

IMPACTO EN LAS DECISIONES DE LA CADENA DE SUMINISTROS DE UNA EMPRESA DE CONFECCIÓN DE PRENDAS DEPORTIVA ACUÁTICAS CON LA UTILIZACIÓN DE DINÁMICA DE SISTEMAS

THE IMPACT OF SUPPLY CHAIN DECISIONS, USING DYNAMIC SYSTEMS, OF AN AQUATIC GARMENT MANUFACTURING COMPANY

Sergio Ramírez Echeverri¹, Daniel Escalante Ochoa¹, Mauricio Pineda Toro¹, Gloria Elena Peña².

¹Departamento de Ingeniería de Producción. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.

²Escuela de Ingeniería de la Organización. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.

RESUMEN

En este artículo se presenta un modelo de la cadena de abastecimiento de la empresa Creaciones Nadar S.A., que confecciona ropa para los deportes acuáticos. La cadena se compone de los siguientes eslabones: clientes, tienda, centro de distribución integrado (CEDI), planta interna, plantas satélites y abastecimiento de materias primas. La cadena de suministros de la empresa Creaciones Nadar S.A. es un sistema complejo, debido a que posee diferentes actores que forman estructuras de realimentación y efectos de retardos en el comportamiento. La cadena de suministro posee diferentes comportamientos dinámicos generados por cambios en los factores exógenos, como la demanda de prendas, el número de operarios que se requieren en la planta propia, el inventario del CEDI y la tienda, etc. Para la modelación de la cadena, se emplea la metodología de dinámica de sistemas y el software Ithink®. Se analizan diferentes escenarios, utilizando la simulación y teniendo en cuenta las variables más representativas para ser modificadas. Los resultados arrojados por el modelo permiten buscar políticas y parámetros con los mejores beneficios para la empresa.

Palabras Clave: Dinámica de sistemas, Administración de la Cadena de Suministros o abastecimiento (SCM), Simulación, Confección, Modelación, Evaluación de modelos.

ABSTRACT

This article shows the supply chain model of the company Creaciones Nadar S.A. that manufactures aquatic sports garments. The chain links are the clients, the store, the warehousing, the internal and satellite plants and raw material supply. The supply chain of Creaciones Nadar S.A. is a complex system given the different agents that form the feedback structures and delayed effects on behaviors. The supply chain has different dynamic behaviors generated by changes in external factors such as garment's demand, number of required workers in the company's plant, the warehousing, and the store, among other. A dynamic system methodology and the software Ithink® were used to model the chain; moreover, different scenarios were analyzed using simulation and taking into account the most representative variables to be modified. The obtained results allow Creaciones Nadar S.A. to determine policies and parameters and to obtain the best kind of benefits for the company.

Keywords: System dynamics, Supply Chain Management (SCM), Simulation, Textile, Apparel, Modelling, Model test.

INTRODUCCIÓN

Los cambios acelerados en ciencias, tecnología, población, economías y demás, requieren cambios en las formas de pensar y actuar. En vista de esto, surge el pensamiento sistémico como una forma de ver el mundo, entendiéndolo como un sistema complejo, en el cual no se puede hacer una cosa sin afectar otra, pues todo está conectado entre sí. Una de las ramas del pensamiento sistémico es la dinámica de sistemas, la cual facilita el acercamiento al aprendizaje de sistemas complejos a través de modelos formales y métodos de simulación. De esta forma se prueban y mejoran los modelos mentales que se tienen de la naturaleza de los problemas, y además se diseñan nuevas políticas que apalanquen cambios sustanciales y efectivos en los sistemas. Formalizar modelos mentales mediante modelos cuantitativos y ensayarlos por razón de la simulación, muchas veces conduce a cambios radicales en la manera en que comprendemos la realidad.

En el presente trabajo se construye un modelo de la cadena de abastecimiento de una empresa del sector confección usando la simulación de dinámica de sistemas. Es importante anotar que una cadena de abastecimiento se extiende por fuera de los límites de una simple organización y que el modelo debe representar el flujo de materiales e información a través de diversos eslabones, que pasan por el abastecimiento de materias primas, la producción, el almacenamiento, el canal de distribución hasta los clientes. Como cada uno de estos actores tiene diversos inventarios, flujos y reglas de decisión, se crean realimentaciones importantes entre los socios de la cadena; por lo tanto, la dinámica de sistemas es una herramienta apropiada para la modelación y el diseño de políticas de cadenas de abastecimiento. El modelo construido facilita un mejor entendimiento del comportamiento de las diferentes variables que integran la cadena de abastecimiento del sector industrial.

