

Modelización de una cadena de abastecimiento (supply chain) para el sector textil-confección en el entorno colombiano

SERGIO RAMÍREZ ECHEVERRI

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE MINAS

ESCUELA DE SISTEMAS

MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS

MEDELLÍN

2010

Modelización de una cadena de abastecimiento (supply chain) para el sector textil-confección en el entorno colombiano

SERGIO RAMÍREZ ECHEVERRI

Tesis presentada para optar al título de Magíster en Ingeniería de Sistemas

Directora

Prof. Gloria Elena Peña Ph. D.

Codirector

Prof. Martin Darío Arango Ph. D.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE MINAS

ESCUELA DE SISTEMAS

MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS

MEDELLÍN

2010

NOTA DE ACEPTACIÓN

Medellín, 02 de junio de 2010

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis agradecimientos a la directora Gloria Elena Peña y al codirector Martin Darío Arango, profesores de la Escuela de Ingeniería de la Organización , por su ayuda, respaldo y orientación en la realización de esta tesis de maestría.

A Mauricio Pineda por su aporte en el desarrollo del modelo y a la empresa Creaciones Nadar S.A., Ltda., por la información suministrada para la ejecución.

A quienes de manera directa e indirecta aportaron conocimiento, tiempo y dedicación al desarrollo de esta tesis.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
2 LAS CADENAS DE SUMINISTROS, DINAMICA DE SISTEMAS Y CURVA DE APRENDIZAJE.....	19
2.1 CADENA DE SUMINISTRO.....	19
2.2 LA CADENA DE SUMINISTROS Y LA DINÁMICA DE SISTEMAS	19
2.3 LA CURVA DE APRENDIZAJE.....	26
2.4 LA CADENA DE SUMINISTROS Y EL SECTOR TEXTIL CONFECCIÓN	27
3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS.	35
3.1 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	37
3.1.1 Marco de referencia	37
3.1.2 Ubicación	37
3.2 JUSTIFICACIÓN.....	38
3.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	38
4 PASOS PARA LA MODELACIÓN	39
5 DESARROLLO DEL MODELO.....	41
5.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	41
5.2 RESULTADOS DE LA ENCUESTA.....	46
5.3 DIAGRAMA CAUSAL	47
6 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	49
6.1 FLUJO DE MATERIALES	49
6.2 FLUJO DE INFORMACIÓN	49
6.3 SUBSISTEMAS	49
6.3.1 Subsistema de la tienda	50
6.3.2 Subsistema del CEDI.....	59
6.3.3 Subsistema la Planta Propia.....	62
6.3.4 Subsistemas de curva de experiencia, contratación y despido de los operarios	67
6.3.5 Subsistema de la Plantas Satélites	73
6.3.6 Subsistema de Materias Primas	75
6.3.7 Subsistema de Indicadores y Costos	77
6.3.8 Subsistema de Control	80
7 INTERFACE DEL MODELO.....	81
8 VALIDACIÓN DEL MODELO.....	84
8.1 ENSAYOS BAJO CONDICIONES EXTREMAS	84
8.1.1 Simulación con un operario	84
8.1.2 Simulación sin casi demanda	85
8.2 VALIDACIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	87
9 EVALUACIÓN DE RESULTADOS	88
9.1 SIMULACIÓN INICIAL	88

9.2	SIMULACIÓN PROGRESIVA.....	91
9.2.1	<i>Número de operarios máximos en la planta interna. Escenario 1.2.....</i>	91
9.2.2	<i>Inventario deseado de las tiendas, Escenario 1.3.....</i>	93
9.2.3	<i>Tamaño promedio de lote a fabricar. Escenario 1.4.....</i>	94
9.2.4	<i>Semanas de experiencia en la contratación. Escenario 1.5.....</i>	95
9.3	SIMULACIÓN BAJO DIFERENTES PARÁMETROS.....	96
9.3.1	<i>Menores valores .Escenario 2.1.....</i>	97
9.3.2	<i>Mayores valores. Escenario 2.2.....</i>	99
9.3.3	<i>Mejores resultados intermedios. Escenario 2.3.....</i>	101
10	CONCLUSIONES	104
11	RECOMENDACIONES.....	107
13	BIBLIOGRAFÍA	108
14	ANEXO A	112
15	ANEXO B	138

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cadena de abastecimiento de la industria de la moda.	28
Figura 2. Secuencia del proceso de confección.....	28
Figura 3. Cadena de Abastecimiento del sector confección en la etapa final	29
Figura 4. Pasos para la modelación.....	39
Figura 5. Organigrama de la empresa Creaciones Nadar S.A.....	43
Figura 6. Esquema macroproceso de operaciones.....	44
Figura 7. Proceso de empuje/tirón de la cadena de suministros de la empresa Creaciones Nadar S.A.....	45
Figura 8. Diagrama Causal de Creaciones Nadar S.A.....	48
Figura 9. Macromodelo de la Cadena de Abastecimiento de la Empresa Creaciones Nadar S.A.,.....	50
Figura 10. Diagrama de la tienda.....	53
Figura 11. Resultados de ajuste utilizando el software fit de Promodel.....	55
Figura 12. Diagrama del Subsistema del <i>CEDI</i>	60
Figura 13. Diagrama del Subsistema Planta Propia	64
Figura 14. Diagrama de curva de experiencia, contratación y despido de operarios.	70
Figura 15. Diagrama del Subsistema Plantas Satélites.	74
Figura 16. Diagrama de subsistemas de materias primas	76
Figura 17. Diagrama del Subsistema Indicadores y Costos	80
Figura 18. Menú principal	82
Figura 19. Ventana de Parámetros.	83
Figura 20. Ventana de resultados según los diferentes parámetros utilizados.	83

Figura 21 Capacidad, Fabricación y Orden Producción, con un operario.....	85
Figura 22. Capacidad, Fabricación Interna y Orden Producción con demanda de una unidad en la línea y otra unidad en la moda.....	86
Figura 23. Pendientes de producción con demanda de una unidad tanto para la línea, como la moda.	86
Figura 24. Orden de producción interna y satélite con la demanda agregada, Escenario 1.1	89
Figura 25. Demanda agregada, ventas e inventario en las tiendas del escenario 1.1.	90
Figura 26. Experiencia promedio. Escenario 1.1	90
Figura 27. Tiempo de fabricación. Escenario 1.2.....	92
Figura 28 Nivel de servicio del escenario 1.3.....	94
Figura 29. Tiempo de fabricación del escenario 1.4.	95
Figura 30. Tiempo de fabricación con cambio de la experiencia promedio del escenario 1.5.....	96
Figura 31. Ventas tienda y ventas perdidas del escenario 2.1.....	97
Figura 32. Orden de producción interna, ordenes de las plantas satélites y demanda agregada del escenario 2.1	98
Figura 33. Operarios, experiencia promedio y tiempo de fabricación del escenario 2.1	98
Figura 34. Resultados del escenario 2.1.....	99
Figura 35. Ventas tienda y ventas perdidas del escenario 2.2.....	99
Figura 36. Orden de producción la planta interna, y las plantas satélites, y demanda agregada del escenario 2.2	100
Figura 37. Operarios, experiencia promedio y tiempo de fabricación del escenario 2.2	100
Figura 38. Resultados del escenario 2.2.....	100
Figura 39. Ventas tienda y ventas perdidas del escenario 2.3.....	101

Figura 40. Orden de producción planta interna y plantas satélites, y demanda agregada del escenario 2.3..... 102

Figura 41. Operarios, experiencia promedio y tiempo de fabricación del escenario 2.3 102

Figura 42. Resultados del escenario 2.3..... 103

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Indicadores logísticos para el desempeño de la cadena de abastecimiento.	22
Tabla 2. Indicadores logísticos Hewlett Packard.....	23
Tabla 3. Principales Exportadores - Estudio Platinum Textiles y Confecciones	30
Tabla 4. Resumen de sectorial textil del Estudio Platinum	31
Tabla 5. Resumen de la calificación del Estudio Platinum.....	32
Tabla 6. Empresas de mejor desempeño Platium	32
Tabla 7. Categoría de los productos de confección	34
Tabla 8. Código de variables del subsistema de las tiendas.	50
Tabla 9. Datos históricos de demanda de prendas de línea mensual.....	54
Tabla 10. Patrón de demanda.....	56
Tabla 11. Código de variables del <i>CEDI</i>	60
Tabla 12. Código de variables de la planta propia.	62
Tabla 13 Código de variables. Curva de aprendizaje, contratación y despido de los operarios	67
Tabla 14. Variable de las plantas satélites.....	73
Tabla 15. Variables de materias primas.....	75
Tabla 16. Variables del subsistema de indicadores y costos.	79
Tabla 17. Parámetros para simulación del escenario 1.1.	88
Tabla 18. Resultados del escenario 1.1.....	91
Tabla 19. Del escenario 1.2 e identificación de las líneas de la Figura 27.....	91
Tabla 20 Resultados de los ingresos, costos y servicio al cliente del modelo con máximo 30, 50, 70 y 90 operarios del escenario 1.2.	93
Tabla 21. Parámetros del escenario 1.3 e identificación de las líneas de la Figura 28.	93

Tabla 22. Parámetros del escenario 1.4 e identificación de las líneas de la Figura 29	94
Tabla 23. Parámetros del escenario 1.2 e identificación de las líneas de la Figura 30.	95
Tabla 24. Parámetros del escenario 2.1.	96
Tabla 25. Parámetros del escenario 2.2.	97
Tabla 26. Parámetros del escenario 2.3.	97

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Demanda de productos de línea	54
Ecuación 2. Despachos Esperados.	56
Ecuación 3. Ventas de las tiendas	57
Ecuación 4. Ventas Perdidas	57
Ecuación 5. Orden Tienda	58
Ecuación 6. Demanda Esperada	58
Ecuación 7. Pendiente Tienda	58
Ecuación 8. Salida de la Orden Pendientes.....	58
Ecuación 9. Ventas Outlet	59
Ecuación 10. Unidades Outlet.....	59
Ecuación 11. Total Outlet.....	59
Ecuación 12. Órdenes de Despacho	61
Ecuación 13. Despachos	61
Ecuación 14. Inventario del <i>CEDI</i>	61
Ecuación 15. Minutos disponibles por semana.	64
Ecuación 16. Capacidad Interna	65
Ecuación 17. Orden de Producción	65
Ecuación 18. Orden de Producción Interna.	65
Ecuación 19. Unidades en Proceso de la Planta propia.	65
Ecuación 20. Capacidad ociosa.....	66
Ecuación 21. Trabajadores ociosos	66

Ecuación 22. Capacidad Faltante	66
Ecuación 23. Trabajadores Contratados.....	66
Ecuación 24. Experiencia promedio.....	70
Ecuación 25. Incremento en la experiencia contratada	70
Ecuación 26. Pérdida de la experiencia contratada.....	71
Ecuación 27. Incremento en la experiencia de trabajo.	71
Ecuación 28. Tasa de decaimiento de la experiencia.....	71
Ecuación 29. Tiempo de fabricación.....	72
Ecuación 30. Exponencial de curva de aprendizaje.....	72
Ecuación 31. Producción de las plantas Satélite.	74
Ecuación 32. Unidades en proceso de las plantas satélites.	74
Ecuación 33. Demanda esperada de tela	76
Ecuación 34. Orden	76
Ecuación 35. Consumo de tela en la planta propia.....	77
Ecuación 36. Consumo de la tela en la planta satélite.....	77
Ecuación 37. Total de Ingresos.....	77
Ecuación 38. Costo de la mano de obra directa.	77
Ecuación 39. Costos Fijos	78
Ecuación 40. Costos Planta Satélite.....	78

RESUMEN

Las cadenas de abastecimiento en el mundo de la confección se caracterizan por reducir los períodos de desarrollo de los productos, tener una respuesta más rápida ante el mercado, y manejar los tiempos de reaprovisionamiento exigidos por las tendencias de la moda, lo cual hace que la cadena de suministros sea más difícil y compleja.

En este proyecto de tesis se hace un modelo de simulación de la cadena de abastecimiento de la empresa Creaciones Nadar S.A, en la ciudad de Medellín, la cual se dedica a la confección, distribución y comercialización de los productos de la marca *Speedo*® en todo el país y para el exterior. Para la modelación de la cadena se utiliza información escrita en artículos científicos y en revistas, y entrevistas y encuesta con expertos en la cadena textil confección. Con la información obtenida se hace un modelo de la cadena de suministro, con dinámica de sistemas, y con la utilización del software *Ithink*® como herramienta de simulación.

La cadena de abastecimiento de la empresa comienza en la adquisición de materias primas y termina en los almacenes de venta al público. El modelo se compone de los siguientes eslabones: abastecimiento de las materias primas, planta propia, plantas satélites, centro de distribución integrado (*CEDI*), tiendas, clientes y la demanda de productos.

El modelo involucra las variables: demandas, órdenes, unidades producidas en la planta propia y las plantas satélite, curva de experiencia, , capacidad, despachos y ventas.

Se evalúa el comportamiento del modelo mediante pruebas que incluyen análisis de sensibilidad, ajuste histórico de los datos, revisión de las ecuaciones, ensayos bajo condiciones extremas y realimentación, entre otras, además de contar con la participación de expertos.

Por último, se analizan diferentes escenarios, buscando políticas y parámetros que permitan entender mejor la cadena de abastecimientos; se analizan los resultados obtenidos y se presentan las conclusiones respectivas.

PALABRAS CLAVES

Cadena de Abastecimiento, Planeación, Proceso de Confección, Dinámica de sistemas, Modelación.

TITULO: Modelización de una cadena de abastecimiento (supply chain) para el sector textil-confección en el entorno colombiano.

AUTOR: RAMÍREZ ECHEVERRI, Sergio

DIRECTOR: PEÑA ZAPATA, Gloria Elena; Ph. D

CODIRECTOR: ARANGO SERNA, Martin Darío; Ph. D

Tesis de Maestría
Maestría en Ingeniería de Sistemas
Facultad de Minas
Universidad Nacional de Colombia
Sede Medellín
2008

PALABRAS CLAVES: Cadena de Abastecimiento, Planeación, Proceso de Confección, Dinámica de sistemas, Modelación.

DESCRIPCIÓN: Este trabajo modela la cadena de abastecimiento de la empresa Creaciones Nadar S.A, en la ciudad de Medellín y se utiliza la dinámica de sistemas. La empresa se dedica a la confección, distribución y comercialización de los productos de la marca *Speedo*® en todo el país y para el exterior. Se realizan entrevistas y encuesta con expertos en la cadena textil confección. Con la información se hace un modelo de la cadena de suministro, con dinámica de sistemas, y con la utilización del software *lthink*® como herramienta de simulación. Se analizan diferentes escenarios, buscando políticas y parámetros que permitan entender mejor la cadena de abastecimientos; se analizan los resultados obtenidos y se presentan las conclusiones respectivas.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de la investigación operacional (Operation research-OR) y la ciencia de la administración (Management Science – MS) es mejorar la forma en la cual se toman las decisiones de las compañías, que por lo general está basada en la construcción y el uso del modelado de los sistemas. Algunas veces, el modelado del sistema representa las principales características de un conjunto existente de operaciones, y otras veces, trata de representar algo nuevo (Pidd, 2004)

La construcción y el uso de modelos para situaciones en las cuales predominan la innovación y las irregularidades, se pueden considerar de dos formas: Herramientas para tomar decisiones rutinarias y de herramientas para pensar. (Pidd, 2004)

Modelos que automatizan la rutina de la toma decisiones: son utilizados para reemplazar la toma de decisiones y las acciones humanas, como por ejemplo los sistemas del piloto automático de los aviones. (Pidd, 2004)

Modelos utilizados como herramientas para pensar: No reemplazan las acciones humanas, sino que las apoyan. La manera más simple de ver esto, es utilizar el poder de los computadores para hacer cálculos más precisos y mucho más rápidos que la mayoría de los humanos. Los modelos se pueden utilizar cuando las personas necesitan planear cambios en sistemas existentes o cuando desean diseñar nuevos sistemas. Por ejemplo, cuando al ingeniero estructural se le pide que diseñe un puente para un propósito particular, éste puede utilizar un sistema de modelos que tenga diseños genéricos de puentes o que tenga parámetros para una carga particular; utilizando esta herramienta el ingeniero puede comparar varias opciones rápidamente y sacar sus propias conclusiones sobre el mejor diseño a utilizar. (Pidd, 2004)

La dinámica de sistemas, según Pidd se encuentra clasificada como herramientas de modelación utilizadas para pensar.

La dinámica de sistemas se ha empleado para diferentes sectores industriales, como por ejemplo: electrónica, juguetes, alimentos, y en el sector servicios y de salud; con el fin de mejorar las decisiones en aspectos relacionados con demandas, órdenes, niveles de inventario, capacidad, etc.

Esta tesis hace un aporte a la literatura que se encuentra sobre cadenas de abastecimiento relacionada con la dinámica de sistemas, en el sector textil-confección. Se profundiza en este tema para el sector por medio del desarrollo de técnicas de planificación, que permitan aumentar los niveles de competitividad a través del uso de herramientas informáticas para la toma de decisiones y en consecuencia se mejoren los indicadores.

El modelo se construye para la cadena de abastecimiento o cadenas de suministro (que será utilizada indistintamente en esta tesis) de la empresa Creaciones Nadar S.A., que es objeto de estudio y comprende desde la adquisición de las materias primas hasta las tiendas. Para la construcción del modelo, se utilizan variables representativas, la estructura de la cadena de abastecimientos, realimentaciones y retardos.

Al realizar esta tesis se analiza el marco conceptual, que se observa en el segundo capítulo y se basa en la revisión de la literatura disponible sobre dinámica de sistemas aplicada a la administración de la cadena de abastecimiento, llenando un vacío en la literatura de la administración de cadena de abastecimiento relacionado con la dinámica de sistemas y el sector textil confección. También se exploran los efectos de ésta en relación con la planeación, en el sector textil confección.

La dinámica de sistemas sirve para modelar diferentes situaciones, con el fin de analizar, entre otros, los problemas que crean los sentimientos de las personas y las diferentes opiniones que se generan en situaciones complejas, porque a veces no es fácil poner de acuerdo a las personas y puede llevar a un debate caracterizado por la confusión y los malos entendidos. (Pidd, 2004)

La tesis está compuesta del capítulo dos que hace una revisión del estado del arte de las cadenas de abastecimiento (SCM) y la curva de aprendizaje en relación con la dinámica de sistemas. El capítulo tres hace la descripción del problema. El capítulo cuatro presenta los pasos para la realización de la modelación. El capítulo quinto presenta los aspectos más importantes a tener en cuenta para la realización del modelo de cadena de abastecimiento para el sector textil-confección, representado en la empresa Creaciones Nadar S.A. En el capítulo sexto se explica la modelación hecha en dinámica de sistemas de la empresa con sus diferentes variables. El capítulo séptimo se presenta la interfaz y la forma de navegar en el modelo. En el capítulo octavo se encuentra la validación del modelo y en el capítulo noveno se realiza el análisis de sensibilidad del modelo y se muestran diferentes escenarios de la empresa, relacionados con la cadena de abastecimiento. Al final se presentan las conclusiones del trabajo y algunas ideas para trabajos futuros. Finalmente se presentan la bibliografía y los anexos.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Modelizar la cadena de abastecimientos de un sector industrial en Colombia, soportado en un modelo de simulación con dinámica de Sistemas – Caso aplicado al sector textil confección.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir el comportamiento de las cadenas de abastecimiento en Colombia, en el sector textil-confección.
- Definir las variables más representativas de la cadena de abastecimiento.
- Modelizar la cadena de abastecimiento en el sector textil-confección.
- Validar el modelo propuesto en una empresa del sector textil confección.
- Evaluar los beneficios del modelo propuesto.
- Análizar la sensibilidad del modelo propuesto.
- Proponer escenarios para la cadena de abastecimiento que permitan un mejor entendimiento del sector textil confección.
- Evaluar los diferentes escenarios y los resultados.

2 LAS CADENAS DE SUMINISTROS, DINAMICA DE SISTEMAS Y CURVA DE APRENDIZAJE.

La realización de la tesis conjuga aspectos relacionados con la cadena de suministros y la curva de aprendizaje; la dinámica de sistemas y el sector textil confección. En las secciones siguientes se hace una descripción de la bibliografía más representativa encontrada para este proyecto.

2.1 CADENA DE SUMINISTRO

Las cadenas de suministros son una secuencia de procesos y flujos que tienen lugar dentro y fuera de la empresa y entre diferentes etapas que se combinan para satisfacer las necesidades de los clientes. Los enfoques para observar los procesos son de ciclo y de empuje/tirón (*push/pull*). En el enfoque de ciclos los procesos se dividen en serie de ciclos, cada uno se realiza entre dos etapas sucesivas de una cadena de suministros, como por ejemplo clientes y almacenes. El enfoque del proceso de empuje y tirón depende, de si los procesos son ejecutados en respuesta a un pedido del cliente o en anticipación a éste. Según sea la empresa, se utilizan diferentes combinaciones de enfoque en los procesos para la cadena de abastecimiento (Chopra & Meindl, 2008).

2.2 LA CADENA DE SUMINISTROS Y LA DINÁMICA DE SISTEMAS

A partir de los años 50 del siglo pasado se desarrolla la dinámica de sistemas y se han construido muchos modelos siguiendo los principios de esta disciplina, en áreas tan diversas como las ciencias sociales, económicas, ambientales, administrativas y biológicas.

A continuación, se hace una reseña de las investigaciones que han contribuido al desarrollo del *Supply Chain Management* (SCM, sigla en inglés) o Administración de la Cadena de Abastecimientos.

Con la aparición de los computadores digitales y la dinámica de sistemas el profesor Jay W. Forrester del *Massachusetts Institute of Technology*; publicó el libro *Industrial Dynamics*, en el año 1961 y luego se publica una versión de Dinámica Industrial en el año 71 (Forrester, 1971). Forrester es el primero en formalizar la dinámica de sistemas en problemas de la administración de la cadena de abastecimiento. En el libro "Dinámica Industrial", Forrester describe un modelo de un sistema de producción – distribución en términos de seis flujos que interaccionan entre sí: información, materiales, órdenes, dinero, fuerza laboral y equipos. El modelo se hace con una fábrica, una bodega, un distribuidor y un minorista. Basado en este modelo, Forrester investiga los temas relacionados con la cadena de abastecimientos, como por ejemplo los cambios en la demanda del cliente que generan oscilaciones en los inventarios de los diferentes actores y muestra la amplificación del fenómeno, desde el minorista hasta la fábrica y cuál

es el impacto de las tecnologías de información en los procesos administrativos. Especialmente se centra en el carácter de la realimentación de la información (Feedback) en el sistema industrial, y usa un modelo para el planeamiento de la organización en una forma perfeccionada y se refiere a las variaciones de las variables utilizadas, a través del tiempo, para analizar la estructura de la organización, la amplificación de las órdenes y las demoras (de decisiones y acciones); lo anterior, con el fin, tanto de mejorar la toma de decisiones relacionada con los aspectos estratégicos y tácticos, como para ayudar en la ejecución automática de un juicio de valor(Forrester, 1971).

Para demostrar el impacto en la cadena de abastecimientos, Sterman, en 1989 con el “Juego de la Cerveza” conduce un experimento para simular el manejo de la producción y distribución industrial, en el que se presentan varios actores, realimentaciones y retardos a lo largo de la línea de abastecimiento. En el juego se observa cómo el sistema exhibe tres comportamientos: oscilación, amplificación de las órdenes y retrasos en la cadena. Todo esto se debe a la poca percepción de realimentación, aunque en la vida real es importante tener en cuenta que los gerentes tienen acceso a más información de la que está disponible en el experimento. En el juego de la cerveza las oscilaciones se deben a que las reglas de decisión no tienen en cuenta los retrasos de materiales e información que hay entre el momento en que se pone la orden y cuando se reciben los materiales, además, explica el razonamiento utilizado por las personas para la toma de decisiones (Sterman, 1989).

Akkermans y Dellaert referencia a Hafeez, en 1996, en las modelaciones de la cadena de abastecimiento de una industria de acero; trabaja el diseño de dicha cadena con el objetivo de que se tengan los mínimos inventarios dentro de lo razonable. También describe la combinación de hombre y máquina como uno de los mayores problemas para el diseño de la logística. (Akkermans & Dellaert, 2005)

En 1997, Barlas y Aksogan, usan un estudio de caso en la industria de la confección para desarrollar un modelo de una cadena de abastecimiento de venta al detal, compuesta principalmente por un mayorista, un minorista y los clientes. El propósito de la simulación es desarrollar políticas de inventario que incrementan las utilidades del minorista, así como estudiar las implicaciones de la diversificación de estrategias. El modelo se realiza usando el software Stela¹ y utiliza datos de la compañía de ropa Levi's. En el artículo *Product diversifacation*

¹ Software comercial de la empresa hps

and quick response order strategies in supply chain management se describen las variables que son utilizadas para la modelación; algunas de ellas son: Inventarios, diversidad del producto, ventas perdidas, tiempo de ajuste del inventario y capacidad. (Barlas & Aksogan, 1997)

El libro *Life Cycle Management in Supply Chains: Identifying Innovations Through the Case of the VCR* de Higuchi & Troutt, referencian a Parlar & Weng de 1997, los cuales consideran la coordinación conjunta entre una firma manufacturera y los departamentos de suministro, con productos de ciclo de vida cortos. La demanda se modela con un supuesto de distribución probabilística para el modelo del vendedor de periódicos. Se analiza los casos de las decisiones conjuntas e independientes sobre la cantidad a producir y la utilización de materia prima a ser suministrada para manufacturar (Higuchi & Troutt, 2008)

También en 1997, Anderson, Fine y Parker estudiaron el tema de la amplificación de la demanda “aguas arriba” (es decir, en dirección de los clientes hacia la fábrica) de la cadena de abastecimiento. Ellos examinaron las implicaciones que tenía este fenómeno en los tiempos de entrega, inventarios, producción y recursos humanos (Angerhofer & Angelides, 2000)

El artículo *System Dynamics Modelling in Supply Chain Management: Research Review* de Angerhofer & Angelides, hace una breve reseña sobre la cadena de suministros y la dinámica de sistemas:

En 1999, Akkermans, Bogerd y Vos investigan los ciclos de realimentación de la administración de la cadena de abastecimiento internacional (o SCM internacional), y establecen los modelos causales de las metas y barreras que se encuentran en el camino hacia la SCM internacional efectiva (Angerhofer & Angelides, 2000)

En 1999, Towill se basa en el modelo de Forrester previamente mencionado para hacer el rediseño de una cadena de abastecimiento. Después de su estudio, propone la reingeniería de la cadena de abastecimiento mediante los tres siguientes elementos: reducir todos los lead times (de materiales, información y flujos de efectivo); eliminar los retardos en los puntos de decisión; y proveer con información del mercado a las personas que toman las decisiones “aguas arriba” de la cadena. (Angerhofer & Angelides, 2000)

En otro estudio realizado en 1999, Cakravastia y Diawati describen un modelo de dinámica de sistemas que permite localizar cuellos de botella potenciales y pronosticar el desempeño logístico de una industria en particular. Definen el desempeño logístico con tres indicadores: calidad del producto, costo, y tiempo de entrega. Tradicionalmente, el foco de atención se dirige a controlar el flujo de bienes físicos y de información; sin embargo,

estudios indican que descuidar el flujo financiero puede causar problemas aún mayores que los otros dos, y reducir el desempeño logístico. Se proponen que el modelo en dinámica de sistemas debe incorporar los tres flujos: físicos, de información y financieros. (Angerhofer & Angelides, 2000)

El artículo “*Lean leap logistics game* sobre simulación de la cadena de abastecimientos se refiere al juego de *Lean logistics*, en el cual los autores expresan que en el juego de la cerveza se han encontrado varias limitaciones: es un juego enfocado solamente a la distribución y no toma en cuenta la transformación del producto; no tiene suficientes etapas que simulen la cadena de abastecimientos y no se encuentran características particulares del proceso de producción como los tiempos de preparación, cambios de referencia, problemas de calidad, etc. Es un juego que cuenta con capacidad ilimitada mientras que en la práctica se ha encontrado que ésta es una de las mayores restricciones. En general, el juego de la cerveza se ha criticado porque no tiene en cuenta la capacidad de producción y por ser un modelo limitado de la cadena de abastecimiento. Por lo anterior, los autores modelaron la cadena de una manera más participativa, teniendo en cuenta todas las características reales consideradas en “*Lean leap logistics game*”. (Holweg & Bicheno, 2002)

En el artículo de Kleijnen y Smits sobre métricas de la medición en la administración de cadena de abastecimientos, evalúa el desempeño a través de cinco indicadores claves que se observan en la Tabla 1. (Kleijnen & Smits, 2003)

Tabla 1. Indicadores logísticos para el desempeño de la cadena de abastecimiento.

INDICADORES	SIGNIFICADO
Tasa de entrega (Fill Rate)	Porcentaje de órdenes entregadas a tiempo.
Tasa de entrega negociada (Confirmed fill rate)	Porcentaje de órdenes entregadas en fechas que se han negociado con el cliente, para entregar en fechas diferentes a las requeridas por el cliente.
Demora en la respuesta (Response delay)	Es la diferencia entre la fecha requerida y la fecha negociada, expresada en días laborales.
Inventarios (Rotación)	El total del producto en proceso (WIP) sobre el promedio de las ventas de meses anteriores, en el corto tiempo y se expresan en porcentaje.
Demora (Delay)	Entrega diaria requerida - entrega confirmada. Este indicador mide la magnitud de la demora.

