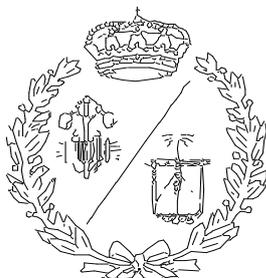


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



***Trabajo Fin de Grado***

**ANÁLISIS DINÁMICO DE LA CADENA DE  
SUMINISTRO DE UNA EMPRESA TEXTIL**

**(Dynamic Analysis of the supply chain in a textile  
company)**

Para acceder al Título de

**GRUADO EN INGENIERÍA EN  
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

**Autor: Marta Rueda Rubín**

**Febrero - 2019**

## ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN .....	5
1.1	OBJETIVOS.....	6
1.1.1	Objetivos específicos .....	6
2	LA DINÁMICA DE SISTEMAS .....	7
2.1	HISTORIA DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS.....	7
2.2	ESTRUCTURA DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS .....	8
2.2.1	Sistema.....	8
2.2.2	Diagrama Causal .....	9
2.2.3	Bucle de realimentación.....	10
2.2.4	El diagrama de Forrester .....	12
2.2.5	Variables.....	13
2.2.6	Simbología del Diagrama de Forrester.....	14
2.2.7	Retrasos .....	15
2.3	MODELADO DEL SISTEMA.....	15
3	VENSIM.....	18
3.1	CARACTERÍSTICAS DE VENSIM.....	18
3.2	CREAR UN MODELO EN VENSIM .....	20
4	LOGÍSTICA.....	23
4.1	ESQUEMA DE RED LOGÍSTICA.....	23
4.2	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE RED LOGÍSTICO .....	24
4.2.1	Pedidos.....	24
4.2.2	Gestión de inventario .....	24
4.2.3	Transporte .....	25
4.3	ESTRATEGIA DE LA RED LOGÍSTICA.....	26
5	MODELO GENÉRICO DE RED LOGISTICA .....	27
5.1	ESTRUCTURA DEL MODELO. DIAGRAMA CAUSAL .....	27
5.1.1	Flujo físico .....	29

---

5.1.2	Flujo de información.....	29
5.1.3	Flujo económico.....	30
5.2	BUCLES DEL MODELO .....	30
5.2.1	Bucle 1: Bucle interno de compras.....	30
5.2.2	Bucle 2: Bucle de producción.....	31
5.2.3	Bucle 3: Bucle de flujo económico .....	32
5.2.4	Bucle 4: Bucle de ventas .....	32
5.3	ELEMENTOS QUE REPRESENTAN EL MODELO .....	33
5.3.1	Variables de nivel del caso genérico.....	33
5.3.2	Variables de flujo del caso genérico.....	33
5.3.3	Variables auxiliares del caso genérico .....	34
5.4	DIAGRAMA EN VENSIM. DIAGRAMA DE FORRESTER DE CASO GENÉRICO.	36
6	CASO DE ESTUDIO.....	38
6.1	ESTRATEGIAS DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO.....	40
6.1.1	Tácticas de ventas .....	40
6.1.2	Tácticas de pagos.....	43
6.1.3	Tácticas de devoluciones.....	45
6.1.4	Tácticas de abastecimiento.....	47
6.1.5	Tácticas de producción .....	49
6.1.6	Tácticas de distribución .....	51
6.2	ESTRUCTURA DEL MODELO .....	53
6.2.1	Sistema de almacén de materia prima.....	54
6.2.2	Sistema de producción. ....	56
6.2.3	Sistema de capital humano.....	58
6.2.4	Sistema de capital económico. ....	60
6.2.5	Bucles del modelo en el caso de estudio .....	62
6.3	VALIDACIÓN DEL MODELO .....	65
6.3.1	Validación estructural.....	66
6.3.2	Validación del comportamiento .....	66

---

6.3.3	Test de implicaciones en las políticas .....	67
6.4	SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD .....	68
6.4.1	Primera simulación .....	68
6.4.2	Sensibilidad de los parámetros .....	71
7	CONCLUSIONES .....	77
8	BIBLIOGRAFÍA .....	79
9	ANEXOS.....	80
9.1	ANEXO I –DIAGRAMA COMPLETO DEL MODELO .....	80
9.2	ANEXO II – ECUACIONES DE LA CADENA DE SUMINISTRO .....	81
10	ÍNDICE DE FIGURAS, GRÁFICOS Y TABLAS .....	89
10.1	ÍNDICE DE FIGURAS .....	89
10.2	ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	90
10.3	ÍNDICE DE TABLAS .....	90
10.4	ÍNDICE DE ECUACIONES .....	91

# 1 INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo de Fin de Grado surge del interés de la evolución de los sistemas logísticos en los nuevos mercados, así como su gestión por parte de las grandes empresas. La logística desciende de la organización militar dónde era vital una forma eficiente de abastecerse de víveres y estructurar sus tropas.

En los años 50 la logística va tomando importancia en las empresas y se va priorizando la 'satisfacción del cliente', cambia la organización y los canales de distribución. La logística comienza a ser una parte importante de la organización. Las décadas posteriores ya se hace uso de la logística como una herramienta de ahorro de costes y de tiempo. En los 90 con el avance tecnológico, la logística se aprovecha de la electrónica y la informática para ayudar a la trazabilidad de los productos, entonces las empresas comienzan a identificarse con la cadena de suministro. A partir de este momento, la logística no es una herramienta más de ahorro, si no, un instrumento de competitividad en el mercado.

En cualquier empresa actual es necesario un desarrollo eficiente de la gestión integral de la cadena de suministro, esto se basa en grandes operaciones de planificación y organización

Para el estudio de la cadena de suministro se utilizará la Dinámica de Sistemas, ya que se ha considerado como el mejor método para conocer las causas que provocan el comportamiento del sistema. A través de un software de simulación se analizan los procesos de la cadena de suministro de una empresa textil con el objetivo de construir diferentes escenarios y ver en cada uno la evolución del comportamiento del Sistema. Se estudiará qué escenario es más o menos ventajoso y a que condicionamientos externos es debido.

Para la simulación de la cadena de suministro se ha elegido el software VENSIM, creado por *Ventana Systems*, en su versión PLE una versión creada para estudiantes que presenta grandes prestaciones.



Figura 1: Logotipo de Vensim.

La motivación de este trabajo es poder analizar la organización de la logística en una empresa textil a través de una herramienta iterativa, teniendo en cuenta todas las

variables que afectan al sistema y cómo se pueden implementar este tipo de herramientas en el seno de la organización empresarial. Las ventajas de simular un sistema de logística son muchas, como:

- La simulación tiene un coste mucho menor que la aplicación real.
- La empresa puede realizar previsiones a corto, medio y largo plazo.
- El uso del software es de fácil manejo sin necesidad de conocimientos previos sobre computación.
- La capacidad de anticipación a través de la simulación es una gran ventaja competitiva.

## **1.1 OBJETIVOS**

El objetivo principal del trabajo es desarrollar y analizar la cadena de suministro de una empresa textil y ver su evolución en tiempo. A través de realizar distintas simulaciones en diferentes escenarios se podrá elegir la opción más viable, que sea competente en el mercado y económicamente factible. En la actualidad debido a la gran globalización del mercado y el gran abanico de posibilidades que tiene el cliente, una de las áreas más competitivas entre las empresas es la capacidad de reducción del tiempo de entrega ('time to market'), también se contará con este aspecto en el trabajo, poder reducir de una manera viable los tiempos de entrega de materias primas de los proveedores.

### **1.1.1 Objetivos específicos**

Para llegar a la conclusión del objetivo principal del trabajo se necesita basarse en unos objetivos específicos:

- Analizar la dinámica de sistemas, sus conceptos básicos, evolución, sus aplicaciones...
- Estudiar la metodología de logística de una empresa, sus variables, los efectos que producen unas sobre otras, las relaciones entre las partes del sistema, etc.
- Elaborar un modelo de la cadena de suministro y sobre éste 'jugar' con las posibles variaciones del sistema cambiando sus condiciones.
- Analizar los resultados obtenidos, eligiendo una solución que sea viable y que pueda perdurar más.

## 2 LA DINÁMICA DE SISTEMAS

La Dinámica de Sistemas (DS) es una metodología utilizada para el estudio de sistemas complejos, a través de la cual es posible crear modelos de sistemas que interactúan de forma constante entre ellos y con el medio y así poder evaluarlos en el tiempo.

### 2.1 HISTORIA DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS

La Dinámica de Sistemas comienza a formarse en los años 50 en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) donde el ingeniero eléctrico Jay Wright Forrester estudió los comportamientos de una empresa en la evolución de sus ventas, propuso un nuevo método basado en la simulación para el análisis de los sistemas de gestión. Forrester advirtió que los métodos utilizados hasta la fecha para el análisis de sistemas no eran idóneos ya que no se tenían en cuenta los métodos de retroalimentación (feedback). Estos lazos de retroalimentación eran la causa de las oscilaciones entre el nivel de pedidos que ocurría en la empresa. El nuevo enfoque que tomó la investigación centrándose en los elementos que componían la cadena de alimentación llevó a un análisis más preciso del proceso y de las interrelaciones en este. Forrester reflejó esta nueva metodología en su libro *Dinámica industrial* (Forrester, 1961).

La Dinámica de Sistemas no es una metodología aislada, sino que parte de la combinación de otras disciplinas como la Cibernética, la Teoría General de Sistemas y la Informática.



Figura 2: Diagrama explicativo de la dinámica de sistemas.

La Dinámica de sistemas tuvo una gran difusión en los años 60 cuando El Club de Roma, una asociación formada por empresarios, científicos y políticos pidió a un grupo de investigadores un estudio conocido como “Los límites del crecimiento”, en el que analizaban la evolución de los recursos, la población y la contaminación. En el estudio diseñaron fórmulas en las que relacionaban las variables a través de las que se podían representar con fidelidad los datos que habían recopilado.

Actualmente la Dinámica de Sistemas tiene una gran aplicación en ámbitos como la organización industrial, estudios de medioambiente, políticas económicas, etc.

## **2.2 ESTRUCTURA DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS**

### **2.2.1 Sistema**

Es importante conocer lo que se entiende por sistema. Este término tiene distintas acepciones, pero la que nos interesa es en la que se ve un sistema como el conjunto de partes coordinadas entre sí que forman un objeto. La Real Academia de la Lengua Española define en su segunda acepción a un sistema como:

“Conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a determinado objeto” RAE, 2017

Algunos autores describen el sistema tal que:

“Un sistema es una combinación de componentes que actúan conjuntamente para alcanzar un objeto específico. Una componente es una unidad particular en su fusión en un sistema.” Ogata K., 1987.

“Un sistema es un cierto aspecto de la realidad al que se puede adscribir una descripción en la que básicamente se enuncien una serie de partes componentes y una forma de interacción entre ellas que suministre un vínculo que las organice en la unidad que es el sistema.”. Aracil J., 1995.

En la siguiente imagen se representa un grafo, en el que está simbolizado unos nodos que encarnan las partes de un conjunto y las aristas son las influencias que se producen entre las partes. Aracil sostenía que la descripción más elemental de un sistema es el conjunto  $C$  de sus partes y la relación  $R$  entre ellas. “Un sistema es un objeto que admite al menos una descripción mínima según la cual está formada por

un conjunto  $C$  y una relación  $R$  entre los elementos de  $C$ . Los elementos básicos son el par  $(C,R)$ ".

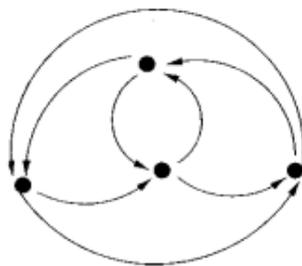


Figura 3. Grafo representativo de un sistema.

Un sistema es dinámico si su salida en el presente depende de una entrada en el pasado, si su salida permanece constante cuando su entrada no cambia será estático y cambiará únicamente cuando cambie la salida. En el sistema dinámico influye la variable tiempo, si el sistema no se encuentra en estado de equilibrio la salida cambiará. En el estudio se tendrán en cuenta los sistemas dinámicos.

En la Dinámica de sistemas se hace un estudio de todo el sistema completo y de las interrelaciones que hay en él. El sistema se considera siempre como una unidad, no como una suma de las componentes de este.

Las partes del sistema están relacionadas unas con otras, a estas relaciones se las conoce como estructura del sistema, generalmente esta estructura se representa mediante Diagramas Causales.

### 2.2.2 Diagrama Causal

El Diagrama Causal es un esquema sencillo en el que se representan las variables del modelo, se escogen los elementos claves del problema y las relaciones que existen entre ellos. Un ejemplo clásico para analizar la estructura del sistema es el proceso de llenar un vaso de agua. En este caso las partes del sistema se componen de un observador, un vaso y un grifo. En este sencillo esquema el observador analiza el nivel de agua en el vaso y según este nivel abre o cierra el grifo. Se puede representar este esquema a través de flechas que representan las influencias que tienen unas componentes sobre otras. El observador actuará sobre el grifo dependiendo de la discrepancia que será la diferencia del nivel de agua en el vaso y el nivel deseado. Cuando esta discrepancia sea cero acaba el proceso.

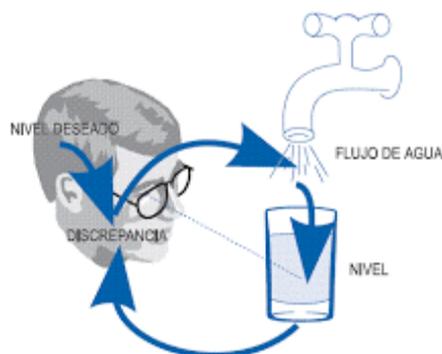


Figura 4. Diagrama causal de llenado de agua.



Figura 5. Diagrama Causal en Vensim

Las variables se toman de dos a dos, la flecha indica las variaciones del elemento anterior y posterior. Se consideran dos variables X e Y, si tienen el mismo sentido se representan con el signo + y en sentido opuesto con el signo -.

- Influencia positiva (mismo sentido):  $x \xrightarrow{+} y$

En este ejemplo se tiene influencia positiva entre el flujo de agua y el nivel, si el flujo de agua aumenta también lo hará el nivel de agua en el vaso.

$$\text{Flujo de agua} \xrightarrow{+} \text{Nivel}$$

- Influencia negativa (sentido opuesto):  $x \xrightarrow{-} y$

La influencia negativa que hay en el ejemplo está entre el nivel y la discrepancia, cuando el nivel aumenta la discrepancia (nivel deseado-nivel) disminuye.

$$\text{Nivel} \xrightarrow{-} \text{Discrepancia}$$

### 2.2.3 Bucle de realimentación

Los bucles de realimentación son una de las partes más importantes para tener en cuenta en la Dinámica de sistemas. Una cadena cerrada de relaciones causales

constituye un bucle. Según la influencia que tengan unas variables sobre otras los bucles pueden ser negativos o positivos.

- Bucles de realimentación positivos.

Los bucles de realimentación positivos incluyen un número par de signos negativos (influencia negativa). Estos bucles tienden a desestabilizar el sistema. Incrementan el valor de las variables del sistema ya que están reforzadas indefinidamente. El ejemplo más básico es el crecimiento de la población en un país, se toma como referencia que la población solo depende de los nacimientos. Ésta aumenta cuando aumentan los nacimientos que a su vez aumentarían cuando mayor sea la población, lo que lleva a un sistema inestable en el que la población crecería sin límites. A estos bucles se les caracteriza como el “efecto bola de nieve”, tienden a explotar.



Figura 6. Bucle de realimentación positiva

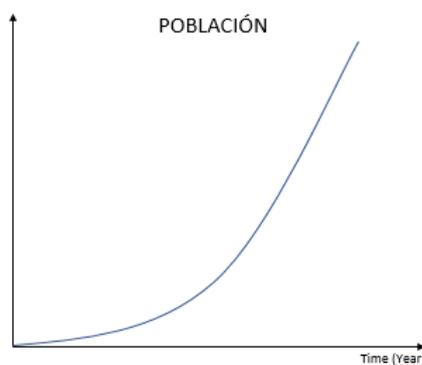


Gráfico 1. Comportamiento de realimentación positiva

- Bucles de realimentación negativos.

En el caso de los bucles de realimentación negativo el número total de influencias negativas tiene que ser impar. Los bucles de realimentación negativos tienden a dar estabilidad al sistema. En el ejemplo del punto 2.2.2 se tiene un bucle de alimentación

negativa (1 influencia negativa) como se ha mencionado cuando la discrepancia sea nula el observador cerrará el grifo y el nivel de agua se mantiene constante.

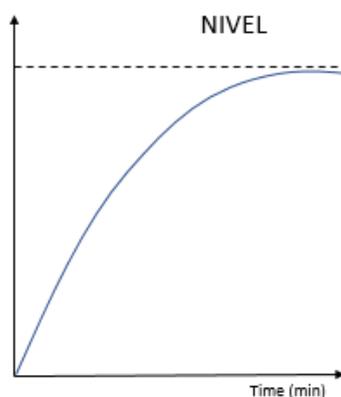


Gráfico 2. Comportamiento realimentación negativa

Cabe señalar que en la práctica no se tienen modelos como los descritos anteriormente, lo normal será que se encuentren bucles de realimentación tanto negativos como positivos dentro de un mismo sistema complejo. El comportamiento del sistema depende del conjunto total de la estructura de este y de qué tipo de bucle sea el dominante en el momento.

#### 2.2.4 El diagrama de Forrester

Para simular el comportamiento de un sistema más complejo que los vistos en apartados anteriores, no se puede limitar el estudio únicamente a los diagramas causales. En los inicios de la Dinámica de Sistemas se usó como una metáfora para simular la evolución de los sistemas el símil hidrodinámico. Este símil hidrodinámico trata, de manera parecida a lo comentado al principio de este capítulo, que un observador controlará los niveles de líquido que hay en tres depósitos (Y1, Y2 y Y3) y podrá abrir o cerrar las válvulas de cada uno de ellos (V1, V2, V3 y V4).

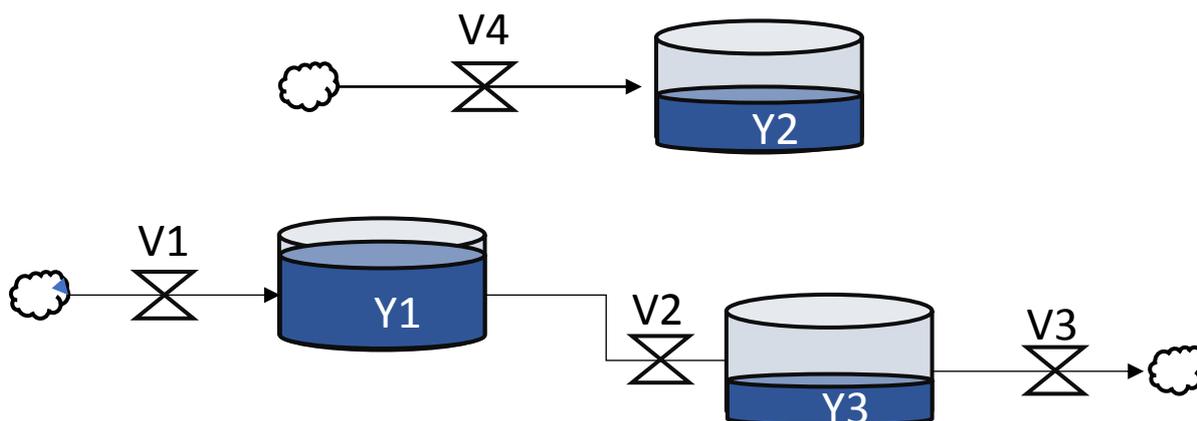


Figura 7. Símil hidrodinámico

En el símil hidrodinámico el nivel de los depósitos depende de la apertura de las llaves. Los iconos que se usaran posteriormente para la elaboración y simulación del Diagrama de Forrester parten del símil hidrodinámico. Cuando se modela un sistema dinámico se parte de un diagrama causal para llegar a un Diagrama de Forrester y a unas ecuaciones matemáticas para ver la evolución del sistema cuantitativamente. Con este símil se obtiene un sistema de ecuaciones de primer grado, estas parten de que el nivel de cada depósito ( $Y_a$ ) es la diferencia entre los flujos de entrada en cada tiempo ( $V_{entrada} - V_{salida}$ ).

$$Y_a(t) = Y_a(0) + \int_0^t (V_{entrada} - V_{salida}) dt$$

$$\frac{d(Y_a)}{dt} = V_{entrada} - V_{salida}$$

Ecuación 1. Símil hidrodinámico

### 2.2.5 Variables

Las variables que aparecen en el modelo pueden clasificarse como: variables de nivel, de flujo y auxiliares.

- Variables de nivel o de estado: Muestran en cada instante la situación del modelo, su evolución depende de los flujos y es representativa del sistema. Si alguna variable cambia, todas las variables de estado cambiarán a lo largo del tiempo de forma rápida o lenta. La elección de las variables de estado dependerá de la parte que se quiera estudiar dentro del propio sistema.

- Variables de flujo: Son funciones temporales, determinan las variables de estado o de nivel en función del tiempo. A toda variable de estado se le asocia por lo menos una variable de flujo. Las variables de flujo están asociadas a ecuaciones que definen el comportamiento del sistema. En el caso del símil hidrodinámico las variables de flujo son las válvulas encargadas de regular la entrada y salida de líquido.
- Variables auxiliares: Estas son parámetros que sirven para una comprensión mayor del funcionamiento del sistema, de los flujos concretamente.

Una variable de nivel no puede influir directamente sobre otra variable de nivel, la influencia es a través del flujo. Es fácil comprender en el símil hidrodinámico cómo la decisión de abrir o no una válvula depende del nivel que tienen los depósitos.

### 2.2.6 Simbología del Diagrama de Forrester

La simbología que se utiliza para la representación de los Diagramas de Forrester tiene distinta tipología según autor, a continuación, se muestra la que se utilizará en este trabajo.

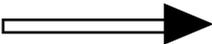
Nomenclatura	Símbolo	Definición
Fuente		Fuente prácticamente inagotable. Un nivel que no tiene interés.
Variable de Estado		Acumulación de flujo. Nivel.
Variable de Flujo		Variación del nivel/estado.
Variable auxiliar	Variable	Ayudan a la comprensión del modelo.
Tubería		Canal de transmisión de una magnitud física, ésta se conserva.
Canal		Canal de transmisión de información, que no es necesario que se conserve.
Constante	Constante	Parámetro del modelo que no cambia de valor.

Tabla 1. Simbología de los Diagramas de Forrester.

### 2.2.7 Retrasos

En la Dinámica de Sistemas se deben considerar los retrasos, estos pueden ser debidos a la transmisión de información o de material. El retraso en la transmisión de material (en las tuberías) puede ser debido a que en algún elemento del sistema el material se queda acumulado temporalmente. El retraso debido a la transmisión de información (por los canales) es cuando se almacena la información antes de producirse la acción. Los retrasos tienen gran influencia en el comportamiento del sistema. Un ejemplo en el que se observa el retraso y como afecta al sistema podría ser el caso de la venta de un producto concreto, el precio de este producto cae drásticamente, pero las ventas de este no crecen con tal celeridad debido a que hay un retraso en la percepción de la información.

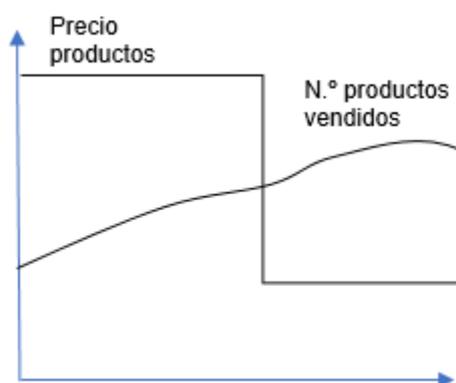


Gráfico 3. Simulación de retraso.

## 2.3 MODELADO DEL SISTEMA

En el proceso de modelar un sistema dinámico se tienen tres fases principales: conceptualización, formulación y análisis-evaluación.

- La conceptualización es la fase en la que se analiza el fenómeno o problema, se describe el comportamiento dinámico. En esta fase se describe el comportamiento mediante diagramas causales que servirán de referencia.
- La formulación se basa en el Diagrama Causal y se formula el sistema. Se establece el Diagrama de Forrester y a partir de este se escriben las ecuaciones del comportamiento del sistema, luego se asignan los valores de los parámetros. Para crear un ejemplo sencillo del paso del Diagrama Causal al Diagrama de Forrester, se tratará de que el inventario de una determinada empresa se mantenga siempre en un mismo nivel, unas 50 unidades.