• Descripción de la Empresa

La empresa de confección Creaciones Nadar S.A se fundó en 1991 en la ciudad de Medellín. Esta empresa se dedica a la confección y venta de prendas deportivas de la marca *Speedo*®, la cual se usa bajo la licencia de *Speedo Holdings B.V.* y cuya casa matriz se encuentra ubicada en Londres, Inglaterra. Esta licencia permite a Creaciones Nadar S.A. producir, diseñar 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 aproximadamente 30 puntos de venta distribuidos en las ciudades más importantes del país y con ventas en sus más grandes superficies (*EXITO*®, *Carrefour*®, entre otros). Esto hace que la cadena de abastecimiento se acorte, eliminando intermediarios, reduciendo inventarios, disminuyendo la variabilidad y permitiendo a la empresa un mayor control y visibilidad de los procesos.

Las prendas que se fabrican en la planta propia y en las plantas satélites de la empresa son tanto para hombre como para mujer, con énfasis especial en el sector de prendas deportivas, específicamente de uso en el agua. La empresa comercializa sus productos a través de diversos puntos de venta ubicados en centros comerciales de todo el país. Hay dos categorías de productos: los considerados de moda, que son colecciones por tiempo limitado, y los productos de línea, que se producen y venden continuamente y hacen parte del catálogo habitual de la compañía.

En la figura 1 se muestra un esquema del proceso de operaciones en Creaciones Nadar S.A. Se ven los flujos de materiales, los productos semi-elaborados y terminados, y las órdenes.

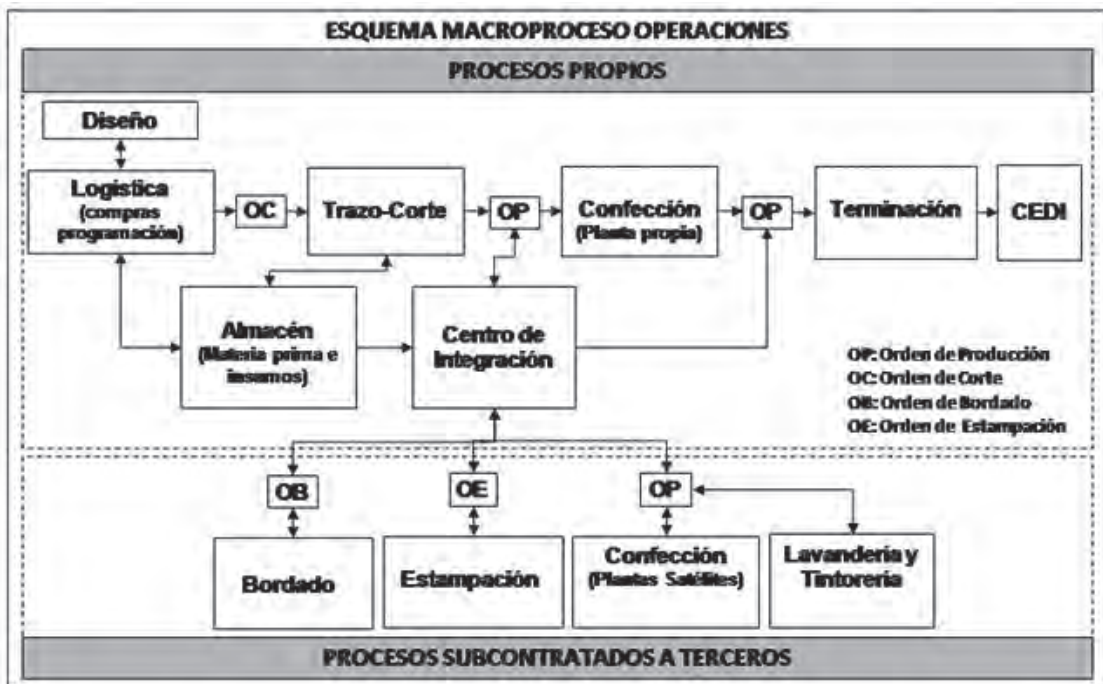


Figura 1. Esquema del Macromodelo de Operaciones

• La Cadena de Suministros y la Dinámica de Sistemas

A partir de 1950 se desarrolló la dinámica de sistemas y se han construido numerosos modelos siguiendo los principios de esta disciplina, en áreas tan diversas como las ciencias sociales, económicas, ambientales, administrativas y biológicas. A continuación se reseñan las investigaciones que han contribuido al desarrollo del *Supply Chain Management* (SCM) o Administración de la Cadena de Abastecimientos en relación con dinámica de sistemas.

La dinámica de sistemas nace en 1950 con la aparición de los computadores digitales y se fortalece cuando Jay W. Forrester, profesor del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), publica el libro *Industrial Dynamics* en 1961, el cual se publica en versión castellana, como *Dinámica Industrial*, en 1971 (Forrester, 1971). Forrester, es el primero en formalizar la dinámica de sistemas en los 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, 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 qué impacto ejercen las tecnologías de información sobre los procesos administrativos.

