397,76	1531,099	7063,74	397,76	17,759
8	376026022,56	386,05	974030,151	660338,66	386,05	1710,493	5287,80	386,05	13,697
9	3407634,93	400,72	8503,808	26691,91	400,72	66,610	363,80	400,72	0,908
10	54218619,59	409,84	132292,830	118854,46	409,84	290,004	1052,43	409,84	2,568
Promedio			393959,723			803,672			6,736

ii. Experimento con  $\rho = 0,95$ ;  $\alpha = 0,25$ ; estimacion lead – time con 15 periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	61965	73331	84,50%
2	51985	75349	68,99%
3	68556	74683	91,80%
4	70560	73416	96,11%
5	70045	74038	94,61%
6	70314	73240	96,00%
7	49152	74808	65,70%
8	61992	75333	82,29%
9	70699	74546	94,84%
10	71046	74558	95,29%
Promedio			87,01%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3	
1	0,00	2819,38	60,76	
2	0,00	1728,31	58,70	
3	3356,76	359,37	82,12	
4	2089,79	1934,63	63,45	
5	5164,37	33,23	79,03	
6	4458,85	895,50	68,72	
7	0,00	1215,03	329,43	
8	0,00	1798,64	116,91	
9	4344,11	241,13	78,51	
10	1829,05	1651,60	70,27	
Promedio	2124,29	1267,68	100,79	

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	56582198,88	372,63	151843,706	86085,84	372,63	231,020	323,46	372,63	0,868
2	289239770,86	392,12	737624,087	108033,30	392,12	275,508	428,43	392,12	1,093
3	75788,55	395,69	191,534	959,99	395,69	2,426	290,85	395,69	0,735
4	859418,33	387,91	2215,531	3481,19	387,91	8,974	127,27	387,91	0,328
5	70160,04	387,83	180,905	183,04	387,83	0,472	146,02	387,83	0,376
6	0,00	376,30	0,000	913,44	376,30	2,427	108,32	376,30	0,288
7	126464817,34	397,76	317944,000	146170,85	397,76	367,487	1106,13	397,76	2,781
8	382909472,80	386,05	991860,535	154959,19	386,05	401,395	670,95	386,05	1,738
9	63074,59	400,72	157,404	479,48	400,72	1,197	157,94	400,72	0,394
10	0,00	409,84	0,000	4907,87	409,84	11,975	178,58	409,84	0,436
Promedio			220201,770			130,288			0,904

jj. Experimento con  $\rho = 0,95$ ;  $\alpha = 0,25$ ; estimacion lead – time con todos los periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	47318	73331	64,53%
2	45747	75349	60,71%
3	57061	74683	76,40%
4	73416	73416	100,00%
5	58430	74038	78,92%
6	58435	73240	79,79%
7	51008	74808	68,19%
8	65326	75333	86,72%
9	74546	74546	100,00%
10	58039	74558	77,84%
Promedio			79,31%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	0,00	0,00	2221,97
2	0,00	0,00	1419,96
3	0,00	0,00	2920,51
4	0,00	368,61	4286,97
5	0,00	666,98	2372,83
6	0,00	211,88	2868,48
7	0,00	0,00	1688,77
8	0,00	0,00	2168,78
9	0,00	2677,90	1525,34
10	0,00	2,50	3027,30
Promedio	0,00	392,79	2450,09

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	2680254627,88	372,63	7192717,928	3361718,28	372,63	9021,490	11588,75	372,63	31,100
2	737410272,61	392,12	1880555,974	2000757,44	392,12	5102,365	8199,61	392,12	20,911
3	1619941922,82	395,69	4093949,540	1210699,84	395,69	3059,705	5905,24	395,69	14,924
4	289371950,96	387,91	745984,329	618358,80	387,91	1594,094	4041,99	387,91	10,420
5	444083689,71	387,83	1145053,460	324838,89	387,83	837,585	2659,53	387,83	6,857
6	1483531669,51	376,30	3942423,768	773699,34	376,30	2056,074	3519,54	376,30	9,353
7	4312744941,04	397,76	10842631,231	3356174,07	397,76	8437,725	15765,03	397,76	39,635
8	52797988873,11	386,05	136764026,991	8698719,17	386,05	22532,522	10098,02	386,05	26,157
9	168289741,44	400,72	419969,773	133432,60	400,72	332,983	964,66	400,72	2,407
10	1205071705,86	409,84	2940361,593	681476,15	409,84	1662,794	4702,49	409,84	11,474
Promedio			16996767,459			5463,734			17,324