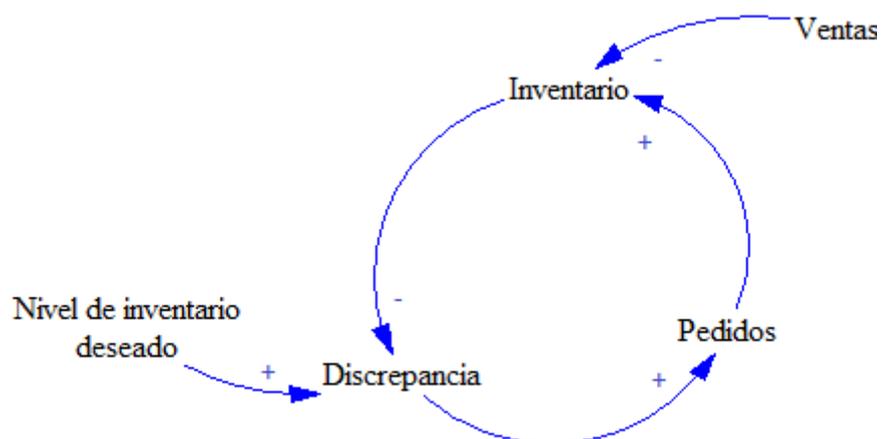


Figura 8. Diagrama Causal de Inventario

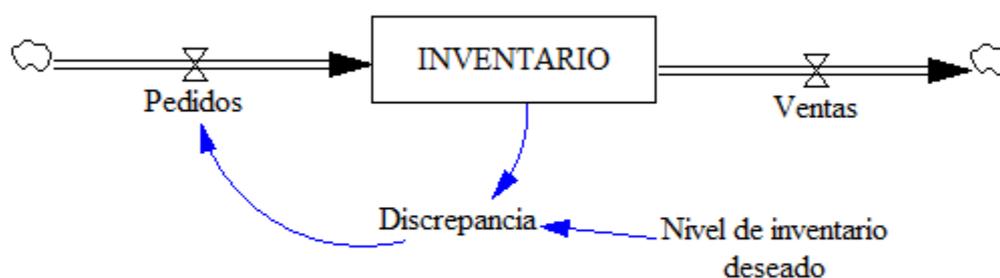


Figura 9. Diagrama de Forrester de Inventario

Escribimos las ecuaciones del modelo y los parámetros:

$$\text{Ventas} = 10; \text{ Nivel de inventario deseado} = 50$$

$$\text{Discrepancia} = \text{ Nivel de inventario deseado} - \text{ INVENTARIO}$$

$$\text{INVENTARIO} = \text{ Pedidos} - \text{ Ventas} \text{ (40 inicial)}$$

$$\text{ Pedidos} = \text{ Discrepancia} \times 0.7$$

Ecuación 2. Ejemplo Inventarios

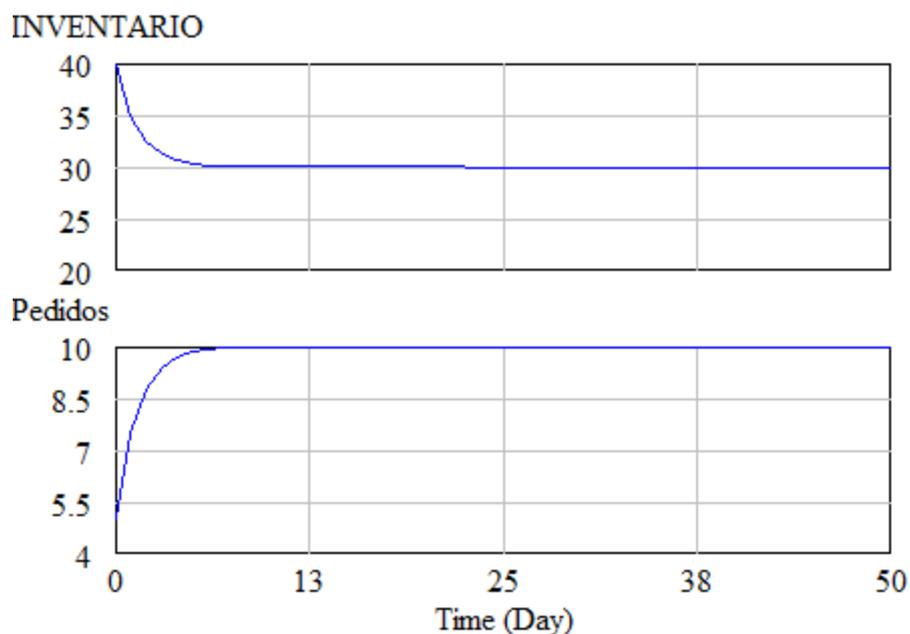


Gráfico 4. Simulación Inventario

Al simular se observa que con el paso del tiempo el nivel de inventario se estaciona, pero en un valor menor del deseado.

- El análisis o evaluación se estudia los comportamientos del sistema en los diferentes escenarios, se estudia la subordinación de las conclusiones ante las posibles variaciones de los parámetros.

La estructura básica de un modelo es siempre la misma, formada por flujos y estados, el conjunto total debe tener las siguientes características:

- ✓ Poder describir cualquier relación de causa-efecto que se quiera incluir.
- ✓ Parecerse en su nomenclatura a la terminología industrial, económica y social.
- ✓ Poder ser ampliable en sus variables sin sobrepasar los límites de los ordenadores.
- ✓ Poder generar cambios en las decisiones.
- ✓ Matemáticamente simple.

### 3 VENSIM

Como se ha comentado, para la simulación de la cadena de suministro se ha elegido el software VENSIM, de la empresa estadounidense *Ventana Systems*, en una versión para estudiantes. Vensim es un software de simulación que nos facilitará el proceso, el gran número de ecuaciones que se tienen los sistemas dinámicos complejos se resuelven de forma más sencilla. Vensim nos permite conceptualizar y documentar de manera gráfica y simular sistemas complejos. Para crear este modelo se deben escribir las variables en la ventana del programa y relacionarlas mediante flechas simulando sus relaciones causales, posteriormente se añadirán las ecuaciones y los parámetros.

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DE VENSIM

Las principales características de este software que nos facilitarán su uso son:

- Fácil manejo de la interfaz, el uso del programa es igual que cualquiera del sistema operativo de Windows, se tienen barras de herramientas que simplifican su uso para crear los diagramas de Forrester e incluir las ecuaciones matemáticas del modelo, en estas barras de herramientas se muestran las acciones más frecuentes. En la siguiente imagen observamos la ventana de trabajo y sus principales utensilios. La ventana de dibujo es el espacio en el cual se construyen los modelos.

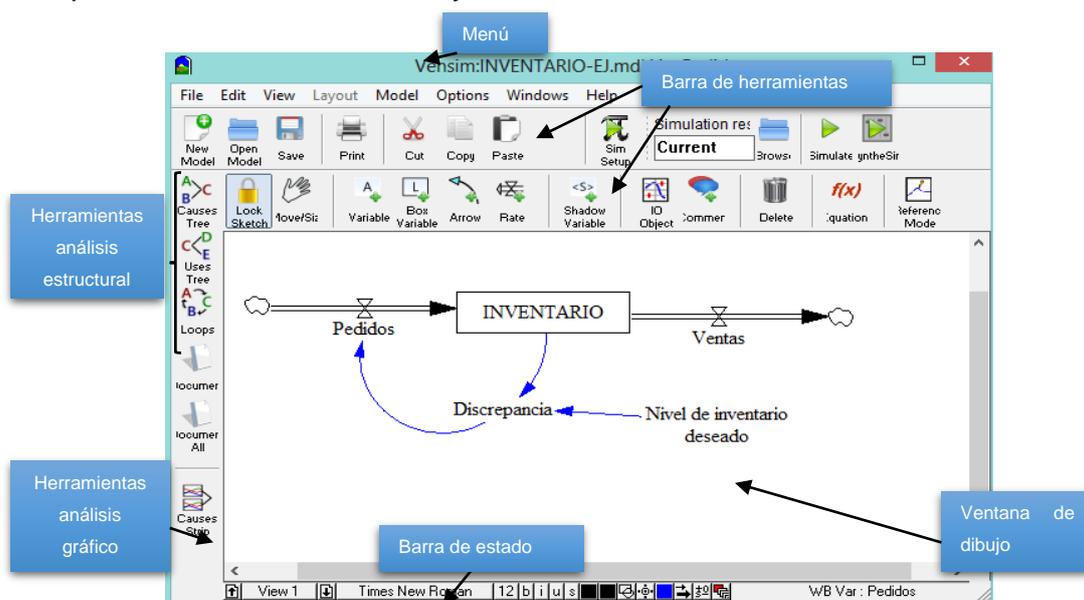


Figura 10. Área de trabajo Vensim

- Tiene diferentes métodos de análisis, dos herramientas de análisis (señaladas en Figura 10) una de tipo estructural (cause tree o loops) para ver el número de relaciones causales o los bucles de realimentación. Otra en forma de gráficos o tablas para visualizar los datos.
- Se puede corregir el modelo una vez esté simulado, así a través de diferentes simulaciones se consigue llegar a una conclusión final.

De la Figura 10 es conveniente resaltar algunos detalles, como:

### Barra de herramientas:



Figura 11. Barra de herramientas Vensim.

- 1) Lock Sketch: El candado, bloquea las figuras del esquema cuando no se trabaja en su construcción.
- 2) Mover/Tamaño: Mueve o cambia el tamaño de objetos y los selecciona.
- 3) Variable: Permite introducir variables o constantes del modelo.
- 4) Box Variable: Son las variables de nivel o estado en forma de caja.
- 5) Arrow: Representa las relaciones causales.
- 6) Rate: Simulan los flujos entre los niveles.
- 7) Shadow Variable: Variables sombra, se añaden al modelo variables definidas anteriormente.
- 8) IO Object: Objetos de entrada y salida, para agregar tablas o gráficos.
- 9) Comentarios: Se pueden añadir comentarios explicativos al modelo.
- 10) Borrar: Para eliminar los elementos.
- 11) Ecuación: Se editan o crean las ecuaciones del modelo (con el botón derecho sobre la variable también se puede modificar la ecuación)
- 12) Modelo de referencia: Sirve para modificar una variable a través de una table de referencia.

## Herramientas de análisis:

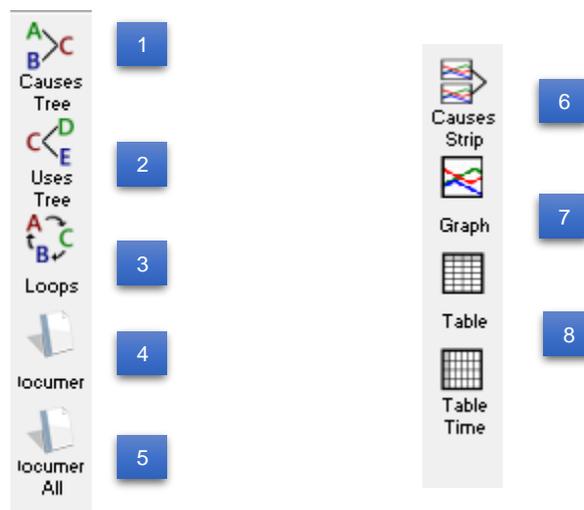


Figura 12. Herramientas de análisis en Vensim

- 1) Causes tree: Analizan las relaciones causales entre variables.
- 2) Uses tree: Analiza los usos de estas relaciones causales
- 3) Loops: Analiza los bucles de realimentación.
- 4) Document: Muestra los datos de las variables en pantalla.
- 5) Document All: Muestra todos los datos en pantalla.
- 6) Causes strip: Dibuja un par de gráficos de relaciones causales.
- 7) Graph: Dibuja el grafico de la variable seleccionada.
- 8) Table: Muestra los resultados en formato tabla.
- 9) Table time: Refleja los datos del resultado en una tabla en función del tiempo.

## 3.2 CREAR UN MODELO EN VENSIM

Como se ha comentado antes de crear el modelo en Vensim, haremos el diagrama Causal y el Diagrama de Forrester, posteriormente se formulan las ecuaciones y se crea el esquema con las herramientas explicadas en el capítulo anterior. Al crear el modelo es importante empezar con unos ciclos pequeños e ir creciendo a partir de estos. Para comenzar a crear el modelo automáticamente nos muestra una ventana para los ajustes del modelo. En esta ventana hay que configurar el intervalo de tiempo que se usa para simular el modelo, las unidades de tiempo que se consideren oportunas y el método de integración que usará el programa para interpolar entre los valores, estos métodos serán Runge-Kutta o Euler.

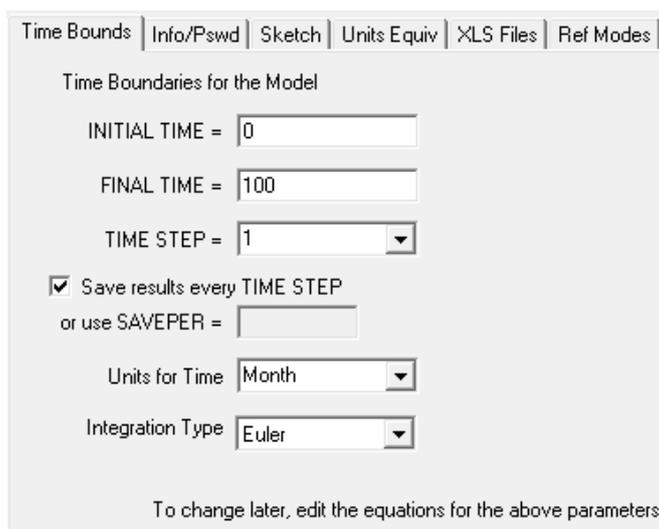


Figura 13. Ajustes del modelo.

Como modo de ejemplo sencillo y ya que tiene importancia en el presente trabajo, se hará una explicación sencilla de cómo crear un modelo a través del problema visto antes del inventario. Se seguirán los siguientes pasos:

- Esquema del modelo.

Una vez definidas cuáles serán las variables de estado, los flujos, etc., a partir del Diagrama de Forrester con las herramientas del software se creará el modelo. El inventario será la variable de estado (Box), las ventas y pedidos son los flujos (Rate) y por último la discrepancia y el nivel deseado de inventario son variables auxiliares (Variable).

- Ecuaciones.

Una vez dibujado el modelo no permite simular, ya que faltan las ecuaciones de las variables. Hay que seleccionar la herramienta de ecuaciones, cuando se crea el esquema la relación entre las variables predetermina las ecuaciones de estas. Cuando se editan las ecuaciones se deben asignar las variables que tiene asociadas.

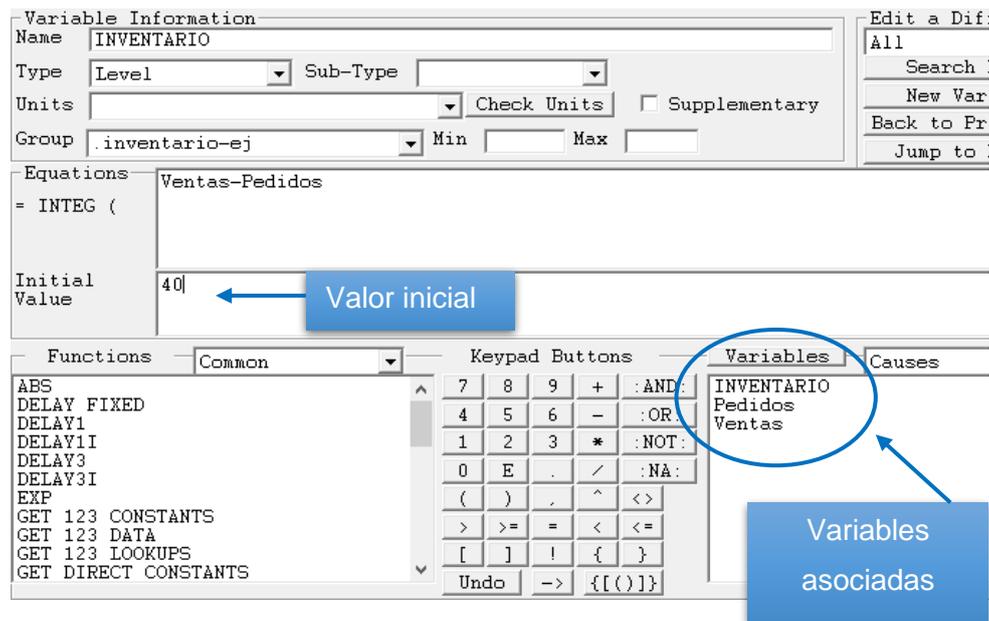


Figura 14. Insertar ecuaciones en la simulación.

#### - Simulación

Una vez se tienen definidos los parámetros se puede simular el sistema para comprender cuál es su comportamiento. Una vez vista la primera simulación se pueden ir modificando los demás parámetros y evaluar el comportamiento del sistema dependiendo de cómo se ha visto afectado por los cambios de los parámetros.

## **4 LOGÍSTICA**

La logística es el conjunto de medios y métodos que son necesarios para llevar a cabo organización de la distribución de un determinado elemento. La logística ha sufrido una gran transformación y evolución en los últimos años, debido al cambio en el comercio; la globalización, e-commerce, etc. Las empresas han tenido que saber adaptarse a este gran cambio evolutivo y partir de la logística como un punto de ventaja competitiva. Las empresas tratan de prestar servicios que añadan valor a la cadena de suministros como preparación de pedidos, transporte, almacenamiento, distribución, entregas, etc. El éxito final de un proyecto depende de la logística del mismo.

### **4.1 ESQUEMA DE RED LOGÍSTICA**

La logística se basa en una serie de actividades interrelacionadas entre sí; planificación, implantación, el control eficiente y a bajo coste del flujo de materia prima, inventario, fabricación, ventas, etc., con el fin de satisfacer al cliente. Generalmente todas estas tareas no pertenecen al mismo departamento, el conjunto se conoce como 'sistema logístico'.

La logística, desde un plano sintético, se puede dividir en tres fases; gestión de los materiales, gestión de la transformación y gestión de la distribución. La gestión de los materiales está referida a la gestión entre la empresa y los proveedores; la recepción de materias prima, productos semiacabados, etc. La segunda, gestión de transformación, trata de la organización logística dentro de las instalaciones de la empresa; fábricas, almacenes, centros de distribución... La gestión de la distribución involucra la relación de la empresa con sus clientes.

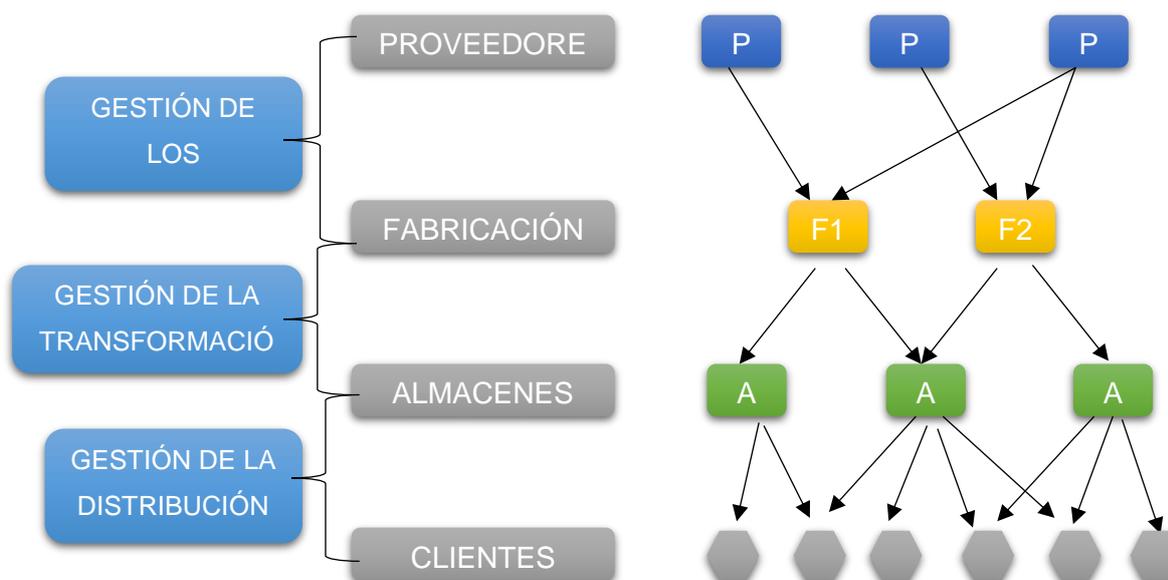


Figura 15. Esquema de Red Logística.

## 4.2 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE RED LOGÍSTICO

Como se ha introducido antes los sistemas de redes logísticas se basan en tres pilares fundamentales; los pedidos que va acorde con la gestión de los materiales, la gestión del inventario dentro de la propia empresa y el transporte o distribución.

### 4.2.1 Pedidos

La gestión de los pedidos está directamente relacionada con el flujo de información, consiste en hacer un continuo seguimiento del pedido, el volumen, historial de pedidos... La gestión de pedidos nos sirve para tener una previsión de la demanda y un nivel de inventario óptimo de modo que las inversiones sean lo más eficientes posible. Para lograr una gestión de pedidos optimas es importante la automatización, la entrada de pedidos y su puesta en marcha será más rápida, se tendrá un control continuo sobre los pedidos y su cumplimiento.

### 4.2.2 Gestión de inventario

La gestión del inventario es un punto clave en la organización logística, así como uno de los mayores hándicaps es obtener un nivel deseado e inventario. El inventario puede tratarse desde productos semiterminados, materias primas hasta producto final listo para su distribución y venta. Tener un nivel óptimo de inventario puede favorecer al servicio que se ofrece al cliente mejorando tiempo de entrega, disponer siempre de

productos no perecederos y poder beneficiarse de la volatilidad del mercado. Pero mantener un inventario es algo muy costoso, la empresa puede perder grandes cantidades de dinero en el caso de que el producto no se venda. Además, los costos de almacenaje tanto si el almacén es propio como subcontratado son costes fijos muy elevados. Por tanto, la principal barrera que tiene que superar la gestión de inventario es conocer ese nivel óptimo de stock que minimice el riesgo, satisfaga las necesidades de los clientes minimizando costes.

### 4.2.3 Transporte

El transporte es otro pilar de la logística, el movimiento de cargas de las tres formas posible; aérea, terrestre y marítima. Para elegir la forma correcta de transporte se deben tener en cuenta la situación geográfica, el tiempo de tránsito desde un punto origen hasta el destino final y el coste, en el coste van incluidos todos los costes asociados. La decisión que se tome sobre el transporte constituye el canal de distribución, es la trayectoria que sigue un producto desde el punto de origen o fabricación al destino. En la imagen se puede ver algún ejemplo de canal de distribución:

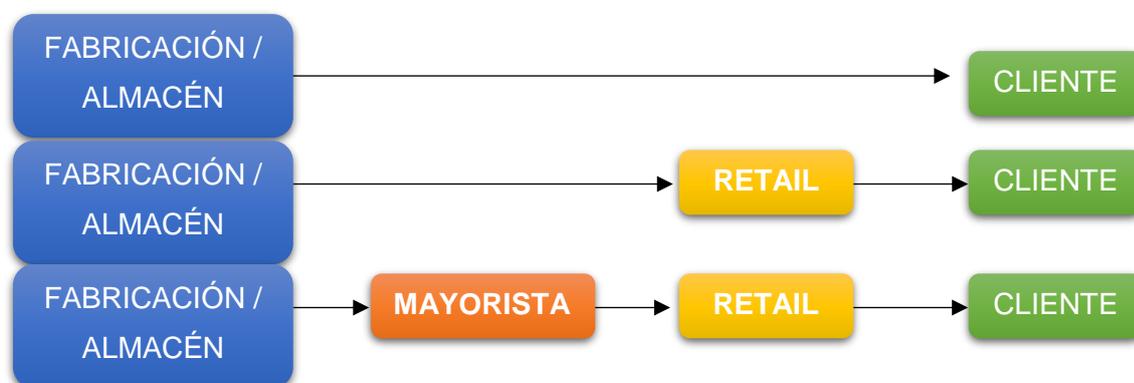


Figura 16. Canales de distribución.

Los canales de distribución dependerán de la oferta y demanda del producto en venta, en el caso de estudio se tienen los dos primeros tipos de canal de distribución, directamente desde la fabricación o almacén de producto terminado al usuario final a través de la venta por internet y la venta a comercios al por menor. Los envíos se harán vía terrestre por ser la forma más rápida de transporte en el país.