Se centra, en particular, en el carácter de la realimentación de la información (*Feedback*) en el sistema industrial. 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 de mejorar la toma de decisiones relacionada con los aspectos estratégicos y tácticos, y de ayudar en la ejecución automática de un juicio (Forrester, 1971).

Para demostrar el impacto en la cadena de abastecimientos, Sterman (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. Explica adicionalmente el razonamiento utilizado por las personas para la toma de decisiones (Sterman, 1989).

Las cadenas de suministro del sector textil-confección se pueden considerar sistemas complejos, dado que poseen diferentes variables y se encuentran estrechamente relacionadas, tales como las ventas, la mezcla de prendas de vestir a producir en la planta, los precios, los operarios, etc. La complejidad del sistema no siempre se refiere al número de elementos en el sistema (la cual se denomina 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, 2000).

En 1997, Parlar & Weng consideran la coordinación conjunta entre una firma manufacturera y los departamentos de suministro, con productos de vida de ciclo corto. La demanda se modela con un supuesto de distribución probabilística para el modelo del vendedor de periódicos. Se analizan 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).

Ovalle, 2003, en su 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 y que 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

En el artículo “Propuesta de Gestión de la Cadena de Suministro Centralizada”, se compara 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 utiliza CONWIP ofrece mayores ventajas sobre las otras cadenas 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 (Ovalle, 2004).

En 2005, la revista *Systems Dynamics Review* (The System Dynamics Society), publicó una edición especial dedicada a las cadenas y redes de abastecimiento. En la publicación aparecen varios artículos, de los cuales se hará una breve reseña: Akkermans & Dellaert (2005), por ejemplo, realizan un estudio sobre las contribuciones de la dinámica de sistemas a la cadena de suministros hasta el 2005. Encontró unas invariables suposiciones en las investigaciones de la modelación de cadenas de abastecimiento, que incluyen la acumulación de la demanda, funciones de costos lineales, capacidad infinita, los tiempos de entrega (*Lead Times*) y demanda. Además, llegan a la conclusión de que la meta común de estas investigaciones, por lo general,

es la minimización de los costos de mantener un inventario para conseguir un cierto nivel de servicio para el cliente, o reducir las variaciones (oscilaciones) del inventario

Goncalves *et al.* (2005) 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 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 disminuya la escasez en Intel.

El segundo efecto captura el impacto de los cambios en la demanda de 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, el efecto de la producción genera una reacción que refuerza aún más la perturbación original. También muestran cómo el sistema híbrido se puede convertir en un sistema push, si se agotan los inventarios de productos terminados (Goncalves *et al.* 2005).

Anderson *et al.* (2005) analizan 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 destinado a mostrar los efectos de la reducción del tiempo de entrega en las empresas de servicio y no se ajusta la capacidad, llevando a que se puedan reducir los trabajos acumulados a corto plazo, pero se incrementan a largo plazo.

Parra *et al.* (2006), en el artículo "Modelación y simulación computacional de un proceso productivo de una pequeña empresa usando dinámica de sistemas", publicado en revista *Ingeniería y Desarrollo*, desarrollan un modelo de simulación de la empresa FRAMECO S.A., en el cual 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

METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

La modelación es un proceso iterativo, no una secuencia lineal de pasos. Los modelos pasan por una constante interrogación, revisión y refinación. A medida que se avanza es necesario retomar lo construido según los nuevos hallazgos. Para el logro de los objetivos y el diseño del modelo se siguen los cinco pasos sugeridos en el libro *Strategic modeling and business dynamics: a feedback approach* de Morecroft (2007), los cuales se observan en la figura 2.

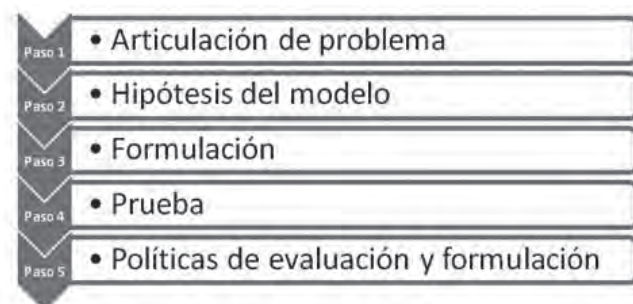


Figura 2. Pasos para la modelación

Los pasos se definen como:

Paso 1. Articulación del problema. Es el paso más importante, debido a que 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 posterior.