Para Hewlett Packard lo más importante en cuanto al desempeño de la cadena de abastecimiento, es compartir los tres indicadores que se observan en la Tabla 2. (Kleijnen & Smits, 2003)

Tabla 2. Indicadores logísticos Hewlett Packard

INDICADORES	SIGNIFICADO
Tasa del entrega (Fill rate)	Porcentaje de la demanda que es cubierta con inventario.
Ventas/Rata del Inventario (Sales/Inventory Ratio)	Razón de retorno sobre el inventario.
Ventas (Sales)	

Los indicadores del desempeño de la cadena de abastecimiento son muy importantes y la mayoría de las empresas los poseen. Estos indicadores muchas veces tienen el mismo nombre como se observa en las tablas 1 y 2, pero pueden considerar diferentes elementos en su medición. (Stalk Jr, 1988)

En la Universidad de Sevilla se hizo un estudio, con un simulador, sobre el impacto del intercambio electrónico de datos para observar los efectos de la reducción del efecto látigo y los costos del inventario en la cadena de abastecimiento. El objetivo básico fue determinar qué tan efectivamente los estudiantes pueden utilizar la información sobre la demanda para reducir el alto nivel de trabajos atrasados y el ajuste de los costos de capacidad causados por el efecto látigo en la cadena de abastecimiento. Además, se observó que estos simuladores proveen a los usuarios con una opinión más clara de los efectos de cualquier mejora posible que se pueda llevar a cabo en la cadena de abastecimiento, ya que no solo pueden afectar el sistema en su totalidad, sino también en cada etapa de la cadena; ésto es especialmente importante si se consideran las opiniones de muchas de las empresas que se sienten obligadas a utilizar EDI sin tener claridad sobre las ventajas que se pueden derivar de su puesta en práctica. (Machuca & Barajas, 2004)

El artículo *A system dynamics modeling framework for the strategic supply chains management of food chains* (Georgiadis, Vlachos, & Iakovou, 2005) muestra una cadena de comida rápida en Grecia que cuenta con las siguientes parámetros del modelo realizado en dinámica de sistemas: un productor y un almacén central (CW), localizados en Thessaloniki, que surte directamente a 60 restaurantes en el norte de Grecia y un centro de distribución (DC) que está localizado en Atenas y surte 69 restaurantes en el sur y la costa de Grecia. Las características específicas del sistema son: Una tasa deseada de abastecimiento en los restaurantes del 100%, o sea que no existan faltantes ni agotados. Para lograr ésto, el inventario de seguridad en CW es considerado muy alto. La demanda de cada restaurante es generalmente alta y sigue una distribución normal. El DC y cada restaurante siguen una política de reabastecimiento del inventario (R, S, s). El parámetro R está determinado en un día y S y s para cada restaurante están establecidos usando técnicas clásicas de manejo de inventarios. El tiempo de entrega es aceptable en menos de 24 horas; Esto implica que el CW o el DC deben ajustar sus programas de envíos para satisfacer las órdenes en este tiempo; CW y DC cuentan con 2 flotas independientes de camiones; cuando el

número de camiones de la compañía es inadecuado se hace un leasing. En este caso no hay evidencia histórica de restricciones en el outsourcing de capacidad de los camiones. El objetivo de este estudio es determinar la capacidad del transporte en cuanto al número de camiones propios adecuado para minimizar el total del costo de transporte de la cadena (Georgiadis, Vlachos, & Iakovou, 2005)

En el año 2005, la revista *Systems Dynamics Review* (The System Dynamics Society, 2005) publicó una edición especial dedicada a las cadenas y redes de abastecimiento. En la publicación aparecen varios artículos, de los cuales, a continuación, se hace una breve reseña:

Akkermans y Dellaert, por ejemplo, realizan un estudio sobre las contribuciones de la dinámica de sistemas al SCM hasta el 2005. Encuentran que las suposiciones más comunes en las investigaciones de modelación de cadenas de abastecimiento incluyen la acumulación de la demanda, funciones de costos lineales, capacidad infinita, los lead times constantes y demanda constante. Además, llegan a la conclusión de que la meta común de estas investigaciones, por lo general, es la minimización de los costos de mantener inventario con la condición de conseguir un cierto nivel de servicio para el cliente, o reducir las variaciones (oscilaciones) del inventario. (Akkermans & Dellaert, 2005)

Goncalves, Hines y Sterman estudian el impacto de la demanda endógena en los sistemas de producción híbridos push-pull, para lo cual construyen un modelo de la cadena de abastecimientos de los semiconductores de Intel. Analizan qué tanto responde la demanda de los clientes a niveles de servicio variables por parte de la compañía, teniendo en cuenta dos efectos: el efecto de las ventas y el efecto de la producción. El primero, representa, en una realimentación negativa, cómo la escasez de producto hace que los clientes busquen otras fuentes de abastecimiento (competencia), haciendo que se reduzca la demanda y disminuye la escasez en Intel. El segundo efecto captura el impacto de los cambios en la demanda en las decisiones de producción del fabricante: menos demanda lleva a reducción de la producción (de la utilización de la capacidad) para evitar tener excesos de inventario. Al bajar la producción se tendrán bajos inventarios y bajos niveles de servicio al cliente por escasez de producto, lo que deprime aún más la demanda, en un ciclo de retroalimentación positiva. Es decir, que el efecto de la producción genera una reacción que refuerza aún más la perturbación original. También muestra cómo el sistema híbrido se puede convertir en un sistema push, si se agotan los inventarios de productos terminados. (Goncalves, Hines, & Sterman, 2005)

Anderson, Douglas y Lundeen, estudian el manejo de la capacidad en cadenas de abastecimiento de empresas de servicio y de manufactura hecha a la medida. En este tipo de cadenas no se tienen inventarios de

producto terminado, sino que los trabajos atrasados se van acumulando y únicamente se pueden manejar ajustando la capacidad. Para tratar este problema, desarrollan un modelo en dinámica de sistemas, en el que se concluye que la reducción del lead time en las empresas de servicio, si no se coordina con un ajuste de la capacidad, puede reducir los trabajos acumulados a corto plazo, pero se incrementan a largo plazo. (Anderson Jr., Morrice, & Lundeen, 2005)

Otro artículo que trata del acercamiento de la simulación continua para cadenas de abastecimiento, se enfoca principalmente en la industria automotriz, e incluye varios tipos de unidades de producción (mecánica, fundición, ensamble, etc.) y productos complejos compuestos por un gran número de sub-componentes. En la industria automotriz se producen miles de productos al día y la producción es administrada bajo una estrategia de justo a tiempo. Debido a la competencia que existe en este sector, es muy importante que los costos y los tiempos de entrega puedan ser reducidos y que las fechas se cumplan. Para conseguir los objetivos se utilizó una simulación continua que resalta la tendencia dinámica global del comportamiento del sistema con el fin de entender las reacciones de toda la red ante situaciones particulares (aumento o disminución de la demanda de ciertos productos, impacto de problemas técnicos, etc.), además de poder cuestionar las diferentes estrategias con el fin de aumentar la capacidad de producción de ciertas unidades de producción. Los estudios de simulación apuntan al análisis de problemas como la sobrecarga de las unidades de producción, el comportamiento del inventario y el efecto látigo. (Pierreval, Bruniaux, & Cau, 2007)

En la cadena de abastecimiento se presenta el Efecto Látigo y se investigó en el artículo de Seung-Kuk Paik, y Prabir K Bagchi (2007), en el cual se determinan las contribuciones más representativas de cada una de las causas del Efecto Látigo en la que se identifica cuáles de éstas causas tienen un impacto significativo en la cadena de abastecimiento y los aspectos considerados más relevantes. Son nueve las posibles causas que dan origen al Efecto Látigo presentes en los modelos de simulación, de los que existen seis factores estadísticamente significativos: actualización del pronóstico de la demanda, ordenamiento por lotes, demoras del material, demoras de información, demoras de compras y nivel de escalones o eslabones. De estos seis factores, los más significativos son la actualización del pronóstico de la demanda, el nivel de escalones o eslabones y las demoras de compras (la variación de los precios). (Paik & Bagchi, 2007)

En revistas nacionales se encuentran referenciados los siguientes artículos:

El artículo sobre “Mejora del Rendimiento Operativo y financiero de las Cadenas de Suministro mediante el uso de las herramientas de Colaboración basadas en Internet”, de la revista “Ciencia y tecnología”, propone una secuencia para mejorar el rendimiento de la cadena de abastecimiento mediante un aumento gradual de la colaboración o integración ofrecida por las tecnologías de la comunicación en la

cadena, ya que éstas satisfacen las necesidades de los clientes, aumentando la eficiencia de los inventarios y de los flujos de abastecimiento. El estudio también arroja que la integración brinda menores costos financieros y de operación a lo largo de la cadena de abastecimiento (Rubiano Ovalle, 2003).

En el artículo “Propuesta de Gestión de la Cadena de Suministro Centralizada”, se hace la comparación con la cadena de suministro en la revista “Ciencia y Tecnología” mediante el sistema de gestión CONWIP (Constant Work In Process), que es una generalización del sistema Kanban y evalúa el rendimiento de la estrategia de la cadena de abastecimiento. Bajo este criterio el autor determina mediante la simulación en dinámica de sistemas, que una cadena de abastecimiento que utilizan CONWIP ofrece mayores ventajas sobre las otra cadena de abastecimiento, cuando las cadenas de abastecimiento ofrecen niveles de servicio similares, hay un control más eficiente del inventario de producto en proceso y se hace menor cantidad media de pedidos, siendo menos vulnerable a la variabilidad en la demanda, y ofrece una mayor eficiencia porque tiene menores niveles medios de inventarios totales (Rubiano Ovalle, 2004)

Parra, Pérez y Torres, en 2005, en el artículo “Modelación y simulación computacional de un proceso productivo de una pequeña empresa usando dinámica de sistemas” en la revista “Ingeniería y Desarrollo”, desarrollan un modelo de simulación de la empresa FRAMECO S.A donde representan el comportamiento dinámico del proceso de plastificado de barras metálicas para carpetas y contribuyen de esta manera a experimentar diferentes escenarios, haciendo los análisis de sensibilidad para implementar políticas más productivas y de bajo costo para la empresa (Parra Masa, Pérez Rave, & Torres Franco, 2006).

2.3 LA CURVA DE APRENDIZAJE

La curva de aprendizaje se utiliza en una amplia gama de aplicaciones en el mundo empresarial. En la industria manufacturera se puede utilizar para calcular el tiempo del diseño y la fabricación de los productos en el tiempo, al igual que los costos. (Krajewski & Ritzman, 2000).

El aprendizaje individual es la mejora que resulta cuando las personas repiten un proceso y ganan destreza o eficiencia de su propia experiencia. El aprendizaje organizacional es, igualmente, el resultado de la práctica, pero también viene en los cambios en la administración, el equipo y el diseño de productos. (Krajewski & Ritzman, 2000).

La curva de aprendizaje se basa en tres supuestos, según Chase, Jacobs, & Aquilano (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2004):

- La cantidad de tiempo requerido para completar una tarea determinada o una unidad de producto es menor cada vez que se repite la tarea
- El tiempo unitario disminuirá a una tasa decreciente
- La reducción en el tiempo seguirá un patrón predecible.

Los precios de los productos son una parte endógena de la estructura del modelo al incorporar la curva de aprendizaje. Las curvas de experiencia o aprendizaje capturan la manera como los productores, distribuidores y otros actores en la cadena de valor, aprenden a producir a costos más bajos a medida que ganan experiencia. Por lo general, se asume que el costo caerá a medida que la experiencia acumulada del producto o servicio aumenta. En un escenario de manufactura, la acumulación de experiencia por lo general está relacionada con la acumulación de producción. En una industria de servicio, la experiencia acumulada podrá ser mejor representada como la función del número de transacciones acumuladas y dependerá de la población afiliada y el número de transacciones que cada afiliado genera por período de tiempo. Típicamente, el costo por unidad cae en un porcentaje fijo cada vez que se duplica la experiencia. La reducción de los costos están entre el 10% y 30% por la duplicación de experiencia acumulada y se ha documentado en un amplio rango de industrias. (Sterman J. D., 2000)

En el artículo *“Putting the learning curve in context”*, se hacen diferentes modelos de curvas de aprendizaje con dinámica de sistemas para analizar y estudiar el conocimiento o experiencia acumulada en el tiempo dedicado a hacer una actividad de interés. Los modelos tienen en cuenta el aprendizaje de una nueva habilidad y la repetición en el pasado. Los resultados al utilizar la nueva habilidad, muestran que la experiencia acumulada disminuye, cuando el aprendizaje de la nueva habilidad no cierra el ciclo, porque no se presenta una realimentación de la experiencia, debido a que no es de forma cíclica y constante, entonces existe la tendencia a un mayor olvido. El olvidar es un concepto establecido en la curva de aprendizaje en teoría, tanto en el plano individual, como en el nivel de organización. El modelo se basa en el olvido como una pérdida de la experiencia en una tasa de fracción constante, representando el fenómeno de olvidar, o la depreciación del conocimiento y es directamente proporcional a la experiencia. (Morrison, 2008)

2.4 LA CADENA DE SUMINISTROS Y EL SECTOR TEXTIL CONFECCIÓN

El sector textil confección consta de diferentes eslabones e interacciones en la cadena de abastecimiento, relacionados con las prendas de vestir. Para comprender la complejidad y el funcionamiento de la cadena de abastecimiento del sector textil confección, en la Figura 1 se muestran cuatro partes que la

componen, como son: producciones de fibra, fábricas de textil, confeccionistas de ropa y puntos de ventas y almacenes.

Figura 1. Cadena de abastecimiento de la industria de la moda.



Elaboración propia.

Al principio de la cadena se ubican los productores de fibra e hilos. Las fibras se caracterizan por ser de longitudes pequeñas y pueden ser: sintéticas (nylon, polyester y acrílico) o naturales (obtenidas de planta y animales). Los hilos se obtienen a partir de las fibras por medio de maquinaria especial. Al igual que en los demás sectores a lo largo de la cadena, esta industria es intensiva en mano de obra, conocimiento e inversiones de capital.

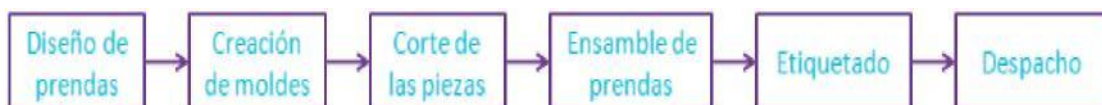
Posteriormente, en las fábricas textiles, los hilos se transforman en telas a través de procesos de:

Tejido: Trama y urdimbre con ayuda de un telar

No-tejido: involucra procesos de compresión y entrecruce de fibras por medio de procedimientos mecánicos, térmicos, químicos o con fluidos.

La industria de confección de ropa se subdivide a su vez en las etapas del proceso que se muestran en la Figura 2, como son diseño de prendas, la creación de patrones, el corte de piezas, el ensamble de prendas, etiquetado y el despacho.

Figura 2. Secuencia del proceso de confección



Fuente: Elaboración propia

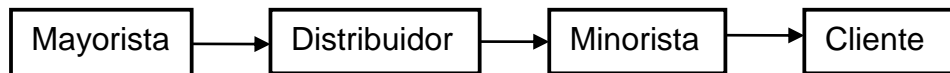
Por lo general, las compañías de ropa se especializan en una estrecha categoría de productos y de un solo género, porque según el tipo de prenda, los enfoques y los tratamientos son diferentes. Por ejemplo, no es lo mismo confeccionar vestidos de baño para hombres que para mujeres.

Es común también encontrar empresas contratistas o maquilas, las cuales se encargan del ensamble de prendas, pero las demás actividades se hacen *in-house*.

La parte final de la cadena de abastecimiento está conformada por mayorista, distribuidor, minorista y cliente (ver Figura 3). Para realizar la venta final a los clientes, se utilizan muchos canales como son: tiendas de especializadas, tiendas por departamentos, ventas masivas, cadenas de ropa, compañías de venta por catálogo y *outlets*.

No todas las empresas utilizan todos los canales de distribución, esto es de acuerdo con la estrategia que se defina.

Figura 3. Cadena de Abastecimiento del sector confección en la etapa final



Elaboración propia

Las actividades de la cadena de suministros van desde la producción de materia prima (fibras naturales, artificiales y sintéticas), la fabricación de hilos (hilatura), el tejido (plano y de punto), el teñido y acabado de telas, la confección de una gran variedad, semiacabados y acabados, hasta la entrega de prendas de vestir a los clientes. La cantidad de eslabones, los diferentes tipos de productos que manejan, las variables de demanda y el recurso humano hacen difíciles de administrar y tiene como consecuencia un alto grado de complejidad.

La industria de textiles y de confecciones en Colombia nació a principios del siglo XX en la ciudad de Medellín, con la creación de las fábricas Coltejer y Compañía Antioqueña de Hilados y Tejidos, que luego se llamó Fabricato. El sector textil-confección ha sido uno de los más importantes en Colombia. Es uno de los sectores que genera más valor, empleo y divisas para el país. Casi todas las etapas de la cadena de suministros registran producción nacional; en las etapas finales hay una participación relativamente alta de las exportaciones en el total de la producción nacional y se observa una tendencia reciente de añadir valor agregado a través de la industria de la moda. (Inexmoda)

En el año 2006, la revista La Nota Económica publicó un estudio completo de las 223 empresas más importantes (según sus ventas) de los sectores textil y confección. En dicho estudio, se incluye la información de carácter financiero de los años 2000 – 2004, al igual que datos de los directivos, productos, marcas y certificaciones de calidad. (Estudio Platinum: Textiles y Confecciones, 2006)

Entre las principales empresas exportadoras, se destacan C.I. Nicole, C.I. Cid, Manufacturas Eliot, C.I. Jeans, entre otras. En la Tabla 3 se muestran las 10 empresas con mayores exportaciones durante el año 2004 (Estudio Platinum: Textiles y Confecciones, 2006).

Tabla 3. Principales Exportadores - Estudio Platinum Textiles y Confecciones

PRINCIPALES EXPORTADORES (2004 – US\$ MILES)		
Rank.	Empresa	Ventas al exterior
1	C.I. Nicole	76.085
2	C.I. Cid	45.598
3	Manufacturas Eliot	42.666
4	C.I. Jeans	39.864
5	C.I. Expofaro	36.813
6	Fabricato	35.581
7	Confecciones Colombia	34.164
8	Cannon	32.820
9	Supertex	29.625
10	Vestimundo	28.901

Fuente: (Estudio Platinum: Textiles y Confecciones, 2006)

La situación general del sector se resume en la Tabla 4 y se observa que para cada uno de los subsectores (Confecciones, Textiles y Comercio de Confecciones y Textiles) las ventas entre el año 2000 y 2004 tuvieron un comportamiento en permanente aumento. Por su parte, los pasivos en relación con las ventas no tuvieron un buen comportamiento, pues se mantuvieron constantes o incluso aumentaron en ciertos años. Una situación preocupante se puede observar al analizar el comportamiento de la utilidad, operacional y neta sobre las ventas, si bien las ventas aumentan a lo largo de los últimos años, no sucede lo mismo con las utilidades, lo cual es síntoma de que las empresas están incurriendo en costos cada vez más elevados y/o están siendo improductivas. En cuanto a la variable exportaciones, se puede decir que hay señales positivas de crecimiento de éstas en los tres subsectores: confecciones, textiles y comercio de confecciones y textiles (Estudio Platinum: Textiles y Confecciones, 2006).

Además, el Estudio Platinum: Textiles y Confecciones, incluye un aspecto muy interesante que consiste en la calificación del desempeño financiero de cada una de las empresas, y se obtienen resultados bastante reveladores, como por ejemplo: la calificación promedio es de 2.97 sobre 5.0. Esto indica un desempeño regular de las empresas de estos sectores en el año 2004, que se ve reflejada en bajos márgenes de rentabilidad y altos endeudamientos. Los resultados generales de esta calificación se muestran en la Tabla 5. (Estudio Platinum: Textiles y Confecciones, 2006).

Tabla 4. Resumen de sectorial textil del Estudio Platinum

RESUMEN SECTORIAL (2000 – 2004)							
Sector	Año	Ventas (\$ millones)	Variación ventas (%)	Pasivo total / Ventas (%)	Utilidad operacional / Ventas (%)	Utilidad Neta / Ventas (%)	Exportaciones (US\$ miles)
Confecciones (203 empresas)	2004	3.599.688	13,8	47,0	3,9	1,0	613.132
	2003	3.164.550	23,9	46,9	5,1	2,1	464.458
	2002	2.554.982	6,6	47,7	5,4	2,4	355.836
	2001	2.396.609	13,1	41,0	5,9	2,5	347.321
	2000	2.119.475	-	40,7	6,3	3,4	348.204
Textiles (144 empresas)	2004	3.360.725	13,2	68,8	5,1	2,3	229.954
	2003	2.968.840	18,9	79,6	5,7	3,4	157.412
	2002	2.496.433	3,5	89,2	6,2	0,9	149.585
	2001	2.412.505	5,4	78,3	7,0	2,7	170.989
	2000	2.288.783	-	80,2	6,9	-0,4	165.809
Comercio Textiles y Confecciones (182 empresas)	2004	2.030.411	16,8	41,5	3,5	3,0	4.421
	2003	1.739.029	12,7	43,1	3,4	2,2	1.456
	2002	1.542.378	6,2	41,8	4,4	1,7	1.841
	2001	1.452.242	12,7	39,6	3,7	1,8	2.506
	2000	1.288.212	-	38,4	4,1	2,6	2.265
Consolidado Sectores (529 empresas)	2004	8.990.824	14,2	53,0	4,5	2,7	847.507
	2003	7.872.419	19,4	58,4	4,9	2,7	623.326
	2002	6.593.792	5,3	61,5	5,5	1,5	507.262
	2001	6.261.356	9,9	55,8	5,8	2,2	520.816
	2000	5.696.470	-	56,6	6,0	1,3	516.278

Fuente: (Estudio Platinum: Textiles y Confecciones, 2006)

En la Tabla 5 se observa que sólo dos empresas tienen un comportamiento Platinum. La gran mayoría, correspondiente a un 31.4%, tiene un desempeño apenas aceptable, mientras que un 25.1% tuvo un desempeño muy deficiente. (Estudio Platinum: Textiles y Confecciones, 2006)

Tabla 5. Resumen de la calificación del Estudio Platinum

RESULTADO DE LA CALIFICACIÓN			
Calificación	Nro. de Empresas	(%)	Desempeño
Entre 4.50 y 5.00	2	0.9	Platinum
Entre 4.00 y 4.50	13	5.8	Muy bueno
Entre 3.50 y 4.00	35	15.7	Bueno
Entre 3.00 y 3.50	70	31.4	Aceptable
Entre 2.50 y 3.00	47	21.1	Deficiente
Menor de 2.50	56	25.1	Muy deficiente
Total empresas	223	100.0	

Fuente: (Estudio Platinum: Textiles y Confecciones, 2006)

Las empresas de más altos desempeños se muestran en la Tabla 6:

Tabla 6. Empresas de mejor desempeño Platium

EMPRESAS DE DESEMPEÑO DESTACADO (Calificación entre 2.4 y 5.0)		
Rank.	Empresa	Calificación
1	Danny	4.75
1	Austin Reed	4.75
3	Coats Cadena	4.45
3	C.I. Francisco Rocha	4.45
5	C.I. Gumon	4.25
6	Induamercol	4.20
7	Supertex	4.15
7	Inducof	4.15
7	Agencias Conde	4.15
7	Diseños Exclusivos	4.15
11	Unifi Latin America	4.10
12	Hilanderas Bogotá	4.05
12	Dual	4.05
14	Lindalana	4.00
14	Farol	4.00

Fuente: (Estudio Platinum: Textiles y Confecciones, 2006)

La metodología para la calificación de este estudio tuvo en cuenta siete criterios de evaluación: dinamismo, rentabilidad, endeudamiento, liquidez, capitalización, rotación de inventarios y manejo de cartera. Los indicadores usados para medir cada uno de los anteriores criterios fueron los siguientes:

- Dinamismo:
 - Crecimiento en ventas, %
 - Participación sectorial, %
- Rentabilidad:
 - ROE = Utilidad finales / Patrimonio
 - Rentabilidad de ventas = Utilidad final / Ventas
 - Ebitda = Utilidad operacional + Depreciación + Amortizaciones
- Endeudamiento:
 - Pasivos totales / Ventas
 - Liquidez:
- Activos corrientes / Pasivos corrientes
 - Capitalización:
 - Patrimonio / Activos totales
 - Rotación de inventarios:
- Inventarios promedio / Costo de ventas
 - Manejo de cartera:
 - Cuentas por cobrar / Ventas

En la página de internet de la revista dinero del 2006 se encuentran datos de la dimensión y el tamaño del sector en Colombia y el aporte económico que ésta hace a la economía colombiana. El sector textil - confección representa el 9% del total de la producción industrial, de la cual el 30% se exporta. (Dinero.com, 2006)

Entre productores de fibras, hilanderos, tejedores, acabadores y fabricantes de artículos textiles, el país cuenta hoy con más de 5.330 empresas, de las cuales 4.000 son empresas pequeñas y medianas. Sumando las microempresas informales, se podría hablar de más de 10.000 fábricas. (Dinero.com, 2006)

El artículo *The U.S. fashion industry: Supply Chain Review* sobre cadenas de abastecimientos para la moda en U.S., explica la clasificación por categorías de algunos productos, ver la Tabla 7. (Alper, 2007)

En el artículo de Vaagen & Wallace sobre variedad de productos en la cadena de suministros de la moda, se formula un modelo con varias variables con el fin de proporcionar una ayuda a las personas que poseen conocimientos en el sector de la moda para obtener valioso apoyo a las estrategias de mezcla de prendas a producir y vender. Este modelo de decisión ayuda a mejorar el manejo de las diferentes referencias para crear un portafolio con bajos niveles de incertidumbre. Al modelar se tiene en cuenta una variedad de escenarios y el número de SKUs del portafolio. Las variables de entradas son: producción de SKUs, venta para el SKUs en el escenario, utilidad en el escenario, utilidad esperada sobre todos los escenarios, las desviaciones negativas de la utilidad esperada de los escenarios. Los escenarios arrojan los resultados de: demanda para el SKU en el escenario, probabilidad del escenario, precio de venta del SKU, costo de compra del SKU, valor de rescate del SKU, Costos de falta por no tener existencias, penalidad por

la pérdida de la utilidad por no satisfacer la demanda y límite inferior en el portafolio de la utilidad de media esperada. (Vaagen & Wallace, 2008)

Tabla 7. Categoría de los productos de confección

Tipo de producto	Tipo de consumidor	Características
Productos de moda	Línea femenina: Ropa para niñas y mujeres	<ul style="list-style-type: none"> • Ciclos de vida del producto de 10 semanas (Lanzan 4-5 colecciones al año) • Participación en el mercado de 35%. • Alta frecuencia en cambios de diseño. • Alta variedad • Tallas pequeñas • Lotes de producción pequeños • Requieren altos niveles de flexibilidad • Empresas pequeñas: 33 empleados promedio. • No se recomienda terceros para la parte de ensamble de prendas (contratistas/Maquilas)
Productos estacionales		<ul style="list-style-type: none"> • Ciclos de vida del producto de 20 semanas (Lanzan 2 colecciones al año) • Participación en el mercado de 45%.
Productos básicos	Línea masculina: ropa exterior e interior para niños y hombres.	<ul style="list-style-type: none"> • Ventas durante el año. • Participación en el mercado de 20%. • Baja variedad y cambios de diseño. • Tallas grandes • Empresas grandes: 71 empleados promedio. • Producción en lotes grandes, economía de escalas. • Prioridad en reducción de costos. • Se recomienda terceros la parte de ensamble de prendas (Contratistas/Maquilas)

Fuente: (Alper, 2007)

El panorama para el año 2009 según la página de internet de la revista dinero es “En opinión del empresario, el 2009 ofrece nuevas dificultades, motivo por el cual las fábricas deben ser muy prudentes en su manera de mantener la coherente correlación entre producción y ventas, es decir no generar inventarios que a la postre son los que generan los desórdenes en el mercado” (Núñez, 2008).

3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS.

Las cadenas de suministro del sector textil confección se pueden considerar sistemas complejos dado que poseen diferentes variables y se encuentran estrechamente relacionadas, como las ventas, la mezcla de prendas de vestir a producir los precios, los operarios, etc. La complejidad del sistema, no siempre se refiere al número de elementos en el sistema (a la que se llama complejidad combinatoria). La complejidad dinámica puede surgir de sistemas que incluso tengan una baja complejidad combinatoria (pocos elementos). La complejidad dinámica surge de las interacciones de los agentes en el tiempo. (Sterman J. D., 2000).

Una cadena de suministros puede ser el resultado de un sistema complejo debido a que posee diferentes actores que forman estructuras de realimentación y efectos de retardos en su comportamiento. La cadena de suministro del sector textil confección posee diferentes comportamientos dinámicos generados por cambios en los factores exógenos, como la demanda de prendas de vestir, las habilidades de los operarios al ser contratados, la experiencia adquirida en la empresa y los tiempos de aprovisionamiento de las materias primas, los cuales interactúan con las variables endógenas del sistema, y el flujo de los materiales, la información y realimentación.

El sistema de la cadena de suministro cambia en el tiempo y adopta diferentes estados en un momento, como consecuencia de las condiciones anteriores de las diferentes variables.

Según Sterman la complejidad dinámica surge en los sistemas porque estos son:

- Dinámicos: lo que aparentemente no cambia en el tiempo, generalmente cambia en el tiempo.
- Fuertemente entrelazados: los actores del sistema interactúan entre ellos y con el mundo, todo está conectado con todo lo demás.
- Gobernados por la realimentación: debido a los enlaces entre los diferentes actores, las acciones tienen una realimentación sobre ellas mismas. Las acciones alteran el resultado del mundo y lleva a que otros actúen, de lo que surge una nueva situación que influye en las próximas decisiones.
- No lineales: El efecto no es proporcional a la causa.
- Dependientes de la historia: muchas acciones son irreversibles, esto significa que tomar una vía u opción excluye tomar las otras y se determina el destino final.