### 4.3 ESTRATEGIA DE LA RED LOGÍSTICA

Cuando se plantea una estrategia de red logística en una empresa se trata de una estrategia de competencia, debe estar bien alineada. Se tiene que ofrecer un servicio de calidad del producto, crear ventas competitivas, un impacto corporativo y ofrecer soporte de acceso al mercado para complementar la satisfacción del cliente. La función principal de una buena gestión es la de minimizar los costes totales; minimizar costes de transporte, de almacenamiento, minimizar costes logísticos, pero cumplimentando las políticas de servicio de la empresa. Determinar ese nivel de servicios óptimo pueden ayudar a fijar el nivel de servicios que maximiza el beneficio de la empresa, generalmente en la práctica se limita el nivel de servicios que se quiere conseguir y a partir de ahí se diseña la estrategia para llegar a ese objetivo. Para llevar a cabo este diseño se deben tomar una serie de decisiones:

- Decisiones estratégicas: Estas incluyen decisiones sobre la instalación de los centros de montaje, de almacenamiento. Implica grandes inversiones y se efectúan a largo plazo.
- Decisiones tácticas: Se trata de la planificación de la distribución y la producción a medio/corto plazo. Por ejemplo, la decisión del transporte será una decisión táctica.
- Decisiones operacionales: Se decide en el transcurso de la operación, en el día a día. Ordenes de recogida de pedidos, almacenaje, problemas ocasionales y poco frecuentes.

Cuando se quiere diseñar un sistema logístico entre las preguntas más frecuentes e importantes de resolver se encuentran, ¿cómo será la demanda futura del producto? Hay que basarse en hechos históricos y la evolución en el mercado, ¿Nivel de inventario óptimo? Se debe hacer un análisis de las causas posibles. ¿Tiempos de entrega? Los marca la competencia del mercado. ¿Ruta? Seguimiento de viabilidad de la ruta establecida.

Antes de hacer simulaciones del caso de estudio, el proceso de fabricación y distribución de prendas textiles es necesario un modelo conceptual de una cadena de suministro genérica en la que se observe el proceso desde los proveedores hasta el cliente. Este modelo conceptual servirá de apoyo para crear la cadena de suministro de la empresa.

## 5 MODELO GENÉRICO DE RED LOGÍSTICA

Basándonos en lo expuesto anteriormente, la dinámica de sistemas y los problemas de logística, vamos a hacer un análisis de una empresa ficticia parecida a nuestro caso real pero menos compleja. El problema genérico se trata de un caso sencillo con la siguiente estructura, la fábrica o centro de producción recibe la materia prima de un almacén, ésta se transforma en producto terminado y se manda a otro almacén, desde este se traslada a los clientes.

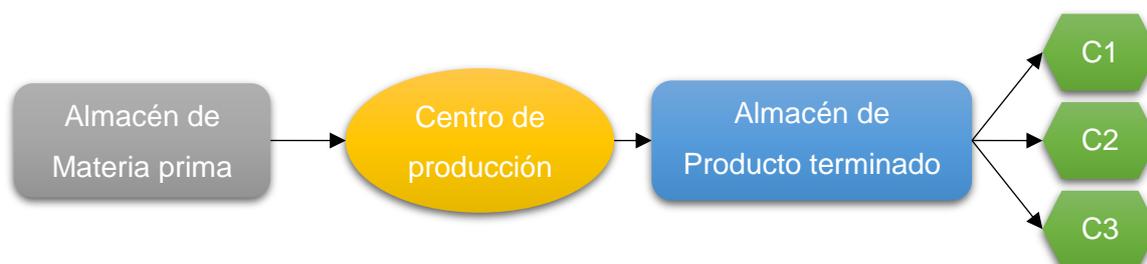


Figura 17. Estructura empresa de caso genérico.

### 5.1 ESTRUCTURA DEL MODELO. DIAGRAMA CAUSAL

Siempre que se trata de una cadena de suministro se habla implícitamente de los flujos de distribución que cruzan los procesos involucrados. En el caso genérico se han representado, a grandes rasgos, los tres flujos o canales de distribución; flujo físico, flujo de información y flujo económico. El flujo físico representa la transferencia real del producto desde la fabricación inicial hasta el cliente final. En este caso el flujo físico de transporte del producto se trata desde el inicio en el almacén de materia prima hasta que el cliente obtiene este producto. El flujo de información comprende la comunicación y gestión de pedidos, información sobre entregas, las empresas más grandes generalmente tienen un buen sistema de información mediante SAP, códigos de barras, Oracle, etc. El flujo de información viene muy ligado al flujo físico, en el tema general parte de las demandas de cada almacén. Por último, el flujo financiero representa el movimiento de pagos, el crédito de la empresa, costes, etc. En el modelo se han incorporado las partes más importantes de este flujo.

En la siguiente figura se muestra el diagrama completo del caso genérico, en el que se han señalado los flujos diferenciados por colores, el azul corresponde al flujo físico, el naranja al flujo económico y el verde al flujo de información, posteriormente se analizarán por separado para ver las influencias de cada uno.

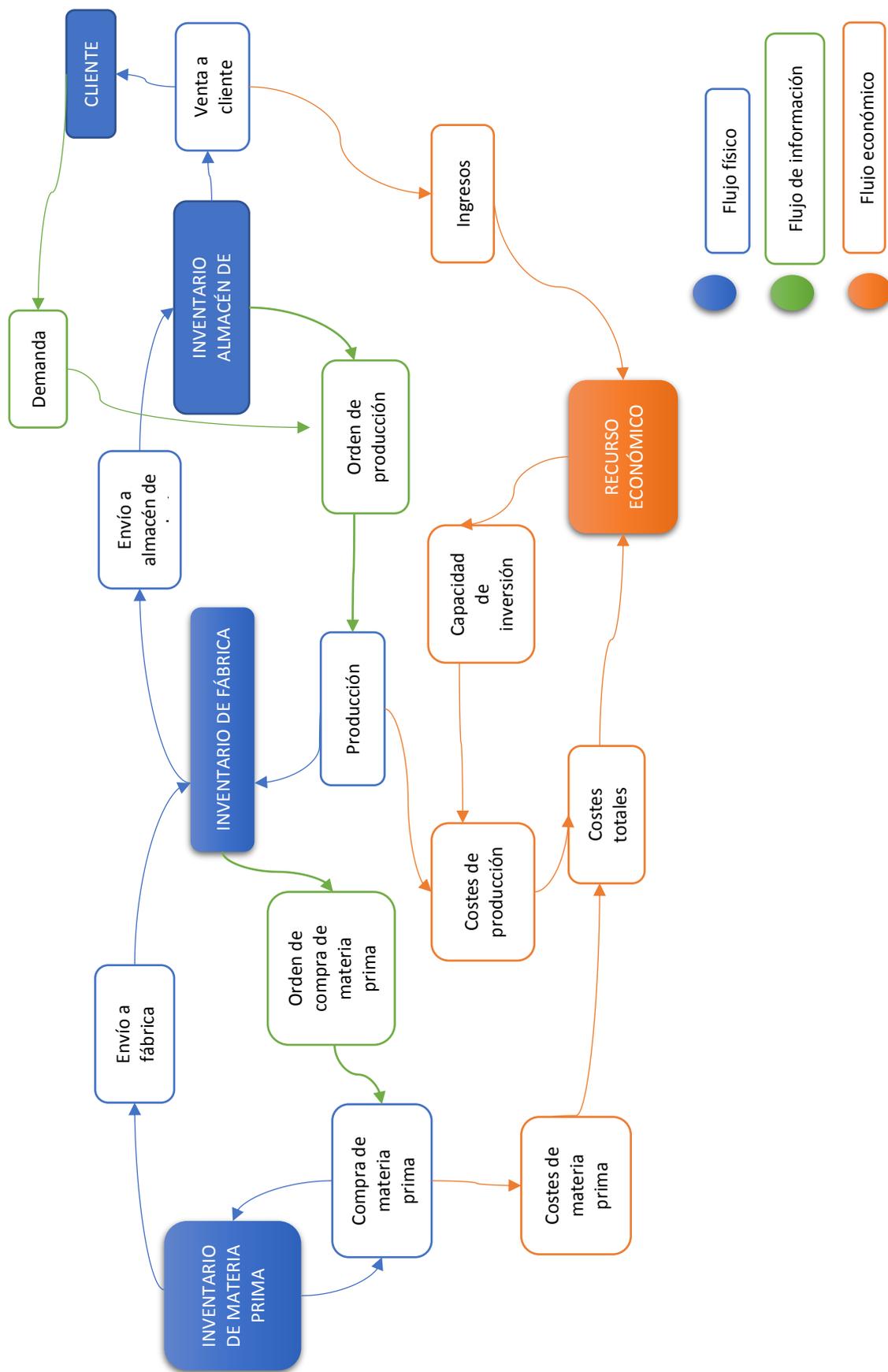


Figura 18. Diagrama de flujo caso general.

### 5.1.1 Flujo físico

El flujo físico se divide principalmente en los envíos entre los dos almacenes, tanto de producto terminado como de materia prima, y la fábrica, cada uno representado por su inventario que dependerá del número de unidades que hay en ellos. También se tiene al cliente final que recibe el producto y su correspondiente envío. Por otro lado, estos inventarios están relacionados entre sí por el transporte y distribución entre ellos; se obtiene la materia prima de un proveedor ésta se almacena en el almacén de materia prima hasta que se necesita en fábrica, se envía a planta, pasa por producción y se remite al almacén de producto terminado cuando se requiera. De este almacén será enviado al cliente.



Figura 19. Flujo físico.

### 5.1.2 Flujo de información

El flujo de información está muy vinculado al flujo físico, ya que a la vez que los inventarios y clientes descritos anteriormente están relacionados por un flujo físico también por el flujo de información, es decir, parte de que el cliente demanda el producto y esto se representa como información, esa información de demanda llegaría a la necesidad de repartir el producto al cliente que dependiendo de los niveles de unidades que se tienen en los respectivos inventarios y que se desean mantener se mandarían ordenes de producción o de compra de materia prima.



Figura 20. Flujo de información

### 5.1.3 Flujo económico

El flujo económico tiene gran interés a la hora de estudiar la organización de una empresa, el fin de esta son los beneficios que pueda obtener. El flujo económico en este caso tiene un pilar fundamental como son los recursos económicos de los que dispone la empresa, estos recursos van aumentando con los ingresos recibidos a la hora de vender el producto y a su vez, disminuyen con los costes totales.



Figura 21. Flujo económico.

## 5.2 BUCLES DEL MODELO

Se pueden apreciar varios bucles en el modelo del caso genérico, los bucles se ven muy influenciados por los tipos de flujos que hay en el modelo. Teniendo en cuenta las relaciones causales entre los diferentes elementos del sistema se puede decir que tanto el bucle 1, 2 y 4 son bucles de realimentación negativa, estos bucles tienden a dar estabilidad al sistema. En el bucle de recurso económico la suma total de influencias negativas es un número par por lo que se trata de un bucle de realimentación positiva, este bucle tiende a desestabilizar el comportamiento del sistema.

### 5.2.1 Bucle 1: Bucle interno de compras

Este bucle de realimentación negativo conlleva dos variables de nivel. Un aumento de compra de materia prima afectará a un aumento en el nivel de Inventario de materia prima, a su vez, un aumento en el envío a fábrica y por tanto un aumento en el nivel de inventario de fábrica. La orden de compra de materia prima afecta de manera positiva sobre la compra de materia prima, pero de forma inversa en el inventario de fábrica, a mayor nivel de este menor será el valor de orden de compra de materia prima.

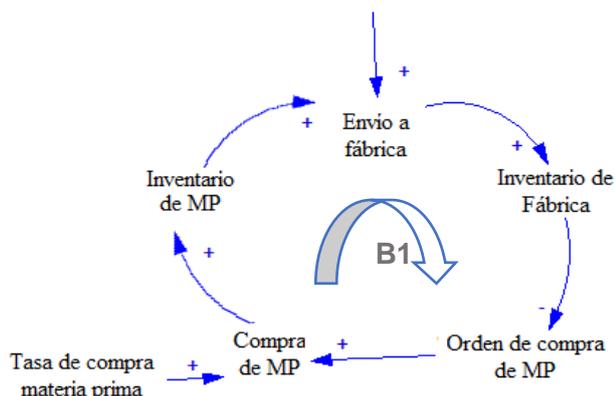


Figura 22. Bucle 1: Bucle interno de compras

### 5.2.2 Bucle 2: Bucle de producción

El bucle de producción también se trata de un bucle de realimentación negativa, es bastante similar al bucle anterior. A medida que se aumenta el envío de ordenes de producción (flujo de información) se aumenta la producción, con ello aumentará el inventario de fábrica y se podrán enviar más unidades al almacén (flujo físico). El nivel de estas unidades en el almacén se modela con la variable inventario de almacén de producto terminado. Este inventario tiene influencia negativa sobre la variable de orden de producción, a grandes niveles de inventario de producción la orden que se emite para aumentar los valores de producción en ese periodo de tiempo decaerá.

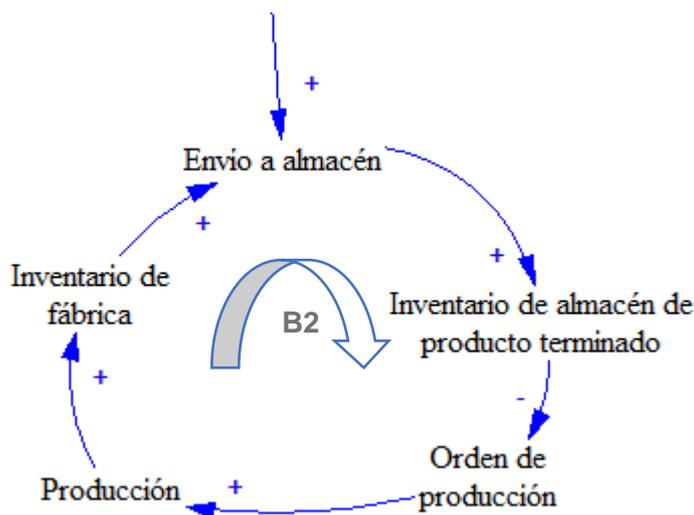


Figura 23. Bucle 2: Bucle de producción.

### 5.2.3 Bucle 3: Bucle de flujo económico

El siguiente bucle de realimentación se estructura según la variable de nivel Recurso económico. Esta variable influye de manera positiva en la ‘capacidad de inversión’, cuánto el capital de la empresa sea suficientemente amplio se podrá invertir en ella, en innovación y mejora del proceso por lo tanto a mayor capacidad de inversión menor serán los ‘costes de producción’. El hecho de que la variable ‘costes de producción’ aumente conlleva que el coste total también aumente. En cambio, los costes totales influyen de manera inversa a la variable de nivel, cuantos más costes menores recursos. Estas variables tanto de nivel como de flujo o auxiliares se ven influenciadas por otras. Se trata de un bucle de realimentación positiva.

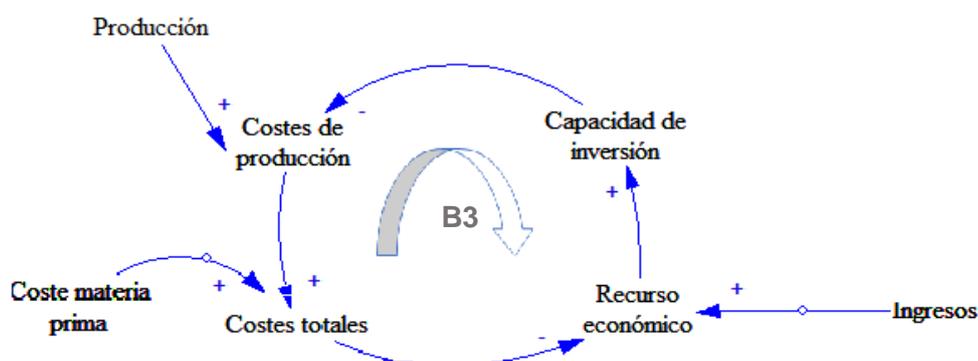


Figura 24. Bucle 3: Bucle de flujo económico.

### 5.2.4 Bucle 4: Bucle de ventas

Se observa bucles de realimentación más pequeños como el que ocurren respecto a las ventas. Se puede ver un bucle de realimentación negativa donde el flujo de salida del nivel Inventario de almacén de producto terminado es drenado por el envío de ventas al cliente, pero a su vez cuanto mayor sea el flujo de ventas menor será el inventario de almacén.

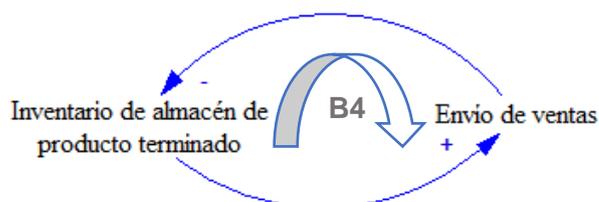


Figura 25. Bucle 4: Bucle de ventas

## 5.3 ELEMENTOS QUE REPRESENTAN EL MODELO

### 5.3.1 Variables de nivel del caso genérico

El caso es similar al comentado en el apartado 2.3 de una forma sencilla, en ese caso se tiene como única variable de nivel o estado el inventario, ahora forma parte del estudio, en este caso se añaden más variables de estado, son estas:

- Inventario de materia prima: Se ha comentado anteriormente que el inventario es una parte fundamental a la hora de gestionar un proceso de logística óptimo. Esta variable de nivel expresa la acumulación de producto que entra al almacén, esta variable disminuye con la salida de producto a planta y se alimenta con la llegada de entradas de materia prima al almacén que proporciona el proveedor.
- Inventario de fábrica: Representa las unidades que hay en planta, las unidades que se están produciendo en un momento justo. El nivel de inventario a fábrica aumenta con las entradas de materia prima y disminuye cuando se envía el material al almacén de producto terminado. Como se ha visto en el bucle 2, al inventario de fábrica también le afecta la producción.
- Inventario de almacén de producto terminado: Cómo los anteriores representa las unidades que hay de producto terminado, aumenta según el flujo físico de envío a almacén y disminuye con el envío de unidades al cliente final.
- Clientes: En este nivel se representa el nivel de ventas que se han tenido, aumenta con el número de envíos al almacén, este nivel se va acumulando.
- Recursos económicos: En esta variable de nivel se simboliza el capital de la empresa, aumenta con los ingresos que llegan y disminuye con los costes acumulados.

### 5.3.2 Variables de flujo del caso genérico

Las variables de flujo vienen asociadas a las variables de nivel, éstas dependen de las variables de flujo:

- Compra de materia prima: La compra de materia prima se trata de flujo físico que hace que aumente la variable de nivel llamada 'Inventario de materia prima'. Esta compra de materia prima depende a su vez del propio nivel

mencionado y de unas variables auxiliares como la 'Tasa de compra de materia prima' y el 'Orden de compra de materia prima'.

- Envío a fábrica: Es una variable de flujo físico que conecta el 'Inventario de materia prima' con el nivel 'Inventario de fábrica'. Se trata de las unidades de materia prima que se envían desde el almacén a planta.
- Envío a almacén: Al igual que la variable anterior ésta conecta dos niveles entre sí, el 'Inventario de fábrica' con el 'Inventario de almacén de producto terminado'. En este caso se trata del traslado del producto terminado para llevarlo al almacén de distribución.
- Ventas: Esta variable de flujo hace que disminuya el 'Inventario de almacén de producto terminado' y aumenta el nivel de 'Cliente', a su vez viene influida por variables auxiliares; 'Salida deseada de ventas' y por el flujo de nivel 'Inventario de almacén de producto terminado'.
- Ingresos: Los ingresos pertenecen al flujo económico y aumentan las unidades de 'Recursos económicos' y están influenciados por la variable de flujo 'Ventas' a partir de las 'Ganancias por ventas', ya que un aumento en las ventas de la empresa implica un aumento en los ingresos.
- Costes totales: Son el flujo económico que hace disminuir los recursos económicos. Los costes totales son la suma total de los costes de producción y los costes de compras, ambos representados por unas variables auxiliares con los mismos nombres.

### **5.3.3 Variables auxiliares del caso genérico**

En las simulaciones dinámicas las variables auxiliares, así como las constantes, son de gran importancia para comprender el modelo completo, se pueden ir añadiendo a la simulación para mejorar los aspectos a estudiar, en el caso general algunas de ellas son:

- Tasa de compra de materia prima: Esta tasa representa la frecuencia con la que se compra la materia prima. El cambio de esta variable altera el valor del flujo de 'Compra de materia prima'.
- Orden de compra de materia prima: Es la variable auxiliar que depende del inventario de fábrica, si el valor de éste baja más de una cuantía determinada

- se emitirá un flujo de información indicando la necesidad de compra de materia prima. Afectará al igual que la anterior variable a la 'Compra de materia prima'.
- Coste de materia prima: El coste de materia prima depende de la compra que se efectúe y un valor fijo a pagar por cada unidad. Influye sobre los costes totales de la empresa.
  - Ganancias por ventas: Se trata de una variable que representa las ganancias que tiene la empresa dependiendo del precio de venta.
  - Coste de producción: La suma total de la variable anterior y esta serán la variable de flujo 'Costes totales'. El coste de producción se define a través de la producción de la empresa y la capacidad de inversión en la misma.
  - Capacidad de inversión: Esta variable representa como aumenta de la capacidad de inversión en la compañía con unos niveles altos de capital total de la empresa (Recurso económico). De esta manera se puede invertir en mejoras de producción y disminuir costes.
  - Producción: Cuánto mayor sea la variable de producción más aumentará el nivel 'Inventario de fábrica'. Esta variable auxiliar dependerá de la orden de producción.
  - Orden de producción: Como ocurría con la variable 'Orden de compra de materia prima' si el inventario de almacén de producto terminado disminuye se envía flujo de información para acelerar la producción.
  - Salida deseada de ventas: Esta variable fluctúa entre dos valores determinados por la empresa; 'Mínimas ventas' y 'Máximas ventas' y afectará al flujo de 'Ventas'
  - Mínimas ventas: Es una constante que indica el valor mínimo que debe haber de ventas.
  - Máximas ventas: Al igual que la anterior, ésta indica el valor máximo de ventas que puede ofrecer la empresa.
  - Precio: El precio influye sobre las ganancias de la empresa, cuanto mayor sea la capacidad de elevar el precio del producto sin observar un decrecimiento en la demanda mayores serán los ingresos.
  - Demanda: La demanda que tiene el Cliente sobre el producto es un aspecto importante en toda organización industrial ya que hará variar la producción y los precios del mercado.

- Salidas deseadas de envío a fábrica: Esta variable auxiliar dependerá de dos constantes y variará entre estos valores. Las constantes son: 'salida máxima de envío' que representa la capacidad de envío máxima que se puede enviar desde el almacén de materia prima a planta y la 'salida mínima de envío a fábrica' que es la cantidad mínima que debe enviar.
- Salidas deseadas a almacén: Al igual que la variable anterior depende de la variación entre las constantes: 'salidas mínimas a almacén de producto terminado' y 'salidas máximas a almacén de producto terminado.
- Tabla de compra de materia prima: Se trata de una tabla para ejemplificar un histórico y partir de ahí los datos de la compra de materia prima.
- Tabla de demanda: Utilizando una tabla de demandas anteriores se evalúa la demanda a través del tiempo.

#### **5.4 DIAGRAMA EN VENSIM. DIAGRAMA DE FORRESTER DE CASO GENÉRICO.**

A continuación, se presenta el diagrama de Forrester del modelo genérico en su totalidad. A partir de las variables mencionadas anteriormente y las relaciones causales se crea el Diagrama de Forrester, que es una forma más visual de entender el proceso. Realmente en el caso genérico interesa ver los tipos de flujos que envuelven la organización, las variables y cómo influyen unas sobre otras de una manera ejemplificada para partir hacia el modelo del caso de estudio con las ideas anteriores fijadas.