En el **paso 1** se hace la definición de las variables a incluir en el modelo. Es muy importante determinar los límites del mismo, por lo cual se entiende hasta dónde debe extenderse en la cadena de abastecimiento de la empresa, tanto hacia atrás (proveedores, proveedores de éstos, etc.) como hacia delante (clientes directos, clientes de los clientes, etc.). Igualmente, se debe establecer con mucho cuidado el nivel de detalle con el cual se construirá 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 el modelo de la empresa, la información se presentó de la forma más agregada posible, 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 las decisiones de carácter estratégico.

En el **paso 2** desarrollamos el macromodelo que se muestra en la figura 3. Se observa de forma integral cómo interactúan los diversos subsistemas del modelo, cada uno de los cuales corresponde a un eslabón de la cadena de abastecimiento (Materias primas, planta satélite, planta propia, CEDI y tiendas). De esta manera es posible visualizar bajo un esquema global cómo se presenta el flujo de materiales y los flujos de información entre los distintos componentes de la cadena de la empresa.

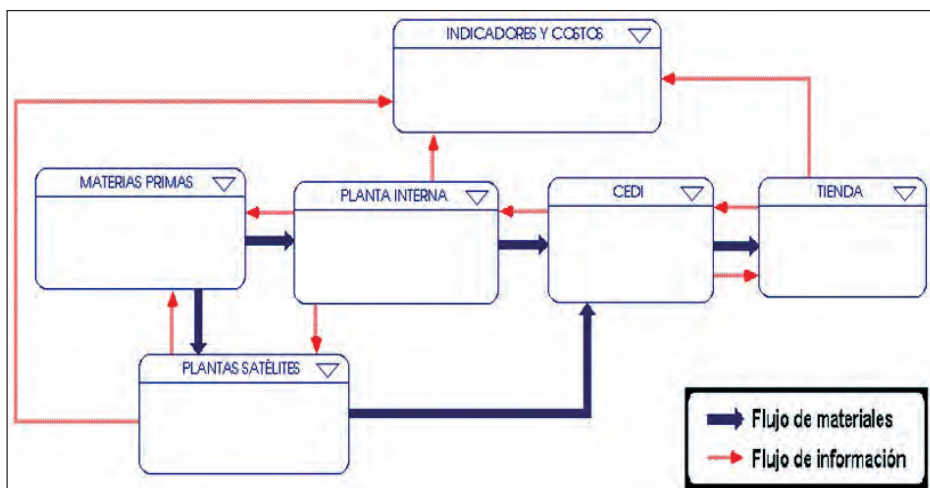


Figura 3. Macromodelo de la Cadena de Abastecimiento de la Empresa

Las flechas gruesas representan el flujo de materiales que se da en un sentido unidireccional a lo largo de la cadena, empezando desde el suministro de las materias primas, de las cuales se surte la planta propia y las plantas satélites. Este último punto es importante resaltarlo: las materias primas son surtidas desde la propia empresa a las plantas satélites. Los productos terminados de las plantas satélites son enviados al CEDI, de donde se despachan a la tienda para ser vendidos a los clientes.

Por su parte, el flujo de información se presenta en la del macromodelo mediante flechas delgadas, y se da de la siguiente forma: la tienda ordena productos al CEDI, el cual a su vez disminuye las órdenes pendientes de la tienda mientras se despacha el producto. A medida que el inventario del centro de distribución disminuye, la planta interna toma la decisión de fabricar, y cuando su capacidad no es suficiente para cubrir con la orden de producción, se subcontratan plantas satélites para que con su capacidad adicional ayuden a llegar a la tasa de fabricación deseada. La planta interna informa al área de materias primas sus necesidades para confeccionar las prendas, y las plantas satélites reciben el programa de producción y las materias primas del jefe de operaciones. El subsistema de costos e indicadores se alimenta con información proveniente de los demás elementos de la cadena; todos los flujos de información hacia este subsistema son de entrada, ninguno de salida.

En la figura 4 se muestra el diagrama causal del modelo de la empresa con algunos ciclos de realimentación entre las variables más significativas.

Para la realización del modelo se analiza profundamente la estructura de la cadena de suministros de la empresa Creaciones Nadar S.A., y se logran 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.

Los modelos de cadenas de abastecimiento siempre involucran realimentaciones negativas (Sterman, 2000), las cuales comparan el estado real del sistema respecto de su estado deseado, para iniciar acciones correctivas que eliminen 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. Por lo general, se tiene más control sobre la tasa de entrada debido a que es más difícil controlar las tasas de salida, como son la demanda de los clientes por parte de la tienda o las órdenes recibidas en el CEDI que provienen de los puntos de ventas. Además, es muy importante anotar que desde el inicio de la acción correctiva y los efectos de la misma, hay demoras que deben ser tenidas en cuenta.