kk. Experimento con  $\rho = 0,95$ ;  $\alpha = 0,50$ ; estimacion lead – time con 15 periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	60462	73331	82,45%
2	56943	75349	75,57%
3	36553	74683	48,94%
4	70812	73416	96,45%
5	57052	74038	77,06%
6	48870	73240	66,73%
7	39707	74808	53,08%
8	49584	75333	65,82%
9	49124	74546	65,90%
10	43336	74558	58,12%
Promedio			69,01%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	0,00	2698,17	60,24
2	0,00	2108,57	65,55
3	0,00	1477,55	45,10
4	0,00	4157,34	57,85
5	0,00	2780,16	60,29
6	0,00	2581,34	54,31
7	0,00	747,42	343,74
8	0,00	1366,72	167,82
9	0,00	2334,59	65,06
10	0,00	1572,66	46,79
Promedio	0,00	2182,45	96,68

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	1021809017,16	372,63	2742121,573	341495,47	372,63	916,436	677,30	372,63	1,818
2	7287588645,63	392,12	18584930,090	938498,94	392,12	2393,376	1009,52	392,12	2,574
3	1192679139,84	395,69	3014162,513	320255,89	395,69	809,357	880,19	395,69	2,224
4	19171425,70	387,91	49422,838	50437,86	387,91	130,026	299,58	387,91	0,772
5	374450627,93	387,83	965507,171	214747,88	387,83	553,720	812,41	387,83	2,095
6	636104855,62	376,30	1690422,222	217340,95	376,30	577,575	800,54	376,30	2,127
7	269843057,44	397,76	678409,876	518471,27	397,76	1303,484	2915,70	397,76	7,330
8	1657542897,80	386,05	4293577,207	497290,65	386,05	1288,145	1325,76	386,05	3,434
9	889432622,93	400,72	2219593,502	379976,40	400,72	948,237	1188,07	400,72	2,965
10	1366817230,41	409,84	3335018,878	311127,11	409,84	759,147	693,54	409,84	1,692
Promedio			3757316,587			967,950			2,703

II. Experimento con  $\rho = 0,95$ ;  $\alpha = 0,50$ ; estimacion lead – time con todos los periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	43234	73331	58,96%
2	41052	75349	54,48%
3	42819	74683	57,33%
4	56166	73416	76,50%
5	54158	74038	73,15%
6	52782	73240	72,07%
7	31541	74808	42,16%
8	49064	75333	65,13%
9	67394	74546	90,41%
10	37913	74558	50,85%
Promedio			64,10%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	0,00	0,00	1829,65
2	0,00	0,00	1387,27
3	0,00	0,00	2494,63
4	0,00	0,00	3161,74
5	0,00	15,95	2215,43
6	0,00	0,00	3136,50
7	0,00	0,00	771,70
8	0,00	0,00	1511,91
9	0,00	341,23	3238,52
10	0,00	0,00	1763,83
Promedio	0,00	35,72	2151,12

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	8920627257,24	372,63	23939350,736	11504280,50	372,63	30872,830	28511,17	372,63	76,512
2	3987651333285,11	392,12	10169374927,141	521450193,10	392,12	1329810,978	59758,35	392,12	152,397
3	4724339574,52	395,69	11939445,210	8642916,87	395,69	21842,552	22418,96	395,69	56,658
4	36444583126,93	387,91	93952049,656	12401582,55	387,91	31970,570	21061,01	387,91	54,294
5	9427172082,28	387,83	24307616,473	3487991,97	387,83	8993,659	7645,69	387,83	19,714
6	1835281166,10	376,30	4877183,439	2441242,08	376,30	6487,499	11522,28	376,30	30,620
7	51396667065,85	397,76	129215874,141	17142654,77	397,76	43098,186	42333,15	397,76	106,429
8	18167869419,93	386,05	47060712,666	6521034,03	386,05	16891,607	24477,51	386,05	63,405
9	620400202,56	400,72	1548218,744	727495,67	400,72	1815,477	5785,71	400,72	14,438
10	3837208247,43	409,84	9362745,552	4816768,94	409,84	11752,863	24524,42	409,84	59,839
Promedio			1051557812,376			150353,622			63,431

mm. Experimento con  $\rho = 0,950$ ;  $\alpha = 1,00$ ; estimacion lead – time con 15 periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	15847	73331	21,61%
2	11066	75349	14,69%
3	9728	74683	13,03%
4	26231	73416	35,73%
5	34854	74038	47,08%
6	20580	73240	28,10%
7	566	74808	0,76%
8	5049	75333	6,70%
9	37719	74546	50,60%
10	20198	74558	27,09%
Promedio			24,54%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	0,00	802,38	18,46
2	0,00	299,65	107,40
3	0,00	338,70	11,33
4	657,46	734,46	39,21
5	388,11	934,78	43,90
6	0,00	1457,95	20,54
7	0,00	0,00	55,43
8	0,00	46,58	35,20
9	0,00	1992,22	41,89
10	0,00	642,84	23,66
Promedio	104,56	724,96	39,70