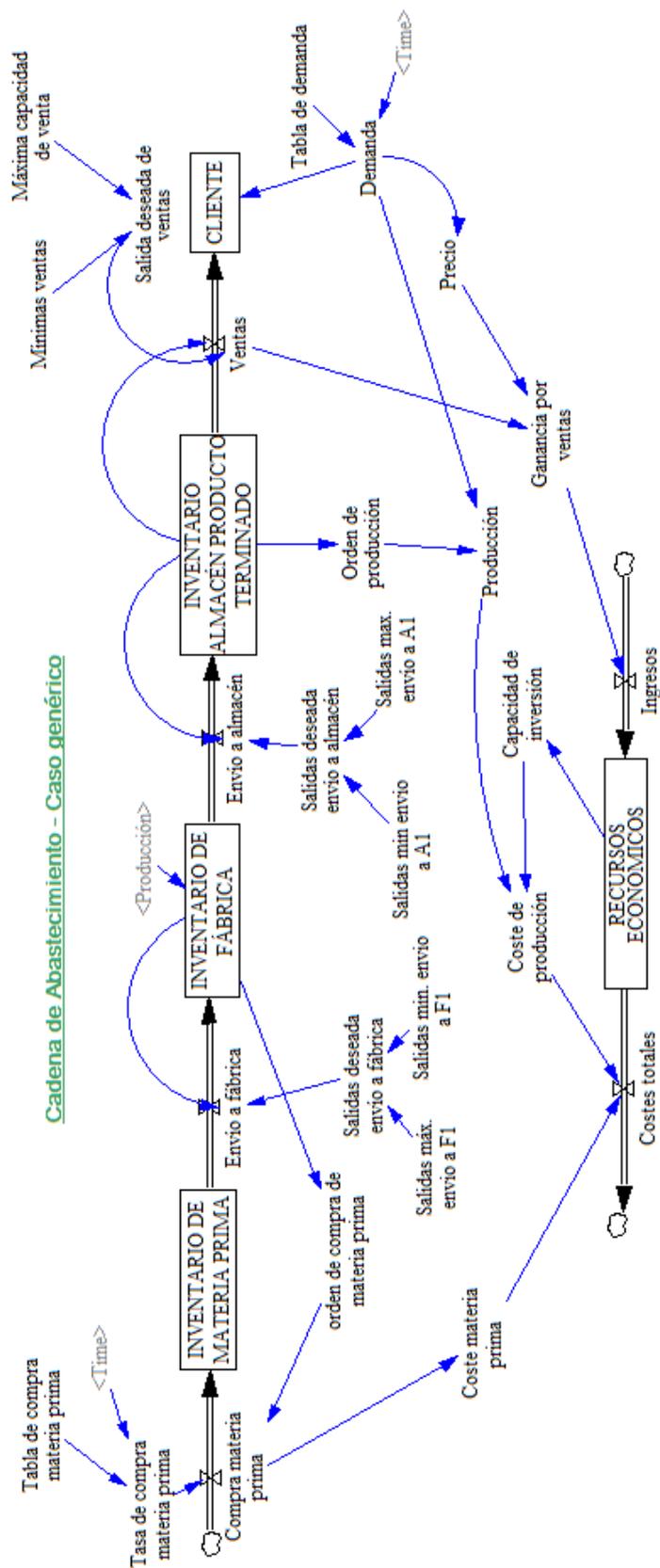


Figura 26. Diagrama en Vensim de caso genérico.

## 6 CASO DE ESTUDIO

La empresa de estudio es un prototipo de empresa para ampliar horizontes. Es una empresa diseñada en un ambiente familiar como la idea de crear un estudio de diseño de logotipos, se comenzaron imprimiendo algunos dibujos en camisetas y en pocos meses fue fluyendo el negocio. El plan de negocio de esta empresa tiene tres pilares fundamentales:

- Una oportunidad: Encontraron un espacio en blanco, fue una marca pionera en estampar un tipo de diseño concreto con mensajes atractivos para un público joven con un poder adquisitivo alto. Actualmente ya hay muchas empresas que se dedican a este mercado.
- Un atributo diferenciador: La creatividad. Para la empresa esta es la principal característica, la originalidad de sus diseños.
- Una técnica: Enfoque a una generación y un crecimiento exponencial gracias al marketing de las redes sociales.

Es una marca unisex y con una sección para niños de camisetas y sudaderas. Es una marca para gente apasionada por la vida que busca ser auténticos y que tienen ganas de mostrarlo.

El mercado de esta empresa está definido por un público principalmente joven, se observa en la siguiente imagen:

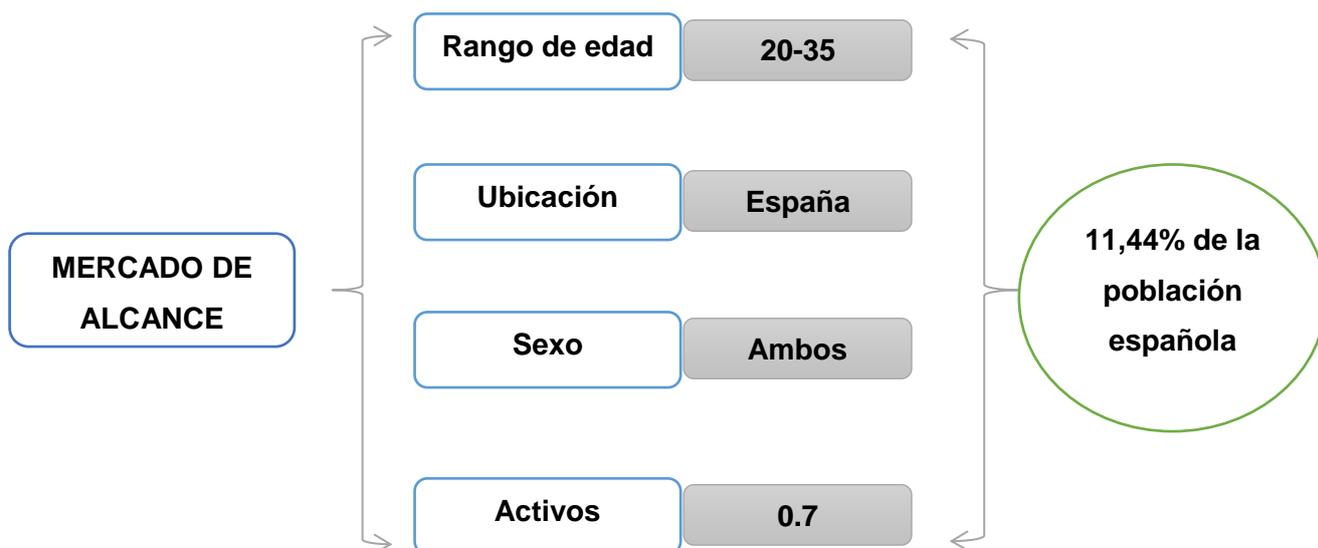


Figura 27. Mercado de alcance

Este negocio comenzó siendo un proyecto sin demasiadas ambiciones y se quiere llegar a convertir en una marca a nivel nacional, sigue las siguientes características:

- Fundando unos establecimientos comerciales en tres puntos de venta diferentes son comercios minoristas de venta directa al usuario.
- La marca garantiza la exclusividad del diseño y la originalidad, de una manera muy personal e independiente. La mayoría de los diseños son fugaces y crean unas 300 unidades, la exclusividad y el gran equipo manufacturero conlleva el precio.
- Garantizan una calidad en la producción, una ética de producción sostenible y respetuosa con el medio ambiente.
- Quieren una gran fidelidad con el cliente. Se muestran como una comunidad de una manera muy activa en las redes sociales. Un gran punto a favor a la hora del marketing y expansión.

La empresa se encuentra en crecimiento y gran reconocimiento en el territorio español, a parte de sus tiendas oficiales tiene varios puntos de venta en tiendas multimarca y un servicio online.

Para una empresa en continuo crecimiento es necesario hacer un diseño de la cadena de abastecimiento, en este capítulo se hará inicialmente un estudio de todos los componentes de la cadena mediante diagramas de flujos de procesos. El estudio es útil para aumentar la efectividad y eficiencia, así como evitar los errores que pueden llevar a una mala gestión y perjudicar al cliente.

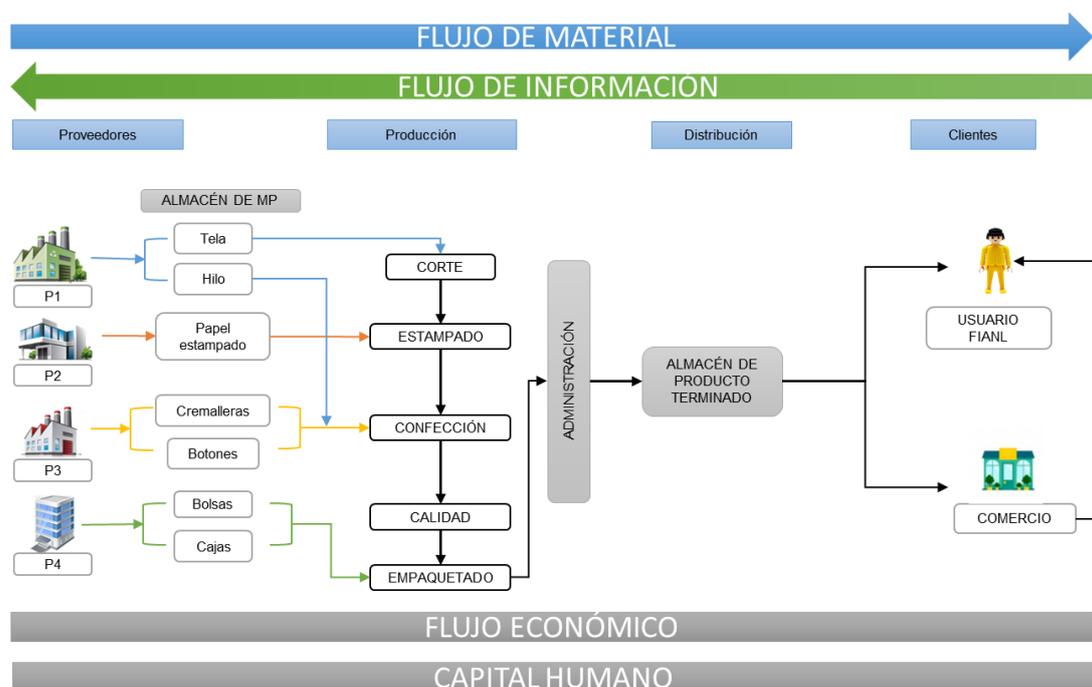


Figura 28. Cadena de abastecimiento.

## **6.1 ESTRATEGIAS DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO**

En este capítulo creara un diseño inicial de la cadena de abastecimiento, a través de los diagramas de flujo de cada proceso y sus actividades. Los procesos que se tienen en cuenta son las ventas, pagos, devoluciones, abastecimiento, producción y distribución. En cada una de estas etapas se analiza la relación de las áreas encargadas de cada actividad tanto por parte interna de la empresa como de proveedores, comercios y clientes.

### **6.1.1 Tácticas de ventas**

Las estrategias elegidas por la empresa como canales de distribución son dos; el comercio online y venta minorista.

#### **Venta online**

Esta estrategia funciona a través de la propia página de la empresa. Se trata de una página web de un diseño sencillo e intuitivo que cuenta con el catálogo de la ropa. La ropa se muestra en varias fotos en las que se ven los diseños y los correspondientes precios. El cliente puede mirar el catálogo, elegir la prenda o prendas que desea y la talla, lo envía al carro de compra y tendrá el desglose total de la factura. El cliente recibirá su pedido en un tiempo de entrega de 7 días, si no hay stock del producto en cuestión el tiempo de entrega aumentará a 14-17 días. Las notificaciones serán vía correo electrónico, el cliente realizará la confirmación de conformidad o no con el producto recibido y se realizará el pago.

#### **Venta en comercios**

El usuario final compra directamente en los puntos de venta de la marca. El cliente (comerciante) realiza un pedido a la empresa, observa el catálogo y elige las prendas a vender en su comercio. Una vez hecho el pedido el plazo de entrega es de 15 días, de esta forma el comerciante minorista cambiará de producto con frecuencia quincenal.

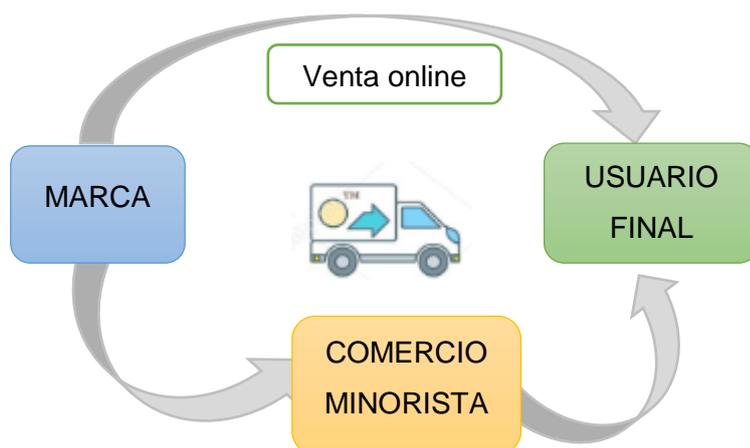


Figura 29. Distribución del producto

A continuación, se ha elaborado un diagrama de flujo de los procesos de venta según los dos canales de comercio con el objetivo de ver estas iteraciones de una forma clara y describir el proceso para obtener una orden de pedido. Las actividades por realizar para llegar a ese objetivo se han puesto de manera independiente dependiendo del tipo de compra, pero la orden de pedido a planta en ambos casos se efectúa de manera similar. En la siguiente tabla están descritas las actividades dependiendo del tipo de pedido.

Pedido online			
Nº	Responsable	Actividad	Descripción
1	Usuario final	Acceder a página web	El usuario debe ingresar en la Web de la empresa.
2	Usuario final	Seleccionar producto de catálogo	El usuario tiene que escoger la prenda elegida.
3	Usuario final	Realizar compra en la página	El usuario deberá tramitar su compra indicando sus datos.
4	Administrador de la empresa	Recibir pedido	La empresa recibe la información del pedido que el cliente desea.
5	Administrador de la empresa	Enviar e-mail de confirmación	La empresa remite un correo electrónico de aceptación del pedido con los detalles de facturación y entrega.
6	Administrador de la empresa	Crear orden de pedido	Se procede a generar una orden de compra y comenzar el proceso de producción.

Tabla 2. Actividades pedido online

Pedido de comercio			
Nº	Responsable	Actividad	Descripción
1	Administrador de la empresa	Contactar con comercio	La empresa de manera quincenal se pondrá en contacto con el comercio.
2	Gestor del comercio	Revisar catálogo	El comerciante revisa el catálogo de novedades y elige si comprar o no.
3	Gestor del comercio	Seleccionar producto de catálogo	El comerciante tiene que escoger los productos elegidos.
4	Gestor del comercio	Pedir presupuesto	El gestor del comercio pide presupuesto a la empresa de los productos deseados.
5	Administrador de la empresa	Cotizar	La empresa recibe la información del pedido y pone un precio.
6	Gestor del comercio	Revisar el presupuesto	El comercio recibirá el presupuesto y podrá decidir si lo acepta o no. Si lo acepta se sigue con el paso nº8 si no lo acepta con el paso nº 7.
7	Gestor del comercio	Volver a presupuestar	Si el cliente a decido que no está de acuerdo con el presupuesto inicial puede volver al paso nº5.
8	Administrador de la empresa	Recibir pedido	La empresa recibe la información del pedido que el cliente desea.
9	Administrador de la empresa	Enviar e-mail de confirmación	La empresa remite un correo electrónico de aceptación del pedido con los detalles de facturación y entrega.
10	Administrador de la empresa	Crear orden de pedido	Se procede a generar una orden de compra y comenzar el proceso de producción.

Tabla 3. Actividades de venta a comercios

Se observa que a partir del punto número 8 de la tabla de actividades de comercio y el punto 4 de la tabla de venta online los gestores de la empresa tienen que seguir las mismas actividades para generar la orden de pedido. En el diagrama siguiente se observa los procesos a seguir:



del e-commerce en la que se trata de recibir las prendas en casa y pagarlas después si estás satisfecho ('wardrobe') extendida por el gigante Amazon.

<b>Pedido online</b>			
Nº	Responsable	Actividad	Descripción
1	Usuario final	Conformidad	El usuario debe decidir si está conforme con los productos recibidos.
2	Administrador de la empresa	Crear factura total	La empresa envía al cliente la factura definitiva.
3	Usuario final	Realizar pago	El usuario ya había cumplimentado los datos de pago al crear la compra, acepta el pago.
4	Administrador de la empresa	Recibe el pago	La empresa recibe el pago y acaba aquí el servicio de compraventa.

Tabla 4. Actividades de pago online

<b>Pedido de comercio</b>			
Nº	Responsable	Actividad	Descripción
1	Gerente de comercio	Stock de producto vendido	El gerente se asegura del stock de los productos vendidos, los que no se venden son devueltos.
2	Administrador de la empresa	Crear factura total	La empresa envía al cliente la factura definitiva de acuerdo con los criterios marcados en el presupuesto inicial.
3	Gerente de comercio	Realizar pago	Se realiza el pago por la cantidad de productos vendidos.
4	Administrador de la empresa	Recibe el pago	La empresa recibe el pago y acaba aquí el servicio de compraventa.

Tabla 5. Actividades de pago en comercio.

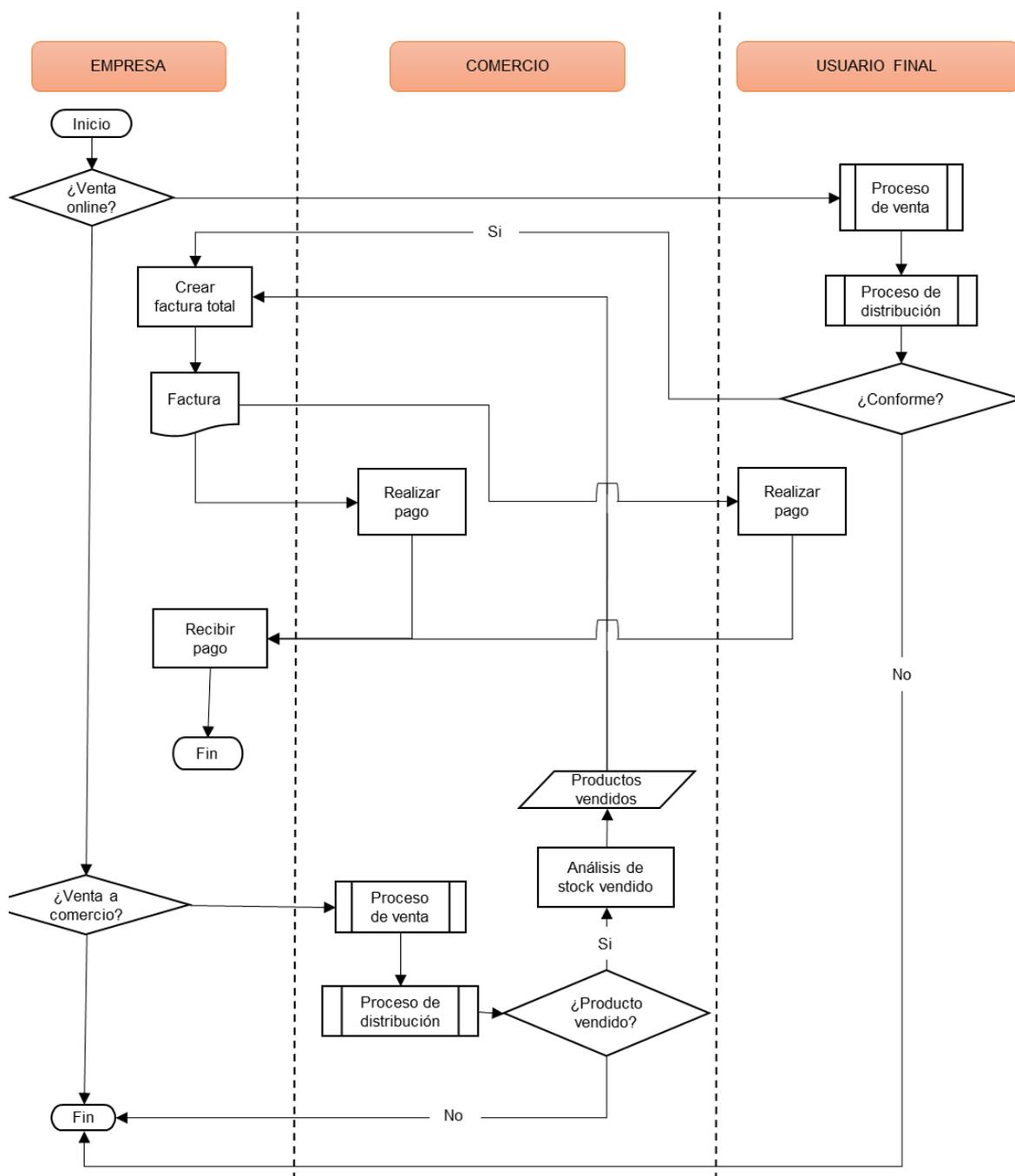


Figura 31. Diagrama de flujo de pago.

### 6.1.3 Tácticas de devoluciones

En el caso del proceso de devolución es igual tanto para el comercio minorista como para el usuario que compra a través de internet, las actividades a realizar son las mismas, por tanto, como responsable de la actividad se denominará ‘Cliente’ para los casos en los que el administrador de la actividad sea o bien el usuario final o el gerente del comercio minorista.

<b>Devoluciones</b>			
Nº	Responsable	Actividad	Descripción
1	Cliente	Comunicar inconformidad	El cliente al recibir los productos y ser consciente de su inconformidad, lo deberá notificar a la empresa.
2	Administrador de la empresa	Recibir comunicador	La empresa recibe el comunicado y se comunicará con el cliente para recibir la mercancía.
3	Administrador de la empresa	Comprobar mercancía	Una vez recibidos los productos de devolución, los operarios de la empresa comprueban las taras del producto. Si hay fallo ir a paso nº 5, si no lo hay paso nº 4.
4	Administrador de la empresa	Almacenar	La empresa almacena las prendas que el cliente no quiere y éstas no presentan ningún fallo de calidad.
5	Administrador de la empresa	Tipificar errores	La empresa crea un informe de clasificación de fallas que tiene el producto y lo comunica internamente, con la idea de no repetirse esos fallos.
6	Administrador de la empresa	Gestionar reposición con cliente	Enviar correo electrónico a clientes para gestionar una posible reposición de las prendas.
7	Administrador de la empresa	Generar orden de pedido	Si el cliente quiere un nuevo pedido de las mismas prendas se generará una orden de pedido nueva.

Tabla 6. Actividades de devoluciones

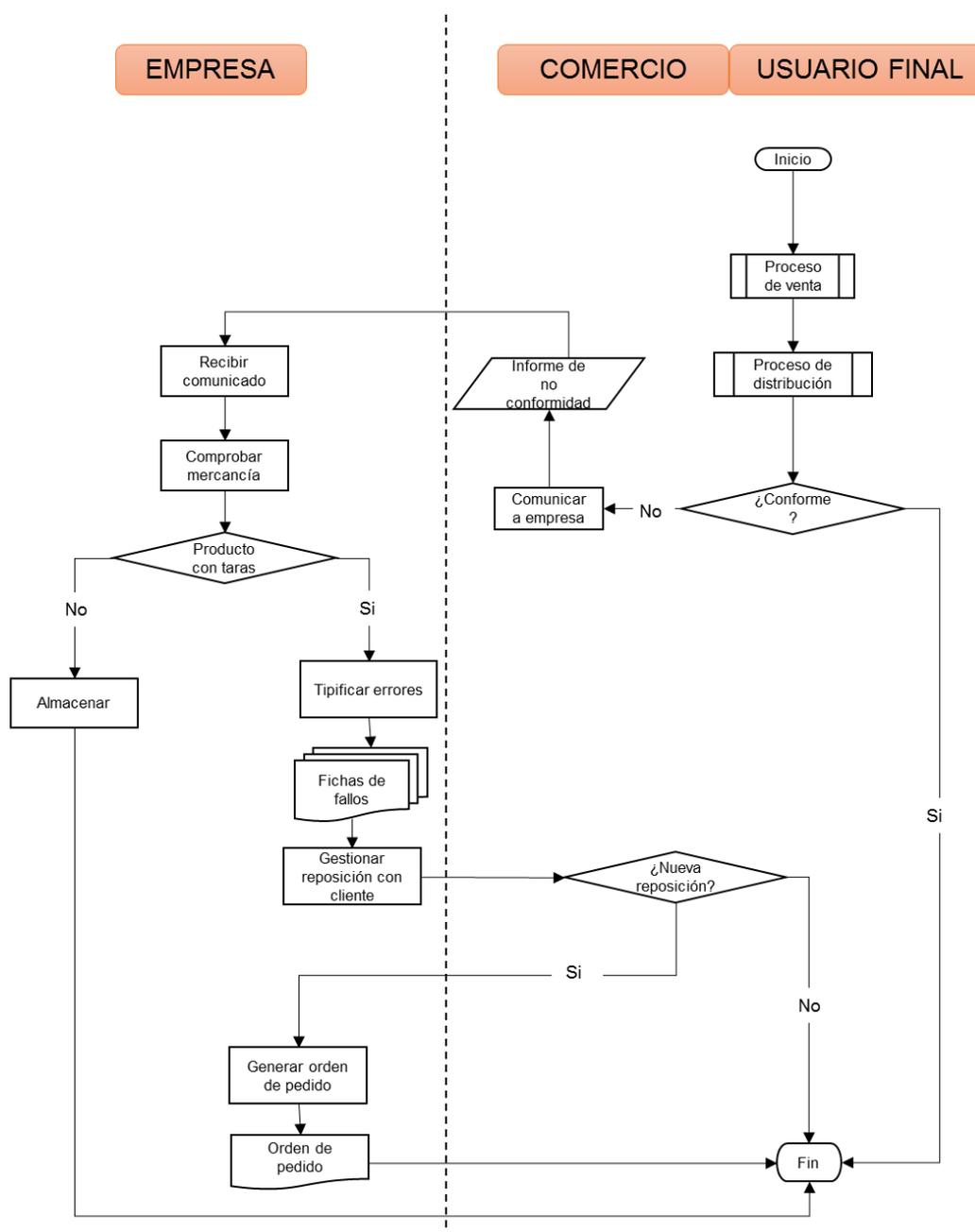


Figura 32. Diagrama de flujo de devoluciones

### 6.1.4 Tácticas de abastecimiento

Para la creación de las prendas se necesitan distintas materias primas (en adelante, la “MP”) que serán distribuidas por los proveedores, entre las que se encuentran las telas para crear el producto, se compran a una empresa de venta de textil al por mayor, papel de sublimación textil para transferir el diseño a los productos, bolsas de plástico y cajas para el empaquetado. El transporte de la materia prima corre a cargo de los proveedores, se manda una orden de compra y son ellos los encargados de abastecer al almacén de materia prima. Las actividades por realizar dentro de este

proceso únicamente incumben a los proveedores y la propia empresa son las siguientes:

<b>Abastecimiento</b>			
Nº	Responsable	Actividad	Descripción
1	Administrador de la empresa	Gestionar compra de MP	La empresa al comprobar el stock para poder crear el pedido, no hay suficiente MP y gestiona la compra.
2	Proveedores	Enviar presupuesto	Los proveedores mandarán un presupuesto del producto en el que se tiene en cuenta todas las características entre ellas la calidad que se requieren.
3	Administrador de la empresa	Aceptar presupuesto	Una vez recibido el presupuesto la empresa decide si aceptar o no. Si se acepta ir a paso nº 5, en caso contrario paso nº 4
4	Administrador de la empresa	Renegociar	Al no creer el primer presupuesto adecuado a las especificaciones se vuelve al paso nº1.
5	Administrador de la empresa	Realizar orden de compra	La empresa tiene todos los datos necesarios y se gestiona la orden de compra de MP.
6	Proveedores	Recibir orden de compra	Los proveedores organizan la venta.
7	Proveedores	Enviar pedido	Los proveedores se encargarán de la distribución de MP al almacén correspondiente.
8	La empresa	Comprobar MP	Se comprobará toda la MP entrante al almacén de MP, que tenga todas las especificaciones exigidas y pase los controles de calidad. Si no se acepta paso nº9, en caso contrario paso nº 10
9	Administrador de la empresa	Devolución de MP	La empresa gestionará la devolución de la MP.
10	Administrador de la empresa	Almacenar MP	La MP se acepta y se almacena en la ubicación correspondiente.
11	Administrador de la empresa	Pago MP	La empresa gestiona el pago con los proveedores según el presupuesto acordado.
12	Proveedores	Reciben pago	Los proveedores reciben el pago y acaba el trámite.