Los pasos **3 y 4** comienzan con el modelo de la cadena de abastecimiento de Creaciones Nadar S.A., el cual está compuesto por seis subsistemas; cinco de ellos hacen parte del flujo de materiales y del de información, mientras que uno (Indicadores y Costos) participa únicamente del flujo de información. Los subsistemas del modelo son:

- Subsistema Tienda
- Subsistema CEDI
- Subsistema Planta Interna
- Subsistema Plantas Satélites
- Subsistema Materias Primas
- Subsistema Indicadores y Costos

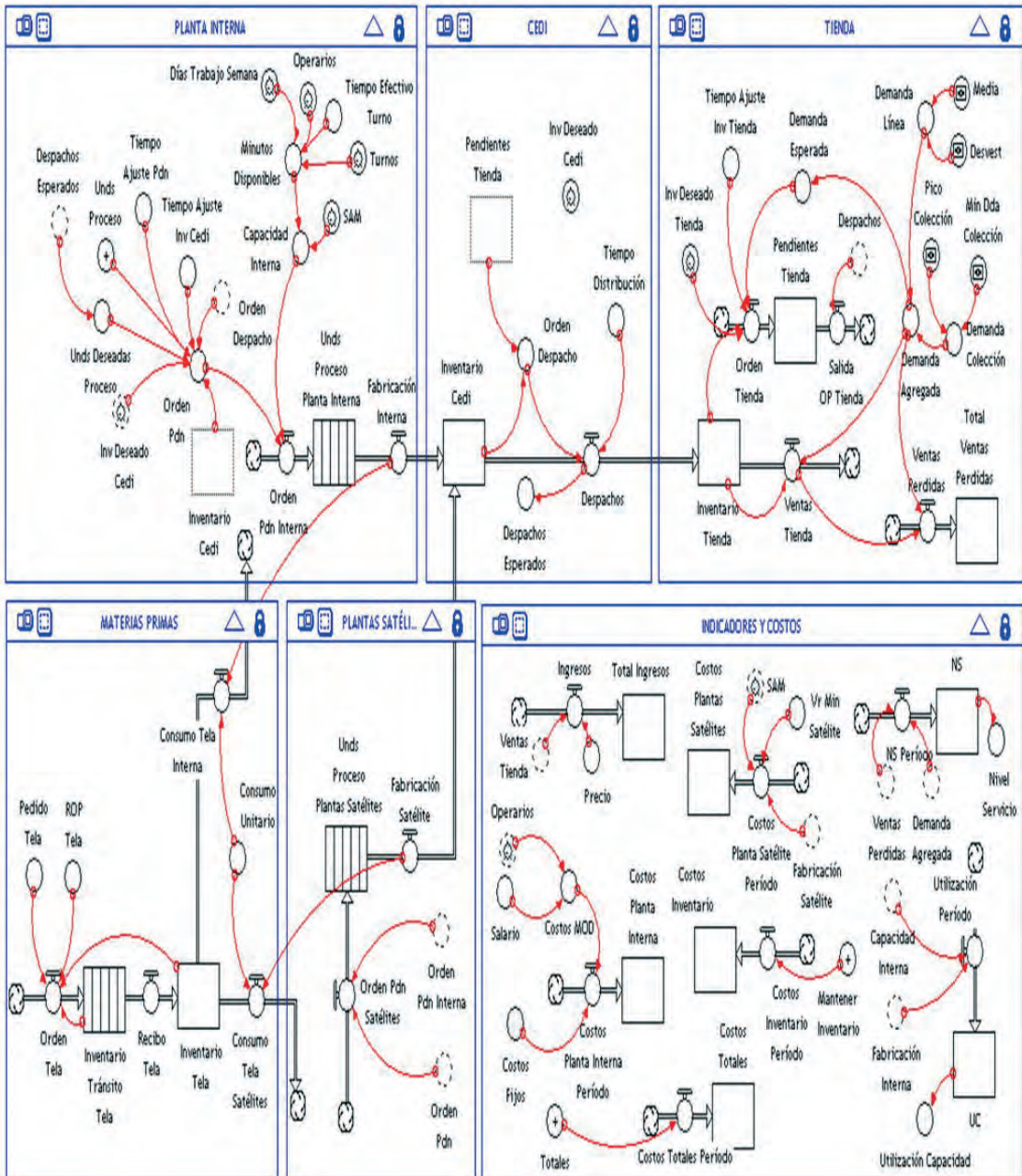


Figura 5. Modelo de la Cadena de Abastecimiento de la Empresa

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

En el **paso 5** de la metodología de la construcción del modelo se busca ensayar las diferentes políticas al hacer la simulación de cuatro escenarios, cuando se cambian los parámetros de las diferentes variables con el fin de obtener conclusiones sobre cuáles son las mejores políticas para la empresa.

• **Escenario 1:** Simulación bajo condiciones iniciales.