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	1469251816,11	372,63	3942876,833	607107,54	372,63	1629,231	996,29	372,63	2,674
2	4525684697,71	392,12	11541476,585	1117194,62	392,12	2849,088	2062,85	392,12	5,261
3	130824301,67	395,69	330621,785	65721,67	395,69	166,093	902,77	395,69	2,282
4	0,00	387,91	0,000	37404,09	387,91	96,426	2227,68	387,91	5,743
5	179080290,14	387,83	461751,941	119494,35	387,83	308,112	1862,65	387,83	4,803
6	729544006,98	376,30	1938732,884	118213,92	376,30	314,149	892,48	376,30	2,372
7	3864563694,27	397,76	9715863,001	710422,28	397,76	1786,066	12652,56	397,76	31,810
8	602822495,50	386,05	1561507,054	205891,02	386,05	533,325	1209,33	386,05	3,133
9	2421612308,18	400,72	6043172,699	579000,21	400,72	1444,904	1703,15	400,72	4,250
10	59489829,95	409,84	145154,525	335106,44	409,84	817,656	1260,65	409,84	3,076
Promedio			3568115,731			994,505			6,540

mm. Experimento con  $\rho = 0,95$ ;  $\alpha = 1,00$ ; estimacion lead – time con todos los periodos

i. Nivel de Servicio

	Demanda servida	Demanda total	%
1	0	73331	0,00%
2	6935	75349	9,20%
3	23669	74683	31,69%
4	15042	73416	20,49%
5	0	74038	0,00%
6	0	73240	0,00%
7	0	74808	0,00%
8	5727	75333	7,60%
9	7100	74546	9,52%
10	0	74558	0,00%
Promedio			7,85%

ii. Inventarios

	INVENTARIOS PROMEDIOS 1	INVENTARIOS PROMEDIOS 2	INVENTARIOS PROMEDIOS 3
1	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	277,08
3	0,00	0,00	966,18
4	0,00	0,00	544,25
5	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	199,83
9	0,00	0,00	337,49
10	0,00	0,00	0,00
Promedio	0,00	0,00	232,48

iii. Bullwhip

	Fabrica			Mayorista			Distribuidor		
1	0,00	372,63	0,000	0,00	372,63	0,000	45597,16	372,63	122,364
2	1116809220629300,00	392,12	2848105498058,070	63425974063,96	392,12	161749976,732	2533144,76	392,12	6460,068
3	13983265746872,20	395,69	35338788121,073	3130215390,00	395,69	7910742,772	626713,81	395,69	1583,844
4	0,00	387,91	0,000	188200,30	387,91	485,170	57574,70	387,91	148,424
5	0,00	387,83	0,000	0,00	387,83	0,000	26281,80	387,83	67,767
6	0,00	376,30	0,000	0,00	376,30	0,000	64975,39	376,30	172,669
7	0,00	397,76	0,000	374179,53	397,76	940,721	21326,32	397,76	53,616
8	354642126327969000,00	386,05	918638879481520,000	441672464414,53	386,05	1144075866,025	8560067,64	386,05	22173,370
9	1516497499145880,00	400,72	3784444047261,440	159937910728,45	400,72	399127644,146	4506824,43	400,72	11246,853
10	0,00	409,84	0,000	0,00	409,84	0,000	23854,42	409,84	58,205
	Promedio		92530676781496,000			171286565,557			4208,718

4. Resultados de experimentos estimando el lead-time de los últimos 15 pedidos y todos los pedidos

a. Bullwhip

Carga	Lead-time	$\alpha=0,15$			$\alpha=0,25$		
		Fábrica	Mayorista	Distribuidor	Fábrica	Mayorista	Distribuidor
		0	15	1,523308574	0,867786470	0,324992012	1,872362285
	$\infty$	0,435554584	0,280871912	0,207673738	0,532275757	0,350837371	0,287909904
0,5	15	1,604313841	0,860756548	0,319677661	2,053903707	1,066363136	0,420855531
	$\infty$	0,534040777	0,274012756	0,208887002	0,857488214	0,365532707	0,290789397
0,75	15	2,521062594	0,815177350	0,292007023	4,429428248	1,082789496	0,408168436
	$\infty$	24,470036114	1,091828341	0,265923932	108,662606953	2,319558780	0,401938870
0,85	15	11,238280818	0,889715448	0,306592754	45,798921011	0,883366085	0,391037330
	$\infty$	1434,686425678	1,091828341	0,478828447	5750,939669330	33,468482145	0,856111470
0,95	15	57168,290689560	66,907665549	0,520072337	220201,770230310	130,288098050	0,903686520
	$\infty$	393959,723431371	803,671619245	6,736220644	16996767,458725200	5463,733796037	17,323789312