Tabla 7. Actividades de abastecimiento.

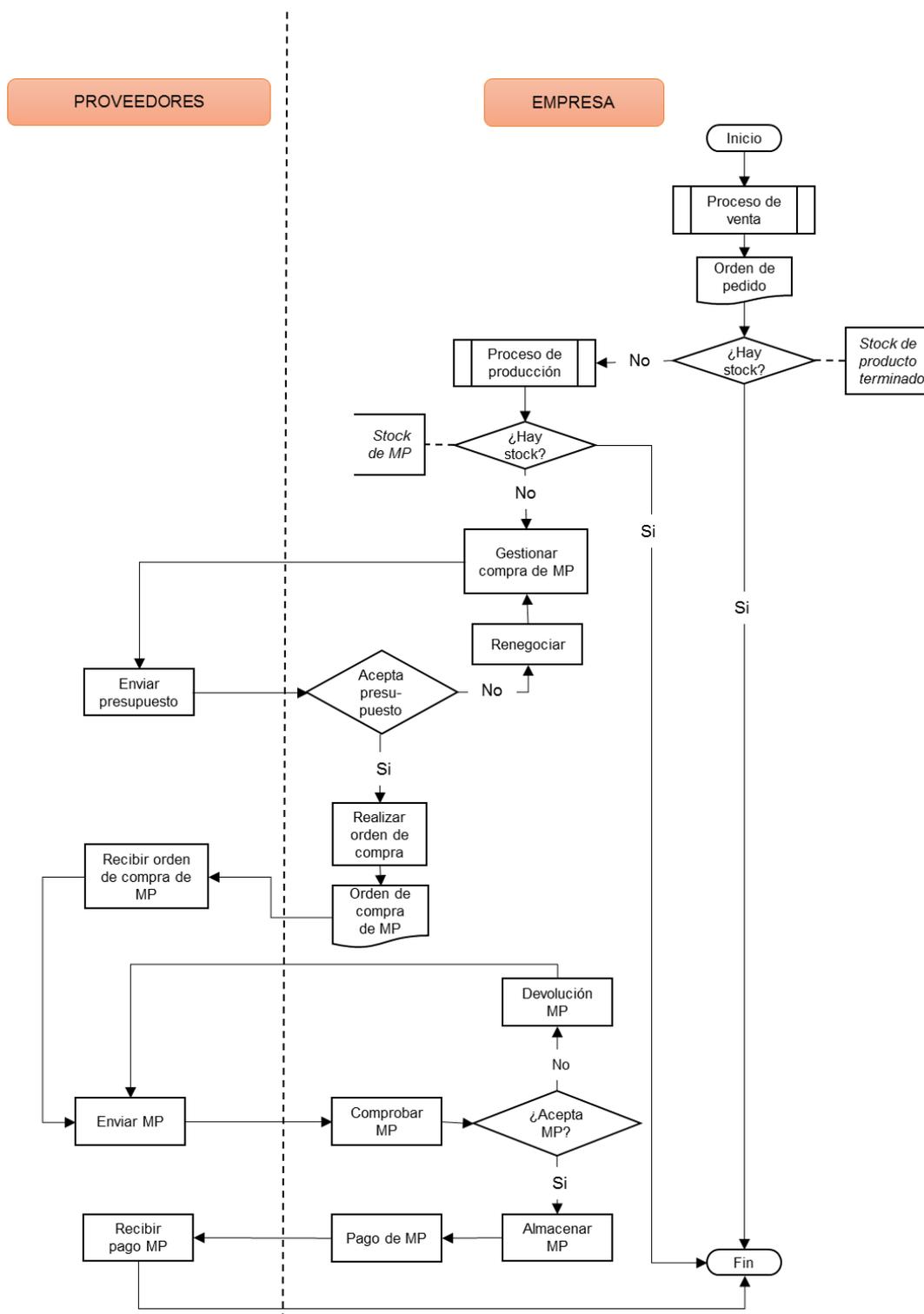


Figura 33. Diagrama de flujo de abastecimiento

### 6.1.5 Tácticas de producción

En el caso de la producción, las actividades se pueden dividir a través de dos organismos principales, la parte de la empresa que se ocupa de la administración y la parte del taller de producción. Se debe mencionar que la parte creativa y de diseño

del producto no se ve reflejada en los diagramas de flujos, aunque es una de las principales diferenciaciones de la empresa.

<b>Producción</b>			
Nº	Responsable	Actividad	Descripción
1	Administrador de la empresa	Generar pedido a almacén interno de MP	La empresa hace un pedido al almacén de MP al generarse una orden de pedido de producción.
2	Administrador de la empresa	Comprobar stock de MP	Se comprueba en el almacén de MP la disponibilidad. Si hay stock; paso nº 3, si no lo hay se va al proceso de abastecimiento.
3	Administrador de la empresa	Mandar a planta MP	La empresa gestiona el envío a planta de fabricación la MP.
4	Operarios de producción	Corte	La MP es la tela, esta se corta con la forma deseada.
5	Operarios de producción	Estampación	En la prenda se estampa el diseño deseado además del logotipo corporativo.
6	Operarios de producción	Confección	Se combinan los diferentes componentes del modelo de diseño.
7	Administrador de la empresa	Aceptar calidad	Se decide si las prendas se ajustan a los niveles de calidad.
8	Operarios de producción	Planchado	Aporte final a la prenda a través de vapor para dejarla con la forma deseada.
9	Operarios de producción	Empaquetado	Se empaquetan los productos bien identificados.
10	Administrador de la empresa	Enviar a almacén de producto terminado	La empresa gestiona el almacenamiento de producto final.

Tabla 8. Actividades de producción.

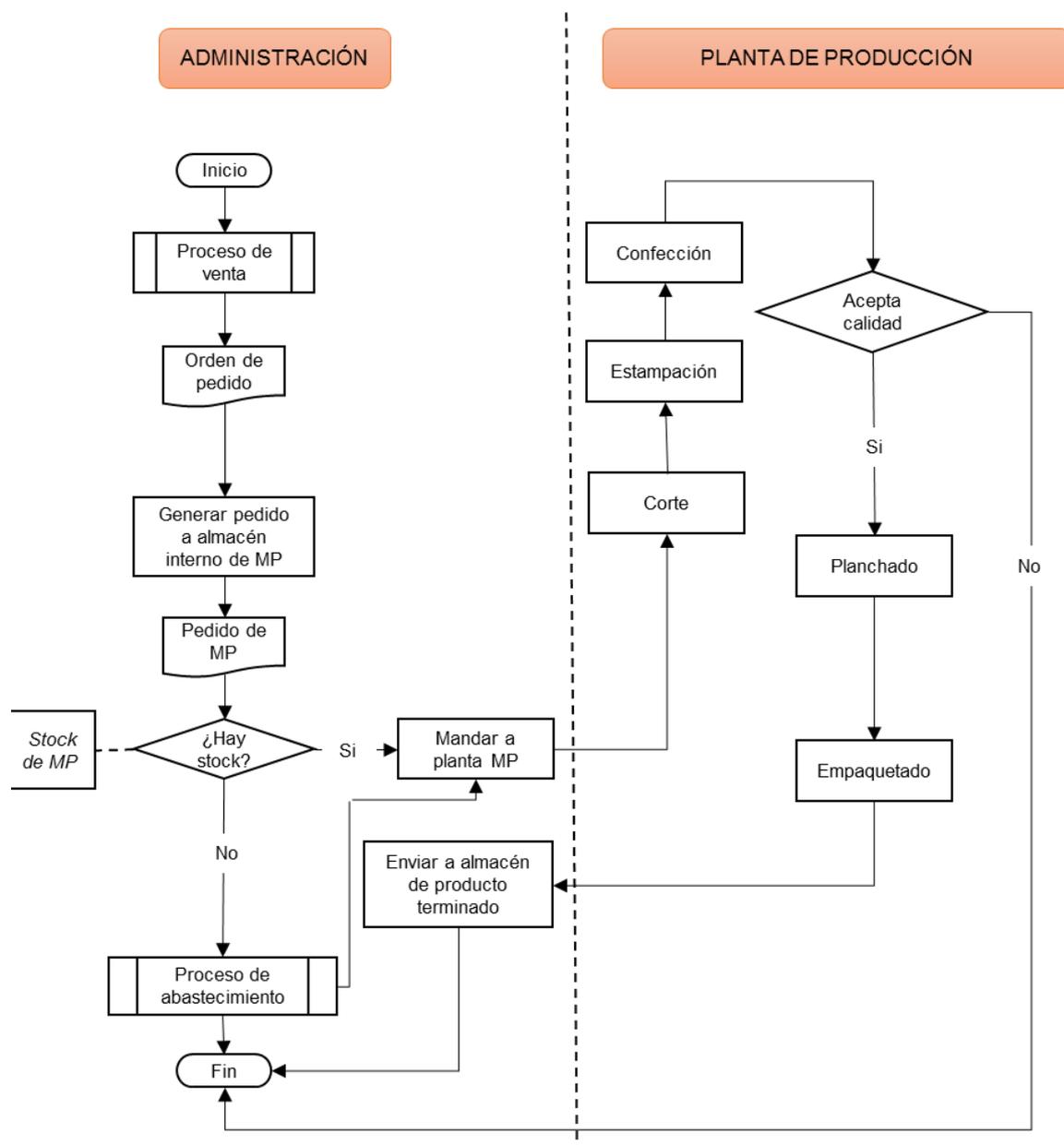


Figura 34. Diagrama de flujo de producción

### 6.1.6 Tácticas de distribución

El objetivo del flujo de distribución radica en describir el proceso de la administración de la empresa y la llegada de producto al cliente. Las actividades para el usuario final y el cliente son igual en tanto a la aceptación del producto, pero discrepan en que en el caso del comercio al no venderse el producto se puede devolver, en la siguiente tabla de actividades en los casos que sean igual se indicará como ‘cliente’.

<b>Distribución</b>			
Nº	Responsable	Actividad	Descripción
1	Administrador de la empresa	Gestionar entrega	Recibido el pedido y ejecutado los procesos anteriores se gestiona la entrega.
2	Administrador de la empresa	Definir plazos de entrega	Según las características del pedido la empresa gestiona los tiempos de entrega.
3	Cliente	Recibe el producto	Una vez recibidos los productos, los clientes deciden si aceptarlos. Si no están conformes paso nº4, si están conformes y es un usuario final paso nº 5, en caso contrario paso nº 6.
4	Cliente	Informe de no conformidad	Los clientes que no están conformes con el producto tienen que realizar un informe de no conformidad y se gestionará el proceso de devolución.
5	Usuario final	Proceso de pago	El comprador online que está conforme con el producto procederá al pago.
6	Gerente de comercio	Análisis de productos vendidos	El gerente del comercio gestionará los productos que ha vendido. Con la parte vendida comenzará el proceso de pago y con la parte no vendida se hará la devolución.

Tabla 9. Actividades de distribución.

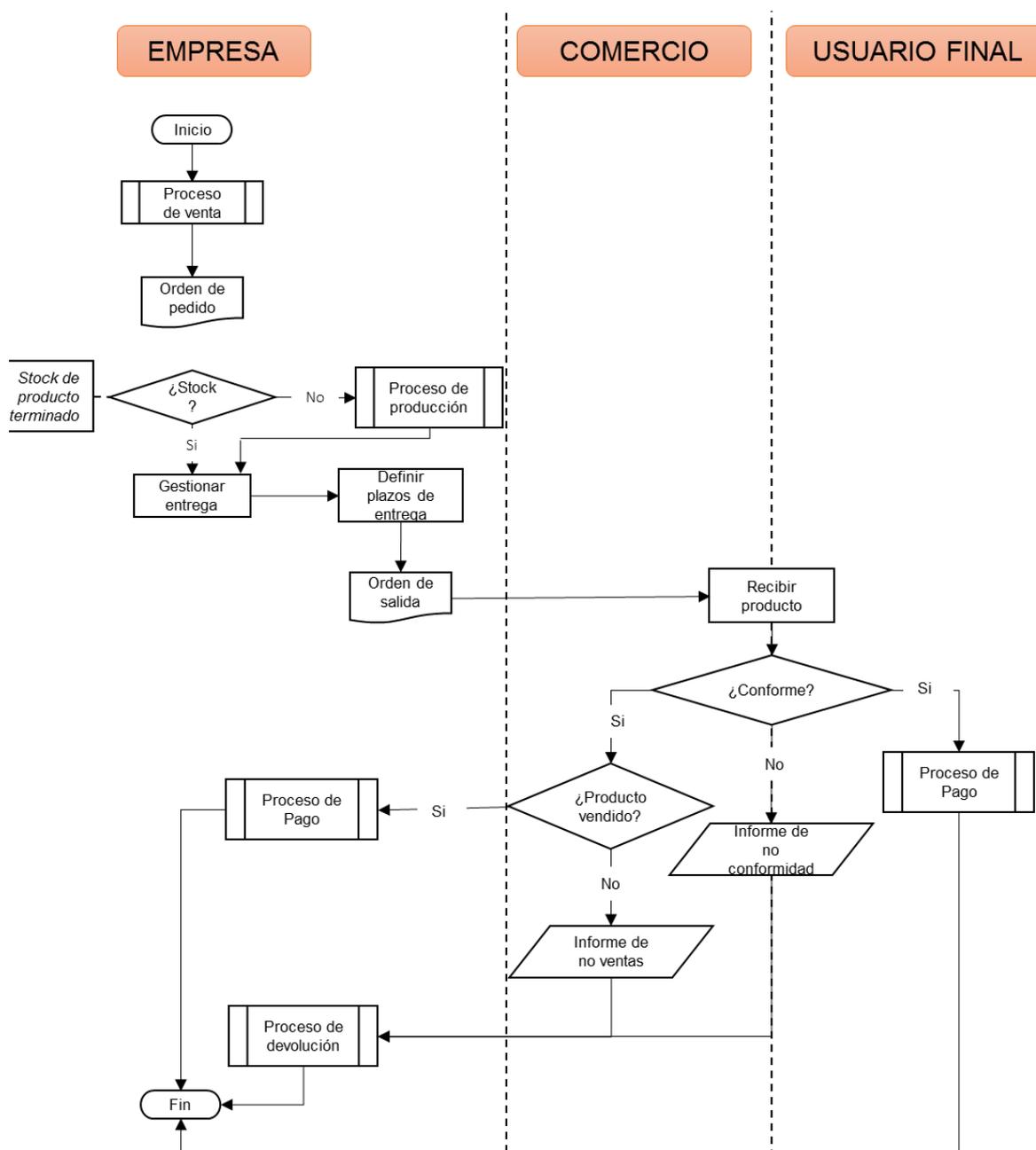


Figura 35. Diagrama de flujo de proceso de distribución.

## 6.2 ESTRUCTURA DEL MODELO

En la introducción al caso de estudio se ha comentado los diferentes flujos de información, que al igual que en el caso genérico se dividen en tres; el flujo físico en dirección al cliente final desde el proveedor de material y pasando por los procesos de fabricación. En cambio, el flujo de información se opone a esta dirección comenzando por el cliente que emite la orden de pedido hasta la emisión de la orden de producción. El flujo económico pasa por todos los campos del modelo, recibiendo ingresos de las ventas y los costes de los diferentes procesos. A diferencia del caso

genérico en el caso de estudio se ha incorporado el capital humano de la empresa, estos recursos humanos variarán a su vez dependiendo de la producción necesaria. En el apartado anterior se veía de una forma concisa como se trabajaba en las partes de ventas, pagos, devoluciones, abastecimiento, producción y distribución. En la parte de modelado del sistema se tienen en cuenta los sistemas de almacenamiento de materias primas, la producción, el capital humano y el capital económico. Dentro del almacenamiento de materias primas se estructuran los pedidos y las órdenes de compra del material necesario, el sistema de producción es el más semejante al caso genérico y conlleva desde el recibimiento de los materiales hasta el almacenamiento y entrega de los productos. El capital humano se basa en las nuevas contrataciones y en los despidos, van variando en función de la demanda de personal para completar los pedidos. El sistema económico es fundamental en la empresa, se basa en los costes de cada fase y las ganancias. En los siguientes subapartados se explican los sistemas del modelo y sus variables. Así como alguna de las ecuaciones que rigen el modelo, aunque en el Anexo I se pueden ver todas las ecuaciones desglosadas. Las variables se muestran en una tabla con su descripción, tipo de variable y sus unidades.

### 6.2.1 Sistema de almacén de materia prima.

El modelo comienza en el sistema de almacenamiento de materias primas o de suministro, este tiene dos variables de nivel una es la materia prima en tránsito referida a la materia prima ya pedida al proveedor. La otra variable de nivel se trata del inventario de materia prima, esta es la materia prima disponible para entregar a planta. La materia prima (MP) que se compra depende de la necesidad de materia prima y la cantidad que hay de materia prima en el almacén, se expresa en el modelo con la siguiente ecuación;

$$\begin{aligned} \text{Orden de compra de MP} = & \text{IF THEN ELSE}(\text{Inventario de MP} + \text{MP en tránsito}) \\ & < \text{Necesidad de MP}, \text{Necesidad de MP} - (\text{Inventario de MP} \\ & + \text{MP en tránsito}), 0) \end{aligned}$$

*Ecuación 3. Orden de compra de materia prima*

La función IF THEN ELSE se utiliza en varias ocasiones en este modelo, es una función condicional que ejecuta una sentencia si la condición es verdadera u otra si es falsa. IF THEN ELSE (condición, valor verdadero, valor falso). En este caso si la

necesidad de materia prima dictada por la orden de producción es mayor que el inventario de materia prima actual y la materia prima en camino, se comprará nuevas unidades de materia prima, si no, no será necesario comprar. Por otro lado, la necesidad de materia prima se determinará con otra condición;

$$\begin{aligned} \text{Necesidad de MP} &= \text{IF THEN ELSE}(\text{Orden de producción} \\ &= 0, 0, \text{Orden de producción} * 1.2) \end{aligned}$$

*Ecuación 4. Necesidad de materia prima*

Si se crea una orden de producción será necesaria la materia prima para crear el nuevo pedido, para cada una unidad de producto terminado se necesitan 1.2 unidades de materia prima.

La entrada de materia prima estará definida por el tránsito de materia prima entre el tiempo que tarda en recibirse.

$$\text{Entrada MP} = \text{MP en tránsito} / \text{Tiempo pedido MP}$$

*Ecuación 5. Entrada materia prima.*

<b>Almacén de materias primas</b>			
Nombre	Variable	Unidades	Descripción
Necesidad de MP	Auxiliar	Unidades	Materia prima necesaria para producir. Depende de la orden de producción.
Orden de compra MP	Flujo	Unidades/ semana	Nuevas compras de materia prima que se realizan a los proveedores.
MP en tránsito	Nivel	Unidades	Inventario de MP en tránsito desde que se hizo pedido a proveedores
Entrada MP	Flujo	Unidades/semana	Tasa de entrada de MP a almacén, varía en función del tiempo de pedido
Tiempo pedido MP	Constante	Semana	Tiempo de envío de un pedido.
Inventario de MP	Nivel	Unidades	Cantidad de MP necesaria para crear los productos
Envío de MP a planta	Flujo	Unidades/semana	Tasa de envío de MP a la planta de fabricación.

*Tabla 10. Variables del sistema de materias primas.*

El diagrama de Forrester del sistema de almacén de materias primas:

## Almacén MP

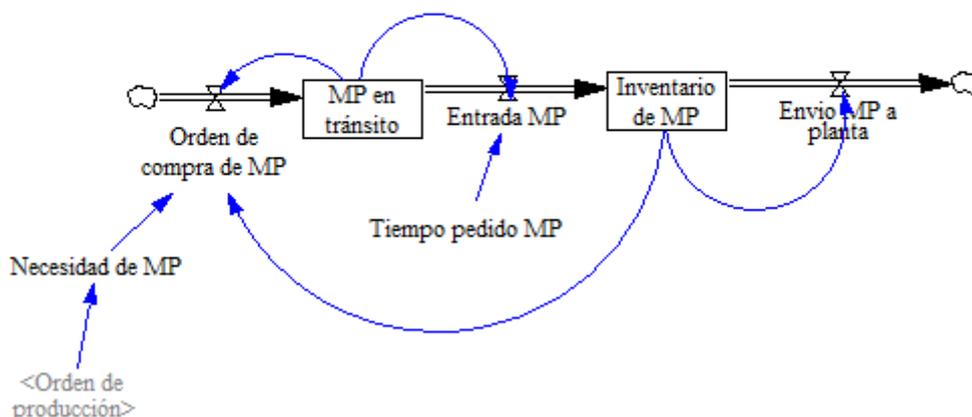


Figura 36. Diagrama del sistema de almacén de materia prima.

### 6.2.2 Sistema de producción.

El sistema de producción es el que más variables posee, aunque solo una conlleva una variable de nivel que indica el inventario de producto terminado (en adelante, “PT”), aumenta con la producción de prendas y disminuye mediante el flujo de entregas de producto. La producción dependerá de la orden de producción y a su vez de la capacidad de producir de la planta mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Producción} = \text{MIN}(\text{Orden de producción}, \text{Capacidad de producción})$$

Ecuación 6. Producción

La función MIN utilizada escoge el valor menor entre las dos variables. Por lo tanto, siempre que la orden de producción sea menor que la capacidad de producción no habrá problema y se crearán todos los pedidos. En cambio, si ocurre lo contrario, se crearán tantos pedidos como la planta sea capaz de fabricar. De esta capacidad de fabricación dependen la capacidad ociosa y la capacidad necesaria. La capacidad ociosa se entiende como la capacidad instalada que no se usa para la fabricación, se determinará:

$$\text{Capacidad ociosa} = \text{IF THEN ELSE} \left( \begin{array}{l} \text{Producción} < \text{Capacidad de producción}, \\ \text{Capacidad de producción} - \text{Producción}, 0 \end{array} \right)$$

Ecuación 7. Capacidad ociosa

Es decir, si la producción es menor que la capacidad de producción, la cantidad que se podría llegar a producir es la capacidad ociosa.