La simulación bajo condiciones iniciales se lleva a cabo con los siguientes parámetros:

- *Demanda Línea:*
 - *Media: 600 unidades / semana*
 - *Desviación Estándar: 20 unidades / semana*
- *Demanda Colección:*
 - *Pico Colección: 5.000 unid*
 - *Mínimo Demanda Colección: 3.000 unidades*
- *Turnos: 1 turno / día*
- *Operarios: 10*
- *Días Trabajo Semana: 6*
- *SAM(standar allocate mesuring): 5 minutos / unidades*
- *Inventario Deseado Tienda: 7.000 unidades.*
- *Inventario Deseado CEDI: 10.000 unidades.*

Se simula el modelo con este escenario y se obtienen los resultados que se muestran en la figura 7 y en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados del Escenario 1.

Nivel de Servicio	77,8%
Utilización Capacidad	60,5%
Costos Planta Interna	\$247.665
Costos Plantas Satélites	\$85.512
Costos Inventario	\$298.439
Costos Totales	\$631.626

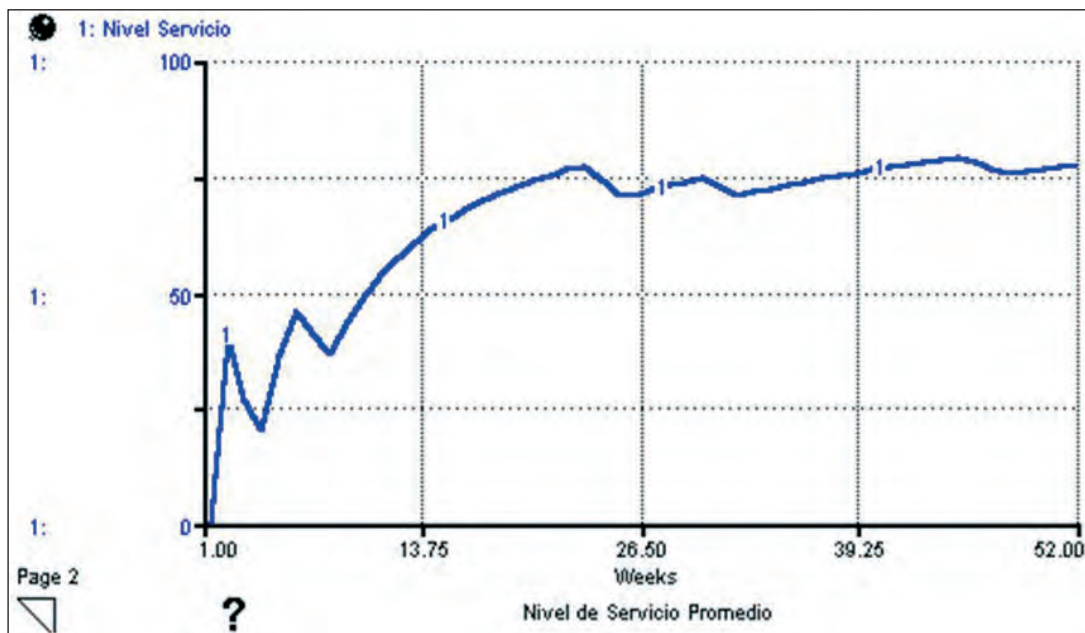


Figura 6. Nivel de Servicio Escenario 1.