- Auto-organización: La dinámica del sistema nace espontáneamente de su estructura interna.
- Adaptativos: las reglas de decisión de los agentes de los sistemas complejos cambian en el tiempo y la evolución lleva a la selección de que algunos agentes proliferan mientras que otros se extinguen.
- Contra intuitivos: En los sistemas complejos la causa y el efecto están separadas en tiempo y espacio. Se busca en las causas los efectos que intenta explicar y las políticas de alto apalancamiento muchas veces no son obvias.
- Resistentes a las políticas: Muchas soluciones aparentemente obvias a los problemas fallan o de hecho empeoran la situación.
- Caracterizados por *trade-offs*: la respuesta a largo plazo del sistema es muchas veces diferente de su respuesta a corto plazo. Los cambios en las políticas con alto apalancamiento en las decisiones muchas veces ocasionan comportamientos peores en el corto plazo para luego mejorar la situación, mientras que los cambios en las políticas con bajo apalancamiento muchas veces generan mejoras transitorias en el corto plazo, mientras que el problema se agudiza a largo plazo.

La cadena de suministro textil confección se puede considerar un sistema complejo, porque posee relaciones fuertemente entrelazados (Sterman J. D., 2000), como son los actores del sistema que corresponden a los proveedores, los operarios, los gerentes, los clientes y otros que interactúan entre si y están interrelacionados con el medio.

La cadena está gobernada por la realimentación, debido a los enlaces entre los diferentes actores y las acciones. Estas acciones cambian el resultado del sistema y llevan a que otros actúen y surge una nueva situación que influye en las próximas decisiones.

La cadena de suministros es dependiente de la historia y hace que muchas acciones sean irreversibles, se toma un camino y se excluye tomar otros caminos, esto determina el destino final.

En la cadena de suministros los *trade-offs* se reconocen en el costo, porque modela muchas de las actividades de la compañía y coloca las actividades logísticas en frecuente en conflicto, por ejemplo: entre el medio de transporte y el inventario (El efecto en la selección del medio de transporte hace que entre más lento sea el medio de transporte, los costos son menores, pero la cantidad de inventario debe ser mayor) y así un sin número de relaciones. Este conflicto se maneja balanceando las actividades para tratar de mantener un equilibrio. En

conclusión la cadena de suministro es un tiro al blanco en movimiento, en el cual se cambia una variable y pueden existir diferentes efectos.

Por lo anterior la cadena de suministros del sector textil confección presenta una complejidad dinámica que la hace especial para modelar con la utilización de la dinámica de sistemas, para conocer el comportamiento de ésta y se plantean las siguientes preguntas de investigación, las cuales se componen de una pregunta de marco de referencia que trata sobre las cadenas de suministro del sector textil confección en Colombia y cuatro preguntas de ubicación que se relacionan directamente con la cadena de suministro a modelar.

3.1 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Marco de referencia

¿Qué tipos de modelos se están utilizando en cadenas de abastecimiento en el sector textil confección en Colombia?

3.1.2 Ubicación

¿Cuáles son las variables más relevantes a tener en cuenta en la cadena de suministros?

¿Qué tipos de indicadores de gestión se están utilizando en las cadenas de abastecimiento en Colombia?

¿Cuáles son los indicadores de productividad más importantes para ser utilizados?

¿Qué comportamiento siguen las cadenas de abastecimiento en el marco de los indicadores de productividad?

Para responder a estas preguntas, esta investigación construye y analiza un modelo de cadena de suministro del sector textil confección, en el cual la demanda responde a las necesidades del cliente, con la disponibilidad de las prendas de vestir, considerando las materias primas, máquinas y equipos, personal administrativo y operarios, los cuales se representan en un modelo mediante flujos de materiales e información en el que todos se relacionan entre ellos.

Para la construcción y análisis del modelo se debe tener en cuenta en el sector: las técnicas de planificación que permitan realizar y mejorar los niveles de competitividad a través del uso e integración de nuevas tecnologías y comunicaciones en los procesos cotidianos para la toma de decisiones y mejora de los indicadores de la cadena de suministros. Desde este punto de vista se desarrolla un modelo en dinámica de sistemas que integre e incluya indicadores de desempeño, para facilitar entender el comportamiento de las diferentes variables que integran la cadena de abastecimiento del sector industrial objeto de

estudio (textil-confección) con el fin de conocer el impacto de las diferentes decisiones y cómo éstas se podrían mejorar con el propósito de obtener mayores beneficios que aumenten el nivel competitivo dentro de un marco de manufactura mundial ó global.

3.2 JUSTIFICACIÓN

Los estudios de modelización de diferentes cadenas de abastecimiento permiten conocer cuáles son las variables y los diferentes tipos de modelos utilizados para definir el más adecuado. La realización de este trabajo se justifica claramente por la importancia que tiene la mejora de la toma de decisiones en las empresas utilizando el pensamiento sistémico en la cadena de suministros, para generen una administración eficiente y sea un punto clave para hacerlas más competitivos en el mercado.

La propuesta desarrolla un modelo que permite visualizar, entender y comprender los efectos de la cadena de suministros con diferentes variables en el sector industrial textil confección. En esta investigación el modelo propuesto incluye las variables más representativas, los recursos utilizados por las empresas, la productividad, personal y los inventarios, etc. La tesis mide el impacto de las diferentes áreas de la organización estudiada, focalizándose en la integración de dichas variables para lograr una mejora en la competitividad de la organización.

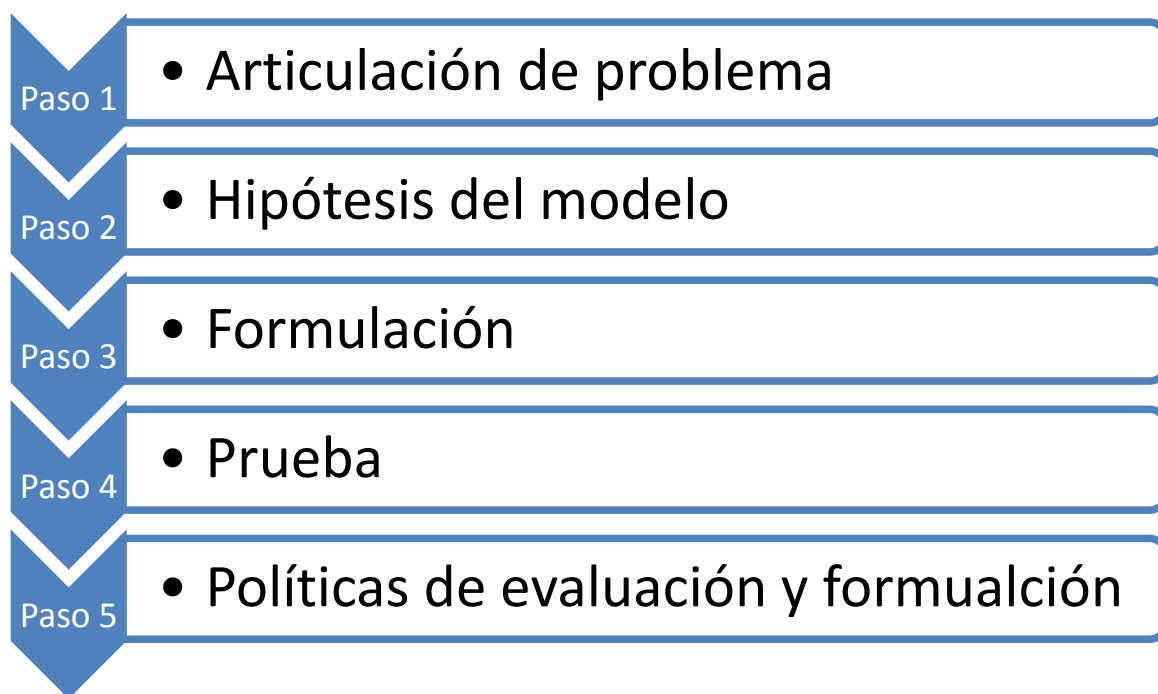
3.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Las cadenas de suministros en Colombia y especialmente en el sector textil-confección muestran la necesidad que las personas vinculadas con el sector, desarrollen técnicas de planificación que permitan realizar y mejorar sus niveles de competitividad a través del uso e integración de las nuevas tecnologías y comunicaciones en sus procesos cotidianos para la toma de decisiones y mejorar sus indicadores en la cadena de suministros. Desde este punto de vista se desarrolla un modelo integrador utilizando indicadores de desempeño y la dinámica de sistemas para facilitar el entendimiento y comportamiento de las diferentes variables que integran la cadena de abastecimiento del sector industrial objeto de estudio (textil-confección) con el fin de conocer el impacto que tienen las diferentes decisiones y cómo estas se podrían mejorar con el propósito de obtener beneficios que aumenten el nivel competitivo dentro de un marco de manufactura mundial ó global.

4 PASOS PARA LA MODELACIÓN

Para el logro de los objetivos y diseño del modelo se siguen los cinco pasos del libro “*Strategic modeling and business dynamics: a feedback approach*” de Morecroft (Morecroft, 2007), los cuales se observan en la Figura 4.

Figura 4. Pasos para la modelación



Fuente: propia.

Los pasos se definen como:

Paso 1. Articulación del problema. Es el paso más importante, debido a que en él se realiza un estudio completo para identificar el problema a resolver.

Paso 2. Hipótesis del modelo. El modelador realiza un diseño preliminar de todas las variables que pueden llegar a interactuar en el problema.

Paso 3. Formulación. En este paso se transforma la hipótesis en un modelo real con todos sus procesos y respectivas ecuaciones.

Paso 4. Prueba. Aquí se realiza la simulación para saber si el modelo funciona correctamente y, si hay alguna inconsistencia, se corrigen los errores para así obtener el modelo integral.

Paso 5. Políticas de evaluación y formulación. Se da por sentado que el modelo es capaz de identificar los problemas, por lo tanto, se ensayan nuevas políticas y se simulan para observar cómo se comportan. Se debe tener en cuenta que todos los pasos tienen influencia sobre los otros, por lo tanto, cualquier cambio realizado en alguno de estos pasos puede afectar algún paso anterior o siguiente.

Para la realización de los pasos anteriores se debe contar con un equipo modelador encargado de realizar la modelación. Para la realización de la presente tesis el grupo de trabajo incluye dentro de sus integrantes un facilitador y experto modelador (Estudiante de maestría) y un gerente encargado de manejar las políticas de cadena de suministros de la compañía (Director de operaciones de *Speedo*®). En cada equipo hay tres diferentes fases de trabajo que se cruzan con los cinco pasos anteriores. En la fase 1, el facilitador y el gerente se encargan de realizar un mapeo de toda la situación y definir los aspectos más relevantes; Esta fase comienza con la articulación del problema y termina con el diagrama de flujo y almacenamiento (Morecroft, 2007).

En la fase 2, el diagrama de flujo y almacenamiento que se desarrolla en la fase 1 se convierte en fórmulas algebraicas y se hace la respectiva simulación para conocer las variaciones. (Morecroft, 2007)

Por último, en la fase 3 se valida el modelo y se convierte en un programa de la empresa que se puede llamar “Laboratorio de Aprendizaje”, el cual debe ser sencillo de manejar por cualquier integrante de la empresa (Morecroft, 2007).

5 DESARROLLO DEL MODELO.

Siguiendo las 3 fases descritas en el capítulo anterior para la realización del modelo, se comienza por realizar una descripción de la empresa para hacer un mapeo de toda la situación y así definir los aspectos relevantes, junto con una encuesta que permita obtener los datos y comportamientos más sobresalientes.

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Para realizar el paso uno de la articulación del problema, en la modelación se hace la descripción de la empresa, se obtiene información de la empresa y se realiza una entrevista guiada con una encuesta que se encuentra en el Anexo A, la cual suministra información necesaria para la construcción del modelo. Se trabaja con datos reales aproximados. En la entrevista se conocen las variables y políticas que afectan la cadena de suministro del sector de la confección.

La encuesta está dividida en varias áreas de la empresa:

Finanzas: Son datos importantes como costos de producción y la forma como son calculados, los costos de reproceso y de segundas.

Recursos humanos: Es la información para conocer las políticas de contratación, despidos, cómo es el comportamiento del recurso humano, los tipos de contratos, la cantidad de empleados y la curva de experiencia.

Procesos: Es la reseña relevante para la realización del modelo al conocer cómo es toda la cadena en cuanto a los niveles de inventarios, si cuentan con un *CEDI*, cuál es la productividad, indispensable para modelar todo lo relacionado con mano de obra, la cantidad de prendas a confeccionar, la cantidad de reproceso y segundas.

Compras: Es la visualización, cómo es el proceso de compras de materias primas, tiempos de entrega de proveedores, inventario de seguridad de materias primas y el nivel de servicio del proveedor.

Planeación: Permite conocer el comportamiento de la demanda en temporadas y la duración de ésta, el tipo de empresa (Maquila, Marca Propia o Mixta), el comportamiento de su demanda, tamaños de lote, capacidad disponible, políticas de producción.

Comercialización y Mercadeo: Es la información acerca del comportamiento del sector, sus clientes y del entorno en el cual se desenvuelve la empresa.

La empresa de confección Creaciones Nadar S.A se fundó en 1991 en la ciudad de Medellín. La empresa se dedica a la confección y venta de prendas deportivas

de la marca *Speedo®*, marca que se usa bajo la licencia de *Speedo Holdings B.V.* y la casa matriz se encuentra ubicada en Londres, Inglaterra. Esta licencia permite a Creaciones Nadar S.A diseñar, producir, y comercializar todos los productos de la marca *Speedo®* dentro del país. La planta de producción está ubicada en Medellín, y para la comercialización de los productos, la compañía cuenta con 31 puntos de venta distribuidos en las ciudades más importantes del país.

Las prendas que se fabrican son deportivas y de natación para hombre y mujer. La empresa comercializa sus productos a través de diversos puntos de venta ubicados en centros comerciales a lo largo de todo el país. La empresa cuenta con dos categorías de productos: los considerados de moda, que se lanzan en colecciones por tiempo limitado, y los productos de línea, que se producen y venden continuamente y hacen parte del catálogo habitual de la compañía.

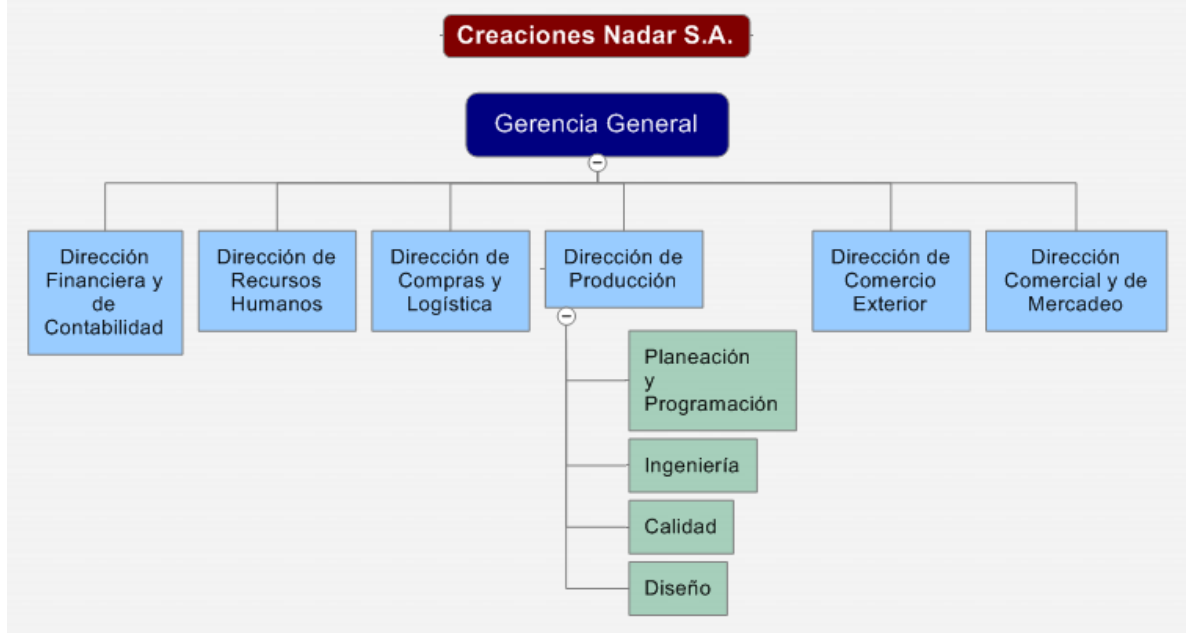
La empresa tiene un Presidente y un Gerente General, apoyados por las áreas de Dirección de Recursos Humanos, Dirección Financiera y de Contabilidad, Dirección de Compras y Logística, Dirección de Producción, Dirección de Comercio Exterior y una Dirección Comercial y de Mercadeo.

En el área de producción se coordinan los procesos de diseño de prendas, trazo, corte, bordado, estampación, confección y terminación, y los subprocesos de lavado o teñido que se subcontraten. El área de producción cuenta con los departamentos de apoyo que incluyen Planeación y Programación, Ingeniería, Calidad y Desarrollo de Producto. En la Figura 5 se muestra el organigrama de la empresa Creaciones Nadar S.A.

El portafolio de productos de la empresa se enfoca en las prendas de vestir deportivas, particularmente las de deportes acuáticos y subacuáticos (vestidos, pantalonetas y gorros de baño, camisetitas, etc), en la que la empresa realiza entre dos y cuatro colecciones en el año. Adicionalmente comercializa diferentes accesorios utilizados en estos deportes (gafas, snorkels, etc).

La empresa cuenta con alrededor de 300 empleados, de los cuales 168 están ubicados en los almacenes propios, 28 en labores administrativas y gerenciales, 14 en labores operativas indirectas y un máximo de 90 operarios en las épocas de mayor producción; estos últimos, distribuidos de la siguiente forma 10 operarios para corte, 9 para bordado, 11 para terminación y 60 para confección que se considera el cuello de botella. Los operarios pueden ser contratados o despedidos según las necesidades de la empresa.

Figura 5. Organigrama de la empresa Creaciones Nadar S.A.



Fuente: Suministrada por Mauricio Pineda, Director de operaciones

La Figura 6 muestra un esquema del proceso de operaciones en Creaciones Nadar S.A., así como el flujo de información de las órdenes de corte (OC), producción (OP), estampación (OE) y ordenes de bordado (OB). El proceso interno comienza con el lanzamiento de la orden de corte para la sección de Trazo-Corte o de la orden de estampación para sección de estampación desde el centro de integración, después puede pasar a la planta propia o satélite con una orden de producción y así sucesivamente. Según el estilo de las prendas éstas pasan por diferentes etapas del macroproceso.

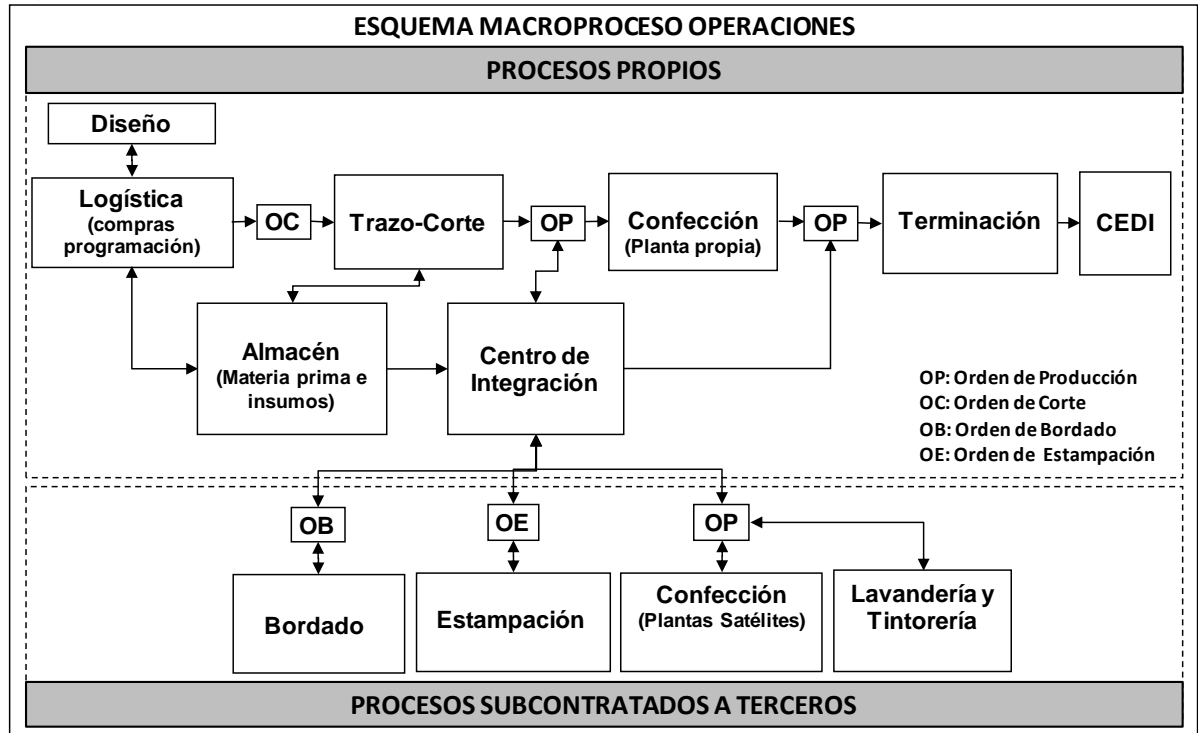
La empresa confecciones Creaciones Nadar S.A., en la cadena de suministros es responsable de la confección de las prendas, la administración de las plantas satélites, la distribución y la comercialización. Esto la convierte en una cadena de abastecimiento corta, porque elimina los intermediarios y permite a la empresa un mayor control y visibilidad de los procesos.

Específicamente, se eliminan los mayoristas, pues la propia empresa se encarga desde el *CEDI*, ubicado en la propia planta, de surtir a las tiendas para los consumidores finales. Además, para efectos de la investigación, no se tendrán en cuenta los proveedores de los proveedores; el foco de la investigación se centra desde el abastecimiento de las materias primas de la empresa, como los textiles y algunos insumos hasta las tiendas.

La cadena de suministros en Creaciones Nadar S.A. maneja los productos de línea y de moda. Los productos de línea se producen habitualmente en la empresa, son referencias que no cambian año tras año. Por su parte, los

productos de moda son fabricados para las colecciones y una vez finaliza la temporada el producto no se fabrica más. Estas diferencias entre los productos de línea y los productos de moda hacen necesario el análisis de capacidad de la planta propia y las plantas satélites.

Figura 6. Esquema macroproceso de operaciones.

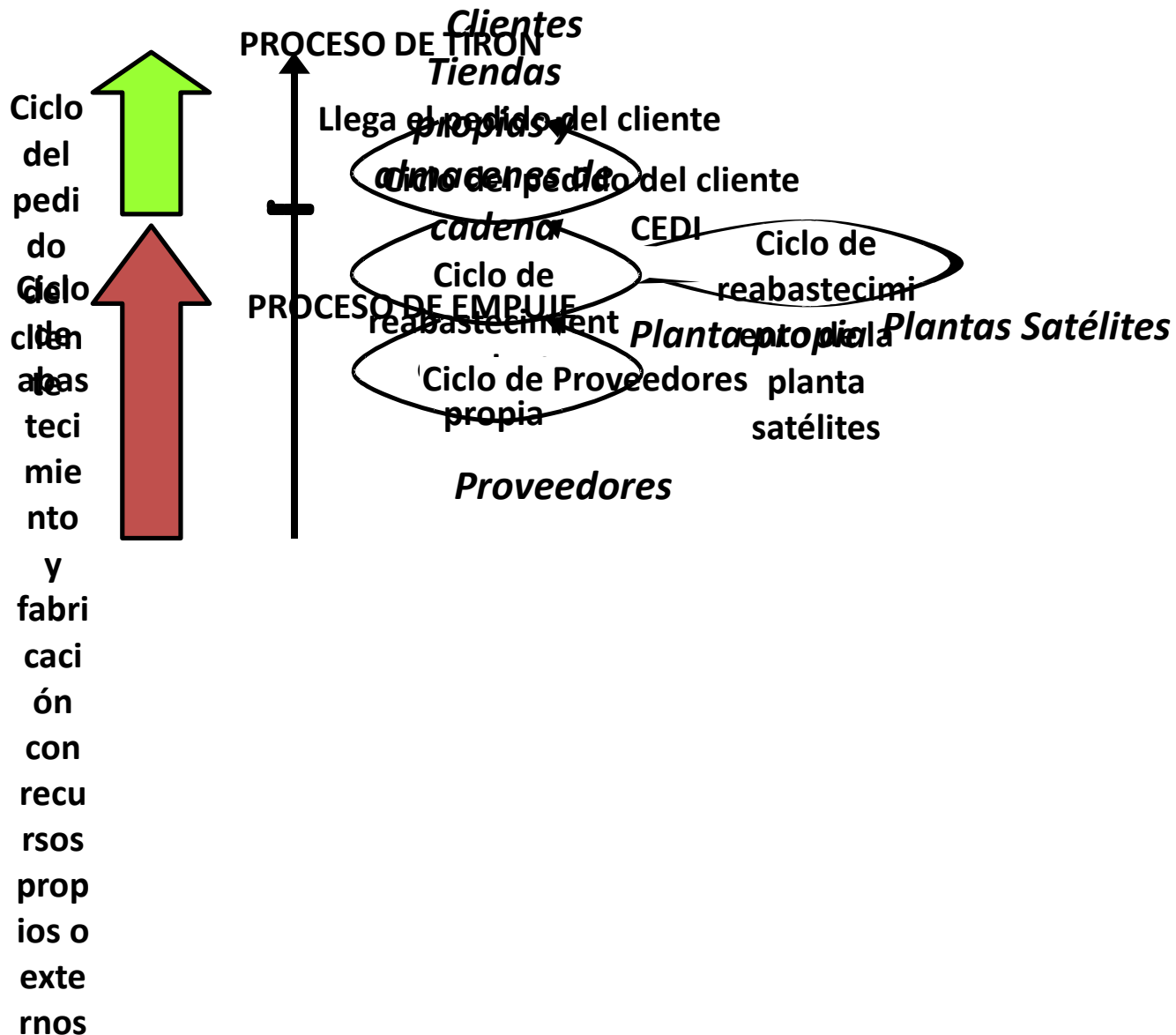


Fuente: Suministrado por Mauricio Pineda, Director de operaciones

La empresa cuenta con una cadena de suministros agrupada básicamente en cuatro ciclos que se observan en la Figura 7. Las relaciones que se encuentran entre los ciclos son de proveedores a la planta propia, de la planta propia al CEDI, del CEDI a las tiendas propias y por departamentos o supermercados, y de planta propia a las plantas satélite o maquilas.

La planeación de los productos de línea y moda se hace de la siguiente forma: de acuerdo con la tendencia de las ventas, se estiman la demanda de los clientes y las cantidades a mantener en cada período de tiempo en los almacenes. Esta cadena se puede ver como un sistema de empuje desde las materias primas hasta el CEDI y de tirón del CEDI a los almacenes, de esta forma, desde los clientes hasta el CEDI, los productos son arrastrados de acuerdo con los pedidos que hacen los puntos de venta al CEDI y los materiales se empujan desde las materias primas a las planta propia o satélite hasta que se convierten productos en el CEDI.

Figura 7. Proceso de empuje/tirón de la cadena de suministros de la empresa Creaciones Nadar S.A.



Fuente: Elaboración propia

Con la información suministrada es posible conocer sobre la toma de decisiones en cuanto a políticas en el manejo de compras y ventas, las diferentes formas de programar la producción de acuerdo con los pronósticos o presupuestos, y las diferentes políticas de contratación y despidos de la mano de obra. Al tener información acerca de todas las políticas que maneja la empresa, se procede a introducir en el modelo las diferentes variables que se involucran dentro de la cadena, como por ejemplo, mano de obra disponible, curva de experiencia, capacidad de producción, demanda, etc.

5.2 RESULTADOS DE LA ENCUESTA

De los resultados de la encuesta del anexo A, se obtiene la descripción de la empresa. Creaciones Nadar S.A., la cual hace una actividad mixta para la elaboración de las prendas, con la fabricación en la planta propia y las plantas satélite o maquilas. Se trabaja dependiendo del proceso, desde uno hasta dos turnos diarios, entre cinco y seis días a la semana, con un tiempo efectivo por turno de 307.2 minutos (eficiencia y productividad del 80% cada uno). Utiliza un sistema productivo modular grupal. El tamaño de lote es estimado bajo pedido ó por presupuesto el cual es de 1242 unidades aproximadamente. A la semana se reciben de 15 a 30 órdenes, dependiendo de la cantidad de referencias y el Director de Operaciones se encarga de realizar la planeación de la producción.

La empresa se dedica a los procesos de compra de tejido e insumos, diseño, trazo, patronaje, corte, preparación, confección, estampación, bordado, acabado, revisión, etiquetado, empaquetado, distribución y comercialización, de las cuales considera clave, el diseño de la marca propia, el patronaje, estampación y la comercialización.

Dentro de la empresa existe un programa de métodos y tiempos realizado por un analista interno. Para la organización del trabajo se utiliza un sistema de cronometraje y una hoja de ruta. Las prendas se identifican durante el proceso, por medio de fichas técnicas y al final por códigos de barras. Los procesos de contabilidad, cálculo de costos, personal y planta de producción están sistematizados. Se encuentra que existen cuellos de botella móviles debido al estilo de la prenda. El tiempo estimado SAM (Standard Allowed Minutes, Minutos Estándar Permitidos) por prenda en proceso es de 28.2 minutos en promedio. El SAM varía de acuerdo con la curva de aprendizaje de los operarios.