La capacidad necesaria se trata de la capacidad de la que se debe disponer teniendo en cuenta las condiciones, en este modelo se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad necesaria} = \text{IF THEN ELSE} \left( \begin{array}{l} \text{Orden de producción} > \text{Capacidad de producción,} \\ \text{Orden de producción} - \text{Capacidad de producción, } 0 \end{array} \right)$$

Ecuación 8. Capacidad necesaria

Producción			
Nombre	Variable	Unidades	Descripción
Producción	Flujo	Unidades/ semana	Suma de órdenes que se envían para producir en función de los pedidos y la capacidad.
Inventario PT	Nivel	Unidades/ semana	Unidades terminadas en el almacén de PT listas para enviar a clientes.
Tasa de entregas	Flujo	Unidades/ semana	Cantidad de productos enviados en función de la cantidad producida.
Entregas	Auxiliar	Unidades	Unidades reales que se pueden entregar a en función de la disponibilidad.
Capacidad necesaria	Auxiliar	Unidades/ semana	Cantidad de unidades que se quedan sin cubrir.
Capacidad de producción	Auxiliar	Unidades/ semana	Suma total de productos que se pueden crear en una semana de fabricación dependiendo del tiempo disponible.
Tiempo de producción	Auxiliar	Minutos/ unidad	Tiempo requerido para crear un único producto.
Orden de producción	Auxiliar	Unidades/ semana	Necesidad de crear nuevas prendas.
Capacidad ociosa	Auxiliar	Unidades/ semana	Las unidades que se podrían producir trabajando al 100% de capacidad de fabricación.
Trabajadores ociosos	Auxiliar	Trabajadores	Número de operarios que no son necesarios si no se trabaja con la capacidad total.
Tiempo de producción disponible	Auxiliar	Minutos/ semana	Minutos de trabajo efectivo a la semana.
Turno semanal	Constante	Días/semana	Días a la semana que trabaja cada operario.
Trabajo efectivo	Constante	Minutos/día	Minutos diarios de trabajo por operario.

Pedidos clientes	Flujo	Unidades/ semana	La entrada de los pedidos de los clientes tanto vía online como empresa minorista.
Pedidos pendientes	Nivel	Unidades	Acumulación de los pedidos que están pendientes de entregar.
Pedidos entregados	Flujo	Unidades/ semana	El total de pedidos que el cliente recibe.

Tabla 11. Variables del sistema de producción.

El diagrama del plan de producción es el siguiente:

### Planta de producción

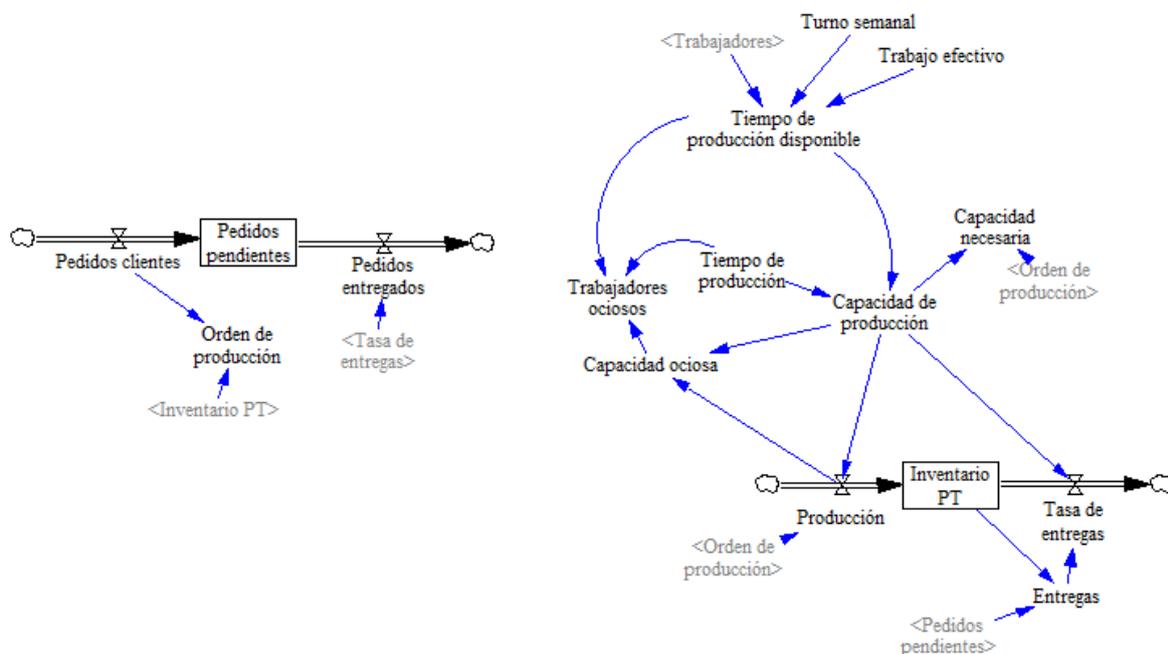


Figura 37. Diagrama sistema de producción.

### 6.2.3 Sistema de capital humano.

El sistema de capital humano tiene como variable de nivel los trabajadores, son el número de trabajadores dentro de la empresa, éste aumentará o disminuirá en función de la contratación y los despidos. Se despedirán trabajadores cuando haya trabajadores ociosos, es decir, cuando debido a la demanda no haya necesidad de un determinado número de trabajadores. De igual manera los trabajadores se contratarán dependiendo de la capacidad en ese momento de la planta. Dentro del sistema de capital humano las variables son:

Capital humano			
Nombre	Variable	Unidades	Descripción
Contratación	Flujo	Trabajadores/ semana	Contrataciones que realizar.
Trabajadores	Nivel	Trabajadores	Cantidad de trabajadores en plantilla de la empresa.
Despidos	Flujo	Trabajadores/ semana	Cantidad de trabajadores que no son necesarios.
Plantilla	Auxiliar	Trabajadores	Trabajadores que se contratarán.
Trabajadores necesarios	Auxiliar	Trabajadores	Cantidad de trabajadores necesarios para completar todos los pedidos.
Máximo nº de trabajadores	Constante	Trabajadores	Máximo número de trabajadores para fabricar todo lo demandado.

Tabla 12. Variables de capital humano.

El diagrama de Forrester del capital humano:

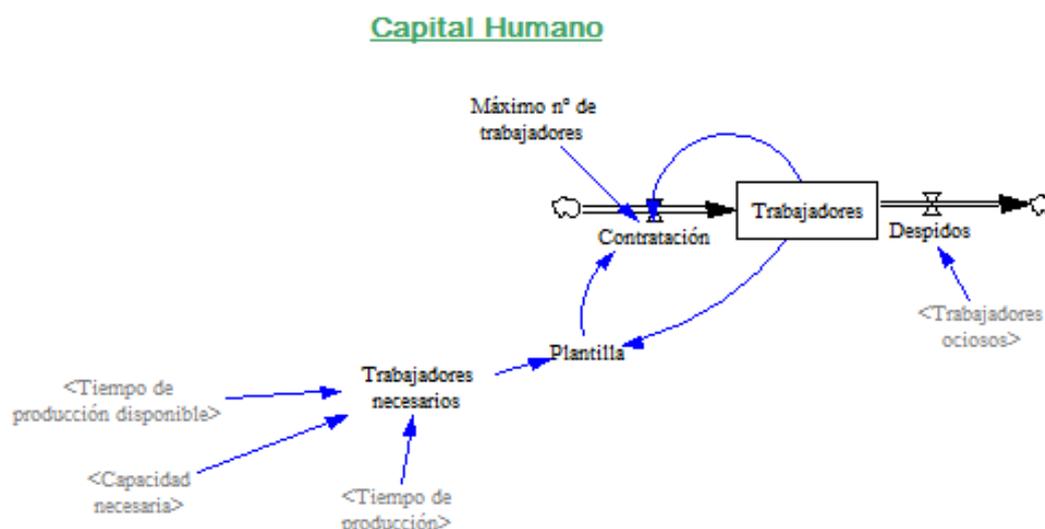


Figura 38. Diagrama capital humano.

Las variables de trabajadores necesarios y la plantilla, que influyen sobre las contrataciones, así como los trabajadores ociosos sobre los despidos, son variables endógenas ya que dependerán de la capacidad de fabricación de la planta. La decisión de contratación dependerá de la plantilla actual de trabajadores y los trabajadores que se necesitan, si la plantilla de trabajadores por contratar y los trabajadores actuales superan el número máximo solo se contratarán el número de trabajadores posibles hasta llegar al máximo, las ecuaciones necesarias:

$$IF THEN ELSE((Plantilla + Trabajadores) < \text{Máximo n}^\circ \text{ de trabajadores}, Plantilla, (\text{Máximo n}^\circ \text{ de trabajadores} - Trabajadores))$$

Ecuación 9. Contratación.

$$IF THEN ELSE(Trabajadores < \text{Trabajadores necesarios}, Trabajadores - \text{Trabajadores necesarios}, 0)$$

Ecuación 10. Plantilla.

#### 6.2.4 Sistema de capital económico.

La parte del flujo económico es bastante sencilla, tanto en su formulación como en su esquema. Se trata del nivel de beneficios acumulados en el que se irán sumando las ganancias de la empresa, estas serán la resta de los costes totales a los ingresos. Los ingresos se generan mediante las ventas de las prendas.

$$\text{Ingresos} = \text{Pedidos entregados} * \text{Precio venta al mercado}$$

Ecuación 11. Ingresos

Los costes totales son el sumatorio de los costes de cada fase. La empresa tiene unos costes fijos que corresponden a las instalaciones, sueldos de la parte administrativa de la empresa, etc. Los costes de mano de obra son lo que cobra cada trabajador de producción. Los costes de producción se tratan de lo pagado por producir una prenda. Por último, los costes de compras de materia prima.

$$\text{Costes totales} = \text{Costes fijos} + \text{Costes de producción} + \text{Costes compra MP} + \text{Coste salarial}$$

Ecuación 12. Costes totales

Las variables del sistema más especificadas se encuentran en el siguiente cuadro:

Capital económico			
Nombre	Variable	Unidades	Descripción
Beneficios acumulados	Nivel	Euros	Cantidad total acumulada de los beneficios que ha tenido la empresa.
Beneficios	Flujo	Euros/semana	Beneficios semanales que obtiene la empresa, se debe a restar costes a los ingresos.
Costes totales	Auxiliar	Euros/semana	Suma total de todos los costes de la cadena de suministro.

Ingresos	Auxiliar	Euros/semana	La empresa genera unos ingresos a través de las ventas de cada producto.
Precio venta al mercado	Constante	Euros/semana	Parámetro constante de los euros que cuesta una prenda al cliente.
Coste salarial	Auxiliar	Euros/semana	Suma de los costes de los empleados de producción.
Salario	Constante	Euros/semana	Cuantía que se paga a cada empleado.
Costes fijos	Constante	Euros/semana	Cuantía por pagar la empresa de gastos fijos independientemente de la producción.
Costes de producción	Auxiliar	Euros/semana	Suma de los costes que conlleva la producción varía en función de la cantidad de esta.
Precio producción	Constante	Euros/semana	Euros que cuesta producir una prenda.
Costes de compra de MP	Auxiliar	Euros/semana	Cantidad de materia prima comprada por su precio de mercado.
Precio mercado MP	Constante	Euros/semana	Euros a los que se compra la materia prima necesaria.

Tabla 13. Variables de capital económico.

El diagrama de Forrester del flujo económico:



Figura 39. Diagrama sistema económico.

### 6.2.5 Bucles del modelo en el caso de estudio

En este caso particular se va a estudiar los bucles más importantes del sistema para comprobar el comportamiento del mismo, como se ha visto en el apartado anterior el sistema se ha dividido en subsistemas y cada uno con sus bucles internos, pero con conexiones a las demás partes del sistema. Los bucles del caso de estudio son más complejos ya que cada subsistema se relaciona con los demás.

#### Bucles de almacén de materia prima

El Bucle de compra de materias primas es muy similar al del caso genérico, es un bucle de realimentación negativa. En este bucle se tienen dos variables de nivel; materia prima en tránsito y el inventario de materia prima. Cuando mayor sea el número de órdenes de compra de materia prima que se emitan, mayor será la materia prima en tránsito, de la misma manera la entrada y el inventario de ésta. En cambio, cuando el inventario de materia prima aumenta la orden de compra disminuye, por tanto, en el cómputo total las realimentaciones negativas son impares y el bucle es un estabilizador del sistema.

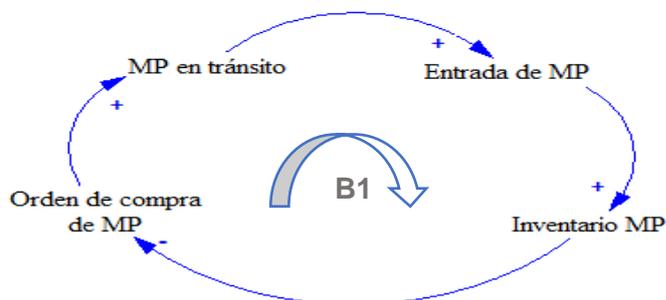


Figura 40. Bucle de compras

Dentro del sistema de almacén de materias primas se crea otro bucle muy pequeño que consta de dos únicas variables que forman parte del bucle anterior, como se ha visto al aumentar el orden de compra de materia prima aumenta el tránsito, pero a su vez cuantas más órdenes de compra completadas y enviadas, es decir, a más materia prima en tránsito menor son las órdenes de compra necesarias. Esto se ve reflejado en la Ecuación 3.

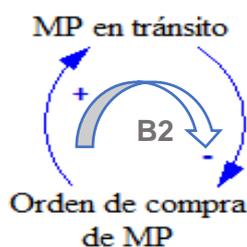


Figura 41. Bucle de pedidos de materia prima

### **Bucles de pedidos**

El bucle de pedidos es un bucle de realimentación negativa, se trata de la variable de nivel pedidos pendientes y su relación con los flujos de pedidos entregados y tasa de entregas y la variable auxiliar entregas.



Figura 42. Bucle de pedidos

Como se observa en la Figura 42 los pedidos entregados hacen que aumente la tasa de entregas y esta tasa las entregas, cuanto mayor sea el número de entregas menor será el número de pedidos pendientes.

### **Bucles de personal**

Dentro del sistema de recursos humanos está la variable de nivel trabajadores. Esta variable influye positivamente sobre la variable auxiliar plantilla, a mayor número de trabajadores mayor será la plantilla total de la empresa. Pero cuánto mayor es la plantilla menor será la necesidad de contratar a nuevos trabajadores, por tanto, la plantilla influye negativamente sobre la contratación. De forma opuesta la variable de flujo contratación aumenta el número de trabajadores. Como el número total de influencias negativas es impar se trata de un bucle de realimentación negativa.

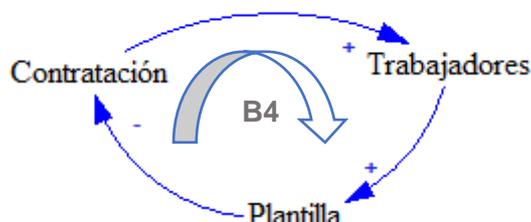


Figura 43. Bucle de contratos

Por otro lado, dentro de este subsistema se puede observar un bucle de realimentación positiva, cuenta con la misma variable de nivel anterior; los trabajadores. Esta variable de nivel aumenta con las contrataciones y disminuye con los despidos. Los despidos se determinan a través de los trabajadores ociosos, el

número de despidos aumenta cuanto menor sea la ocupación de la mano de obra de la empresa. El tiempo de trabajo disponible es una variable auxiliar directamente proporcional a los trabajadores y a su vez, inversamente proporcional al número de trabajadores ociosos.

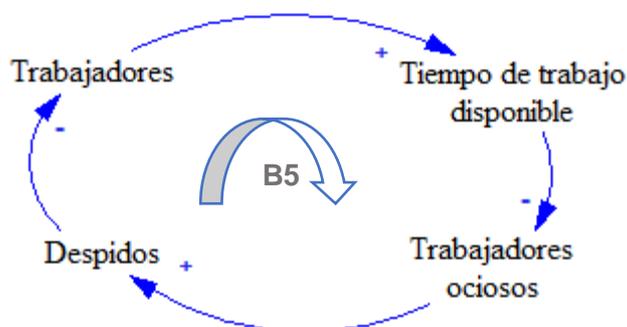
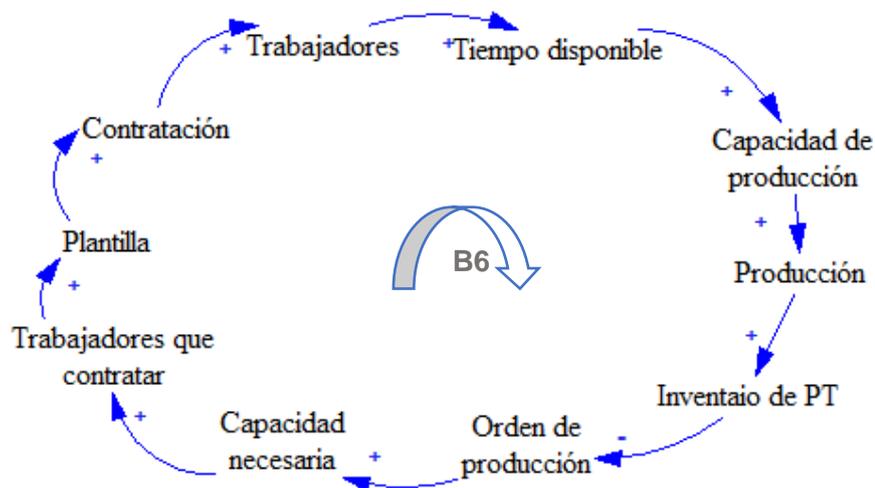


Figura 44. Bucle despidos

### **Bucle de producción**

El bucle de producción involucra las variables de nivel de inventario de producto terminado y trabajadores. Estas variables están relacionadas por la necesidad de trabajadores dependiendo de la producción. Como se observa en la figura 45, cuando aumenta la capacidad de producción de la planta aumentará su producción, esta es una variable de flujo que hace aumentar el inventario de productos terminados. Si el cliente quiere un producto nuevo, primero se investiga la cantidad de productos terminados que hay en el almacén, si son suficientes no se crearan nuevas órdenes de producción, por tanto, la variable de nivel Inventario de producto terminado tendrá influencia negativa sobre las ordenes de producción, en cambio cuándo se crea la orden de producción, la capacidad necesaria aumenta y el número de trabajadores que contratar.



*Figura 45. Bucle de producción*

### **6.3 VALIDACIÓN DEL MODELO**

La validación de un modelo de dinámica de sistemas es complicada ya que estos sistemas tienen muchos agentes vinculados. El sistema debe ser útil, un modelo sólido con el que se puedan establecer predicciones para futuras decisiones estratégicas. La validación del modelo nos sirve para crear una confianza en los resultados de la simulación y poder utilizar el modelo en la aplicación real. Cabe destacar que validar un modelo es algo relativo ya que al modelizar un sistema real suele haber múltiples opciones y es necesario quedarse con el modelo que genere más confianza para su estudio, de igual manera el modelo se válida para cumplir con una intención, no se puede instaurar que un modelo sea útil sin puntualizar para que propósito. En el caso de estudio se trata de un modelo hipotético que se ha intentado ajustar a la realidad se ha realizado basado en cómo podrían ser los procesos que se siguen para la fabricación de las prendas demandadas y sus variables características para poder construir el modelo. Como el modelo no se ha construido con datos ajustados 100% a la realidad los datos obtenidos no pueden ser totalmente fiables, pero en él se pueden ver los impactos que producen pequeños cambios en las variables sobre la cadena de suministro y apreciar las ventajas que tiene la simulación para la gestión industrial.

Existen multitud de esquemas de validación compuestos por diferentes evaluaciones para conseguir la confianza total en el modelo. En primer lugar, se crea una valoración estructural si el modelo presenta una estructura válida y posteriormente pasa las pruebas de validación de comportamiento se le puede otorgar credibilidad. Los test de estructura se pueden diferenciar entre test directos de la estructura, donde se encuentran los empíricos y teóricos, según se analicen comparando el modelo con los conocimientos teóricos sobre este o con información cuantitativa, o los test indirectos. En los test indirectos de la estructura se pueden destacar los test de condiciones externas, test de sensibilidad, test de utilidad, etc.

Una vez superadas las pruebas estructurales se somete el modelo a pruebas de comportamiento, estos test pueden ser de idoneidad, test de consistencia, de efectividad, etc. Por último, se hacen tests de implicaciones de las políticas sirven

para verificar las predicciones al efectuar los cambios en las políticas que se pueden recomendar por la simulación del sistema corresponden con la respuesta de este.

### **6.3.1 Validación estructural**

El objetivo de la validación estructural es, como se ha comentado, confiar en la estructura del modelo creado. Para validar la estructura se llevará a cabo las siguientes pruebas, una de ellas directa y las demás indirectas:

#### **Test directo teórico**

Se puede afirmar que con los conocimientos teóricos adquiridos sobre estos sistemas de producción la estructura del modelo se asemeja a un sistema real. La estructura de todos los procesos implícitos se asemeja a un proceso real en un área de producción, aunque al tratarse de un prototipo a pequeña escala algunos procesos no se tienen en cuenta.

#### **Test dimensional**

Esta prueba consiste en el ajuste entre las variables del modelo. Se ha estudiado y aceptado la consistencia dimensional de las unidades de todas las ecuaciones utilizadas en el proceso de modelado del sistema.

#### **Test de condiciones externas**

Se ha observado que para cada una de las partes del modelo si se aplican unos valores extremos, ya sean valores próximos al cero o muy altos a las variables de las ecuaciones el modelo no se obtienen resultados confusos.

#### **Test de verificación de los parámetros**

Para la verificación de los parámetros se necesitan valores reales de los que no se dispone, ya que todo lo propuesto es una hipótesis de un sistema y la verificación de parámetros se trata de que haya una coherencia y equivalencia entre los parámetros y variables del modelo y la realidad. Pero se puede decir que se utilizan parámetros reales que se pueden dar en una cadena de suministro.

### **6.3.2 Validación del comportamiento**

En este caso se busca la confianza a la hora de simular el modelo, se harán varias pruebas que nos indicarán la viabilidad de este.

### **Test de evaluación de los parámetros**

En este tipo de test se analiza si el comportamiento del modelo es sensible a las variaciones de los parámetros característicos del sistema. En la simulación del modelo se puede ver que al cambiar los valores de los parámetros los resultados no son los mismos, pero son comportamientos coherentes con el sistema. Es en este aspecto donde se encontrará la mejor forma de gestionar la cadena. Posteriormente se observa un análisis de sensibilidad con referencia a este aspecto. Por otro lado, se observa también la coherencia de estos parámetros y que no están puestos para quitar errores, en el apartado 6.2 se explica el significado de cada una de las variables del modelo.

### **Test de consistencia**

Un sistema es consistente si no contiene una contradicción, los test de consistencia se fundan en tomar datos históricos y estadísticos del sistema real de los cuales no se dispone. Al ser una cadena de producción hipotética no se ha tenido oportunidad de comparar con datos anteriores ni experimentar en situaciones reales.

### **Test de utilidad y eficiencia**

En este apartado se analiza la eficacia de modelar el sistema y se puede afirmar que el sistema nos sirve de punto de partida para ver donde falla y los cambios que hay que efectuar para sus mejoras.

#### **6.3.3 Test de implicaciones en las políticas**

Como se ha comentado estas pruebas tienen la función de poder confiar en las políticas de decisión estratégicas tomadas a partir de la validación del modelo, simularlo y comprar con el sistema en el mundo real. Como en este sistema se carece de la parte real muchos de los test descritos anteriormente no se han podido validar debido a la falta de datos reales como datos históricos y estadísticos. Pero a partir de este prototipo se puede construir un modelo con datos semejantes a la realidad para hacer una validación completa. Al tener la validación del modelo se podrían simular los diferentes escenarios reales y crear a partir de estos unas decisiones políticas de gestión en la cadena de producción y suministro y observar cómo afectan realmente al sistema. Una gran aportación que tienen los sistemas de simulación dinámica es

ver simplificadas estas decisiones estratégicas y poder aplicarlas en los modelos para ver su evolución con un coste menor que si se aplican directamente en el marco real.

## **6.4 SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD**

Después de modelar el sistema en Vensim PLE con unos datos iniciales de partida se puede hacer un análisis de sensibilidad. Este análisis se consigue enfocar dentro de la validación del comportamiento del sistema, más concretamente en el test de evaluación de los parámetros. Se trata de un estudio sistemático sobre cómo afectan pequeños cambios en las variables sobre las respuestas del sistema. Una forma sencilla de aplicar este análisis es variar el valor inicial de cada uno de los parámetros del modelo. Se pueden crear distintos escenarios en los que incrementar o decrementar la variable a estudiar su sensibilidad un cierto porcentaje y de esta manera ver como afecta el cambio en las demás partes del modelo. Analizando los resultados de las variaciones sobre la estructura se puede deducir si el modelo es insensible a los cambios, de manera que al alterar sus parámetros los resultados no varíen en gran medida. Por otro lado, también es posible deducir cuales son los parámetros que al verse modificados afectan en mayor medida a la estructura del sistema, estos serán los puntos de mayor sensibilidad y por tanto sobre los que hay que actuar a la hora de la toma de decisiones en la gestión industrial de la empresa. En este apartado cabe mencionar que con herramientas de simulación más avanzadas como el Vensim profesional se puede hacer una optimización automática anterior que da lugar a un sistema con menor margen de error.