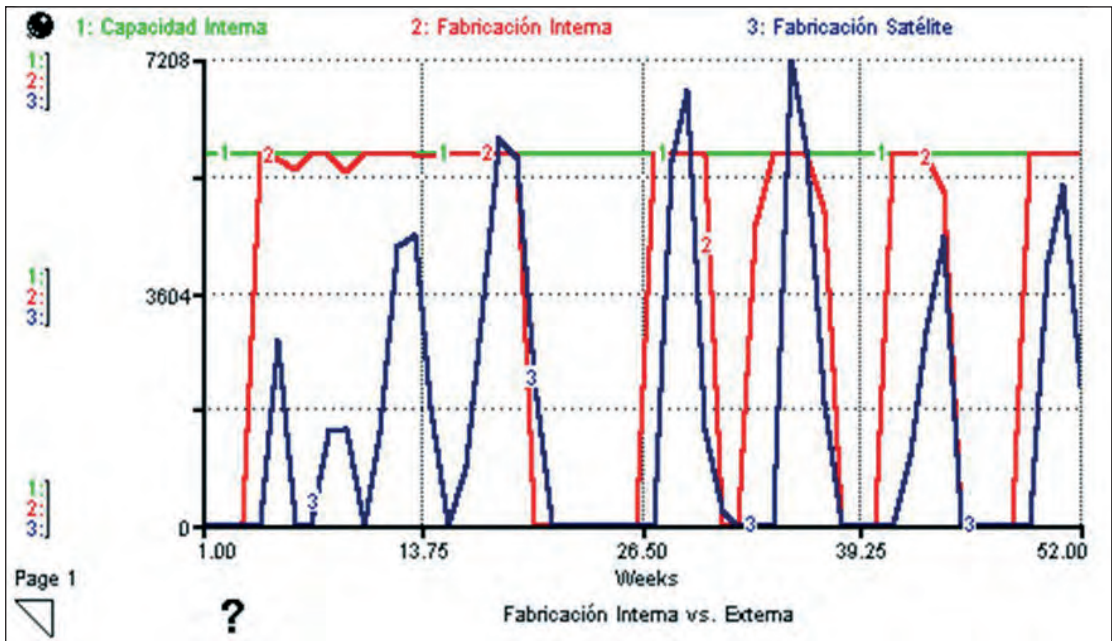


Figura 7. Utilización Capacidad Escenario 1

- **Escenario 2:** Aumento del número de operarios en la planta interna

Se lleva a cabo una simulación con los mismos parámetros del escenario 1, salvo que se aumenta el número de operarios, pasando de 10 a 20 trabajadores, los resultados se observan en la , y en la .

- *Operarios: 20*

Tabla 2. Resultados del Escenario 2

Nivel de Servicio	75,5%
Utilización Capacidad	42,4%
Costos Planta Interna	\$345.330
Costos Plantas Satélites	\$3.414
Costos Inventario	\$307.427
Costos Totales	\$656.171