Las prendas que salen defectuosas son de dos tipos: aquellas en que el error se corrige y se conocen como reproceso y el porcentaje es del 5 % del total de prendas, y en las segundas, las cuales no se puede corregir el error y el porcentaje es del 0.06% del total de prendas. Las prendas defectuosas son reprocesadas por los operarios de la empresa en tiempo adicional, al finalizar el turno.

En cuanto al control de la calidad, existe una sensibilización muy alta por parte de los operarios y el porcentaje de las devoluciones por parte de los clientes es muy bajo, entre 0.5 y 1 % del total de prendas. Los problemas más frecuentes en calidad se dan en las materias primas e insumos.

El ausentismo está entre el tres y cinco por ciento y la rotación de operarios por las renunciaciones se encuentra dentro del dos y tres por ciento anual. Los empleados tienen un contrato a término fijo con un salario mínimo más prestaciones. En el momento de realizar la contratación de personal se tienen en cuenta:

La polivalencia del trabajador con la habilidad para manejar entre dos y tres máquinas.

La experiencia con un mínimo de 200 horas de trabajo, equivalentes a 4 semanas.

- Recomendaciones.
- El certificado del DAS.

El tiempo promedio del período de prueba es de 1 a 2 semanas. El 100% de la fuerza de trabajo es polifuncional, esto significa que los operarios pueden manejar hasta tres máquinas aproximadamente el 90% de ellos. Se realiza un balanceo de cargas por cálculo, orden y tiempo real. El costo es calculado sumando la mano de obra directa de un salario mínimo legal por valor de 834.000.00 (El empleo, 2009) y los costos indirectos por un valor de 12.500.000 mensuales. El costo de la maquila es de 210\$/minuto.

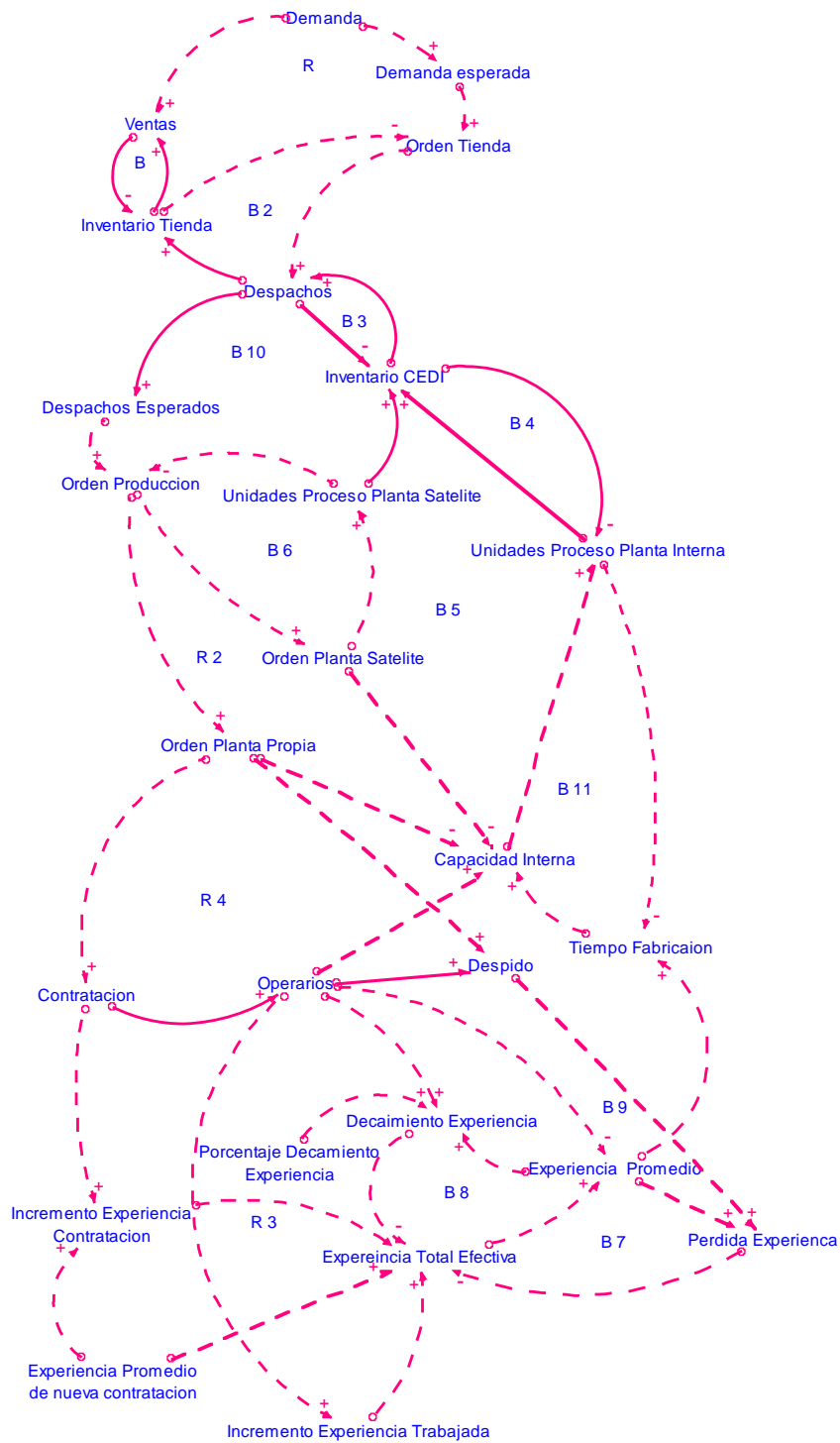
5.3 DIAGRAMA CAUSAL

Con la elaboración del paso uno, se realiza la modelación del paso dos; con el desarrollo del diagrama causal de la empresa que se muestra en la Figura 9. Macromodelo de la Cadena de Abastecimiento de la Empresa Creaciones Nadar S.A., Figura 8 en el cual se observa algunos de los ciclos de realimentación entre las variables más significativas de modelo.

Los modelos de cadenas de abastecimiento siempre involucran realimentaciones negativas, las cuales comparan el estado real del sistema contra el estado deseado, para iniciar las acciones correctivas que elimine las discrepancias. La acción correctiva consiste en alterar los flujos de entrada y de salida de los niveles, para así mantenerlos dentro de unos rangos deseados (Sterman J. D., 2000). Por lo general, se tiene más control sobre la tasa de entrada, porque es más difícil controlar las tasas de salida.

La demanda de los clientes por parte de la tienda son datos exógenos debido a que no dependen del sistema, y las órdenes recibidas en el *CEDI* que provienen de los puntos de ventas son endógenas. Además, es muy importante anotar que desde el inicio de la acción correctiva y los efectos de la misma, hay demoras que se deben tener en cuenta.

Figura 8. Diagrama Causal de Creaciones Nadar S.A.



Fuente propia

6 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En este capítulo se hace una descripción general de los flujos de materiales e información de los diferentes subsistemas que interactúan en la empresa.

6.1 FLUJO DE MATERIALES

En la Figura 9 se representan las flechas gruesas o azules, que son el flujo de materiales en sentido unidireccional a lo largo de la cadena de suministros, empezando desde el suministro de las materias primas, las cuales surten tanto a la planta propia, como a las plantas satélites. Las materias primas son surtidas por la propia empresa a las plantas satélites. Los productos terminados de las plantas satélites se envían al *CEDI* y se despachan a la tienda para ser vendidos a los clientes.

6.2 FLUJO DE INFORMACIÓN

El flujo de información se muestra en la Figura 9 del macromodelo mediante flechas rojas o delgadas, es de la siguiente forma: la tienda ordena producto al *CEDI*, el cual a su vez disminuye las órdenes pendientes de la tienda a medida que se despacha el producto. La planta propia toma la decisión de fabricar y contratar personal, cuando su capacidad no es suficiente para cubrir con todas las órdenes de producción lanzadas, se subcontratan las plantas satélites para que con la capacidad adicional complete las prensas ordenadas. La planta propia y las plantas satélites recibe las materias primas de la bodega para confeccionar las prendas.

6.3 SUBSISTEMAS

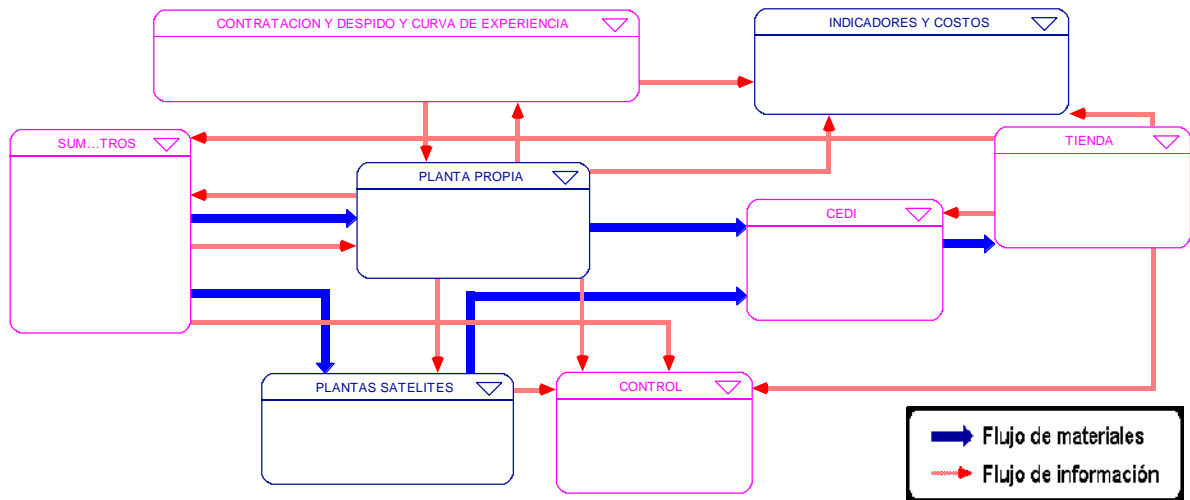
En el macromodelo de Figura 9, la cadena de abastecimiento de Creaciones Nadar S.A., se compone de ocho subsistemas.

- Subsistema de las tiendas.
- Subsistema del *CEDI*.
- Subsistema de la planta propia.
- Subsistema de las plantas satélites.
- Subsistema de materias primas.
- Subsistema de curva de experiencia, contratación y despido de operarios.
- Subsistema de indicadores y costos.
- Subsistema de control.

Cada uno de estos subsistemas está compuesto a su vez de niveles, flujos y variables auxiliares que interactúan entre sí.

La Figura 9 muestra el macromodelo de que realiza el software Ithink® de la empresa Creaciones Nadar S.A. y se encuentra en la pestaña *Interfaces*. Se observa la forma integral cómo interactúan los diversos subsistemas, cada uno de los cuales corresponde a un eslabón de la cadena de abastecimiento. De esta manera, es posible visualizar bajo un esquema global cómo se presenta el flujo de materiales y de información entre los distintos componentes de la cadena de suministro de la empresa.

Figura 9. Macromodelo de la Cadena de Abastecimiento de la Empresa Creaciones Nadar S.A.,



6.3.1 Subsistema de la tienda

La tienda es el último eslabón de la cadena de suministros de la empresa con los clientes, y tiene como objetivo satisfacer las necesidades de productos demandados por éstos. La demanda se considera exógena con una mezcla de demanda de productos de aproximadamente 90% para productos de colección y del 10% para productos de línea, esto solo aplica para las ventas nacionales de la compañía.

En la Tabla 8, se muestra el código de variables del subsistema de la tienda, en el cual se definen con un nombre, se indica el tipo de variable y describen los distintos elementos que intervienen en éstas.

Tabla 8. Código de variables del subsistema de las tiendas.

CÓDIGO DE VARIABLES DEL SUBSISTEMA DE LA TIENDA			
NOMBRE	CLASE	UND.	DESCRIPCIÓN
Media	Aux.	Und / Sem	Demanda promedio semanal de los productos de línea o moda. Es una constante del modelo.

CÓDIGO DE VARIABLES DEL SUBSISTEMA DE LA TIENDA			
NOMBRE	CLASE	UND.	DESCRIPCIÓN
Desvest	Aux.	Und / Sem	Desviación estándar los productos de línea o moda. Es una constante del modelo.
Demanda Línea	Aux.	Und / Sem	Demanda semanal de los productos de línea (productos del catálogo habitual de la empresa).
Estacionalidad	Aux.	Adimensional	Repite la estacionalidad cada año
Patrón Demanda Estacional	Aux.	Und / Sem	Comportamiento de la demanda de moda al año que se lanzan en dos colecciones al año.(La temporada ocurre cada 6 meses)
Demanda Colección	Aux.	Und / Sem	Demanda aleatoria semanal de los productos de moda
Demanda Agregada	Aux.	Und / Sem	Demanda total de la tienda; está compuesta por la demanda de los productos de línea y de colección o moda.
Número Referencias	Aux.	Unid	Cantidad de estilos de la colección.
Talla	Aux	Tipo	Numero de tallas.
Color	Aux	Tipo	Tipos de estilos de telas.
SKU	Aux	Unid	Tipos de productos. (talla, color, referencias)
Selección Número Referencias	Aux.	Unid	Curva de probabilidad de compra de los clientes debido a la disponibilidad de producto.
Diversidad Productos Disponibles	Aux	Unid	Cantidad de SKU disponibles en los almacenes.
Ventas Tienda	Flujo	Und / Sem	Cantidad de la demanda que se satisface de acuerdo con el inventario disponible en la tienda.
Inventario Tienda	Nivel	Und	Número de unidades disponibles en el inventario de la tienda.
Ventas Perdidas	Flujo	Und / Sem	Ventas que se pierden por no tener inventario disponible en la tienda. Corresponde a la diferencia entre la demanda y las ventas.

CÓDIGO DE VARIABLES DEL SUBSISTEMA DE LA TIENDA			
NOMBRE	CLASE	UND.	DESCRIPCIÓN
Total Ventas Perdidas	Nivel	Und	Acumulado de ventas perdidas.
Demanda Esperada	Aux.	Und / Sem	Suavización exponencial de la demanda agregada mediante función SMTH1. Se usa para evitar el ruido y como cálculo del pronóstico de la demanda ² .
Inventario Deseado Tienda	Aux.	Und	Nivel de inventario que se desea mantener en la tienda. Es una constante del modelo.
Tiempo Ajuste Inv Tienda	Aux.	Sem	Cantidad de semanas en las cuales se desea corregir la diferencia entre el inventario deseado y el inventario real de la tienda. Es una constante del modelo.
Orden Tienda	Flujo	Und / Sem	Orden de producto que hace la tienda al <i>CEDI</i> . Busca corregir los desajustes del inventario y anticiparse a la demanda esperada. La orden de la tienda aumenta las órdenes pendientes de ésta.
Pendientes Tienda	Nivel	Und	Órdenes realizadas por la tienda que no han sido despachadas por el <i>CEDI</i> .
Salida Órdenes Pendientes	Flujo	Und / Sem	Disminuye la cantidad de órdenes pendientes de la tienda; es igual a los despachos desde el <i>CEDI</i> .
Acumulador Outlet	Nivel	Unid	Acumula las ventas perdidas
Ventas Outlet	Flujo	Unid/Periodo	Las unidades que no se venden después de finalizar la colección, son enviadas al outlet

En la Figura 10 se observa la interrelación entre los diagrama de flujos, niveles y relaciones.

² Se explica en el capítulo de pronósticos, (Sterman J. D., 2000)

Tabla 9. Datos históricos de demanda de prendas de línea mensual

Suma de Cantidades		Año					Total general
Mes	Venta	1	2	3	4	5	
Enero	Nacional	333	250	658	435	477	2153
Febrero	Nacional	386	262	439	560	442	2089
Marzo	Nacional	437	471	307	388	129	1732
Abril	Nacional	281	294	369	345		1289
Mayo	Nacional	242	185	368	364		1159
Junio	Nacional	303	256	428	389		1376
Julio	Nacional	456	283	435	483		1657
Agosto	Nacional	332	414	395	442		1583
Septiembre	Nacional	233	356	346	376		1311
Octubre	Nacional	165	185	266	295		911
Noviembre	Nacional	189	223	277	462		1151
Diciembre	Nacional	375	383	466	553		1777
Total general		3732	3562	4754	5092	1048	18188

Los datos para ser usados en el modelo se deben convertir a demandas semanales, para ello la demanda promedia se divide por 4 y la desviación estándar por raíz de 4 (Ballou, 2004). Los resultados son una media de 89 unidades demandadas semanalmente, y una desviación estándar de 54 unidades por semana.

En el software Ithink, una distribución de demanda con estas características se expresa mediante la función NORMAL que se ve en la Ecuación 1 (Software Reference Guide, Ithink version 9.2, 2008).

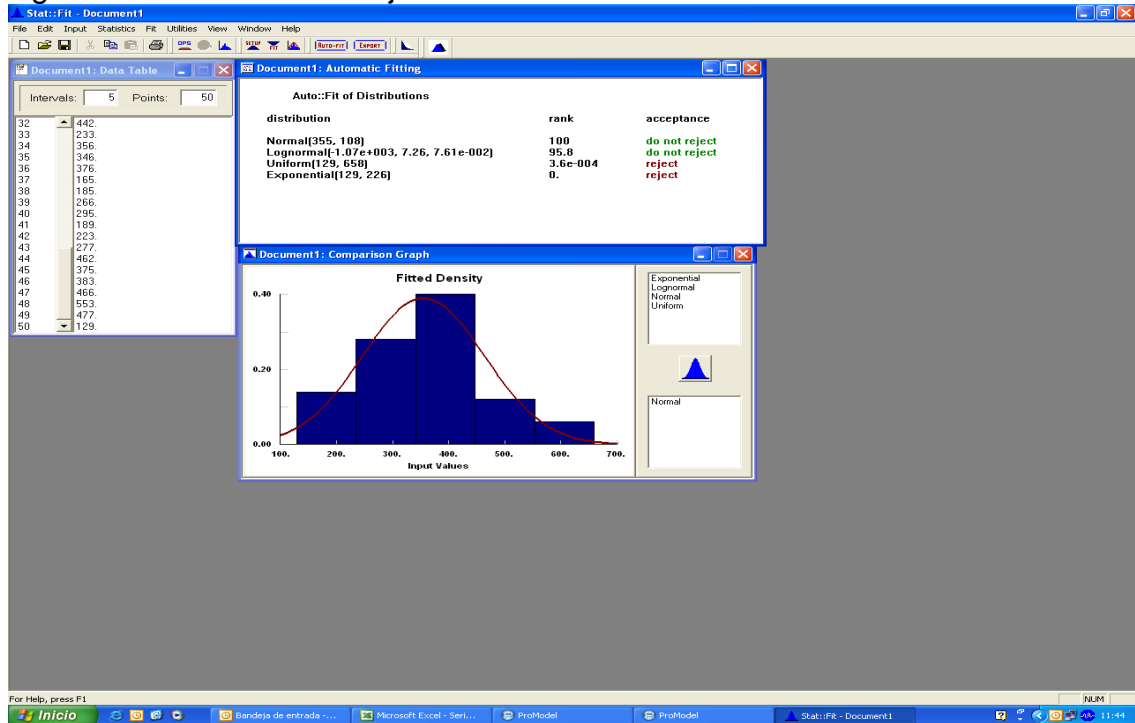
Ecuación 1. Demanda de productos de línea

$$Demanda\ Línea = Normal (Media, Desvest)$$

A diferencia de los productos de línea que se encuentran en inventario y se producen de manera continua, los productos de moda se lanzan en dos colecciones cada año, cada una con productos diferentes a los de la colección anterior. La demanda de estos tipos de ítems sigue un patrón estacional con picos a mediados y a fin de año (Pineda Toro, 2009). Se calcula aproximadamente que las prendas a vender en cada colección están entre 100.000 y 110.000 unidades (Pineda Toro, 2009). Para representar el patrón de demanda, se utiliza la pregunta 2.4 de la encuesta del Anexo A, y se observa en la Tabla 10. Los valores de la estacionalidad de demanda son del 0 al 10 y adimensionales; si la estacionalidad es muy baja, se coloca un valor bajo, hasta la mayor estacionalidad de demanda que se presenta cuando los valores son 10, según el criterio del Director de Operaciones. El patrón de demanda se debe convertir a semanas, como se

muestra en el Anexo B en el archivo de Excel® con el nombre de patrón de demanda.

Figura 11. Resultados de ajuste utilizando el software fit de Promodel



La demanda agregada es la suma de la demandas de línea y colección, el resultado es la demanda total agregada para los dos tipos de producto. El modelo del pronóstico es la variable que utiliza la función SMTH1 (Software Reference Guide, Ithink version 9.2, 2008) en la Ecuación 2:

Tabla 10. Patrón de demanda.

Mes	Valor
Enero	10
Febrero	9
Marzo	7
Abril	4
Maya	3
Junio	10
Julio	10
Agosto	7
Septiembre	4
Octubre	3
Noviembre	6
Diciembre	10

Ecuación 2. Despachos Esperados.

$$Despachos\ Esperados = SMTH1(Despachos, 1)$$

Las ventas de la tienda están sujetas a la cantidad de referencias que existen en las tiendas. Estas se representan en la diversidad de productos disponibles para que el cliente elija y depende del número de referencias disponibles en un momento dado que tiene la tienda para que el cliente seleccione una prenda del surtido del almacén. Ésta se representa mediante una distribución binomial, en el cual el cliente tiene la posibilidad de llevar o no, una prenda, dependiendo de la cantidad de prendas disponibles en el almacén para escoger (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2007). En el Anexo B se muestra el archivo en Excel® la tabla con el nombre de probabilidad de compra, suponiendo una probabilidad del 5% de no encontrar los productos.

La empresa posee diferentes SKU (Skock Keeping Unit). No es necesario para el propósito del modelo representar cada SKU separadamente. El nivel de inventario en dichos modelos representa el agregado de los diferentes SKU. La mezcla de SKU requeridos por los clientes varía de manera impredecible, como lo hace el nivel de inventario de artículos individuales, sin embargo cuando muchos artículos son agregados, algunos ítems individuales son propensos a quedarse sin inventario, incluso cuando la tasa de envíos deseada es iguala a la tasa máxima de envíos. Por lo tanto las relaciones deben de estar restringidas aun cuando la firma posea amplios inventarios en la cual la tasa máxima de envíos agregada sea mucho mayor que la tasa de envíos deseada y exista la posibilidad de que los artículos individuales resulten sin inventario (Sterman J. D., 2000).

Las ventas no siempre serán iguales a la demanda, dado que las ventas dependen de la disponibilidad de prendas que se tiene en la tienda de los productos solicitados. Es así como mientras la demanda corresponde a la cantidad total de prendas que los clientes solicitan y estarían dispuestos a adquirir, las ventas se refieren a cuántas de esas prendas son adquiridas, la tienda está en capacidad de satisfacer la demanda de acuerdo con la disponibilidad de inventarios en las tiendas. La máxima cantidad de producto que se puede vender en un momento dado, son las unidades que se tiene disponible en el inventario y se determina por la Ecuación 3 de las ventas.

Ecuación 3. Ventas de las tiendas

$$\begin{aligned} \textit{Ventas Tienda} \\ &= \textit{MIN}(\textit{Inventario tienda}, \textit{Demanda Agregada}) \\ &* \textit{Seleccion Numero Referencias} \end{aligned}$$

La función *MIN* (Software Reference Guide, Ithink version 9.2, 2008) es ampliamente utilizada en el modelo y escoge el menor valor de las dos expresiones. Por lo tanto, siempre que la demanda sea menor que el inventario, las ventas son iguales a la demanda, en caso contrario, las ventas son iguales a la cantidad de inventario. Se multiplica por la decisión de compra del cliente que es la selección del número de referencias que debe tener el almacén para que el cliente tome la decisión de compra.

Cuando la demanda excede el inventario, se tendrán ventas perdidas, es decir, se deja de vender unidades por no tener disponibilidad de producto en el inventario. La Ecuación 4 de las ventas perdidas es:

Ecuación 4. Ventas Perdidas

$$\textit{Ventas Perdidas} = \textit{Max}(0, \textit{Demanda Agregada} - \textit{Ventas Tienda})$$

Las ventas que se pierden cada semana se acumulan en el inventario de Total Ventas Perdidas.

Las ventas reducen el nivel de inventario de la tienda y activan la decisión de ordenar. Esta decisión debe cumplir con dos propósitos, el primero es corregir la diferencia entre su inventario deseado y su inventario actual de la tienda y la segunda es anticiparse a la demanda esperada. De esta forma, la Ecuación 5 de la orden de la tienda es la siguiente:

Ecuación 5. Orden Tienda

$$\text{Orden Tienda} = \max\left(0, \frac{\text{Inv Deseado Tienda} - \text{Inv Tienda}}{\text{Tiempo Ajuste Inv Tienda}}\right)$$

En este caso, la fórmula compara el nivel deseado del inventario de la tienda contra su nivel actual, y corrige diferencia a lo largo de un tiempo de ajuste del inventario. La consideración fundamental, es que los administradores del inventario deben reemplazar las pérdidas de inventario al reducir la discrepancia entre el nivel deseado y el actual del inventario. Esta formulación puede considerarse un ejemplo del heurístico de ancla y ajuste; en este caso el ancla es el inventario deseado, y los ajustes se realizan para corregir discrepancias entre el nivel deseado y el actual del inventario” (Sterman J. D., 2000).

Para encontrar la demanda esperada, se utiliza la función SMTH1 (Software Reference Guide, Ithink version 9.2, 2008) que realiza una suavización exponencial de primer orden de la entrada indicada para los últimos “n” valores especificados (Sterman J. D., 2000). En el caso de estudio, el pronóstico se hace tomando en cuenta los últimos 4 valores de la demanda en la Ecuación 6, así:

Ecuación 6. Demanda Esperada

$$\text{Demanda Esperada} = \text{SMIT1}(\text{Demanda Esperada}, 4)$$

La Ecuación 7 y la Ecuación 8 representan las órdenes que lanza la tienda al *CEDI* y se demora media semana en llegar a la tienda, se acumulan en un *conveyor* llamado Pendientes Tienda, que representa las órdenes que la tienda coloca pero que aún no han sido despachadas por parte del *CEDI*. Esto implica que la disminución de las órdenes pendientes se da a medida que llegan los despachos de producto realizados por el *CEDI*.

Ecuación 7. Pendiente Tienda

$$\begin{aligned} \text{Pendiente Tienda}(t) \\ = \text{Pendientes Tienda}(t - dt) + \text{Orden Tienda} - \text{Salida OP Tienda} \\ * dt \end{aligned}$$

Ecuación 8. Salida de la Orden Pendientes

$$\text{Salida Ordenes Pendientes} = \text{Despachos}$$

La salida Ordenes Pendientes Tienda es el flujo que disminuye las órdenes pendientes de los puntos de venta.

El inventario inicial deseado de las tiendas es de 7.500 unidades que es igual al valor de la variable del inventario desea de las tiendas, el cual puede ser

modificado. Una situación similar ocurre con el inventario del *CEDI*, que se inicializa con el inventario deseado 8.000 unidades.

Al terminar la temporada de la colección, algunas prendas no se han vendido y se deben llevar al almacén del *outlet* para la posterior venta con descuentos sobre el precio original de las prendas. Esto se ve reflejado en el subsistema de la tienda en la Ecuación 9 que al terminar cada periodo las prendas son enviadas al *outlet* de las ventas perdidas de la Ecuación 10.y se acumulan en la Ecuación 11 durante el período de la colección.

Ecuación 9. Ventas Outlet

$$\begin{aligned} \text{Ventas Outlet} &= \text{IF TIME} = 13 \text{ OR MOD}(\text{TIME} - 13,26) \\ &= 0 \text{ THEN Acumulacion_Oultet ELSE } 0 \end{aligned}$$

Ecuación 10. Unidades Outlet

$$\text{Unidades Outlet} = \text{Ventas_Perdidas}$$

Ecuación 11. Total Outlet

$$\begin{aligned} \text{Total_Oultet}(t) \\ &= \text{Total_Oultet}(t - dt) + (\text{Unidades_Outlet} - \text{Ventas_Oultet}) \\ &\quad * dt \end{aligned}$$

6.3.2 Subsistema del *CEDI*

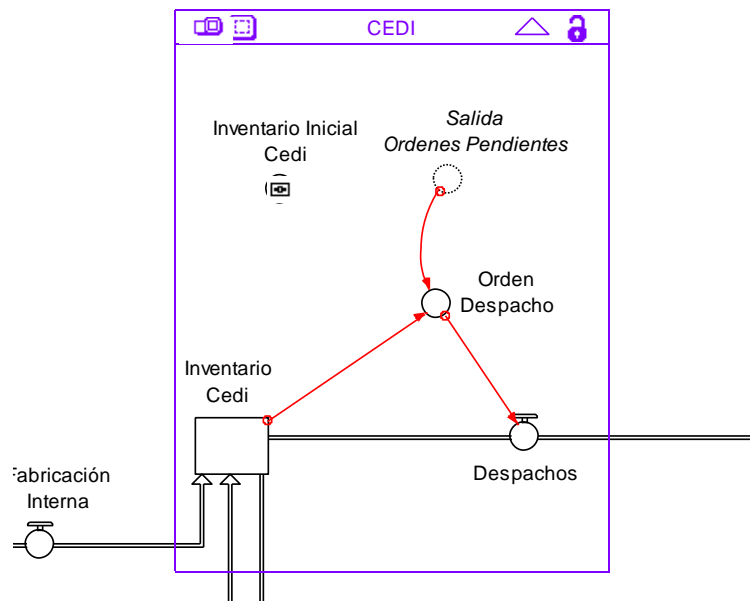
El *CEDI* o centro de distribución integrado es el enlace entre los subsistemas de confección (planta propia y plantas satélites) que recibe los productos para ser despachados a las tiendas y hace los despachos de acuerdo con las necesidades.