### **6.4.1 Primera simulación**

En los siguientes gráficos se observa los resultados iniciales que nos muestra el sistema a lo largo de un año aproximadamente (52 semanas).

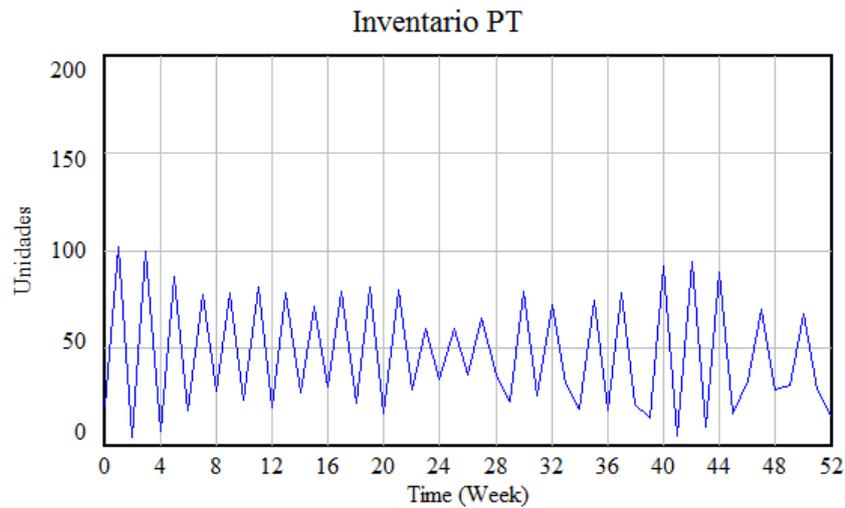


Gráfico 5. Resultado primera simulación: Inventario Producto Terminado.

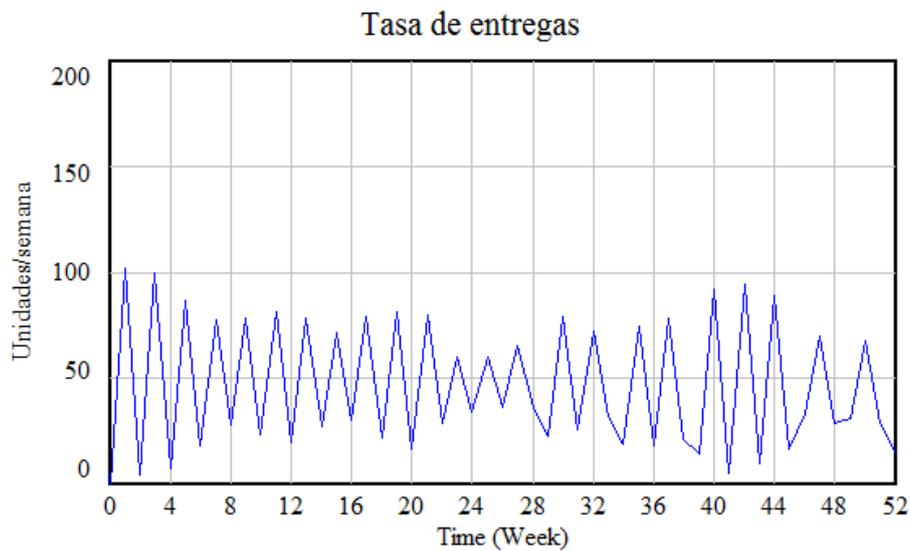


Gráfico 6. Resultado primera simulación: Tasa de Entregas.

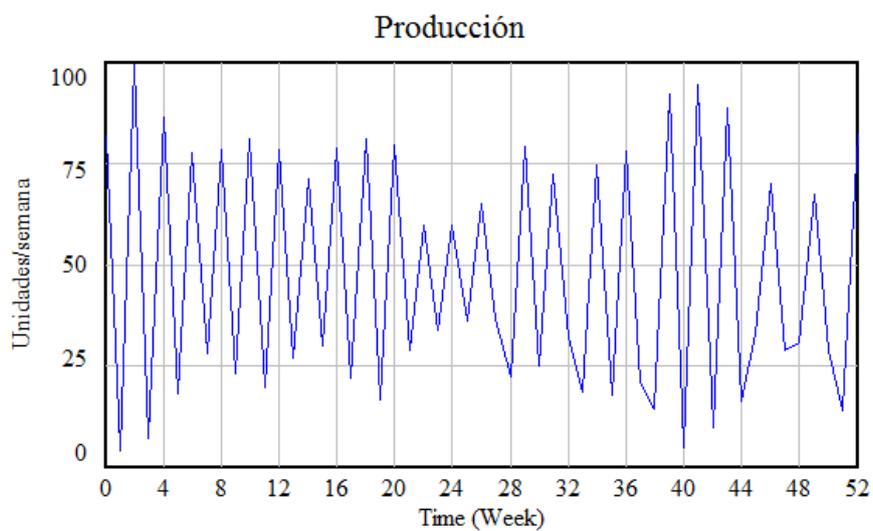


Gráfico 7. Resultado primera simulación: Producción.

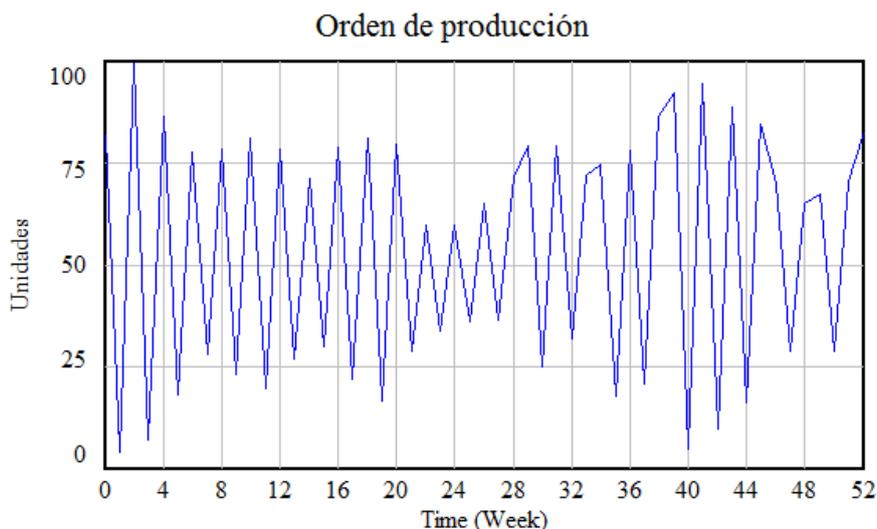


Gráfico 8. Resultado primera simulación: Orden de producción.

Las cuatro variables representadas en los gráficos están ligadas entre sí, las ordenes de producción afectan directamente sobre la producción ésta a su vez sobre el inventario de producción. La tasa de entregas dependerá de los datos del inventario de producto terminado.

En estas gráficas se observan grandes picos entre las ordenes de producción lo que hace que se generen en las demás los mismos picos, se debe al comienzo de la simulación los pedidos de los clientes es una función RANDOM que genera un número aleatorio a través de un mínimo, un máximo y una desviación. En este tipo de ecuaciones en Vensim se pide una semilla que no afecta al sistema, pero determina el comienzo de este, según la ecuación:

$$RANDOM\ NORMAL(\{min\},\{max\},\{mean\},\{stdev\},\{seed\})$$

$$Pedidos\ clientes = RANDOM\ NORMAL(50,150,100,5,10)$$

Ecuación 13. Pedidos clientes

Como el sistema carece de datos históricos sobre los pedidos de los clientes se considera esta la mejor opción, en cambio con una base de datos real se podría tomar este antecedente de partida a través de una tabla de datos externa.

La parte que más interesa a las empresas es la económica, con estos datos iniciales se observan:

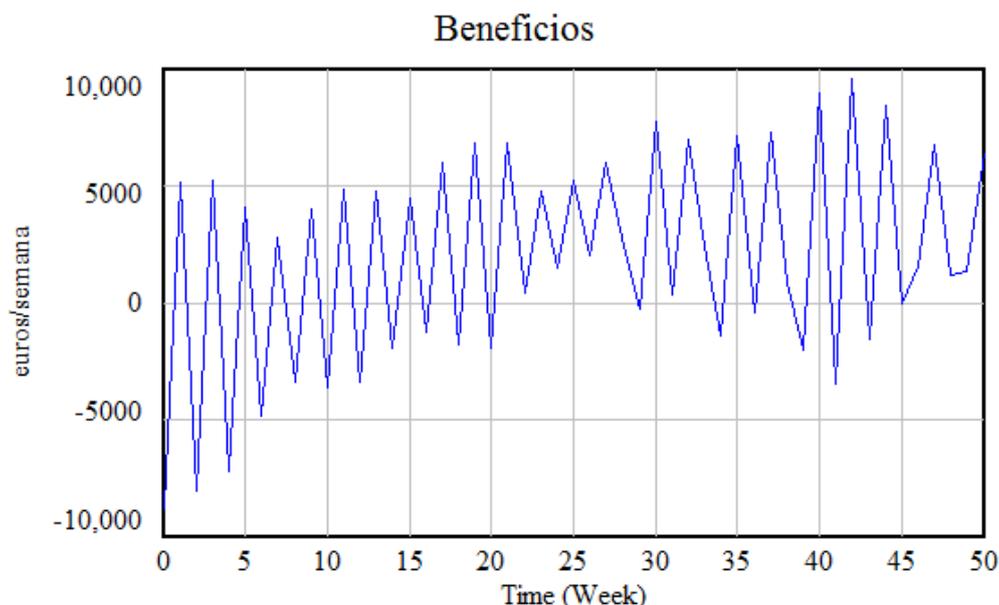


Gráfico 9. Primera simulación: Beneficios

A pesar de un gran desembolso inicial por parte de la empresa se observa que la economía se va incrementando. En la parte económica de la empresa se intuye un gran hándicap a mejorar, puesto que los ingresos semanales son altos la empresa genera muchos gastos principalmente en el salario de los trabajadores. Un gran avance para la empresa sería llegar a un equilibrio entre la producción y los trabajadores, poder llegar a producir los pedidos de los clientes, pero tener un gran beneficio y que no sea a costa de bajar calidades y subir precios.

#### 6.4.2 Sensibilidad de los parámetros

El software Vensim tiene una función muy intuitiva para ejecutar en el análisis de los parámetros del sistema, se puede sintetizar la estructura del modelo y el comportamiento de la simulación (SyntheSim). Permite ver las gráficas de los resultados superpuestas al diagrama, cambiar las constantes y actualizar instantáneamente la gráfica. Se observa en la siguiente imagen usando esta función en la planta de producción con sus parámetros iniciales y los mismos modificados. En adelante los gráficos en color azul serán con los datos iniciales y al cambiar los parámetros se visualizan en los gráficos en rojo.

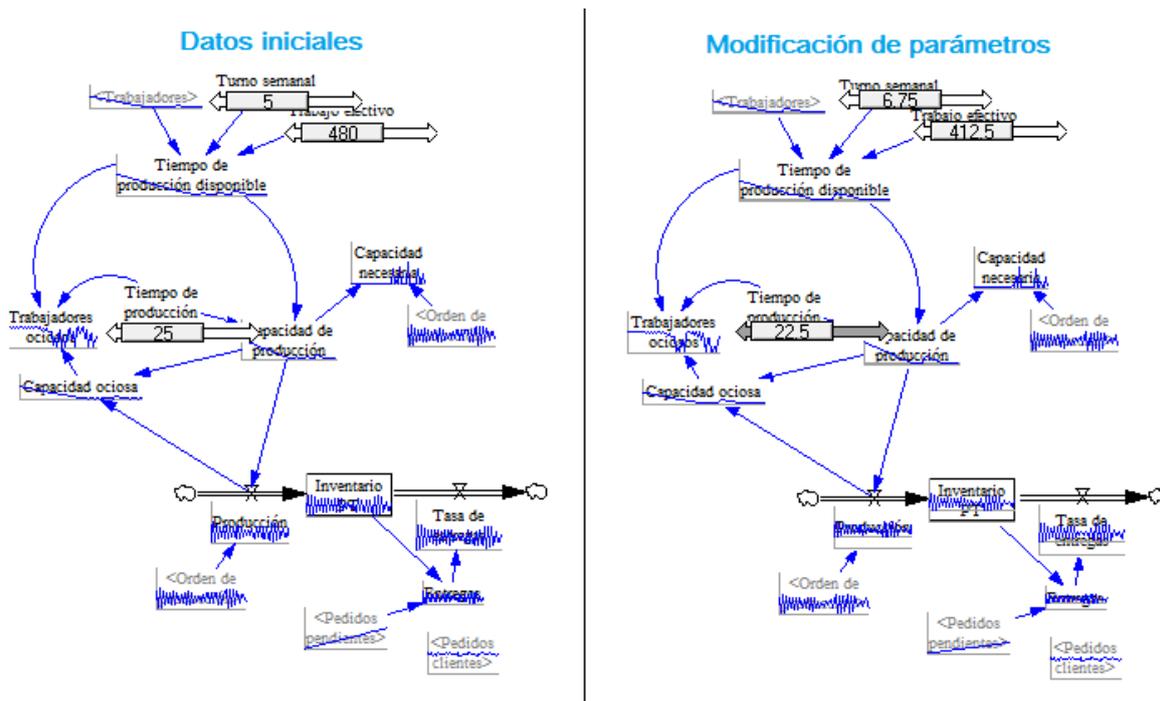
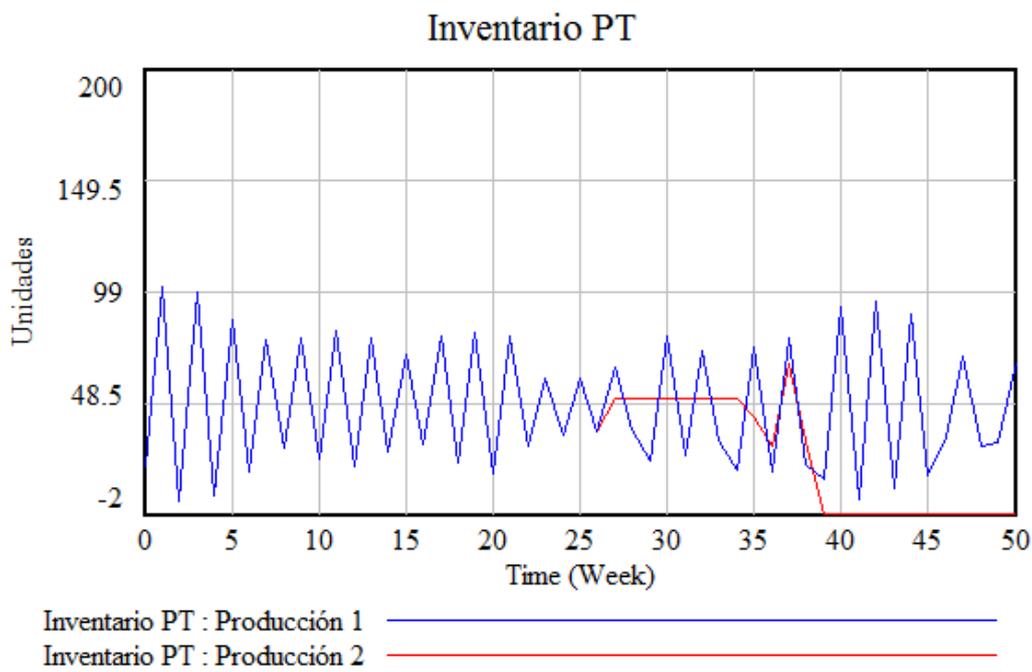


Figura 46. Comparación planta de producción alteración de parámetros



Al modificar los parámetros de producción se observa que estos no hacen cambiar en gran medida los resultados del sistema en las primeras semanas, pero a partir de la semana 40 el inventario cae estrepitosamente debido a que la capacidad de producción necesaria va aumentando, pero se llega al número máximo de trabajadores que se pueden contratar, hasta llegar a un punto que la cantidad de entregas se equilibra con la producción. Por tanto, se decide que tanto en el turno

semanal como el tiempo efectivo por trabajador configurados al inicio de la simulación son los más adecuados para la empresa; 5 días semanales de trabajo sin ampliar fines de semana, aunque la producción quedase acumulada esto se debe a que no compensa el ampliar días para aumentar producción con el precio a pagar por ello. El trabajo efectivo por persona se instaura en 480 minutos diarios trabajando las 8 horas. Siendo el tiempo de trabajo efectivo máximo de 40 horas semanales por trabajador tal y como se estipula en el artículo nº 4 del Real Decreto 2001/1983 sobre la regulación de la jornada de trabajo, jornadas especiales y descanso. De esta manera no se tendrá que tener una contratación especial para fines de semana, festivos, etc. Respecto al almacén de materias prima el parámetro a modificar se trata del tiempo de retardo que tarda una materia prima desde que se pide hasta que se da entrada en el almacén, este parámetro tampoco tiene grandes alteraciones en los resultados del sistema, por tanto, se determina que no es una de las partes a cuestionar en la política de decisiones.

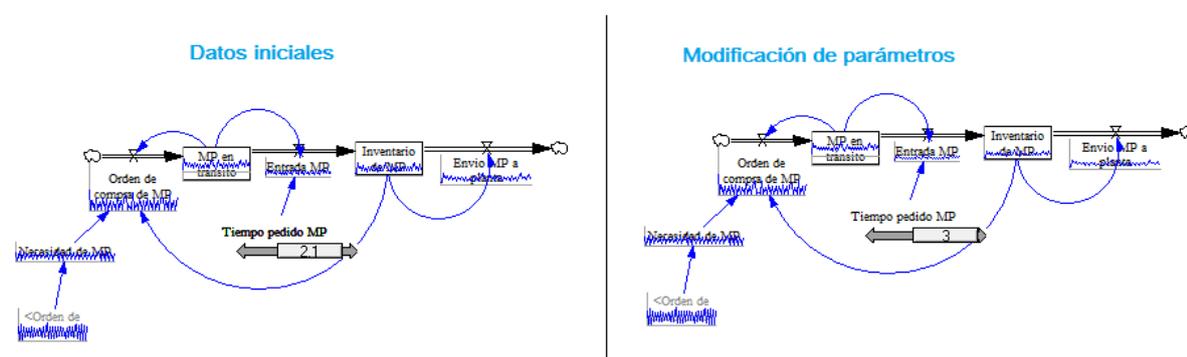


Figura 47. Comparación en almacén de materia prima de alteración de parámetros

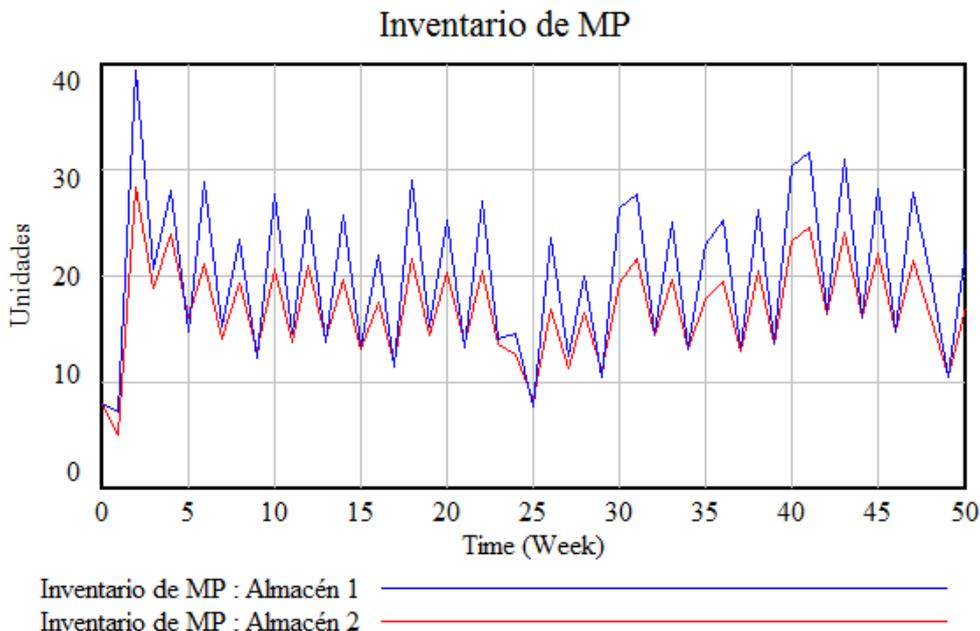


Gráfico 10. Comparativa de almacén con cambio de parámetros.

Cómo se ha anticipado anteriormente el mayor “juego” del sistema está en encontrar el equilibrio entre los trabajadores, el salario de los mismos y el beneficio que se lleva la empresa.

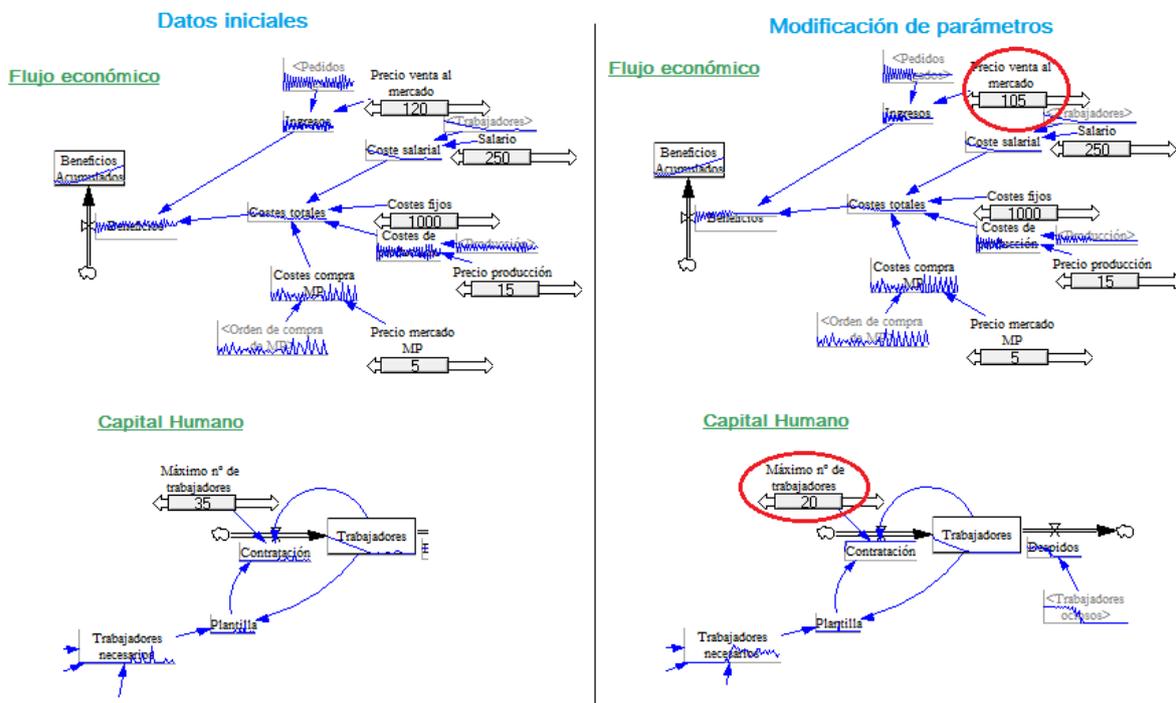


Figura 48. Comparación en almacén de beneficios con alteración de parámetros

En el momento inicial se creó el sistema con un coste alto de venta debido a la exclusividad de las prendas, pero sobre todo al equipo manufacturero que hay detrás de cada una de las mismas, aun así, debido a que la producción es para un público

joven era una de las necesidades bajar el precio, pero sin perder el beneficio, para ello se ha tenido que reducir el número de trabajadores y con lo mismo incrementar en pequeñas dosis los tiempos de producción de las prendas. Se considera así que el precio de venta queda estipulado en 105 euros y el máximo número de trabajadores será 20 personas. En los siguientes gráficos se observa que los ingresos a partir de la semana veintitrés se estabilizan en torno a los 5000 euros en el segundo escenario, es cierto que en el primer escenario hay picos de mayor ganancia pero estos contrarrestaban con los picos de ganancias en torno a 1000 euros, de esta manera en el segundo escenario llega un punto que se fijan y a no ser que haya una gran demanda ocasional de producción se conocerá de antemano la cuantía que se puede gastar en relación con los ingresos semanales.