Carga	Lead-time	$\alpha=0,50$			$\alpha=1$		
		Fábrica	Mayorista	Distribuidor	Fábrica	Mayorista	Distribuidor
		0	15	1,423060050	0,946593205	0,618618996	3,732728793
	$\infty$	0,700693426	0,543155092	0,530139423	3,506428757	2,173207355	1,390690616
0,5	15	1,686363775	1,015235896	0,624763135	4,903021146	2,687981702	1,470345813
	$\infty$	1,964558901	0,691025916	0,556120958	6891532336,0771	6533004,020169810	714,131325838
0,75	15	4,755824188	1,254823637	0,643777107	29480,414358761	11,043504725	2,764655934
	$\infty$	1412,012067568	9,645408972	0,938544350	88548684298,6384	14683537,429153200	1374,016241235
0,85	15	572,650806985	1,615999692	0,736215972	42606,024151729	18,781103978	3,219752471
	$\infty$	379143,661843300	502,733364105	3,876863478	681105986256,9430	71230904,396258500	2444,351766609
0,95	15	3757316,587173730	967,950104935	2,703253248	3568115,730705550	994,504945359	6,540165342
	$\infty$	1051557812,375870000	150353,622109541	63,430675418	92530676781496,000	171286565,556666000	4208,717994686

b. Inventario medio

Carga	Lead-time	$\alpha=0,15$			$\alpha=0,25$		
		Fábrica	Mayorista	Distribuidor	Fábrica	Mayorista	Distribuidor
		0	15	55,8748	79,3047	86,1293	58,6872
	$\infty$	30,3305	83,8891	79,0364	31,8249	75,9181	73,9210
0,5	15	60,3780	78,9935	85,8273	69,9051	76,3713	82,5867
	$\infty$	93,8013	78,2432	81,6017	153,5120	87,4574	77,5673
0,75	15	133,2670	77,1971	84,2279	223,9344	75,0311	83,0552
	$\infty$	7474,1095	724,7851	194,9374	14631,8125	982,9468	209,8912
0,85	15	1914,8628	73,7060	88,0091	14153,3478	61,5022	83,7496
	$\infty$	9288,9305	724,7851	534,9495	6496,2710	7546,5503	614,5304
0,95	15	2903,6145	1007,0426	88,0447	2124,2926	1267,6817	0,4357
	$\infty$	0,0000	1114,0131	2342,6588	0,0000	392,7865	11,4740

Carga	Lead-time	$\alpha=0,50$			$\alpha=1$		
		Fábrica	Mayorista	Distribuidor	Fábrica	Mayorista	Distribuidor
		0	15	49,4481	68,0852	72,0642	85,2761
	$\infty$	38,5010	65,7717	66,9619	409,8379	74,8198	62,8522
0,5	15	58,6589	69,8158	72,8308	177,8376	84,6929	64,4447
	$\infty$	274,0379	126,4949	80,8219	1401,2979	9228,2378	4250,9096
0,75	15	222,2373	76,4888	75,9396	7844,5907	123,3817	54,9249
	$\infty$	21350,0839	2239,9260	290,5065	0,0000	5,7175	3669,6482
0,85	15	8728,1179	158,5386	73,4490	0,0000	199,8545	50,0994
	$\infty$	2178,6990	9158,5353	1304,3981	0,0000	1,7626	1030,3134
0,95	15	0,0000	2182,4538	96,6768	104,5568	724,9554	39,7006
	$\infty$	0,0000	35,7183	2151,1182	0,0000	0,0000	232,4831

c. Nivel de servicio

		0,15	0,25	0,5	1
0	15	88,79%	91,65%	96,48%	98,75%
	$\infty$	97,54%	97,97%	98,80%	99,26%
0,5	15	89,01%	91,98%	96,40%	98,42%
	$\infty$	98,19%	98,92%	99,68%	55,00%
0,75	15	90,64%	92,70%	96,54%	75,55%
	$\infty$	99,95%	99,99%	100,00%	24,18%
0,85	15	90,94%	93,90%	95,80%	67,06%
	$\infty$	100,00%	100,00%	99,39%	10,92%
0,95	15	85,98%	87,01%	69,01%	24,54%
	$\infty$	93,91%	79,31%	64,10%	7,85%