Las variables y el diagrama utilizados en el modelo del *CEDI* se encuentran en la Tabla 11 y la Figura 12 respectivamente.

Tabla 11. Código de variables del *CEDI*

CÓDIGO DE VARIABLES DEL <i>CEDI</i>			
NOMBRE	CLASE	UND.	DESCRIPCIÓN
Inventario <i>Cedi</i>	Nivel	Und	Unidades almacenadas en el centro de distribución integrado, disponibles para ser enviadas a la tienda.
Inventario Deseado <i>Cedi</i>	Aux.	Und	Nivel de inventario que se desea mantener en el <i>Cedi</i> . Es una constante del modelo.
Tiempo Distribución	Aux.	Sem	Tiempo que demora realizar la distribución de la orden de despacho entre el <i>Cedi</i> y la tienda. Es una constante del modelo.
Orden Despacho	Aux.	Und / Sem	Cantidad de productos que se ordena despachar cada semana; depende de las órdenes pendientes de la tienda y del inventario disponible del <i>Cedi</i> .
Despachos	Flujo	Und / Sem	Flujo a través del cual se transfiere producto del <i>Cedi</i> a la tienda. Corresponde a la orden de despacho con un retardo equivalente al tiempo de transporte.

Figura 12. Diagrama del Subsistema del *CEDI*



Para enviar los productos a la tienda, en el *CEDI* se toma la decisión del despacho. En la orden se comparan los pendientes de la tienda (es decir, la cantidad de productos que en un momento dado la tienda solicita que se despache) con el inventario disponible en el centro de distribución integrado. De manera similar, como ocurre con las ventas de la tienda, el despacho del *CEDI* toma el valor mínimo entre su inventario y la demanda que se encuentra dada por las órdenes de la tienda como se observa en la Ecuación 12.

Ecuación 12. Órdenes de Despacho

$$\text{Orden Despacho} = \text{MIN}(\text{Pendiente Tienda}, \text{Inventario CEDI})$$

Sin embargo, el *CEDI* tiene una gran diferencia con respecto a la tienda, la cual puede entregar a sus clientes de manera instantánea (relativamente si se compara el tiempo de entrega a los clientes contra la unidad de tiempo de media semana usada en el modelo), mientras que por el contrario, en el caso del *CEDI* los envíos no llegan inmediatamente se pone la orden de despacho y es necesario tener en cuenta el tiempo de entrega de la orden. En el modelo el tiempo de entrega es de media semana, y tiene en cuenta los procesos de manipulación y de manejo de materiales al interior del *CEDI*, la revisión, el envío, el transporte y el descargue. En dinámica de sistemas, la demora se expresa mediante la función DELAY (Software Reference Guide, Ithink version 9.2, 2008), la cual retorna una entrada con una demora especificada. De esta forma, los despachos siguen Ecuación 13:

Ecuación 13. Despachos

$$\text{Despachos} = \text{Orden Despacho}$$

Cuando los despacho son distintos de la orden de despacho, es porque no hay suficiente inventario para cubrir las órdenes pendientes de la tienda.

A medida que se despacha producto, se reduce el inventario del centro de distribución integrado; de manera opuesta, el inventario aumenta con la fabricación tanto de la planta propia y las plantas satélites. La Ecuación 14 del manejo del inventario del *CEDI*:

Ecuación 14. Inventario del *CEDI*

$$\begin{aligned} \text{Inventario CEDI} &= \text{Inventario CEDI} \\ &+ (\text{fabricacion interna} + \text{Fabraccicacion Satelite} - \text{Despachos}) * dt \end{aligned}$$

6.3.3 Subsistema la Planta Propia

En la planta propia se manufactura una parte de los productos para posteriormente ser enviados al *CEDI* y del *CEDI* a las tiendas, para ser vendidos. Las variables y el modelo se ven en la Tabla 12 y la Figura 13

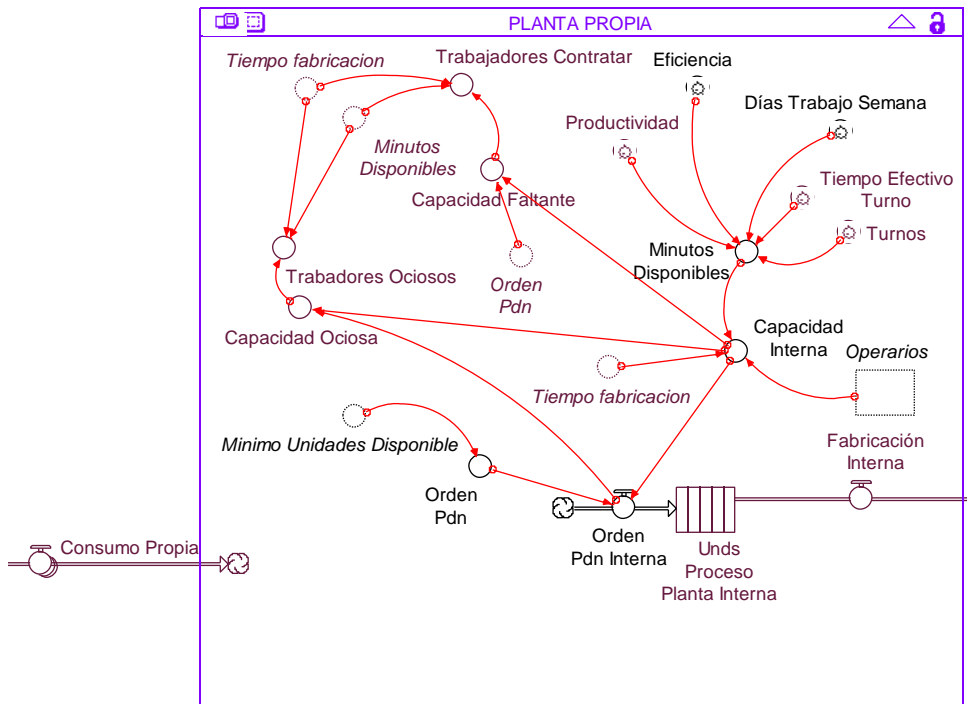
Tabla 12. Código de variables de la planta propia.

CÓDIGO DE VARIABLES DE LA PLANTA PROPIA			
NOMBRE	CLASE	UND.	DESCRIPCIÓN
Operarios	Aux.	Personas	Cantidad de operarios de la planta propia.
Tiempo Efectivo Turno	Aux.	Minutos / Turno	Tiempo que se labora por cada turno de trabajo.
Turnos	Aux.	Turnos / Día	Número de turnos que se trabajan en la planta.
Días Trabajo Semana	Aux.	Días / Sem	Días laborables por semana.
Minutos Disponibles	Aux.	Minutos / Sem	Cantidad de minutos disponibles cada semana para confección en la planta propia.
SAM	Aux.	Minutos / Und	Standard Allowed Minutes (Minutos Estándar Permitidos) Tiempo estándar de producción de una prenda.
Capacidad Interna	Aux.	Und / Sem	Capacidad semanal de fabricación de la planta propia en unidades
Tiempo Fabricacion	Aux.	min	Tiempo de fabricación de una prenda
Tiempo Ajuste Inventario Cedi	Aux.	Sem	Tiempo en el cual se desea corregir la diferencia entre el inventario real del <i>Cedi</i> y su inventario deseado.
Tiempo Ajuste Pdn	Aux.	Sem	Tiempo en el cual se desea corregir la diferencia entre la cantidad de unidades deseadas en el proceso y la cantidad de unidades que se encuentran en proceso tanto en la planta propia como en las satélites.
Unds Proceso	Aux.	Und	Número total de unidades que se encuentran en proceso de fabricación, totalizando las de la planta propia y las plantas satélites.
Unidades Deseadas Proceso	Aux.	Und	Número de unidades que se desean tener en el proceso en un momento dado para cubrir así la demanda

CÓDIGO DE VARIABLES DE LA PLANTA PROPIA			
NOMBRE	CLASE	UND.	DESCRIPCIÓN
			que se prevé resultará del <i>CEDI</i> (es decir, los despachos esperados).
Orden Pdn	Aux.	Und / Sem	Cantidad de productos que se ordena producir semana a semana, para corregir los desajustes del inventario del <i>CEDI</i> , y anticiparse a la demanda (despachos) esperada.
Orden Interna Pdn	Flujo	Und / Sem	Cantidad de la orden de producción que se le asigna a la planta propia. Depende de la capacidad.
Unidades Proceso Planta propia	Nivel	Und	Banda transportadora utilizada para representar el tiempo de producción del proceso de la planta propia.
Fabricación Interna	Flujo	Und / Sem	Tasa a la cual los productos son enviados al <i>CEDI</i> desde la planta propia. Se iguala al tiempo de salida de los productos de la banda transportadora.

En la planta se trabaja seis días a la semana, entre uno y tres turnos por día. El tiempo efectivo de turno corresponde a los minutos que labora cada operario. En caso dado de que se trabajara un solo turno diario el tiempo efectivos es 480 minutos por turno (es decir, 8 horas por día, en 6 días) menos los tiempos de eficiencia y productividad (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2004), debido a los derechos que tienen los trabajadores para las necesidades fisiológicas. En este caso el tiempo efectivo es de 307,2 minutos por semana. Si se trabaja entre dos y tres, el tiempo efectivo disminuye mas, esto se debe a la falta de disponibilidad de medio de transporte para los operarios después de ciertas horas y situación y es necesario otorgar 15 minutos adicionales.

Figura 13. Diagrama del Subsistema Planta Propia



El número y las habilidades de los operarios son variables muy importantes, porque poseen mucha influencia sobre la capacidad interna de la fábrica. Para hallar esta capacidad (en número de unidades que se pueden producir) es necesario encontrar el equivalente en tiempo, es decir, encontrar el número de minutos disponibles que tiene la planta. El cálculo de la capacidad es el número de minutos disponibles por semana y se representa en Ecuación 15:

Ecuación 15. Minutos disponibles por semana.

$$\begin{aligned}
 \text{Minutos Disponibles} &= \text{Operarios} * \text{Tiempo Efectivo Turno} * \text{Días Trabajado Semana} \\
 & * \text{Eficiencia} * \text{Productividad}
 \end{aligned}$$

Una vez se conoce los minutos disponibles, se puede calcular la capacidad de la planta en unidades. Para esto, basta con dividir el tiempo de fabricación de la prenda, el cual es el tiempo ponderado de todas las prendas fabricadas, con relación al SAM. Por lo tanto el problema se resuelve encontrando un SAM promedio de todos los productos. De esta forma, la capacidad interna de la fábrica se da por la Ecuación 16.

Ecuación 16. Capacidad Interna

$$\text{Capacidad Interna} = \frac{\text{Minutos Disponibles}}{\text{Tiempo Fabricacion}}$$

La planta propia toma la orden de producción de la cantidad de tela disponible en unidades que se puede fabricar. En la Ecuación 17 se observa el inventario en tela dividida por la cantidad de tela que se utiliza por prenda.

Ecuación 17. Orden de Producción

$$\text{Orden Producción} = \text{Inventario}[Tela] / \text{Lista_Materiales}[Tela]$$

La orden de producción se debe distribuir entre la planta propia y las plantas satélites, generando dos órdenes de producción adicionales: la orden de producción de la planta propia, y la orden de producción de las plantas satélites.

La planta propia busca maximizar el uso de la capacidad, por lo tanto la orden de producción siempre llena la capacidad de la planta propia y esto da como resultado que la orden en la planta propia sea el mínimo entre la orden de producción y la capacidad en un momento dado: se muestra la expresión para calcular la orden la producción de la parte interna en la Ecuación 18:

Ecuación 18. Orden de Producción Interna.

$$\text{Orden Produccion Interna} = \text{MIN}(\text{Orden Produccion}, \text{Capacidad Interna})$$

Las órdenes de la planta propia generan unidades en proceso, las cuales constituyen un nivel que se muestra en la Ecuación 19:

Ecuación 19. Unidades en Proceso de la Planta propia.

$$\begin{aligned} \text{Unidades Proceso Planta Interna} \\ = \text{Unidades Proceso Planta Interna} (t - dt) \\ + (\text{Orden Produccion Interna} - \text{Fabricacion Interna}) * dt \end{aligned}$$

Esto significa que las órdenes en proceso se convierten en producto terminado a una tasa igual al *Lead Time* de 1.5 semanas de la planta propia y 2.5 semanas de las plantas satélites o maquila que incluyen el tiempo de cola que hace la orden.

La capacidad de la planta propia depende de la cantidad de prendas que se desea producir en un determinado instante de tiempo. Si la cantidad a producir es baja, entonces se necesita menos operarios y se deben despedir. Si la cantidad a producir es alta se debe contratar operarios hasta la capacidad máxima que soporta la planta propia.

Para logra el objetivo de mantener la capacidad de acuerdo con las necesidades de la planta propia, se deben tener en cuenta los trabajadores que en un momento determinado quedan ociosos ó los que se deben contratar para suplir producción.

Para modelar la capacidad ociosos se utiliza, la Ecuación 20 que cuando la capacidad interna es mayor que las órdenes internas, se resta la cantidad interna menos las órdenes de producción internas y son las unidades que no se van a fabricar por no estar programadas.

Ecuación 20. Capacidad ociosa

$$\begin{aligned} \textit{Capacidad ociosa} &= \textit{IF Orden_Pdn_Interna} \\ &< \textit{Capacidad_Interna THEN Capacidad_Interna} \\ &- \textit{Orden_Pdn_Interna ELSE 0} \end{aligned}$$

La cantidad de operarios que no se necesitan son la cantidad de unidades que no se tienen que fabricar en el periodo por el tiempo de fabricación del producto dividido por el tiempo de turno de los operarios.

Ecuación 21. Trabajadores ociosos

$$\begin{aligned} \textit{Trabajadores ociosos} \\ &= (\textit{Capacidad_Ociosa} * \textit{Tiempo_fabricacion}) / \textit{Minutos_Disponibles} \end{aligned}$$

Para los operarios que son necesarios en la planta propia ocurre lo contrario, cuando las órdenes de producción son mayores a la capacidad de producción del momento, entonces la capacidad de producción se puede aumentar restando las órdenes de producción de la capacidad de producción y se divide el resultado por los minutos disponibles como se observan en las Ecuación 22 y Ecuación 23.

Ecuación 22. Capacidad Faltante

$$\begin{aligned} \textit{Capacidad Faltante} &= \textit{IF (Orden_Pdn} > \\ &= \textit{Capacidad_Interna) THEN Orden_Pdn} \\ &- \textit{Capacidad_Interna ELSE 0} \end{aligned}$$

Ecuación 23. Trabajadores Contratados

$$\begin{aligned} \textit{Trabajadores Contratados} \\ &= (\textit{Capacidad_Faltante} \\ &* \textit{Tiempo_fabricacion}) / \textit{Minutos_Disponibles} \end{aligned}$$

La capacidad es determinada por la cantidad de operarios que en un momento determinado son necesarios para cumplir con la producción de prendas de vestir.

6.3.4 Subsistemas de curva de experiencia, contratación y despido de los operarios

El subsistemas de experiencia y contratación y despido tiene el objetivo de calcular las semanas promedio de experiencia que tienen los empleados en la medida que se van aumentando las semanas de trabajo, la rotación de los trabajadores y los cambios de referencias que realizan los operarios en los módulos. En la Tabla 13 y en la Figura 14 se observan las variables utilizadas y el modelo.

La Figura 14 se muestra el sector que presenta dos aspectos, el primero representa la fuerza laboral, es decir la cantidad de operarios que laboran en un momento dado, y el segundo es la *experiencia total efectiva*, que muestra la experiencia acumulada a través de las semanas de trabajo por el personal que labora en la compañía.

Tabla 13 Código de variables. Curva de aprendizaje, contratación y despido de los operarios

CÓDIGO DE VARIABLES DE LA PLANTA PROPIA			
NOMBRE	CLASE	UND.	DESCRIPCIÓN
Tasa contratación	Aux	%Personas/s emana	Fracción o porcentaje al cual las personas son contratadas semanalmente.
Contratación	Flujo	Personas /semana	Personas que serán contratadas en una semana.
Fuerza Laboral	Nivel	Personas	Personas que laboran en la compañía
Renuncias	Flujo	Personas /semana	Personas que salen en una semana de la empresa.
Tasa Renuncias	Aux	%Personas/s emana	Fracción o porcentaje al cual las personas se retiran semanalmente.
Tasa Decaimiento Experiencia	Aux	%Experiencia /semana	Razón a la cual el conocimiento se pierde debido a cambio en el ambiente de trabajo o por conocimiento obsoleto.
Tasa Caída de Experiencia	Flujo	Persona*semana/año	Pérdida de la experiencia (habilidades) por cambios en los equipos y los productos.
Experiencia promedio contrataciones	Aux	semanas	Capacidad de conocimiento con el que llega la gente contratada.
Incremento Experiencia Contratación	Flujo	Semanas*Persona/año	Tasa a la cual las nuevas contrataciones añaden experiencia al total.

CÓDIGO DE VARIABLES DE LA PLANTA PROPIA			
NOMBRE	CLASE	UND.	DESCRIPCIÓN
Incremento Experiencia Trabajo	Flujo	Semana*persona/año	Tasa a la cual el aprendizaje del trabajo aumenta el total de experiencia.
Perdida Experiencia Renuncias	Flujo	semanas*Persona/año	Experiencia que se pierde por la deserción de trabajadores
Experiencia Promedio	Aux	semanas	Experiencia promedio de los trabajadores.
Experiencia total Efectiva	Nivel	Semas *persona	Total de la experiencia por persona en semanas para el total de la fuerza laboral.
Eq. Experiencia Promedio	Aux	semanas	Experiencia promedio de los trabajadores en estado de equilibrio.
Periodo Inicial	Aux	Semanas	Tiempo de inicio para el modelo.
Referencia Productividad	Aux	Unidades/persona/Semana	Cantidad de unidades que se espera que una persona realice por semana.
Referencia experiencia	Aux	semanas	Nivel referencia de experiencia promedio que genera la productividad estimada
Productividad	Aux	Adimensional	La productividad es determinada por la curva de aprendizaje estándar en el total de experiencia efectiva.
Exponente curva Aprendizaje	Aux	Adimensional	Se calcula de la fuerza de la curva de aprendizaje expresada como la fracción de mejoramiento de la productividad obtenida al duplicar la experiencia
Aprendizaje	Aux	Adimensional	Fracción de incremento de productividad al duplicar la experiencia.
Experiencia Promedio	Aux	semanas	Experiencia promedio de los trabajadores.
Máximo Numero Operarios	Aux	Operarios	La cantidad máxima de operarios en la planta
Rotación Mano Obra Directa	Aux	Porcentaje	Fracción o porcentaje al cual las personas se retiran semanalmente
Tamaño Promedio Lote Fabricación	Aux	Unidades	La cantidad de unidades fabricadas promedio por referencia
Lotes Fabricados	Aux	Lotes	Cantidad de lotes fabricados
Numero Lotes	Aux	Lotes	Número de lotes fabricados

CÓDIGO DE VARIABLES DE LA PLANTA PROPIA			
NOMBRE	CLASE	UND.	DESCRIPCIÓN
			completos
Ordenes Fabricadas	Flujo	Número de prendas	Cantidad de prendas ordenadas para ser fabricadas
Lote	Nivel	Número de unidades	Acumulador de unidades a fabricas en los lotes
Salida Lotes	Flujo	Unidades/Se manda	Cantidad de unidades que salen en lotes completos

La fuerza laboral es afectada por las contrataciones y despidos o renuncias del personal, y se ve afectada por la *tasa de contratación y renuncias* respectivamente. Estas tasas representan el porcentaje de personas que ingresan y salen de la empresa en un período de tiempo determinado, de acuerdo con la capacidad que la necesita para la fabricación de las prendas de vestir con los *trabajadores a contratar y trabajadores ociosos* (para el modelo es de una semana).

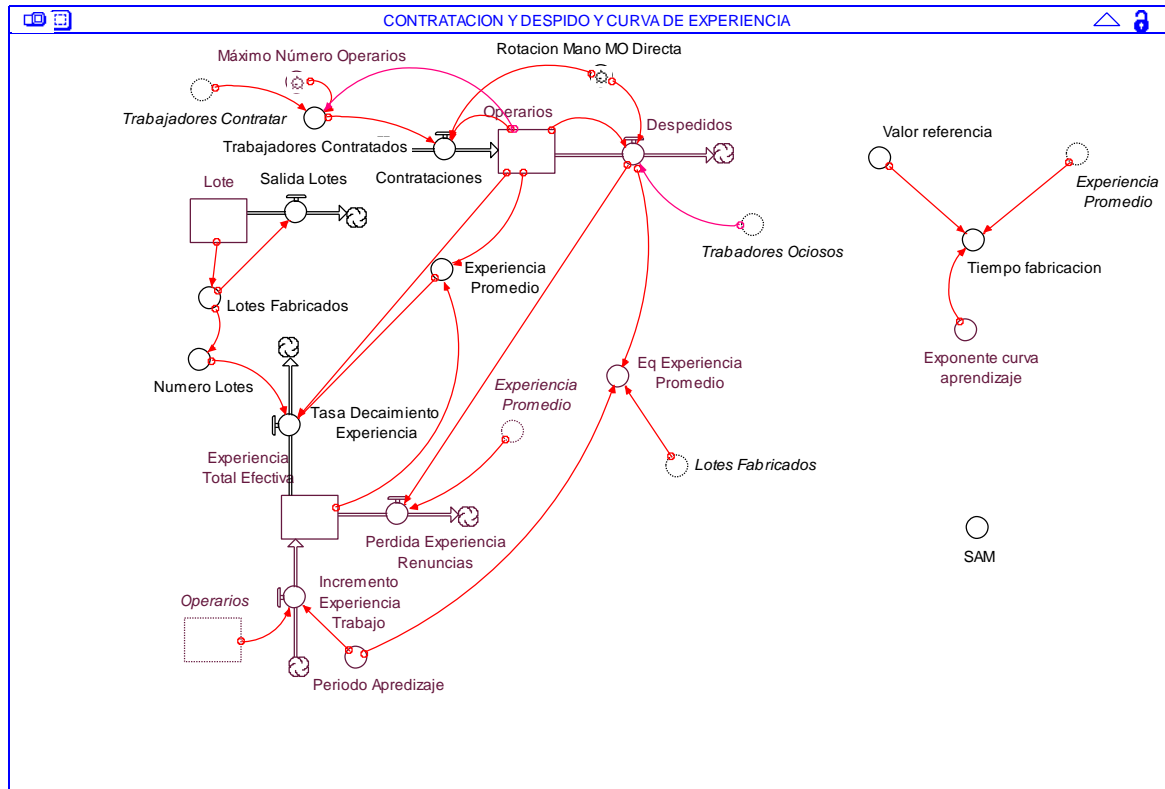
La experiencia total efectiva es un nivel de doble flujo, es decir se encuentra afectado por cuatro flujos, dos de entrada (*incremento experiencia contrataciones e incremento experiencia trabajo*) y dos de salida (*tasa decaimiento experiencia y pérdida experiencia renuncias*), que determinan la experiencia en semanas del total de empleados de la empresa. (Serman J. D., 2000).

El flujo de *incremento experiencia contrataciones* es afectado por dos variables: la *contratación* y la *experiencia promedio contrataciones*. Este indica la experiencias en semanas con la que llegan los nuevos empleados, de igual forma el flujo de *incremento experiencia trabajo* es controlado por las variables de periodo inicial y *fuerza laboral*, que formula la experiencia con la que empieza los trabajadores que ya llevan tiempo en la empresa. (Serman J. D., 2000)

El flujo de *tasa decaimiento experiencia* es afectado por la *tasa caída experiencia* que depende del *tamaño promedio del lote* y la *experiencia promedio*, indicando la razón a la cual el conocimiento se pierde por cambios de referencia, el ambiente de trabajo o por la obsolescencia. Igualmente el flujo de *pérdida experiencia renuncias* es influenciado por la *experiencia promedio* y las *renuncias*, expresando la experiencia que se pierde por la deserción de trabajadores (Serman J. D., 2000).

La experiencia promedio está dada por la experiencia total efectiva, y la fuerza laboral, indicando la experiencia que cada trabajador tiene en promedio. Los trabajadores adquieren un mayor conocimiento del proceso a medida que aumenta su tiempo en la compañía.

Figura 14. Diagrama de curva de experiencia, contratación y despido de operarios.



Para el modelo, en el cual la fuerza de trabajo se incrementa a través de la contratación y decrece por acción de la deserción o despido, la tasa de contratación y la tasa de deserción o despido se asumen endógenas que depende de la capacidad en un momento dado la planta interna. El coflujo mide el promedio del total de la experiencia efectiva de la fuerza de trabajo. El nivel *Experiencia Total efectiva* (medido en personas/ semana) es el número efectivo de semanas de servicio que todos los empleados tienen. Cada empleado contratado tiene una cierta cantidad de experiencia efectiva. Los empleados que abandonan la empresa se llevan un promedio de experiencia con ellos:

Ecuación 24. Experiencia promedio.

$$Experiencia\ promedio = \frac{experiencia\ total\ efectiva}{fuerza\ laboral}$$

Ecuación 25. Incremento en la experiencia contratada

$$\begin{aligned} Incremento\ experiencia\ contratacion \\ = experiencia\ promedio\ contratacion * contratacion \end{aligned}$$

Ecuación 26. Pérdida de la experiencia contratada.

$$\text{Pérdida experiencia contratacion} = \text{experiencia promedio} * \text{renucias}$$

El incremento en la experiencia total efectiva es el número de semanas que cada persona trabaja por año, multiplicada por el total de la fuerza de trabajo:

Ecuación 27. Incremento en la experiencia de trabajo.

$$\text{incremento experiencia trabajo} = \text{fuerza laboral} * \text{periodo inicial}$$

Finalmente la *experiencia total efectiva* también decae a medida que los trabajadores se olvidan del conocimiento relevante y a medida que hay cambios en el proceso de producción y hace obsoleta la experiencia. La *tasa caída experiencia* se asume constante en el modelo, pero podría variar con cambios en la estructura organizacional o por tecnología en los procesos. La *pérdida total de experiencia* es la pérdida promedio de experiencia sumada sobre el total de la fuerza de laboral:

Ecuación 28. Tasa de decaimiento de la experiencia.

Tasa Decaimiento experiencia

$$= \text{Fuerza Laboral} * \text{Experiencia Promedio} * \text{Tasa Caída Experiencia}$$

Debido a que el nivel de *experiencia total efectiva* está modificado por flujos no conservativos de incremento y decaimiento, la experiencia promedio en equilibrio por lo general, no será igual a la experiencia promedio de las nuevas contrataciones, como es en el flujo conservativo. Cuando el sistema esté en equilibrio la suma de las cuatro tasas que afectan la experiencia total efectiva debe ser cero. Cuando la contratación y la deserción son iguales, la fuerza de trabajo está en equilibrio y no varía (Sternan J. D., 2000).

El equilibrio de la experiencia total efectiva es simplemente el equilibrio de experiencia promedio multiplicado por la fuerza laboral. Entre mayor sea la experiencia de nuevas contrataciones o el periodo inicial, mayor será el equilibrio promedio de experiencia; entre más rápido decaiga la experiencia o la gente abandone la organización, menor será el nivel de equilibrio de experiencia.

Una mayor experiencia promedio se deberá traducir en mayor productividad, mayor calidad y menor costo. La teoría de curva de aprendizaje provee una variedad de modelos para relacionar la experiencia en un proceso con atributos como productividad, calidad, o costo.

Parte del modelo de la Figura 14 tiene como objetivo determinar el tiempo de fabricación de los trabajadores. Para esto se deben definir tres variables de entrada:

El *aprendizaje* permite calcular la influencia de la curva de aprendizaje expresada como la fracción de mejoramiento de la productividad obtenida al duplicar la experiencia. (Nahmias, 2007)

El *tiempo de fabricación* es el resultado de la interacción de las variables antes descritas con la intervención de la *experiencia promedio*. El *tiempo de fabricación* es el tiempo que demora en fabricar una prenda en ese momento y se utiliza para evaluar el ritmo de trabajo de los empleados.

Una formulación común (Sterman J. D., 2000) para la curva de aprendizaje expone que el *tiempo de fabricación* se disminuye en un porcentaje dado, por la duplicación relevante de la experiencia, como se observa en la Ecuación 29 :

Ecuación 29. Tiempo de fabricación.

Tiempo Fabricación = IF TIME

> 1 THEN Valor_referencia

** Experiencia__Promedio^Exponente_curva__aprendizaje ELSE Valor_referencia*

El *valor referencia* es el tiempo que se demora en fabricar la primera prenda un operario, sin ninguna experiencia. El exponente C determina la influencia de la curva de experiencia y es igual al exponencial curva aprendizaje de la Ecuación 30:

Ecuación 30. Exponencial de curva de aprendizaje

$$\text{Exponencial curva aprendizaje} = \text{LOGN}(\text{Experiencia})/\text{LOGN}(2)$$

La mayoría de modelos de curva de aprendizaje miden la experiencia por la producción acumulada, un inventario que nunca puede declinar, así que la productividad solo puede aumentar a través del tiempo. El modelo desarrollado representa *tiempo de fabricación* que depende de la experiencia promedio para cada trabajador. Modelar el aprendizaje como un proceso incluido en el capital humano de la compañía significa que, en contraste con los modelos estándares de curva de aprendizaje, es posible que la productividad de la compañía pueda disminuir. La productividad puede caer si existe un éxodo sorpresivo de trabajadores con experiencia o si existe un gran cambio en la tecnología que hace que la experiencia pasada sea obsoleta (Sterman J. D., 2000).