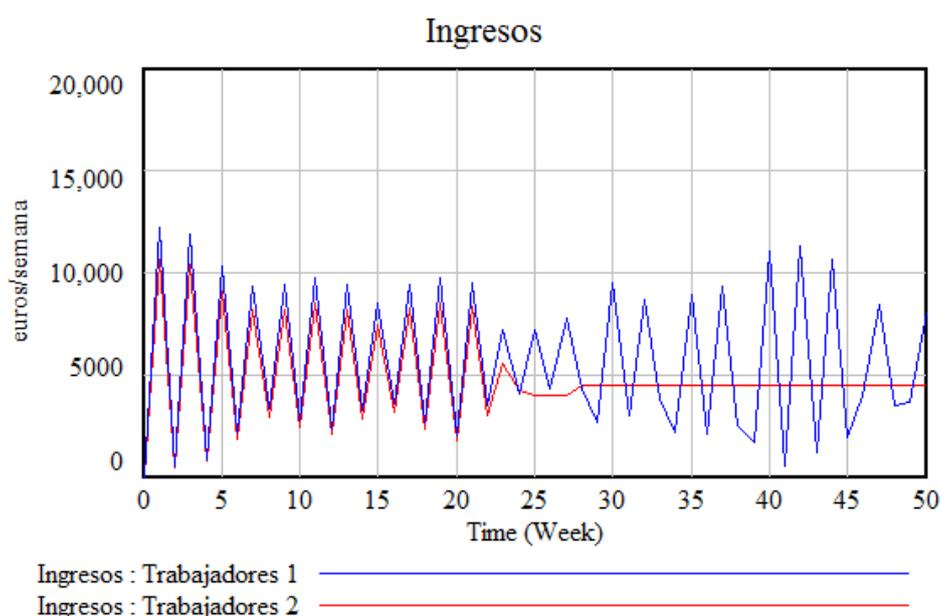


Gráfico 11. Comparativa Ingresos en los dos escenarios.

Por otro lado, los costes totales son semejantes en los dos escenarios. En el segundo caso son relativamente menores debido a que ha bajado el número de trabajadores y con ello los costes de salario que sumados a los costes fijos es el mayor gasto de la empresa. La materia prima inicial es bastante asequible, así como el gasto en producción no es elevado ya que la mayor parte de esta producción costa de las habilidades profesionales del equipo trabajo.

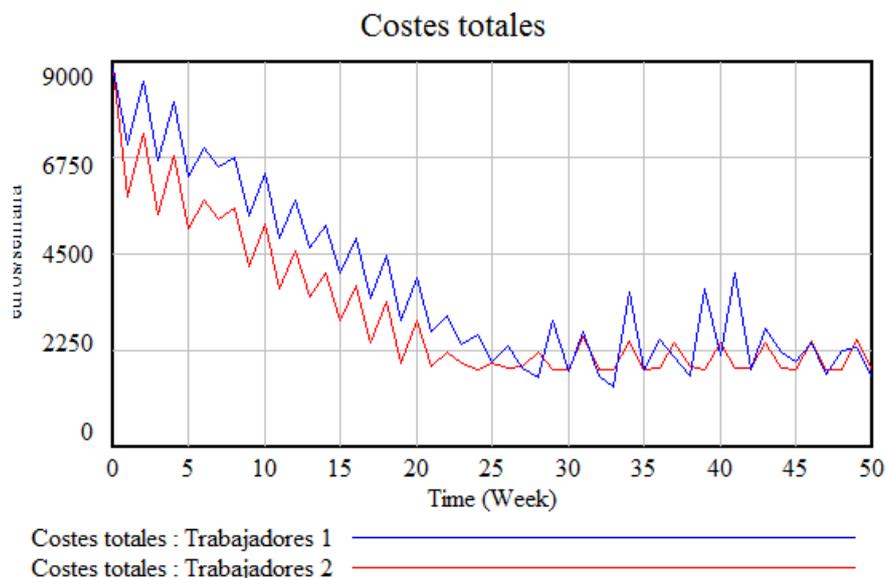


Gráfico 12. Comparativa costes totales en los dos escenarios.

Por último, se aprecia que los gastos y los ingresos se ven compensados a lo largo de las semanas, en el escenario número 1 ocurría que en la semana cuarenta había un pico de pérdida que se acentuaba por la menor producción, al disminuir el número de trabajadores y aumentar con ello (levemente) los tiempos de fabricación se puede cubrir esta producción y a mitad del periodo los beneficios se van estabilizando. Al final los beneficios semanales se van acumulando y la ganancia de la empresa es bastante buena.

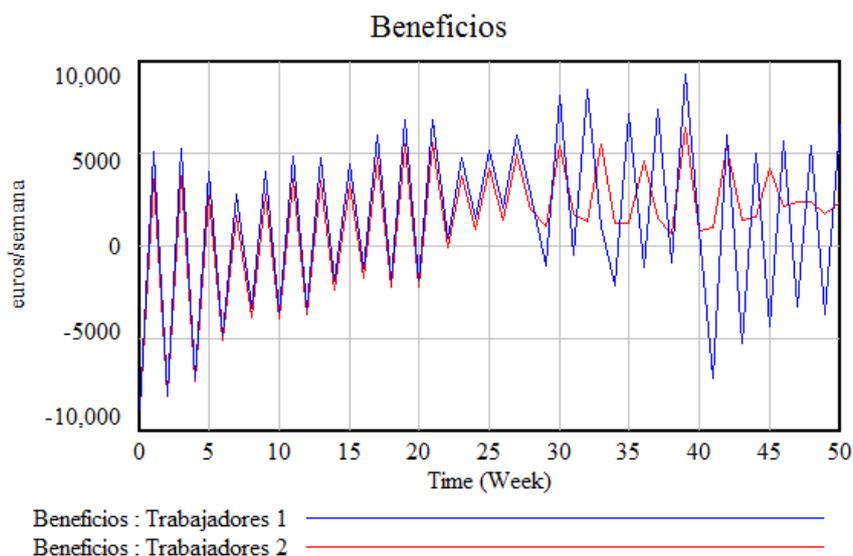


Gráfico 13. Comparativa Beneficios en los dos escenarios.

## 7 CONCLUSIONES

Los propósitos de este trabajo son identificar las ventajas que producen herramientas de análisis dinámico, como el software Vensim PLE, que permiten introducir las nuevas tecnologías en el área de aprendizaje y poder aplicarlo posteriormente en ámbitos profesionales dirigidos a la gestión y organización industrial. En este caso se ha visto la gestión de la cadena de abastecimiento de una empresa textil pero esta herramienta es útil para cualquier tipo de gestión como análisis de tiempos de mantenimiento dentro de una empresa, gestión de residuos, etc. Se trata de herramientas de uso sencillo para comprender el funcionamiento de los principales eslabones de la cadena de suministro de la empresa y analizar dónde puede haber una mejora, ya sea en tiempos de producción como en reducción de trabajadores para llegar a un equilibrio en el entorno de la empresa y observar cómo afecta una pequeña decisión a cada una de las partes.

El modelo que se ha construido esta inspirado en una empresa inicial de la que se parte como base, aunque se trata de un prototipo que se podría implantar. Después de haber fijado el objetivo del modelo, se comienza diseñando unos diagramas de flujo que son la base para crear el esquema mental desde donde se parte para modelar y evaluar el sistema con el fin de que se acerque lo más posible a un sistema real.

Las técnicas de dinámica de sistemas no son una herramienta precisa en cuanto a su predicción, no sirve evaluar las salidas del modelo como algo cuantitativo a tener en cuenta, si no su predicción en el comportamiento del sistema. El trabajo realizado tiene una mayor proyección como gestión en la política empresarial y herramienta de aprendizaje en mayor medida, más que servir como una evaluación precisa de los resultados.

El sistema esta formado por cuatro bloques principales; un almacén de materias primas donde se crean las ordenes de compra a los proveedores, un sistema de producción muy ligado al sistema de capital humano, la producción se ha basado en la capacidad de producir dependiendo de la cantidad de trabajadores disponibles que tenga el sistema. Se ha partido de esa base por el interés a corto plazo del cambio continuo de la producción, en el sistema genérico se tuvo en cuenta la parte de

inversión en producción; el prototipo se ha obviado por ser esta variable un efecto en el sistema y en la capacidad de producción a un largo plazo.

Se ha hecho un análisis de sensibilidad de los parámetros para evaluar la estructura y el comportamiento del sistema donde se ha visto que la mayoría de los parámetros son insensibles a los cambios o sufren pequeñas variaciones las simulaciones. Los parámetros que más afectan al sistema están relacionados con el capital humano y los costes que producen, por tanto, es ahí donde hay que crear el cambio en la política empresarial. La simulación del segundo escenario ofrece una visión de mejora a través de los cambios realizado en los parámetros de capital humano e ingresos. Los beneficios acumulados del sistema son muy estables.

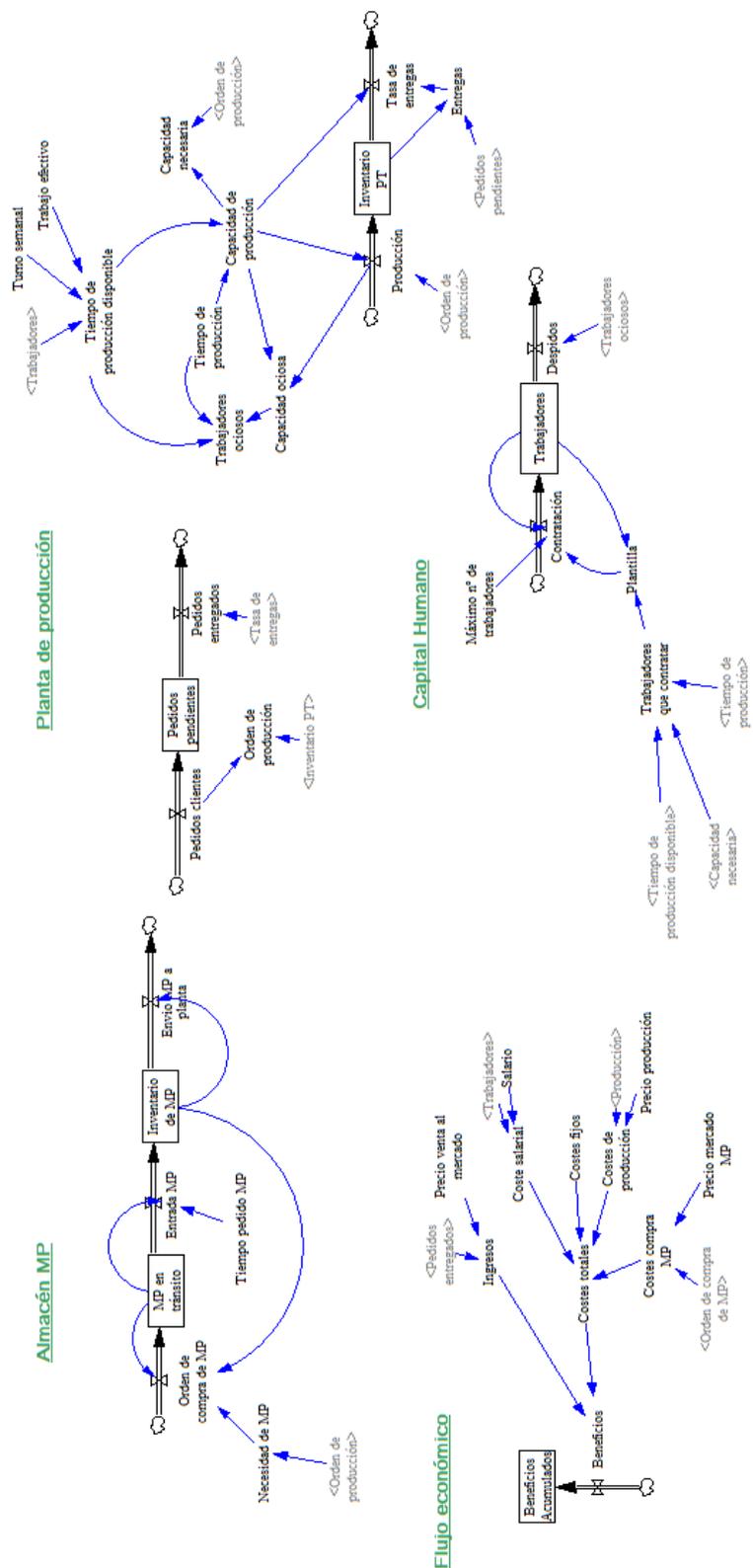
En conclusión, la modelización a través de la dinámica de sistemas es una ventaja competitiva en el ámbito de gestión empresarial. Con un equipo competitivo de trabajadores se puede realizar una gran simulación de la industria manufacturera correspondiente y con cambios pequeños en un modelo de partida, observar hacia donde se mueve el sistema antes de implantarlo en el sistema real y sin invertir grandes cantidades.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Aracil, J. (1995), Dinámica de Sistemas. Edición publicada por ISDEFE, Madrid.
- [2] Forrester, J. (1981), Dinámica Industrial. Editorial Ateneo, Buenos Aires.
- [3] Aracil, J. y Gordillo, F. (1997), Dinámica de Sistemas. PDF. Disponible online en: <http://tiesmexico.cals.cornell.edu/courses/shortcourse5/minisite/pdf/Literatura/Aracil%20Gordillo%20DS.pdf>
- [4] Real Academia Española [ RAE] (2017), Definición. Edición Tricentenario. Disponible online en: <http://www.rae.es>
- [5] Martín García, J., Dinámica de Sistemas. Disponible online en: <http://www.dinamica-de-sistemas.com/>
- [6] Ventana Systems, (2018), Manual de usuario de Vensim. Disponible online en: <http://www.vensim.com/documentation/>
- [7] Instituto nacional de estadística. (2018) Disponible online en: <https://www.ine.es/>
- [8] Ballou, Ronald H. (2004) Logística: Administración de la cadena de suministro. Pearson Education, Méjico.
- [9] Ortiz A., Poler, R. y Sanchis, R. (2009), Técnicas para el modelado de procesos de negocio en cadenas de suministro, Información Tecnológica, vol. 20 pp. 29-40.
- [10] Martín García, J. (2018), Teoría y ejercicios prácticos de la Dinámica de Distemas. Zaragoza.
- [12] Ferrín Gutiérrez, A. (2005), Gestión de stock en la logística de almacenes. Fundación Confemetal, Madrid.
- [13] López Díaz-Delgado, E. y Martínez Vicente, S. (2000), Iniciación a la Simulación Dinámica, Editorial Ariel, Barcelona.
- [14] Departamento de Gestión de la Riqueza de la Universidad Hsing Wu, Taiwán (2015), Application of a system dynamics model to improve the performance of make-to-order production. South African Journal of Industrial Engineering. Vol. 26, nº 2.
- [15] Forrester, J. y Senge, P. (1980), Test for building confidence in system Dynamic models. TIMS Studies in Magnament Sciences, nº14 pp.209-228.

## 9 ANEXOS

### 9.1 ANEXO I –DIAGRAMA COMPLETO DEL MODELO



## 9.2 ANEXO II – ECUACIONES DE LA CADENA DE SUMINISTRO

(01) Beneficios=

Ingresos-Costes totales

Units: euros/semana

(02) Beneficios Acumulados=

INTEG (Beneficios,0)

Units: euros

(03) Capacidad de producción=

Tiempo de producción disponible/Tiempo de producción

Units: Unidades/semana

(04) Capacidad necesaria=

IF THEN ELSE(Orden de producción>Capacidad de producción, Orden de producción-Capacidad de producción , 0 )

Units: Unidades/semana

(05) Capacidad ociosa=

IF THEN ELSE(Producción<Capacidad de producción, Capacidad de producción-Producción, 0)

Units: Unidades/semana

(06) Contratación=

IF THEN ELSE((Plantilla+Trabajadores)<Máximo nº de trabajadores, Plantilla

,Máximo nº de trabajadores-Trabajadores)

Units: Trabajadores/semana

(07) Coste salarial=

Trabajadores\*Salario

Units: euros

(08) Costes compra MP=

Orden de compra de MP\*Precio mercado MP

Units: euros/semana

(09) Costes de producción=

Producción\*Precio producción

Units: euros

(10) Costes fijos=

1000

Units: euros/semana

(11) Costes totales=

Costes fijos+Costes de producción+Costes compra MP+Coste salarial

Units: euros/semana

(12) Despidos=

IF THEN ELSE(Trabajadores ociosos=0, 0 , Trabajadores ociosos)

Units: Trabajadores/semana

(13) Entrada MP=

MAX(MP en tránsito/Tiempo pedido MP,0)

Units: Unidades

(14) Entregas=

IF THEN ELSE(Pedidos pendientes<Inventario PT, Pedidos pendientes,  
Inventario PT

)

Units: Unidades/semana

(15) Envio MP a planta=

Inventario de MP

Units: Unidades/semana

(16) FINAL TIME = 50

Units: Week

The final time for the simulation.

(17) Ingresos=

Pedidos entregados\*Precio venta al mercado

Units: euros/semana

(18) INITIAL TIME = 0

Units: Week

The initial time for the simulation.

- (19) Inventario de MP=  
INTEG (Entrada MP-Envío MP a planta,8)  
Units: Unidades
- (20) Inventario PT= INTEG (  
Producción-Tasa de entregas,20)  
Units: Unidades
- (21) Máximo nº de trabajadores=  
35  
Units: Trabajadores
- (22) MP en tránsito=  
INTEG (Orden de compra de MP-Entrada MP,15)  
Units: Unidades
- (23) Necesidad de MP=  
IF THEN ELSE(Orden de producción=0, 0 ,Orden de producción\*1.2)  
Units: Unidades/semana
- (24) Orden de compra de MP=  
MAX( IF THEN ELSE((Inventario de MP+MP en tránsito)<Necesidad de MP, Necesidad de MP-(Inventario de MP+MP en tránsito) , 0 ),0)  
Units: Unidades/semana
- (25) Orden de producción=

IF THEN ELSE(Pedidos clientes>Inventario PT, Pedidos clientes-  
Inventario PT, 10 )

Units: Unidades

(26) Pedidos clientes=

RANDOM NORMAL( 50,150, 100, 5 ,10 )

Units: Unidades/semana

(27) Pedidos entregados=

Tasa de entregas

Units: Unidades/semana

(28) Pedidos pendientes= INTEG (

Pedidos clientes-Pedidos entregados,

0)

Units: Unidades

(29) Plantilla=

IF THEN ELSE(Trabajadores<Trabajadores necesarios, Trabajadores  
necesarios-Trabajadores, 0)

Units: Trabajadores

(30) Precio mercado MP=

5

Units: euros/unidad

(31) Precio producción=

15

Units: euros/unidad

(32) Precio venta al mercado=

120

Units: euros/unidad

(33) Producción=

MIN(Orden de producción,Capacidad de producción)

Units: Unidades/semana

(34) Salario=

250

Units: euros/Trabajador

Salario de trabajador semanal

(35) SAVEPER =

TIME STEP

Units: Week [0,?]

The frequency with which output is stored.

(36) Tasa de entregas=

Entregas

Units: Unidades/semana

(37) Tiempo de producción=

25

Units: min/unidad

Constante (Tiempo necesario para crear una única prenda)

(38) Tiempo de producción disponible=

Trabajadores\*Turno semanal\*Trabajo efectivo

Units: min/semana

Tiempo disponible de trabajo

(39) Tiempo pedido MP=

0.5

Units: semana

(40) TIME STEP = 1

Units: Week [0,?]

The time step for the simulation.

(41) Trabajadores=

INTEG (Contratación-Despidos,25)

Units: Trabajadores/semana

(42) Trabajadores necesarios=

((Capacidad necesaria\*Tiempo de producción)/Tiempo de producción disponible)

Units: Trabajadores

(43) Trabajadores ociosos=

(Capacidad ociosa\*Tiempo de producción)/Tiempo de producción disponible

Units: Trabajadores

(44) Trabajo efectivo=

480

Units: min/día

Minutos efectivos de una persona trabajando

(45) Turno semanal=

5

Units: día/semana

Días que se trabajan a la semana

## 10 ÍNDICE DE FIGURAS, GRÁFICOS Y TABLAS

### 10.1 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Logotipo de Vensim. ....	5
Figura 2: Diagrama explicativo de la dinámica de sistemas. ....	7
Figura 3. Grafo representativo de un sistema. ....	9
Figura 4. Diagrama causal de llenado de agua. ....	10
Figura 5. Diagrama Causal en Vensim.....	10
Figura 6. Bucle de realimentación positiva .....	11
Figura 7. Símil hidrodinámico.....	13
Figura 8. Diagrama Causal de Inventario.....	16
Figura 9. Diagrama de Forrester de Inventario.....	16
Figura 10. Área de trabajo Vensim.....	18
Figura 11. Barra de herramientas Vensim.....	19
Figura 12. Herramientas de análisis en Vensim .....	20
Figura 13. Ajustes del modelo. ....	21
Figura 14. Insertar ecuaciones en la simulación.....	22
Figura 15. Esquema de Red Logística. ....	24
Figura 16. Canales de distribución.....	25
Figura 17. Estructura empresa de caso genérico. ....	27
Figura 18. Diagrama de flujo caso general.....	28
Figura 19. Flujo físico.....	29
Figura 20. Flujo de información.....	29
Figura 21. Flujo económico.....	30
Figura 22. Bucle 1: Bucle interno de compras.....	31
Figura 23. Bucle 2: Bucle de producción. ....	31
Figura 24. Bucle 3: Bucle de flujo económico.....	32
Figura 25. Bucle 4: Bucle de ventas.....	32
Figura 26. Diagrama en Vensim de caso genérico.....	37
Figura 27. Mercado de alcance.....	38
Figura 28. Cadena de abastecimiento.....	39
Figura 29. Distribución del producto.....	41
Figura 30. Diagrama de flujo de venta .....	43
Figura 31. Diagrama de flujo de pago. ....	45
Figura 32. Diagrama de flujo de devoluciones .....	47
Figura 33. Diagrama de flujo de abastecimiento .....	49

Figura 34. Diagrama de flujo de producción.....	51
Figura 35. Diagrama de flujo de proceso de distribución.....	53
Figura 36. Diagrama del sistema de almacén de materia prima.....	56
Figura 37. Diagrama sistema de producción.....	58
Figura 38. Diagrama capital humano.....	59
Figura 39. Diagrama sistema económico.....	61
Figura 40. Bucle de compras.....	62
Figura 41. Bucle de pedidos de materia prima.....	62
Figura 42. Bucle de pedidos.....	63
Figura 43. Bucle de contratos.....	63
Figura 44. Bucle despídos.....	64
Figura 45. Bucle de producción.....	65
Figura 46. Comparación planta de producción alteración de parámetros.....	72
Figura 47. Comparación en almacén de materia prima de alteración de parámetros.....	73
Figura 48. Comparación en almacén de beneficios con alteración de parámetros.....	74

## 10.2 ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Comportamiento de realimentación positiva.....	11
Gráfico 2. Comportamiento realimentación negativa.....	12
Gráfico 3. Simulación de retraso.....	15
Gráfico 4. Simulación Inventario.....	17
Gráfico 5. Resultado primera simulación: Inventario Producto Terminado.....	69
Gráfico 6. Resultado primera simulación: Tasa de Entregas.....	69
Gráfico 7. Resultado primera simulación: Producción.....	69
Gráfico 8. Resultado primera simulación: Orden de producción.....	70
Gráfico 9. Primera simulación: Beneficios.....	71
Gráfico 10. Comparativa de almacén con cambio de parámetros.....	74
Gráfico 11. Comparativa Ingresos en los dos escenarios.....	75
Gráfico 12. Comparativa costes totales en los dos escenarios.....	76
Gráfico 13. Comparativa Beneficios en los dos escenarios.....	76

## 10.3 ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Simbología de los Diagramas de Forrester.....	14
Tabla 2. Actividades pedido online.....	41

---

Tabla 3. Actividades de venta a comercios .....	42
Tabla 4. Actividades de pago online.....	44
Tabla 5. Actividades de pago en comercio.....	44
Tabla 6. Actividades de devoluciones .....	46
Tabla 7. Actividades de abastecimiento. ....	48
Tabla 8. Actividades de producción.....	50
Tabla 9. Actividades de distribución. ....	52
Tabla 10. Variables del sistema de materias primas. ....	55
Tabla 11. Variables del sistema de producción. ....	58
Tabla 12. Variables de capital humano. ....	59
Tabla 13. Variables de capital económico. ....	61

## 10.4 ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Símil hidrodinámico .....	13
Ecuación 2. Ejemplo Inventarios .....	16
Ecuación 3. Orden de compra de materia prima .....	54
Ecuación 4. Necesidad de materia prima .....	55
Ecuación 5. Entrada materia prima. ....	55
Ecuación 6. Producción .....	56
Ecuación 7. Capacidad ociosa .....	56
Ecuación 8. Capacidad necesaria .....	57
Ecuación 9. Contratación. ....	60
Ecuación 10. Plantilla.....	60
Ecuación 11. Ingresos.....	60
Ecuación 12. Costes totales.....	60
Ecuación 13. Pedidos clientes .....	70