Mientras el conocimiento específico del trabajador es importante, el aprendizaje está también presente a lo largo de la vida como son: la planta, el equipo, rutinas de la organización, y otras infraestructuras. La experiencia acumulada con estas infraestructuras podrá también ser modeladas en la misma medida que la experiencia efectiva de la mano de obra, aunque estos otros elementos de la infraestructura de la compañía podrían tener menores tasas de deserción que la mano de obra. Modelar la productividad dependiente de la experiencia propia de

los recursos de la compañía y la infraestructura, en lugar de ser una función de alguna noción propia de experiencia acumulativa, permite que la productividad, costo o calidad decaigan a medida que la experiencia declina, mientras que las curvas de aprendizaje estándar no pueden exhibir dicho comportamiento (Warren, Strategic Management Dynamics, 2008).

El tiempo de fabricación de una prenda, se calcula es de acuerdo con las semanas de experiencia que tengan los operarios. Para esto se utilizó como referencia la curva de aprendizaje de la empresa y se calcula el aprendizaje de curva de experiencia de los operarios y se muestra la gráfica en el archivo de Excel® de *curva referencia* en anexo B, y se observa la curva de aprendizaje agrupada de las diferentes operaciones, que se espera de un operario.

A medida que pasan las semanas, las personas adquieren mayores destrezas y velocidad para producir una prenda, pero este aprendizaje no es infinito, es decir, por más semanas que la persona realice el mismo producto, llega a un punto en que la eficiencia no sigue aumentando significativamente, si no que se estabiliza en el tiempo estándar de fabricación o SAM.

6.3.5 Subsistema de la Plantas Satélites

Las plantas satélites son fábricas externas, que no hacen parte de la compañía y que se subcontratan de acuerdo con las necesidades de capacidad adicional que se tengan en un momento dado. En la Tabla 14 y en la Figura 15 se muestran respectivamente las variables y el diagrama.

Tabla 14. Variable de las plantas satélites.

CÓDIGO DE VARIABLES DE LAS PLANTAS SATÉLITES			
NOMBRE	CLASE	UND.	DESCRIPCIÓN
Orden Producción Satélites	Flujo	Und / Sem	Cantidad de la orden de producción que se le asigna a la planta propia. Depende de la capacidad.
Unidades Proceso Plantas Satélites	Nivel	Und	Banda transportadora utilizada para representar el tiempo de producción de las plantas satélites.
Fabricación Satélites	Flujo	Und / Sem	Tasa a la cual los productos son enviados al <i>CEDI</i> desde las plantas satélites. Se iguala al tiempo de salida de los productos de la banda transportadora.

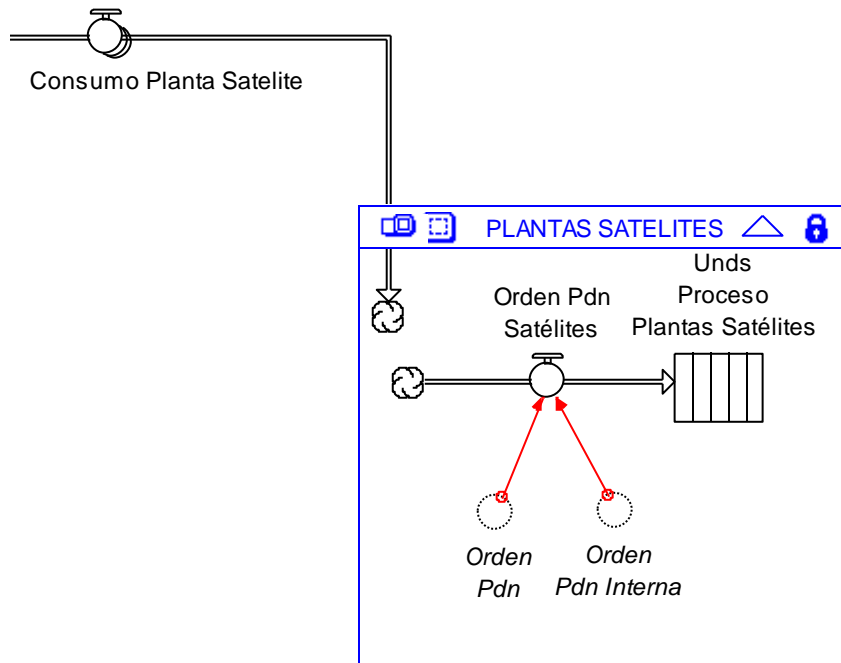
Las plantas satélites se encargan de producir las cantidades que no se pueden fabricar en la planta propia por las restricciones de la capacidad. La orden de producir en las plantas satélites es la diferencia entre la orden de producción total

y la orden de producción interna. En los casos en que la orden interna cubra toda la orden de producción, no se ordena producir en las plantas satélites. Estos criterios se pueden formular de acuerdo con la Ecuación 31.

Ecuación 31. Producción de las plantas Satélite.

$$\begin{aligned} \text{Orden Produccion Satellite} \\ = \text{MAX}(\text{Orden Production} - \text{Orden Produccion Interna}, 0) \end{aligned}$$

Figura 15. Diagrama del Subsistema Plantas Satélites.



La relación entre ambos tipos de órdenes: la planta propia es la primera que responde a la orden de producción, y una vez se llena la capacidad máxima de la planta propia, se activa la orden de producción en las plantas satélites, si la orden de producción así lo requiere.

La orden de producción de las plantas satélites entra en espera para representar el tiempo que se demoran en recibir la orden, procesar y producir, con un tiempo tres semanas en tránsito y se ve en la Ecuación 32:

Ecuación 32. Unidades en proceso de las plantas satélites.

$$\begin{aligned} \text{Unidades Proceso Planta Satellite} \\ = \text{Unidades Proceso Planta Satellite}(t - dt) \\ + (\text{Ordenes Produccion Satellite} - \text{Fabricacion Satellite}) * dt \end{aligned}$$

6.3.6 Subsistema de Materias Primas

Las prendas de vestir utilizan diferentes materias primas para ser fabricadas como tela, hilo, etiqueta, marquilla, bolsa plástica, plastiflecha, elásticos y otros. La tela es pedida con anticipación, dependiendo del pronóstico de venta por ser un sistema *push*. Los otros insumos se piden cuando las existencias llegan a una cantidad mínima establecida y se ordena un tamaño de lote específico. En la Tabla 15 y en la Figura 16 observan las variables utilizadas y el diagrama de flujos y niveles.

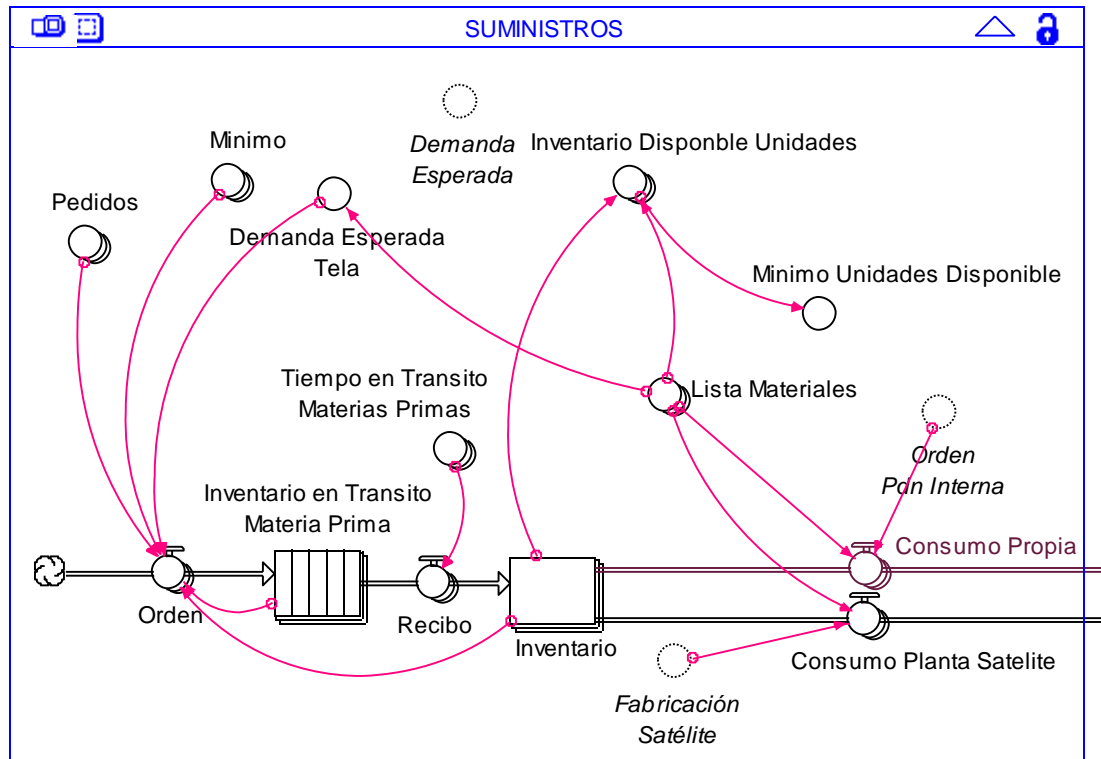
Tabla 15. Variables de materias primas.

CÓDIGO DE VARIABLES DE MATERIAS PRIMAS			
NOMBRE	CLASE	UND.	DESCRIPCIÓN
Orden [Insumos]	Flujo	Diferentes	Determina si el inventario de insumos es inferior al mínimo, y de ser así, realiza una orden de insumos equivalente a la cantidad de pedido
Orden [Tela]	Flujo	m ²	Cantidad metros de tela ordenados según la demanda esperada.
Inventario en Transito Materia [Prima Tela e Insumos]	Nivel	Diferentes unidades	Inventario en tránsito de materias primas según los <i>lead time</i> .
Inventario [Tela e Insumos]	Nivel	Diferentes unidades	Cantidad de tela disponible para ser usada en el proceso de corte y confección.
Lista Materiales [Tela e Insumos]	Aux.	Diferentes unidades / Und	Cantidad de materias primas que consume una sola unidad producida.
Consumo Interna [Tela e Insumos]	Flujo	Diferentes unidades / Sem	Cantidad de materias primas que se consume a causa de la fabricación en la planta propia.
Consumo Satélite [Tela e Insumos]	Flujo	Diferentes unidades / Sem	Cantidad de materias primas que se consume a causa de la fabricación en las plantas satélites.
Recibo	Flujo	m ² / Sem	Tasa a la cual se recibe la tela. Depende del tiempo de tránsito de la banda transportadora Inventario Tránsito Tela.

El área de materias primas se encarga de abastecer a la planta propia y las plantas satélites. Las materias primas más representativas son la tela y el hilo. La

lista de materiales contiene la participación de cada una de las materias primas de las prendas.

Figura 16. Diagrama de subsistemas de materias primas



El aprovisionamiento de tela se realiza según la demanda esperada del pronóstico y se convierte en demanda esperada de tela que son los metros necesarios para la fabricación de prendas de vestir que se observa en la Ecuación 33.

Ecuación 33. Demanda esperada de tela

$$Demanda\ Esperada\ Tela = Lista_Materiales[Tela] * Demanda_Esperada$$

Los insumos son aprovisionados cuando las existencias disminuyen hasta la cantidad mínima de referencia y se hace un pedido por la cantidad de pedido como se advierte en la Ecuación 34.

Ecuación 34. Orden

$$Orden = IF(Inventario[Hilo] + Inventario_en_Transito_Materia_Prima[Hilo] < Minimo[Hilo]) THEN Pedidos[Hilo] ELSE 0n$$

A medida que las plantas fabrican, el inventario de las diferentes materias primas se agota, de acuerdo con el consumo unitario de cada uno. El inventario de tela tiene entonces dos flujos de salida: el consumo de tela de la planta propia, y el consumo de tela de las plantas satélites y se representan con la Ecuación 35 y Ecuación 36.

Ecuación 35. Consumo de tela en la planta propia.

$$\text{Consumo Interna} = \text{Lista_Materiales}[\text{Materias_Primas}] * \text{Unidades_Producir}$$

Ecuación 36. Consumo de la tela en la planta satélite.

$$\begin{aligned} \text{Consumo Planta Satelite} \\ = \text{Lista_Materiales}[\text{Materias_Primas}] * \text{Fabricación_Satélite} \end{aligned}$$

Para los pedidos de los insumo se suma del inventario de los insumos y el inventario de insumos en tránsito (materia prima que se ha ordenado pero aún no ha llegado a la bodega), sea inferior al punto de mínimo de pedido, se toma la decisión de ordenar más insumos, por una cantidad de pedidos.

6.3.7 Subsistema de Indicadores y Costos

En la Figura 17 y la Tabla 16, se muestra cómo está compuesto el subsistema de Indicadores y Costos y las variables respectivamente.

La empresa debe generar ingresos mediante las ventas, los cuales se acumulan en el nivel Total Ingresos.

Ecuación 37. Total de Ingresos

$$\text{Total Ingresos} = \text{Precio} * \text{Ventas Tiendas}$$

Los costos de la planta propia corresponden a los costos de mano de obra directa y a los costos fijos. Los primeros son iguales al número de operarios multiplicados por el salario de cada uno con las prestaciones sociales. Los costos fijos mensuales son de \$12'500.000 / mes de la planta propia (Supervisores, jefes de operaciones, etc). La Ecuación 38, Ecuación 39 y Ecuación 40 se muestran los cálculos de los costos de mano de obra directa y los costos fijos.

Ecuación 38. Costo de la mano de obra directa.

$$\text{Costo MOD} = \text{Operarios} * \text{Salario}$$

Ecuación 39. Costos Fijos

$$\text{Costos Fijos} = \text{IF} \left(\frac{\text{TIME}}{4} \right) - \text{INT} \left(\frac{\text{TIME}}{4} \right) \text{ THEN } 0 \text{ ELSE } 12.500$$

Los costos semanales de las plantas satélites se encuentran multiplicando la cantidad de unidades fabricadas en las plantas satélites por el SAM; de esta manera se halla la cantidad de minutos que se destinaron, y este valor se multiplica por el valor del minuto que cobran los terceros.

Ecuación 40. Costos Planta Satélite.

$$\text{Costos Planta Satelite} = \text{Fabrica Satelite} * \text{SAM} * \text{Valor minuto Planta Satelite}$$

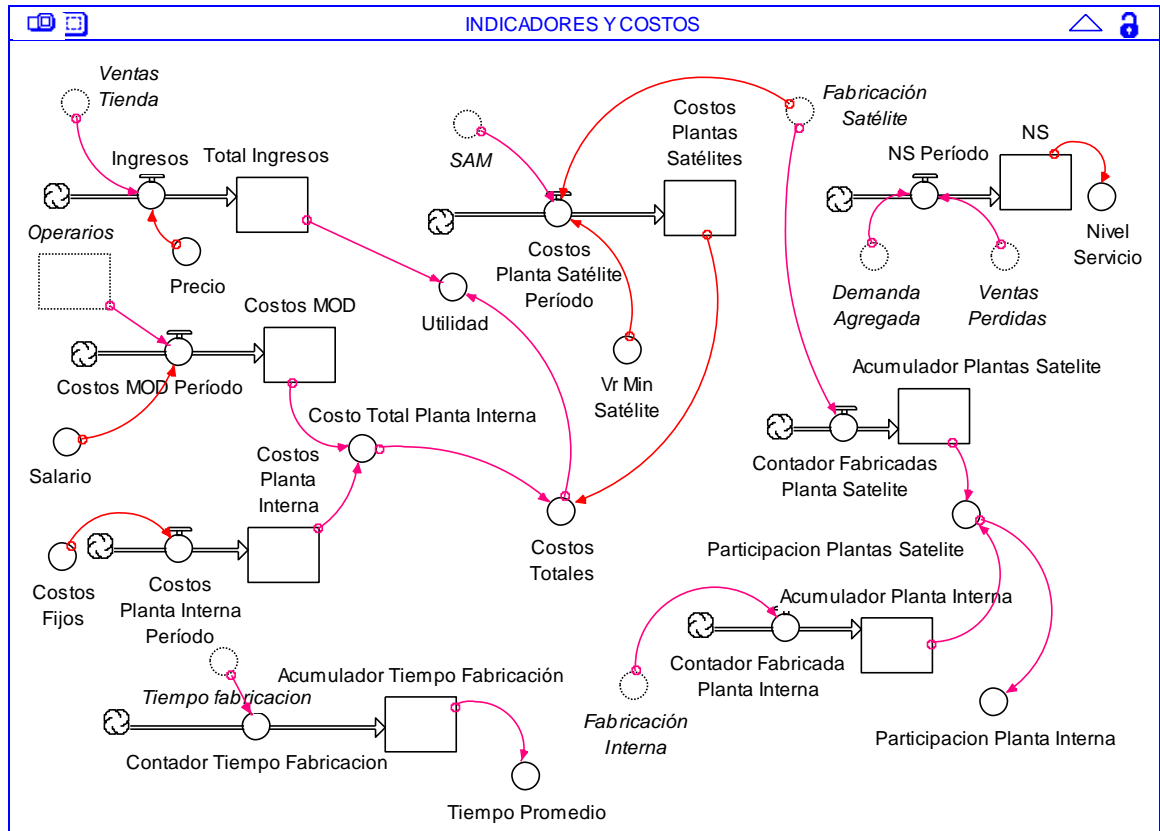
Los tres indicadores de desempeño que se han definido como los más importantes para medir el sistema son:

- Nivel de Servicio: Indica el % de unidades que son entregada satisfactoriamente a los clientes.
- Utilización de la Capacidad: El porcentaje de prendas fabricadas en la planta propia vs. el fabricado en las plantas satélites.
- Costos: Los costos de directos e indirectos de la producción de la empresa

Tabla 16. Variables del subsistema de indicadores y costos.

CÓDIGO DE VARIABLES DE INDICADORES Y COSTOS			
NOMBRE	CLASE	UND.	DESCRIPCIÓN
Ingresos	Flujo	Pesos (\$)	Tasa a la cual ingresa el dinero proveniente de las ventas.
Precio	Aux.	Pesos (\$) / Und	Precio de venta de cada unidad.
Total Ingresos	Nivel	Pesos (\$)	Acumula los ingresos semanales.
Salario	Aux.	Pesos (\$) / Persona	Salario devengado por cada trabajador, más las prestaciones.
Costos MOD	Aux.	Pesos (\$)	Costos generados por el pago de la mano de obra directa (operarios).
Costos Fijos	Aux.	Pesos (\$) / Mes	Costos fijos que se pagan en la planta. Su valor es mensual, se debe ajustar con fórmula pues la unidad de tiempo del modelo es 1 semana.
Costos Planta propia Período	Flujo	Pesos (\$) / Sem	Costos semanales generados por la operación de la planta propia, que suma los costos fijos y los costos de mano de obra directa.
Costos Planta propia	Nivel	Pesos (\$)	Suma los costos de la planta propia de cada período.
Vr Min Satélite	Aux.	Pesos (\$) / Min	Pesos que se pagan por minuto confeccionado por las plantas satélites.
Costos Planta Satélite Período	Flujo	Pesos (\$) / Sem	Costos semanales de la operación de las plantas satélites.
Costos Plantas Satélites	Nivel	Pesos (\$)	Suma los costos de las plantas satélites de cada período.
Costos Totales	Aux.	Pesos (\$)	Suma los costos de la planta propia con los de las plantas satélites.
NS Período	Flujo	% / Sem	Nivel de servicio semanal.
NS	Nivel	Adimensional	Nivel de servicio acumulado a lo largo de la simulación.
Nivel Servicio	Aux.	%	Nivel de servicio promedio.
Utilización Período	Flujo	% / Sem	Utilización de la capacidad semanal.
UC	Nivel	Adimensional	Utilización de la capacidad acumulada a lo largo de la simulación.
Utilización Capacidad	Aux.	%	Utilización de la capacidad promedio.

Figura 17. Diagrama del Subsistema Indicadores y Costos



6.3.8 Subsistema de Control

El subsistema de control se utiliza para revisar y verificar los resultados es un momento dado.

7 INTERFACE DEL MODELO

Para realizar la validación y observar los diferentes escenarios en la simulación se utiliza el *layer* de *Interfaces* del Ithink® para cambiar los distintos parámetros.

El sitio se compone de un menú principal que se observa en la Figura 18 y se compone de información básica y siete botones, de los cuales seis botones trasladan a los sitios de diagrama causal, macromodelo, modelo, parámetros, gráficas y resultados; y el de las ecuaciones explica el procedimiento para llegar a las ecuaciones.

Para realizar la validación y observar los diferentes escenarios se modifican las diferentes parámetros de los controles que se encuentran en el *layer* de *interfaces* en el sitio de parámetros. Los diferentes botones permiten variar las opciones para observar los diferentes resultados y gráficos, según el comportamiento del modelo. En la Figura 19 y en la Figura 20 se observan las ventanas con las diferentes variables.

Figura 18. Menú principal

MENÚ



Modelización de la cadena de abastecimiento de Nadar Speedo®

Desarrollado por:
SERGIO RAMÍREZ ECHEVERRI

Directora
Prof. Gloria Elena Peña Ph. D.



Codirector
Prof. Martin Darío Arango Ph. D.



MODELO

DIAGRAMA CAUSAL

ECUACIONES

MACROMODEL

PARAMETROS

GRÁFICAS

RESULTADOS

REALIZADO POR

VOLVER AL MENÚ

Figura 19. Ventana de Parámetros.

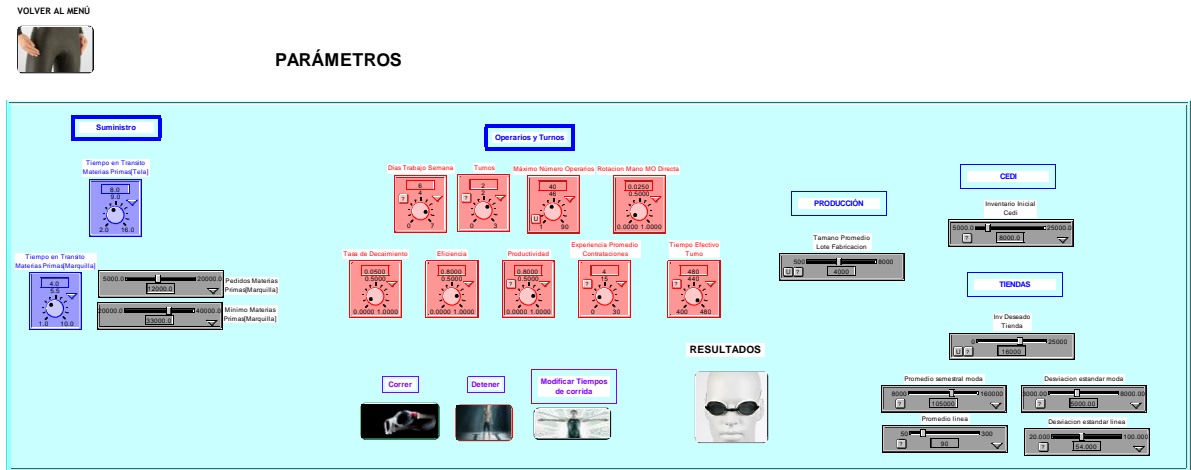


Figura 20. Ventana de resultados según los diferentes parámetros utilizados.



Los parámetros se pueden cambiar en el modelo construido en Ithink® que se encuentra en el CD en el Anexo B de la tesis de maestría según los requerimientos que se desee evaluar para nuevas políticas de la empresa.

8 VALIDACIÓN DEL MODELO

Los ensayos muchas veces están diseñados para ajustar el modelo y observar si es correcto, un acercamiento que dificulta el aprendizaje y finalmente desgasta la utilidad del modelo y la credibilidad del modelador. Peor aún, muchas pruebas importantes nunca se llevan a cabo. Muchos modeladores se enfocan excesivamente en la duplicación de datos históricos, sin considerar la pertinencia de las suposiciones subyacentes, la robustez del modelo y la sensibilidad de los resultados a las suposiciones de los límites del modelo y de la estructura de realimentación. Los modeladores muchas veces fallan en documentar su trabajo, previniendo que otros lo repliquen y lo extiendan (Sterman J. D., 2000).

Los ensayos de evaluación de la estructura usan muchas de las mismas herramientas de los ensayos de adecuación de los límites. Los diagramas de los subsistemas y los mapas de flujos y niveles ayudan a revelar el nivel de agregación. El diagrama causal y la estructura de las políticas revelan la información usada en cada decisión.

Para validar el modelo se realizan ensayos en condiciones extremas y de estructura, la primera permite verificar el correcto funcionamiento del sistema y detectar posibles fallas en la formulación. La segunda, que el modelo esté bien concebido y se asemeje a la realidad.

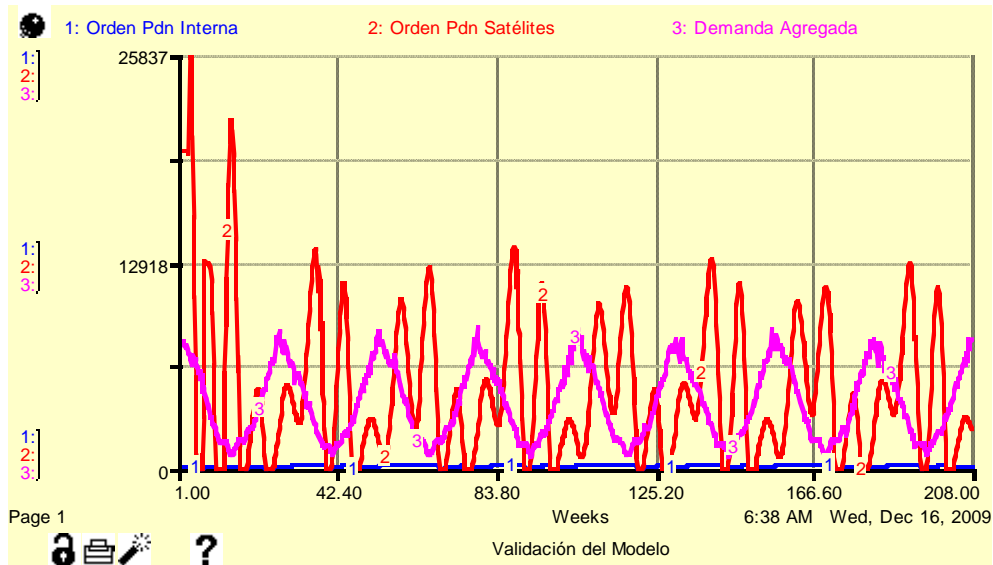
8.1 ENSAYOS BAJO CONDICIONES EXTREMAS

Los modelos deben ser robustos en condiciones extremas. La robustez bajo condiciones extremas significa que el modelo se comportará de manera realista sin importar qué tan extremas sean las entradas o políticas impuestas sobre éste. Por ejemplo, los inventarios nunca pueden caer por debajo de cero sin importar qué tan alta sea la demanda; la demanda por los productos debe caer a cero si los precios suben lo suficiente; la producción no puede resultar sin materiales, mano de obra, equipos y otros recursos. Los ensayos bajo condiciones extremas preguntan si los modelos se comportan apropiadamente cuando las entradas son llevadas a valores extremos como cero o infinito (Sterman J. D., 2000).

8.1.1 Simulación con un operario

La validación inicial se realiza con un operario, los resultados obtenidos se muestran en la Figura 21:

Figura 21 Capacidad, Fabricación y Orden Producción, con un operario.



Como se observa en la Figura 21, la demanda agregada existente genera órdenes de producción a las plantas satélites que fabrican todas las prendas, pero la orden de producción interna es casi cero, debido a que solo tiene 1 operario.

8.1.2 Simulación sin casi demanda

Para verificar que el sistema no genere órdenes de producción, sin casi demanda, la simulación se realiza con demanda de una unidad en la línea y otra unidad en la moda, como se observa en la Figura 22.

Figura 22. Capacidad, Fabricación Interna y Orden Producción con demanda de una unidad en la línea y otra unidad en la moda.

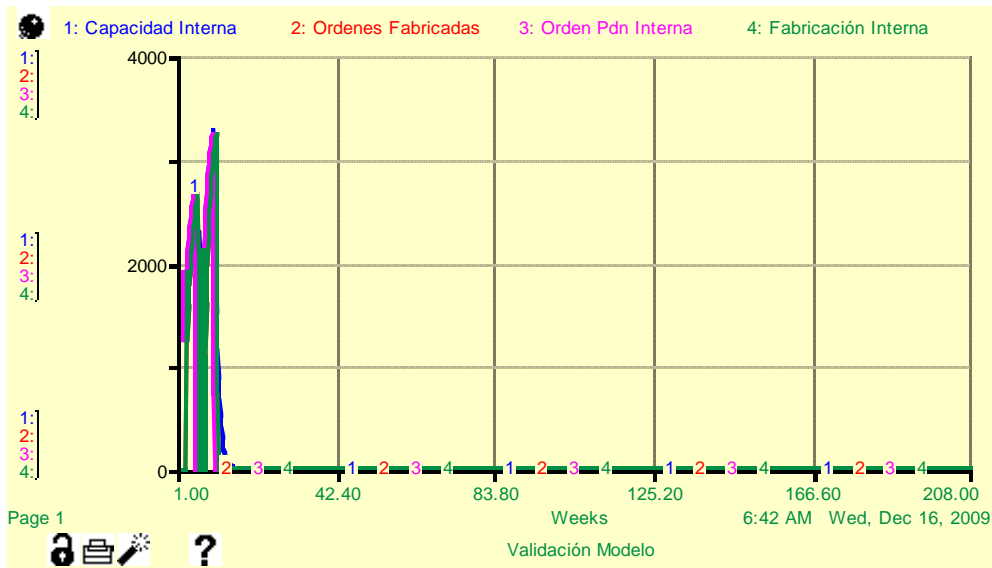
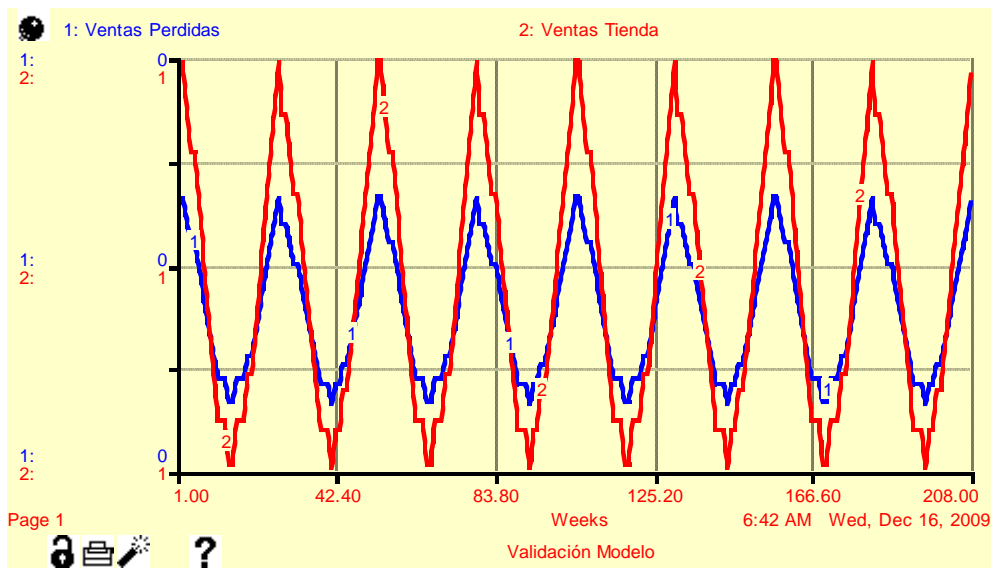


Figura 23. Pendientes de producción con demanda de una unidad tanto para la línea, como la moda.



En la Figura 22 y en la Figura 23, se observa que se generan órdenes de producción de la planta interna, las plantas satélites, ventas perdidas, ventas de la tienda en el rango de cero a uno, debido a que no hay una alta demanda que alimente dichas variables.

8.2 VALIDACIÓN DE LA ESTRUCTURA

Los ensayos de evaluación de la estructura usan muchas de las mismas herramientas de los ensayos de adecuación de los límites. Los diagramas de los subsistemas y los mapas de flujos y niveles ayudan a revelar el nivel de agregación. Diagramas causales y de la estructura de las políticas revelan la información usada en cada decisión. La inspección directa de las ecuaciones revela los heurísticos que se asumen en cada punto de decisión. Ensayos parciales del modelo pueden demostrar la racionalidad prevista de cada una de las reglas de decisión. Adicionalmente, experimentos de laboratorio pueden revelar cómo las personas realmente toman las decisiones en situaciones análogas a las representadas en el modelo. Otra técnica para evaluar la conveniencia de las suposiciones de agregación es desarrollar un modelo más detallado, y luego comparar su comportamiento contra la formulación agregada. Si la desagregación no afecta significativamente los resultados del modelo, se puede mantener el modelo más simple. (Sterman J. D., 2000)

La prueba de estructura del modelo se hace mediante la comparación directa del modelo con los conocimientos del experto en la cadena de suministro de la empresa. Se verificó que las ecuaciones que comprometen la estructura y el comportamiento del sistema, si se encontraran acordes con la estructura del sistema.

9 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

El análisis de los diferentes escenarios se hace modificando los parámetros relacionados con las diferentes variables. Se hace una simulación parámetros inicial establecidos por defecto en el modelo. Después se realiza con variaciones progresivas de las variables: cantidad de operario máximo a contratar, inventario deseado de tienda, tamaño de lote a fabricar y la experiencia promedio de contratación en la empresa, dejando las demás variables iniciales fijas, para observar el comportamiento del modelo. A continuación se cambian diferentes parámetros simultáneamente para conocer el comportamiento el modelo desde diferentes aspectos.

9.1 SIMULACIÓN INICIAL

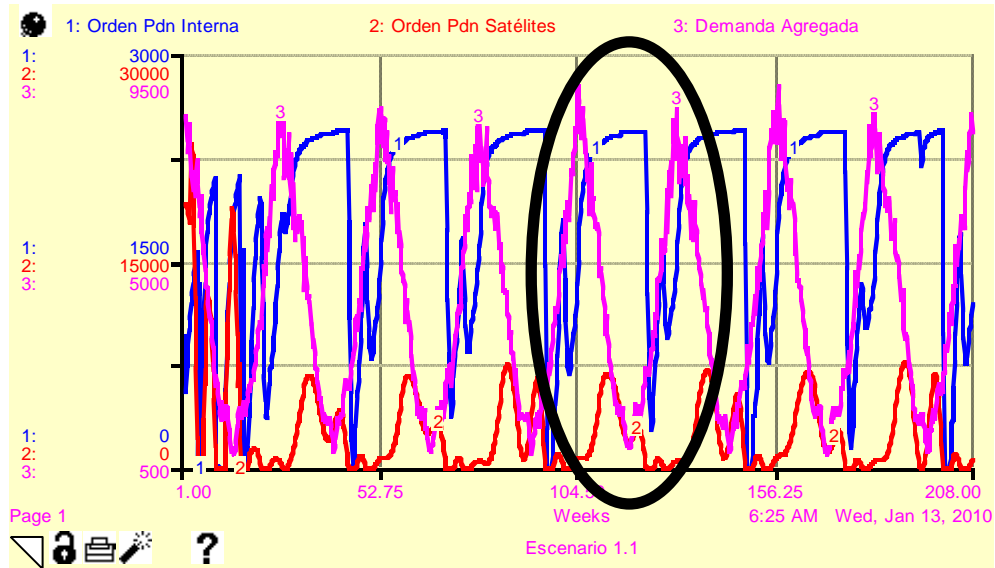
Para esta simulación inicial se utilizan los parámetros por defecto del modelo realizado en Ithink® para el escenario 1.1. Los parámetros se encuentran en la Tabla 17.

Tabla 17. Parámetros para simulación del escenario 1.1.

Parámetros	Valores	Unidades
Tiempo turno	480	Minutos
Turnos	2	Turnos
Días a la semana	6	Días
Aprendizaje	0.74	Adimensional
Tiempo de referencia	57.72	Minutos
Precio minuto maquila	\$210.00	Pesos
Salario	\$ 834,000.00	Pesos
Inventario inicial <i>CEDI</i>	8000	Unidades
Inventario deseado tienda	7500	Unidades
Rotación mano de obra directa	2.5	Porciento
Operarios máximos	30	Operarios
Experiencia promedio de contrataciones	4	Semanas
Tasa decaimiento	5	Porciento/Lote
Tamaño de lote promedio	1240	Unidades
SAM	28.82	Minutos

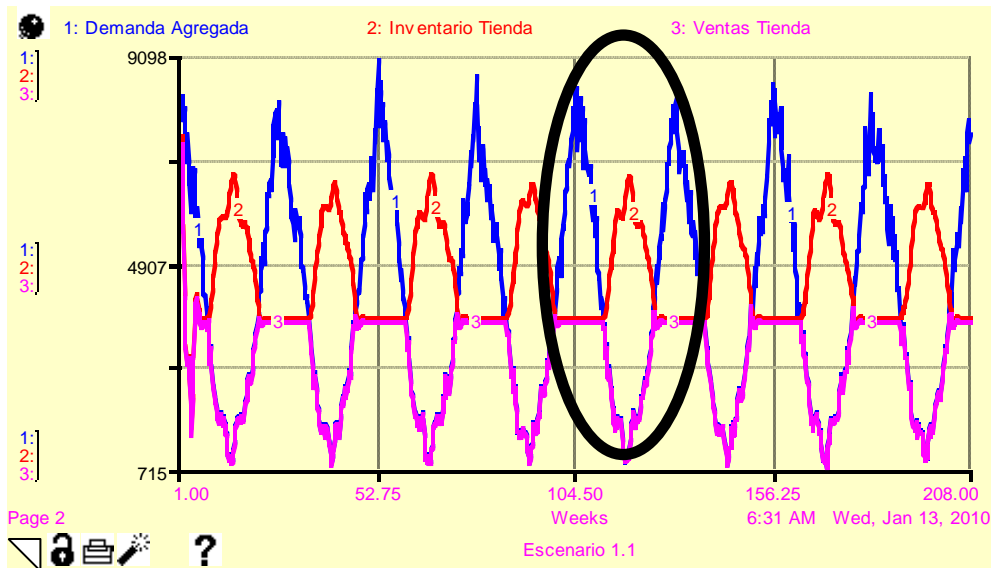
La simulación del modelo bajo los parámetros de la Tabla 17 proporciona los resultados mostrados en la Figura 24, en la Figura 25. y en la Figura 26.

Figura 24. Orden de producción interna y satélite con la demanda agregada, Escenario 1.1



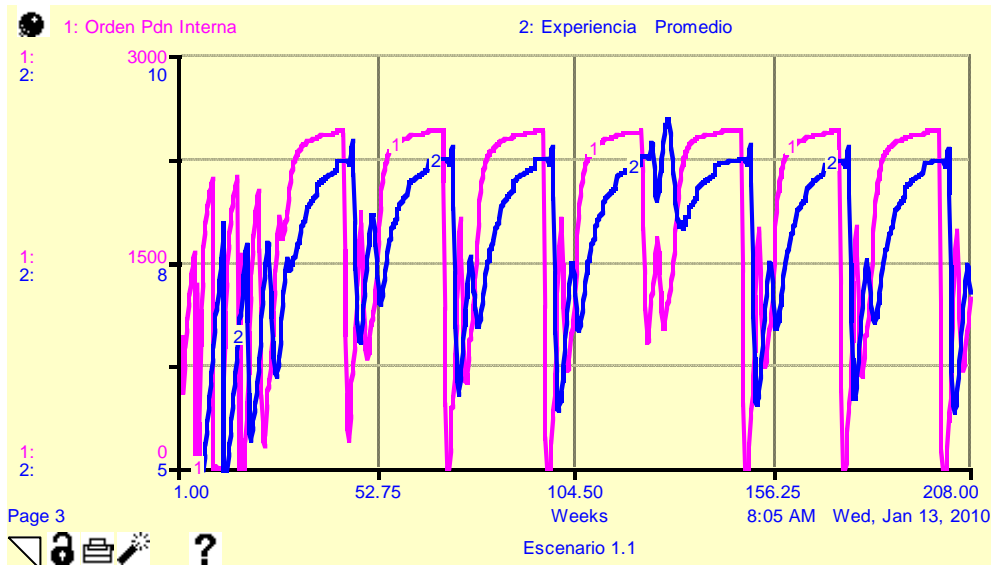
En la Figura 24 se observa que cuando comienza a elevarse la demanda agregada (línea de color rosado o marcadas con el número tres), las órdenes de producción internas (línea azul o marcadas con el número uno) aumentan posteriormente al pico de demanda hasta después un máximo y disminuye rápidamente, luego de la caída rápidamente aumenta en un pico. A mayor cantidad de órdenes de producción interna, las órdenes para las plantas satélites (línea de color rojo o marcada con número dos) disminuyen.

Figura 25. Demanda agregada, ventas e inventario en las tiendas del escenario 1.1.



En la Figura 25, los mayores picos de demanda agregada (color azul o marcada con el número uno), se dan con las ventas (color rosado o marcados con el número 3) mayores y se aplana por no disponer de mayor cantidad de inventario (línea roja o marcada con el número dos)

Figura 26. Experiencia promedio. Escenario 1.1



En la Figura 26 se observan las órdenes de producción de la línea de color rosado o marcadas con el número dos, desplazada con respecto al comportamiento de la experiencia promedio (línea azul o marcada con el numero 2).

Tabla 18. Resultados del escenario 1.1.

Total Ingresos	11,954,065.8	Nivel Servicio	80.0
Costos MOD	888,070.6	Participaci...tas Satelite	0.39
Costos Pla...s Satélites	2,162,326	Participaci...anta Interna	0.61
Costos Totales	3,209,771.4	Tiempo Promedio	25.9

En la Tabla 18 se observan los resultados que se obtienen con el escenario 1.1.

9.2 SIMULACIÓN PROGRESIVA

Para la simulación progresiva los parámetros utilizados son los de Tabla 17.

Tabla 17. y en los escenarios 1.2, 1.3, 1.4 y 1.5 se modifica un solo parámetro a la vez y los demás quedan iguales.

9.2.1 Número de operarios máximos en la planta interna. Escenario 1.2.

La simulación del modelo que modifica el parámetro del máximo número de operarios de 20 hasta 60 con intervalos de 10 operarios (ver la Tabla 19) y se entrega los siguientes resultados de la. Figura 27.

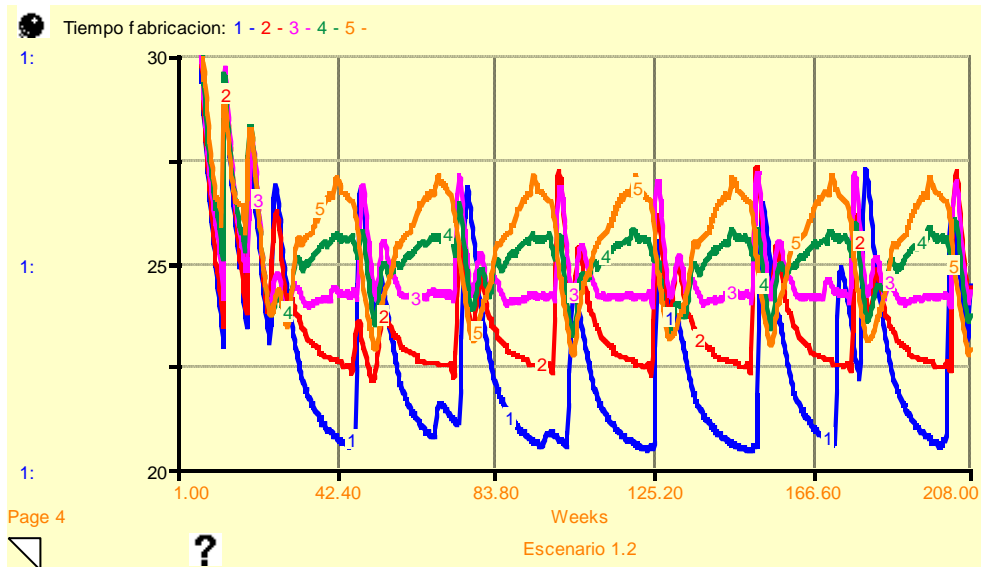
Tabla. Parámetros del escenario 1.2 e identificación de las líneas de la

Tabla 19. Del escenario 1.2 e identificación de las líneas de la Figura 27

Máximo número de operarios	Número de línea	Color de la línea
20	1	Azul
30	2	Roja
40	3	Rosada
50	4	Verde
60	5	Marrón

La Figura 27 muestra el comportamiento del tiempo de fabricación de la planta propia. El tiempo de fabricación (línea azul o marcada con el número 1) que corresponde a 20 operarios y es el pico más bajo de todos y con 60 operarios (línea marrón o marcada con el número 5) es el mayor.

Figura 27. Tiempo de fabricación. Escenario 1.2



En la Tabla 20 se observa el cambio del máximo número de operarios desde 30 hasta 90, con intervalos de 20 operarios.

En la Tabla 20 se ven que los costos solo se afectan, cuando la cantidad máxima de operarios es cambiada, debido a que los operarios máximos de contratación y la plantas satélites tienen costos diferentes y la fuerza laboral a través del tiempo se aumenta o reduce y hace que la empresa cumpla con la demanda, ya que tiene suficiente capacidad para producir.

En la Tabla 20 se observa que con 50 operarios los costos de las plantas satélites y la interna son casi iguales y está cerca al punto de indiferencia y que el aumento progresivo de la máxima contratación de operarios no produce ningún ingresos significativo en compañía; esto se debe a que la capacidad disponible de las plantas es capaz de reaccionar a los periodos de demanda, por lo tanto la empresa alcanza a cumplir con la demanda agregada, anticipándose a la producción.

Por otra parte se puede observar en la Figura 27 que en la medida que se aumentan la cantidad máxima de operarios del escenario 1.2, los tiempos de fabricación aumentan y esto se explica, cuando se observa detalladamente el comportamiento de la experiencia promedio que adquieren los empleados, es decir, en la medida que se tenga más operarios, la experiencia promedio se reduce, lo mismo sucede cuando existen menos operarios que ya tienen algún grado de experiencia, en conclusión entre más alta, la cantidad de operarios menor será la experiencia promedio de las personas por la contratación y despidos; lo que genera una pérdida en el experiencia, haciendo así que la capacidad sea menor.

Tabla 20 Resultados de los ingresos, costos y servicio al cliente del modelo con máximo 30, 50, 70 y 90 operarios del escenario 1.2.

30 Operarios			
Total Ingresos	11,926,665	Nivel Servicio	80.1
Costos MOD	888,346.9	Participaci...tas Satelite	0.39
Costos Pla...s Satélites	2,144,715	Participaci...anta Interna	0.61
Costos Totales	3,192,437.9	Tiempo Promedio	25.9
50 Operarios			
Total Ingresos	11,929,076	Nivel Servicio	80.2
Costos MOD	1,263,375	Participaci...tas Satelite	0.19
Costos Pla...s Satélites	1,042,621	Participaci...anta Interna	0.81
Costos Totales	2,465,371.9	Tiempo Promedio	27.7
70 Operarios			
Total Ingresos	11,946,690	Nivel Servicio	80.1
Costos MOD	1,410,358	Participaci...tas Satelite	0.12
Costos Pla...s Satélites	659,749	Participaci...anta Interna	0.88
Costos Totales	2,229,483	Tiempo Promedio	28.2
90 Operarios			
Total Ingresos	11,941,025	Nivel Servicio	80.2
Costos MOD	1,457,190	Participaci...tas Satelite	0.10
Costos Pla...s Satélites	556,997	Participaci...anta Interna	0.90
Costos Totales	2,173,562	Tiempo Promedio	28.3

9.2.2 Inventario deseado de las tiendas, Escenario 1.3.

Es el aumento del inventario deseado de las tiendas, este parámetro comienza en 7000 unidades hasta 25000 unidades en intervalos de 3000

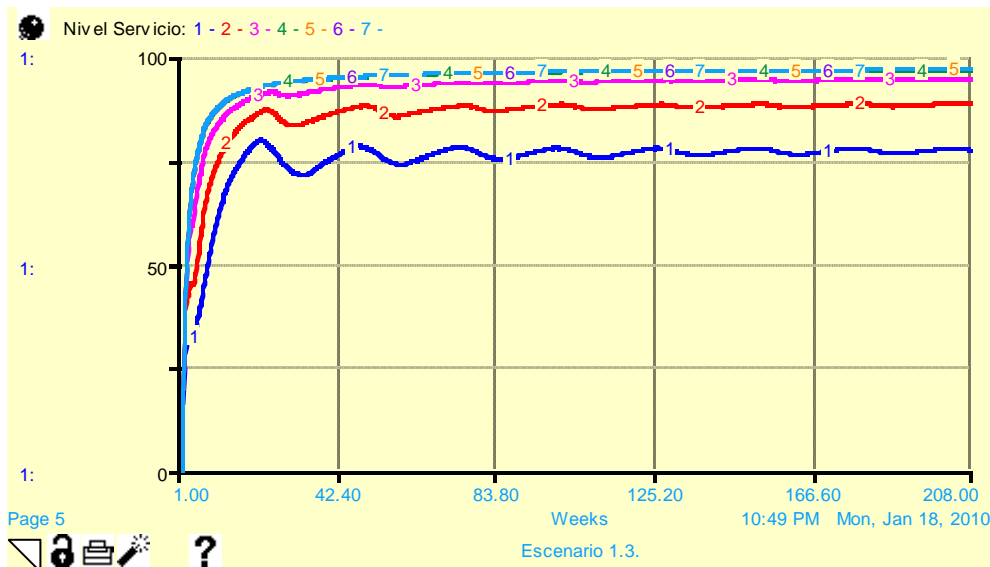
Se simula bajo los parámetros del escenario 1.1 y variando el inventario deseado de las tiendas de la Tabla 21

Tabla 21. Parámetros del escenario 1.3 e identificación de las líneas de la Figura 28.

Inventario deseado tienda	Número de línea	Color de la línea
7000	1	Azul
10000	2	Roja
13000	3	Rosada
16000	4	Verde
19000	5	Marrón
22000	6	Azul oscuro
25000	7	Azul cielo

De la simulación del modelo bajo los parámetros antes descrito se obtienen los resultados, que se observan en la Figura 28:

Figura 28 Nivel de servicio del escenario 1.3.



En la Figura 28 se observa que en la medida en que el nivel de inventario deseado aumenta, el nivel de servicio es mayor, y a partir de 16.000 unidades en las tiendas (línea verde o marcada con el número cuatro) no existen cambios significativos del nivel de servicio.

9.2.3 Tamaño promedio de lote a fabricar. Escenario 1.4.

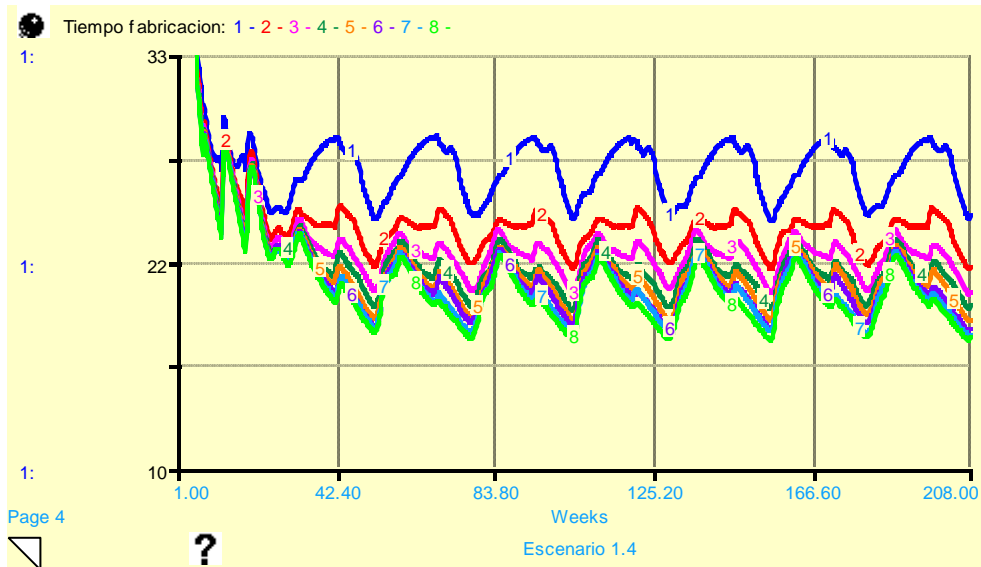
Se simula bajo los parámetros del escenario 1.4 cambiando el tamaño promedio del lote de fabricación de 1000 hasta 8000 en intervalos de 1000 unidades (Ver Tabla 22).

Tabla 22. Parámetros del escenario 1.4 e identificación de las líneas de la Figura 29

Tamaño promedio del lote	Número de línea	Color
1000	1	Azul
2000	2	Roja
3000	3	Rosada
4000	4	Verde
5000	5	Marrón
6000	6	Azul oscuro
7000	7	Azul cielo
8000	8	Verde claro

De la simulación del modelo bajo los parámetros se obtienen los resultados descritos en las Figura 29:

Figura 29. Tiempo de fabricación del escenario 1.4.



En la Figura 29 se observa que de los tamaños de lote superiores a las 4.000 unidades (línea marcada con el número 4 o de color verde), los cambios en los tiempos de fabricación son más pequeños.

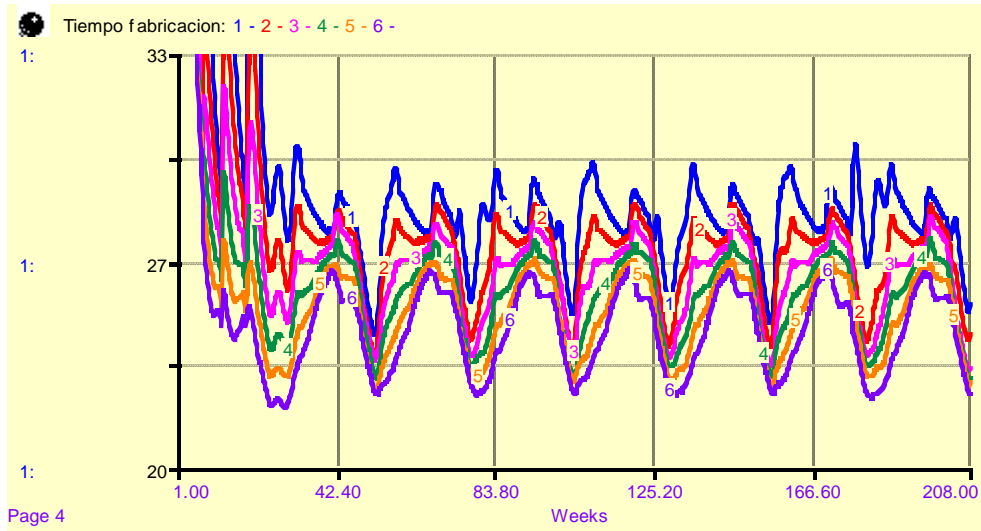
9.2.4 Semanas de experiencia en la contratación. Escenario 1.5

Se utilizan los parámetros del escenario 1.1 y la experiencia promedio de contratación va desde la semana 1 hasta 6, de uno en uno (ver Tabla 23). En la Figura 30 se observan los tiempos de fabricación con la experiencia promedio de contratación.

Tabla 23. Parámetros del escenario 1.2 e identificación de las líneas de la Figura 30.

Tamaño promedio del lote	Número de línea	Color
1	1	Azul
2	2	Roja
3	3	Rosada
4	4	Verde
5	5	Marrón
6	6	Morado

Figura 30. Tiempo de fabricación con cambio de la experiencia promedio del escenario 1.5



En la Figura 30 se muestra que a mayor número de semanas de experiencia de contratación, el tiempo de fabricación es menor.

9.3 SIMULACIÓN BAJO DIFERENTES PARÁMETROS.

Se hacen tres análisis con los datos de los escenarios anteriores de las simulaciones progresivas. El primer análisis se realiza con menores valores utilizados, El segundo con los máximos valores usados y el tercero con los mejores resultados intermedios obtenidos como se observan en la Tabla 24, Tabla 25, Tabla 26

Tabla 26. Con los parámetros del escenario 1.1.

Tabla 24. Parámetros del escenario 2.1.

Parámetros	Valores	Unidades
Inventario deseado tienda	7000	Unidades
Operarios máximos	20	Operarios
Experiencia promedio de contrataciones	1	Semanas
Tamaño de lote promedio	1000	Unidades

Tabla 25. Parámetros del escenario 2.2.

Parámetros	Valores	Unidades
Inventario deseado tienda	25000	Unidades
Operarios máximos	90	Operarios
Experiencia promedio de contrataciones	6	Semanas
Tamaño de lote promedio	8000	Unidades

Tabla 26. Parámetros del escenario 2.3.

Parámetros	Valores	Unidades
Inventario deseado tienda	16000	Unidades
Operarios máximos	40	Operarios
Experiencia promedio de contrataciones	4	Semanas
Tamaño de lote promedio	4000	Unidades

9.3.1 Menores valores .Escenario 2.1

Para esta simulación se utilizan los datos de la Tabla 24 y se obtienen los resultados mostrados en las figuras 31, 32 y 33.

Figura 31. Ventas tienda y ventas perdidas del escenario 2.1.

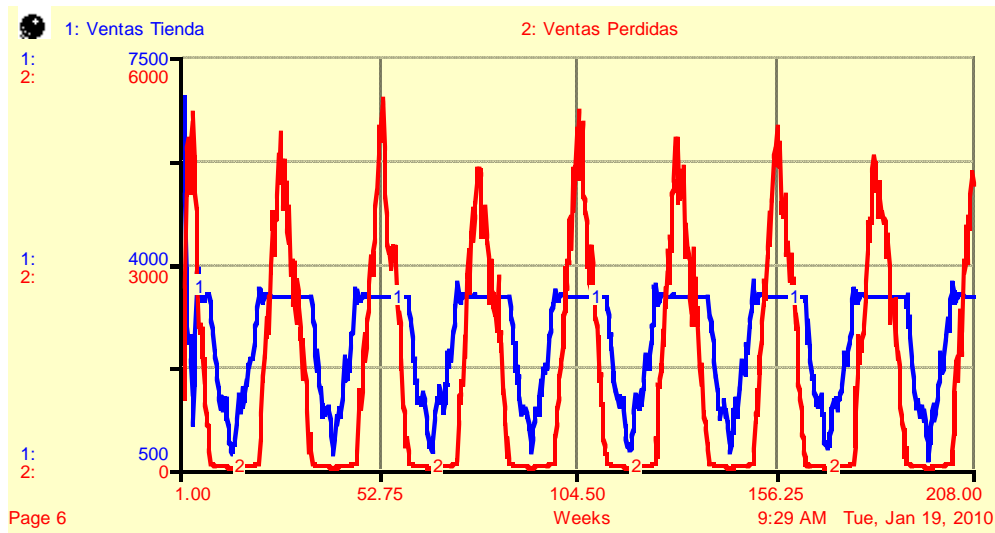


Figura 32. Orden de producción interna, ordenes de las plantas satélites y demanda agregada del escenario 2.1

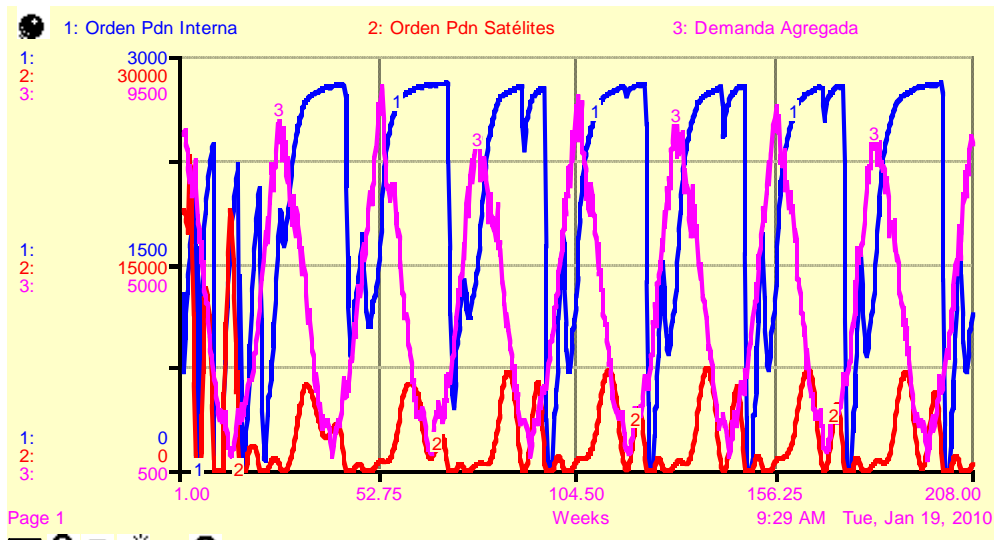
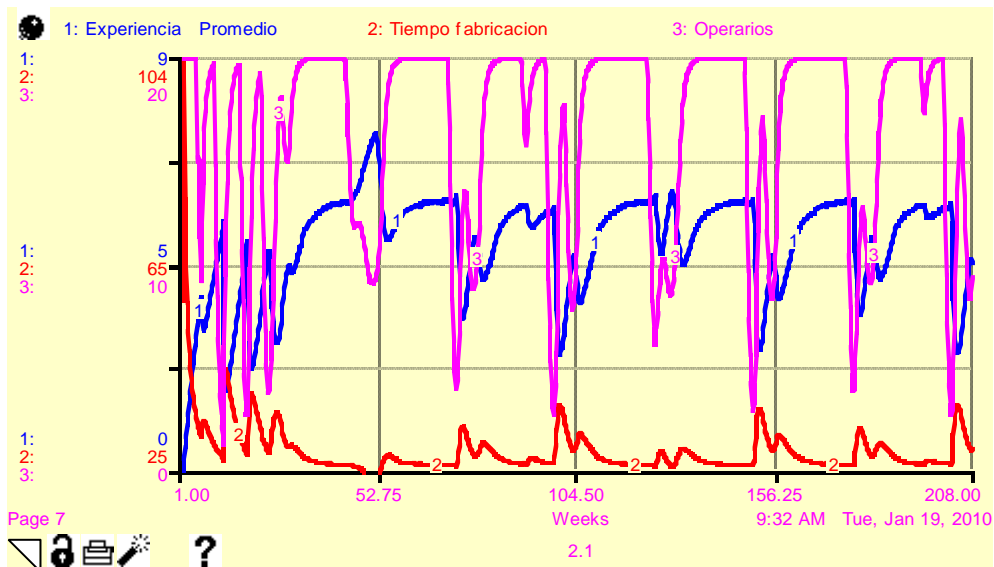


Figura 33. Operarios, experiencia promedio y tiempo de fabricación del escenario 2.1



Se puede observar en la Figura 31 que los picos de venta se dan cuando existen mayores pérdidas de ventas. En la Figura 32, a medida que se aumenta la demanda agregada, las órdenes de producción de la planta interna aumenta hasta la capacidad máxima permitida por la cantidad de operarios que se pueden contratar. Esto se explica, cuando se observa en la Figura 33 el comportamiento de las experiencia promedio que adquieren los operarios, es decir, en la medida en que entren más operarios nuevos, la experiencia promedio se reduce, lo mismo

sucede cuando se retira empleados que ya tienen algún grado de experiencia; lo cual genera un aumento en los tiempos de fabricación, haciendo así que la capacidad sea menor. En la Figura 34 se observan los resultados del escenario 2.1.

Figura 34. Resultados del escenario 2.1.

Total Ingresos	11,387,542	Nivel Servicio	78.0
Costos MOD	697,588.4	Participaci...tas Satelite	0.56
Costos Pla...s Satélites	3,087,641	Participaci...anta Interna	0.44
Costos Totales	3,944,604.4	Tiempo Promedio	28.7

9.3.2 Mayores valores. Escenario 2.2.

Para simular el escenario 2.2 se utilizan los datos de la

Tabla 25 y se obtienen los resultados mostrados en la Figura 35, en la Figura 36, en la Figura 37.

Figura 35. Ventas tienda y ventas perdidas del escenario 2.2.

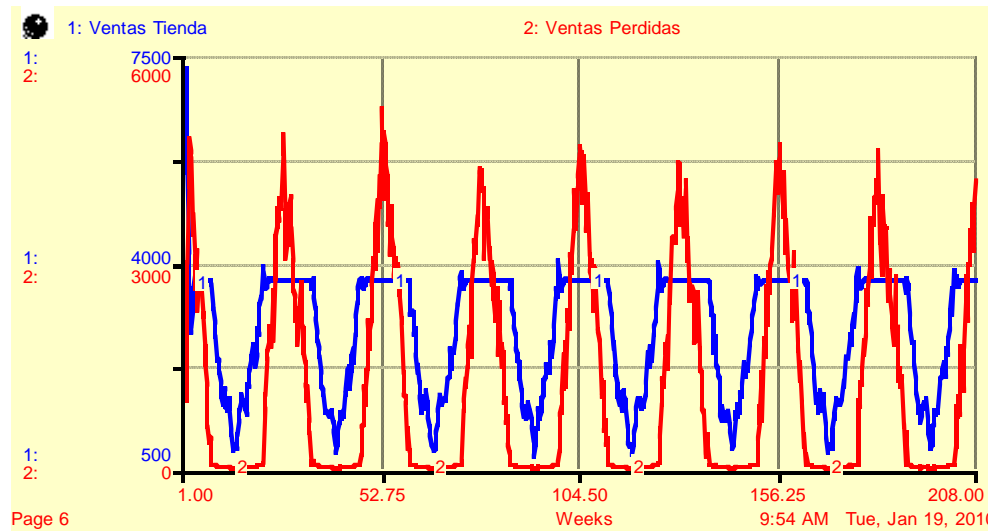


Figura 36. Orden de producción la planta interna, y las plantas satélites, y demanda agregada del escenario 2.2

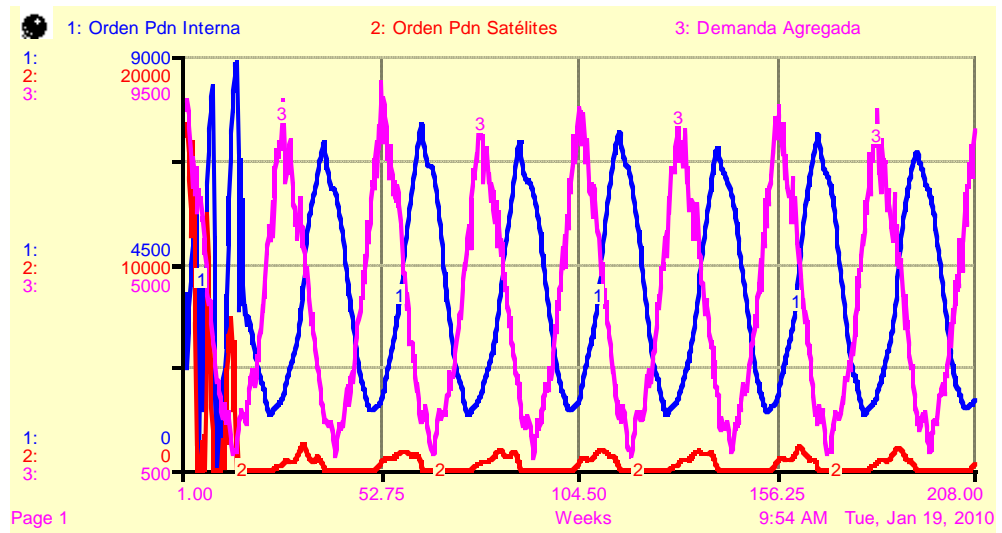
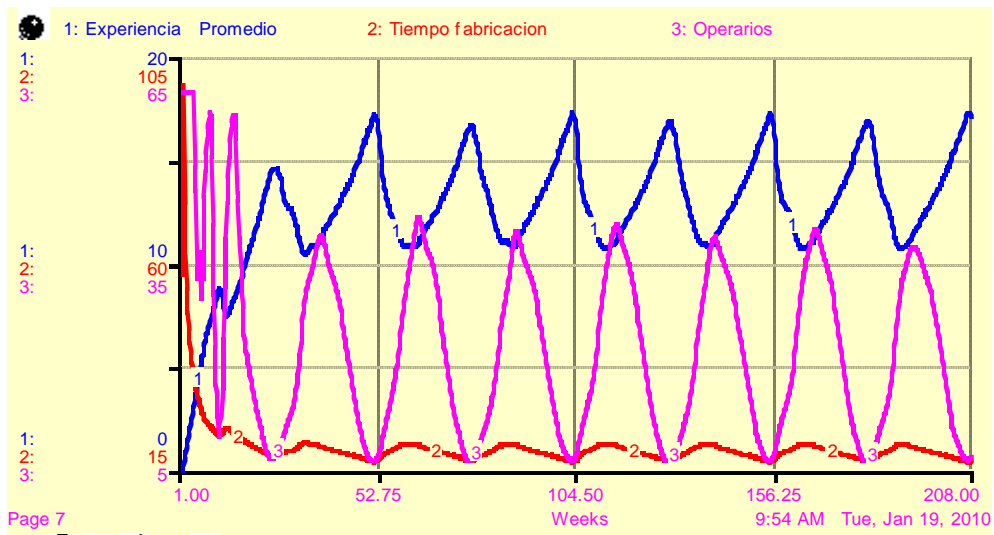


Figura 37. Operarios, experiencia promedio y tiempo de fabricación del escenario 2.2



En la Figura 38 se observan los resultados del escenario 2.2.

Figura 38. Resultados del escenario 2.2.

Total Ingresos	11,956,785.9	Nivel Servicio	80.2
Costos MOD	989,231.7	Participaci...tas Satelite	0.12
Costos Pla...s Satélites	659,793	Participaci...anta Interna	0.88
Costos Totales	1,808,399.4	Tiempo Promedio	19.6

El escenario 2.2 es mejor en ingresos, costos de Mano de obra directa, tiempo promedio de fabricación y nivel de servicio, que el escenario 2.1.

9.3.3 Mejores resultados intermedios. Escenario 2.3

Para realizar esta simulación se toman los datos que resultados se encuentran en la Tabla 26

De la simulación del modelo bajo los parámetros anteriores, se obtienen los resultados mostrados en la Figura 39, en la Figura 40, en la Figura 41.

Figura 39. Ventas tienda y ventas perdidas del escenario 2.3.

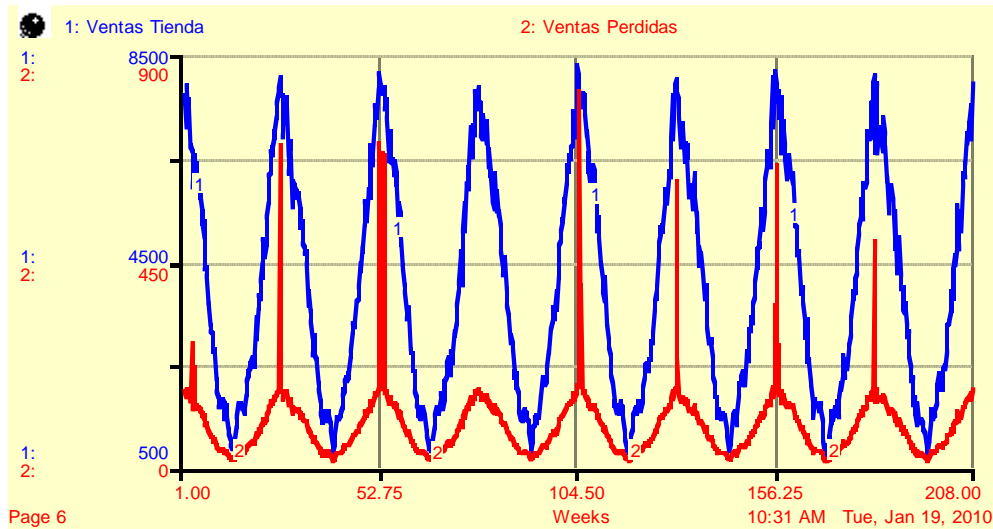


Figura 40. Orden de producción planta interna y plantas satélites, y demanda agregada del escenario 2.3

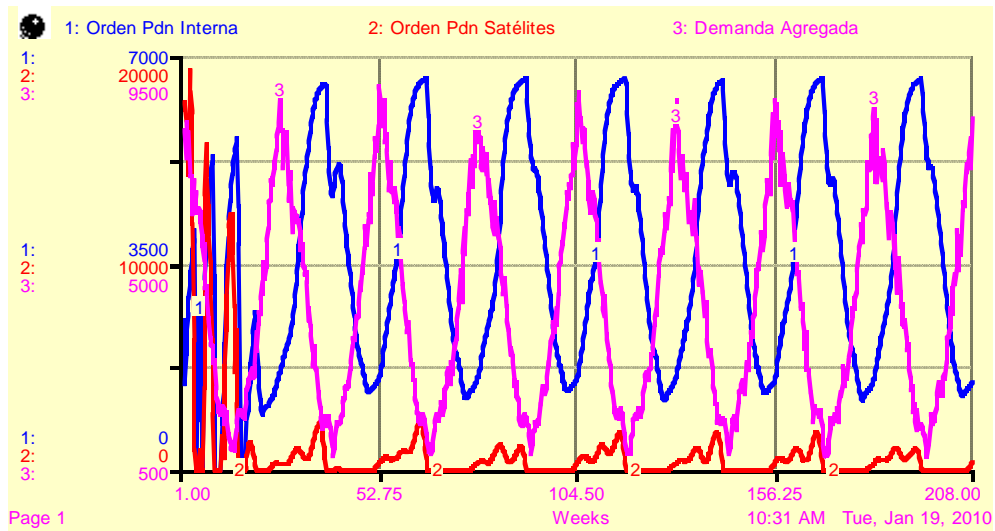
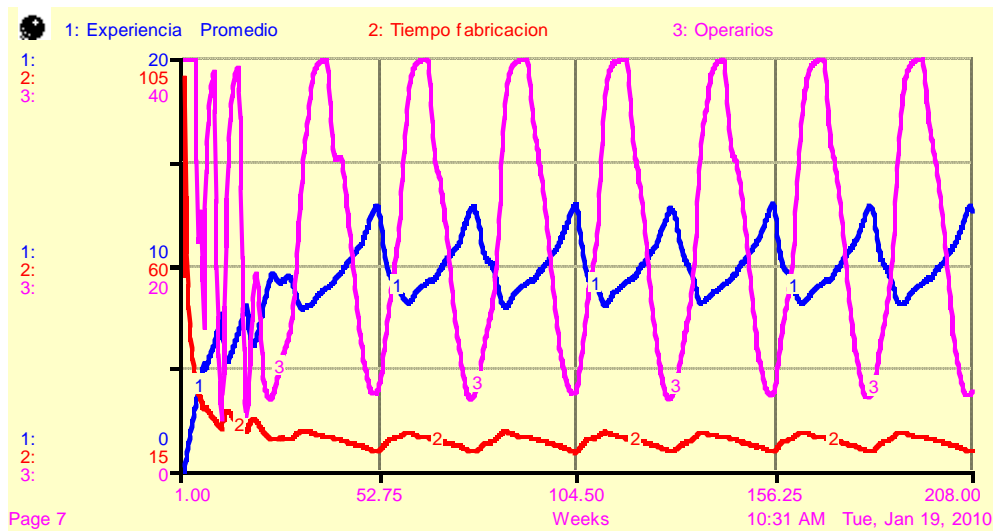


Figura 41. Operarios, experiencia promedio y tiempo de fabricación del escenario 2.3



En la Figura 42 se observa los resultados del escenario 2.3.

Figura 42. Resultados del escenario 2.3.

Total Ingresos	16,711,775.6	Nivel Servicio	97.3
Costos MOD	1,008,495.4	Participaci...tas Satelite	0.19
Costos Pla...s Satélites	1,061,355	Participaci...anta Interna	0.81
Costos Totales	2,229,225.4	Tiempo Promedio	22.2

El escenario 2.3 es mejor que los escenarios 2.1 y 2.2, exceptuando los costos de la mano de obra directa y planta satélite, en el cual el escenario 2.1 es mayor y en el escenario 2.2 es menor.

10 CONCLUSIONES

Al definir las variables a utilizar en el modelo, como inventarios, operarios, órdenes, tiempos y determinar los límites, la extensión de ésta cadena de abastecimiento de la empresa es desde los proveedores de materia prima, hasta los clientes, con las plantas satélites. Igualmente, se debe establecer con mucho cuidado el nivel de detalle con el cual se construye el modelo, de tal forma que refleje adecuadamente el comportamiento general de la cadena de suministros de la empresa sin caer en pormenores o datos demasiado precisos que poco aportan o que no son significativos en el comportamiento del sistema. En esta tesis de maestría, la información se presenta de la forma agregada, es decir, con poco nivel de detalle, lo cual permitió observar más claramente los efectos que ocurren a nivel global en la cadena de abastecimientos del sector textil confección. De esta forma, se pueden tomar más fácilmente decisiones de carácter estratégico.

Con la realización del modelo, se analizó profundamente la estructura de la cadena de suministros de la empresa Creaciones Nadar S.A que está comprendida por los diferentes subsistemas y se logra identificar las relaciones más importantes entre las variables al interior y los efectos de cada una en el desempeño de la cadena relacionadas con el comportamiento de la demanda en productos de moda y de línea, la utilización de la capacidad de la planta propia y la subcontratación para observar los indicadores de costo, nivel de servicio y utilización de las plantas.

El modelo propuesto se considera efectivo para la gestión de la cadena de suministros de Creaciones Nadar S.A. debido a que relaciona las variables relevantes como el efecto de la curva de experiencia en la planta interna y el efecto que tiene sobre la capacidad de la planta, y permite evaluar los indicadores de forma integral. Esto ayuda a mejorar la toma de decisiones de capacidad instalada, costos y nivel de servicio. Es posible evaluar los diferentes escenarios que se encuentran en capítulo 9 para encontrar en qué costos incurre la empresa para alcanzar un nivel de servicio determinado o deseado, al mismo tiempo que analiza qué tan bien utiliza su capacidad y en consecuencia se mide el uso de los recursos.

Al realizar evaluaciones y pruebas de escenarios, es importante analizar el comportamiento del modelo al modificar una sola variable a la vez como se observa en los escenarios de simulación progresiva para entender los efectos de la variable sobre el modelo y los resultados. Sin embargo, es más conveniente aún llevar a cabo análisis de sensibilidad modificando distintas variables al mismo tiempo, para encontrar así combinaciones de parámetros que lleven a mejores resultados como se observa en el numeral 9.3 del capítulo 9.

La construcción de modelos de simulación resulta ser una herramienta efectiva en el análisis del comportamiento de un sistema o proceso específico; su utilización

en la empresa por parte de las personas que toman las decisiones, permite visualizar efectos no esperados de las políticas estratégicas de la compañía. En la empresa muchas de las decisiones que se toman y que afectan el futuro de la entidad son intuitivas, como la contratación y despido y ponen en riesgo el desempeño productivo de la empresa. La utilización de este sistema de análisis provee a la empresa el fundamento para estructurar la toma de decisiones y ampliar la visión en la planeación estratégica.

Se hace necesario, para una mejor precisión del modelo, desarrollar una encuesta como guía, junto con el acompañamiento y asesoría del experto de la empresa, para que así, las variables y procesos definidos se ajusten más a los procesos reales, y los resultados obtenidos sirvan para el diagnóstico del problema.

La definición de los indicadores de gestión de costos de mano de obra directa, planta satélites, participaciones de la producción de la planta interna y las plantas satélites, tiempo de fabricación y nivel de servicio en el modelo, permiten al modelador realizar un seguimiento más detallado de los efectos de las diferentes variables involucradas, y determinar con mayor precisión aquellas que son críticas en el proceso.

En la tesis de maestría se evalúa el comportamiento del sistema, para así identificar las relaciones más importante entre las variables al interior y los efectos de cada una en el desempeño de la cadena de suministro, relacionada con la experiencia de las contrataciones, la curva de experiencia propia de la empresa y el comportamiento de la demanda tanto de maquila como de marca propia, y sus efectos en los indicadores de costos, eficiencia y utilización de la capacidad.

La contratación de personal con mayor número de semanas de experiencia, sirve para compensar la pérdida de experiencia por una alta rotación, y si se combinan ambas variables es decir una fuerza laboral estable y una contratación de personal con mayor experiencia, el efecto sobre la el tiempo de fabricación es mejor.

Se observa que no es necesario que la compañía este contratando y despidiendo personal de acuerdo con la demanda, de manera que los costos variables de producción se mantenga lo más estables posibles, sin perder dinero los meses de baja producción por costos de mano de obra muy altos, o en alta producción por no tener capacidad disponible para suplir la demanda.

La curva de aprendizaje se ve altamente afectada por la rotación de personal dentro de la compañía y el tamaño de lote a fabricar. Si bien se pierde experiencia al contratar gente, ésta también se pierde cuando las personas se retiran o con los cambios de referencia y el tamaño del lote, es por lo anterior que se recomienda que la fuerza laboral sea lo más constante posible y tener tamaños de lotes más grandes para que la curva de aprendizaje juegue un papel positivo.

No basta con saber que existen efectos derivados de la experiencia; también hay que conocer sus causas para poder desarrollar la estrategia correcta destinada a explotar dichos efectos.

11 RECOMENDACIONES

La evaluación inicial, hace posible determinar qué parámetros son los apropiados para que el modelo se ajuste mejor al comportamiento de la empresa, esto permite que en los futuros cambios de variables, se puedan establecer los verdaderos efectos y analizar sus resultados. Los primeros análisis se deben realizar modificando una variable a la vez para estudiar su comportamiento, sin embargo la modelación de cambios simultáneos en las variables hace posible identificar la combinación que perfecciona los resultados deseados, no obstante, se debe tener especial cuidado su análisis, pues si no se conocen profundamente las relaciones propias entre las variables se podría tomar la decisión incorrecta.

Adicionalmente, el modelo de simulación propuesto sirve como base para investigaciones futuras utilizando diferentes sistemas de administración de la cadena de abastecimiento.

13 BIBLIOGRAFÍA

Akkermans, H., & Dellaert, N. (2005). The rediscovery of industrial dynamics: The contribution of system dynamics to supply chain management in a dynamic and fragment world. *System Dynamics Review* , 21 (3), 173-186.

Alper, S. (2007). The U.S. fashion industry: Supply Chain Review.

Anderson Jr., E., Morrice, D. J., & Lundeen, G. (2005). The "physics" of capacity and backlog management in service and custom manufacturing supply chain. *System Dynamics review* , 217-247.

Angerhofer, B. J., & Angelides, M. C. (2000). System Dynamics Modelling in Supply Chain Management: Research Review. *Proceedings of the 2000 Winter Simulation*.

Ballou, R. H. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro* (Quinta ed.). México: Pearson Educación, Prentice Hall.

Barlas, Y., & Aksogan, A. (1997). Product diversification and quick response order strategies in supply chain management., (págs. 1-21).

Bowersox, D. J., Closs, D. J., & Cooper, M. (2007). *Administración y Logística en la cadena de suministro* (segunda ed.). México: Mc Graw Hill Interamericana.

Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. (2004). *Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana.

Chopra, S., & Meindl, P. (2008). *Administración de la cadena de suministro* (Tercera ed.). México: Pearson Educación.

Dinero.com. (06 de 08 de 2006). Recuperado el 1 de 2 de 2007, de http://www.dinero.com/wf_InfoArticulo.aspx?IdArt=25930

El empleo. (2009). Recuperado el 07 de 08 de 2009, de www.elempelo.com/empresa/calculadora_empresa

(2006). *Estudio Platinum: Textiles y Confecciones*. Bogotá: La Nota Económica.

Forrester, J. W. (1971). *Dinamica Industrial*. Argentina: Ateneo.

Georgiadis, P., Vlachos, D., & Iakovou, E. (2005). A system dynamics modeling framework for the strategic supply chain management of food chains. *Journal of Food Engineering* , 70 (3), 351-364.

Goncalves, P., Hines, J., & Sterman, J. (2005). The impact of endogenous demand on push-pull production systems. *System dynamics review* , 187-216.

Higuchi, T., & Troutt, M. (2008). *Life Cycle Management in Supply Chains: Identifying Innovations Through the Case of the VCR*. Hershey New York: IGI Publishing.

Holweg, M., & Bicheno, J. (2002). Supply chain simulation: a tool for education, enhancement and endeavour. *Internacional journal of production economics* , 163-175.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (Julio de 2008). Trabajos escritos. *Presentación y referencias bibliográficas* , 33. Bogotá, D.C., Colombia.

Kleijnen, J. P., & Smits, M. T. (2003). Performance metrics in supply chain management. *Journal of the Operational Research Society* , 1-8.

Krajewski, L. J., & Ritzman, L. P. (2000). *Administración de Operaciones Estrategia y análisis* (Quinta edición ed.). México: Pearson Educación.

Lee, H. L., Padmanabhan, V., & Whang, S. (Spring de 1997). The bullwhip effect in supply chains. *Sloan Management Review* , 93-102.

Lopez Díaz-DelgadoO, E., & Martínez Vicente, S. (2000). *Iniciación a la simulación dinámica: Aplicaciones a sistemas económicos y empresariales*. Barcelona: Editorial Ariel.

Machuca, J. A., & Barajas, R. P. (2004). The impact of electronic data interchange on reducing bullwhip effect and supply chain inventory costs. *Transportation Research Part E* , 185–198.

Morecroft, J. (2007). *Strategic Modelling and Business Dynamics: A feedback systems approach*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Morrison, J. B. (2008). Putting the learning curve in context. *Journal of Business Research* , 1182–1190.

Nahmias, S. (2007). *Análisis de la producción y las operaciones*. Mexico D.F.: McGraw Hill.

Newbold, P., Carlson, W. L., & Thorne, B. (2008). *Estadística para administración y economía*. Madrid, España: Pearson Prentice Hall.

Núñez, G. E. (29 de 12 de 2008). *Dinero.com*. Recuperado el 4 de 2 de 2009, de <http://www.dinero.com/noticias-industria/panorama-textil-nada-bueno/55678.aspx>

O'Connor, J., & Mcdermott, I. (1998). *Inducción al pensamiento sistémico: Recursos esenciales para la creatividad y la resolución de problemas*. Barcelona: Ediciones Urano.

Paik, S. K., & Bagchi, P. K. (2007). Understanding the causes of the bullwhip effect in a supply chain: international journal of retail & distribution management. *Emerald Group Publishing Limited.* , 35 (4), 308-322.

Parra Masa, C. M., Pérez Rave, J. I., & Torres Franco, D. (Julio-Diciembre de 2006). Modelación y simulación computacional de un proceso productivo de una pequeña empresa usando dinámica de sistemas. *Ingeniería & Desarrollo* , 151-171.

Pierreval, H., Bruniaux, R., & Cau, C. (2007). A continuous simulation approach for supply chains in the automotive industry. *Simulation Modelling Practice and Theory* , 186-196.

Pineda Toro, O. M. (2009). Director de Operaciones. (S. R. Echeverri, Entrevistador)

Rubiano Ovalle, O. (Abril de 2003). Mejora del Rendimiento Operativo y Financiero de las Cadenas de Suministro mediante el uso de las Herramientas de Colaboración basadas en Internet. Un enfoque Sistémico. *Ciencia y Tecnología* , 34-41.

Rubiano Ovalle, O. (Mayo de 2004). Propuesta de Gestión de la Cadena de Suministro Centralizada. Comparación con la Gestión de la Cadena de Suministro Totalmente Integrada. *Ciencia y Tecnología* , 40-52.

Systems modelling, theory and practice 2004 The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex England John Wiley & Son

Software Reference Guide, Ithink version 9.2. (2008). *Technical Documentation* .

Stalk Jr, G. (1988). Time--The Next Source of Competitive Advantage. *Harvard Business Review* , 66, 41-51.

Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. United States of America: Mc Graw Hill.

Sterman, J. D. (1989). Modeling managerial behavior: misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment. *Management Science* (35), 321-329.

The System Dynamics Society *System Dynamics Review* 21 3 Norwich Great Britain Wiley

Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. (2 de 12 de 2005). *Escuela de Sistemas - Sede Medellín*. Recuperado el 3 de Octubre de 2008, de <http://pisis.unalmed.edu.co/postgrado/maestria/investigacion.php>

Vaagen, H., & Wallace, S. W. (2008). Product variety arising from hedging in the fashion supply chains. *International Journal of Production Economics* , 114, 441-455.

Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2007). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México: Pearson.

Warren, K. (2002). *Competitive strategy dynamics*. Chicheste: ohn Wiley & Sons Ltd.

Warren, K. (2008). *Strategic Management Dynamics*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

14 ANEXO A

15 ANEXO B

Archivo de la tesis en pdf.

Archivos de Excel®.

Modelo en Ithink® de la empresa Creaciones Nadar S.A.

Software de Ithink® para correr el modelo.