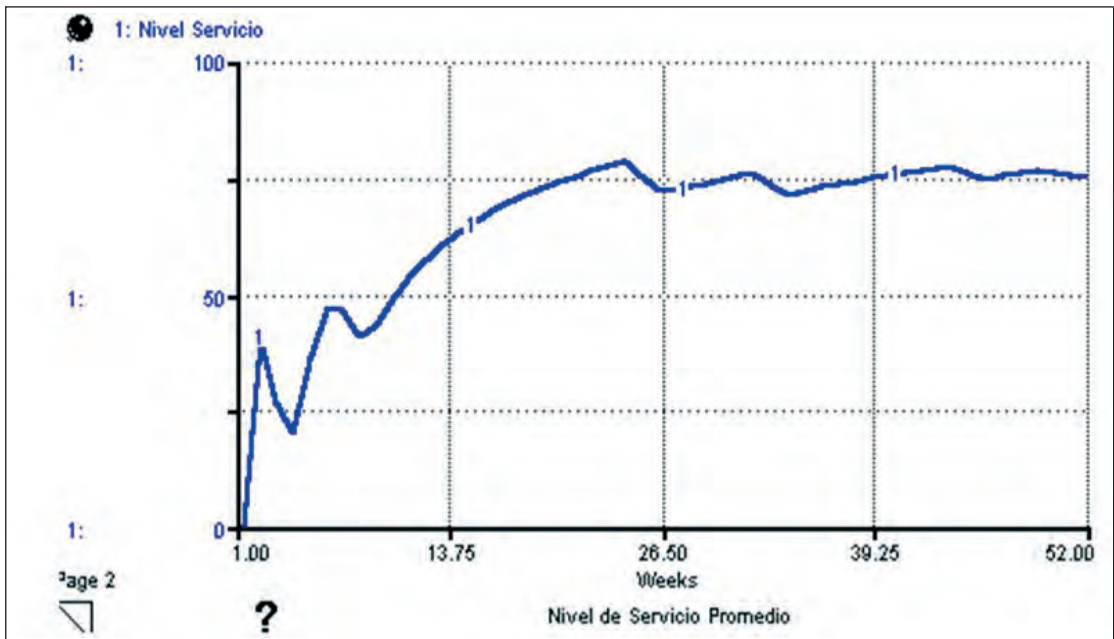


Figura 8. Nivel de Servicio Escenario 2

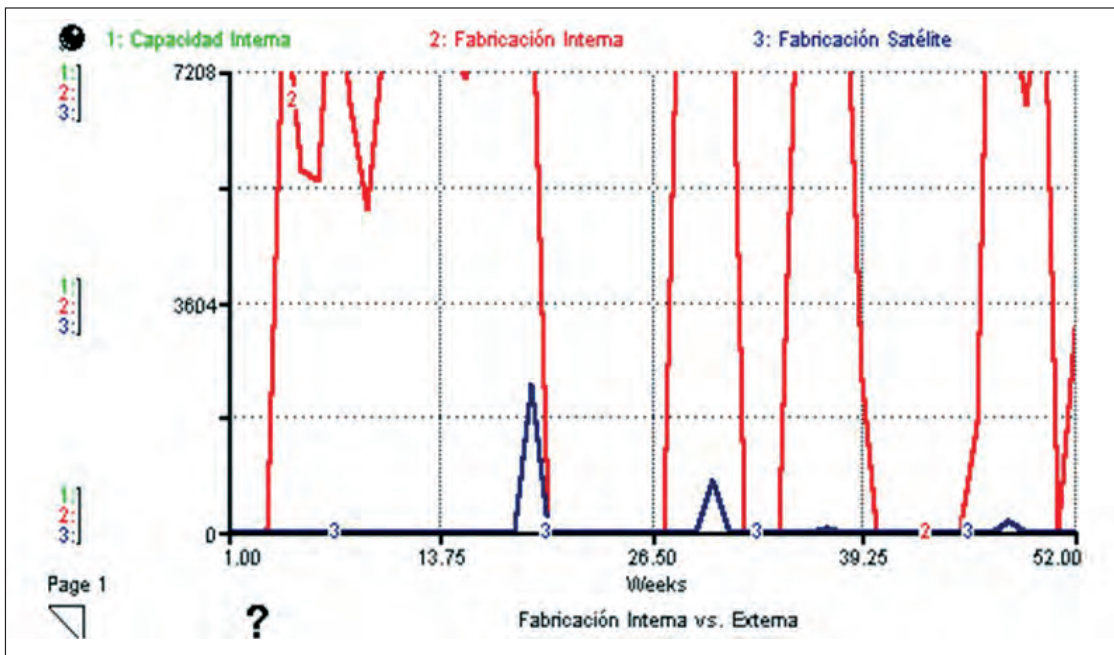


Figura 9. Utilización Capacidad Escenario 2

- **Escenario 3:** Aumento del inventario deseado del CEDI.

Se realiza una simulación aumentando el inventario que se desea mantener en el CEDI, pasando de 10.000 unidades a 25.000. En la , 11 y en la se observan los resultados

- *Inventario Deseado CEDI: 25.000 unidades*

Tabla 3. Resultados del Escenario 3

Nivel de Servicio	80,0%
Utilización Capacidad	40,4%
Costos Planta Interna	\$247.665
Costos Plantas Satélites	\$167.852
Costos Inventario	\$501.230
Costos Totales	\$916.747

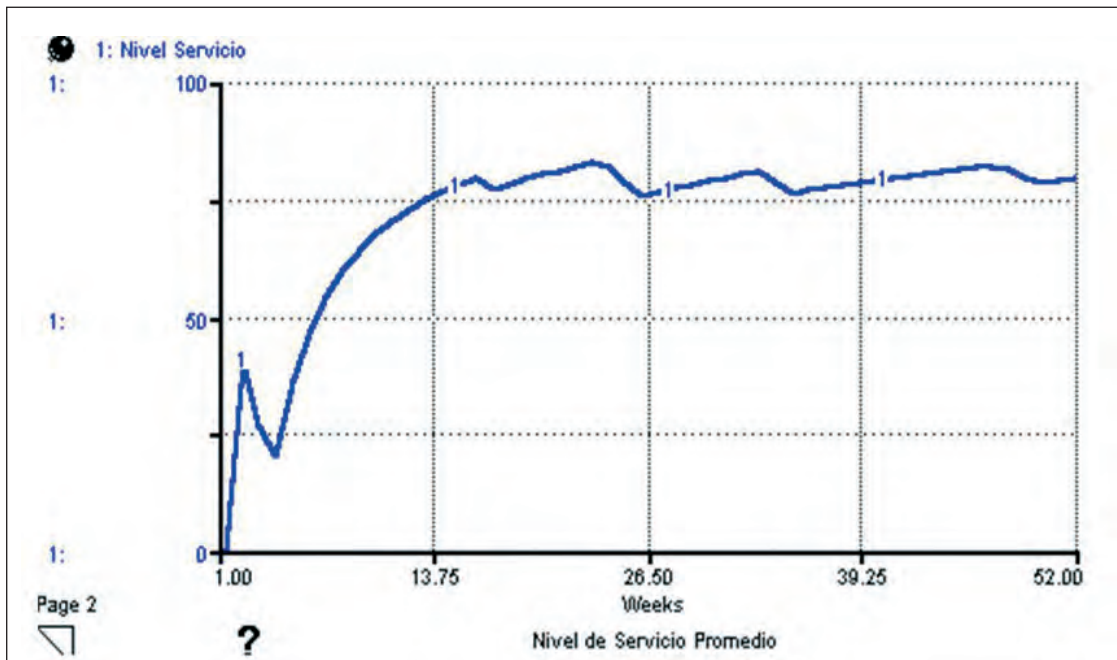


Figura 10. Nivel de Servicio Escenario 3

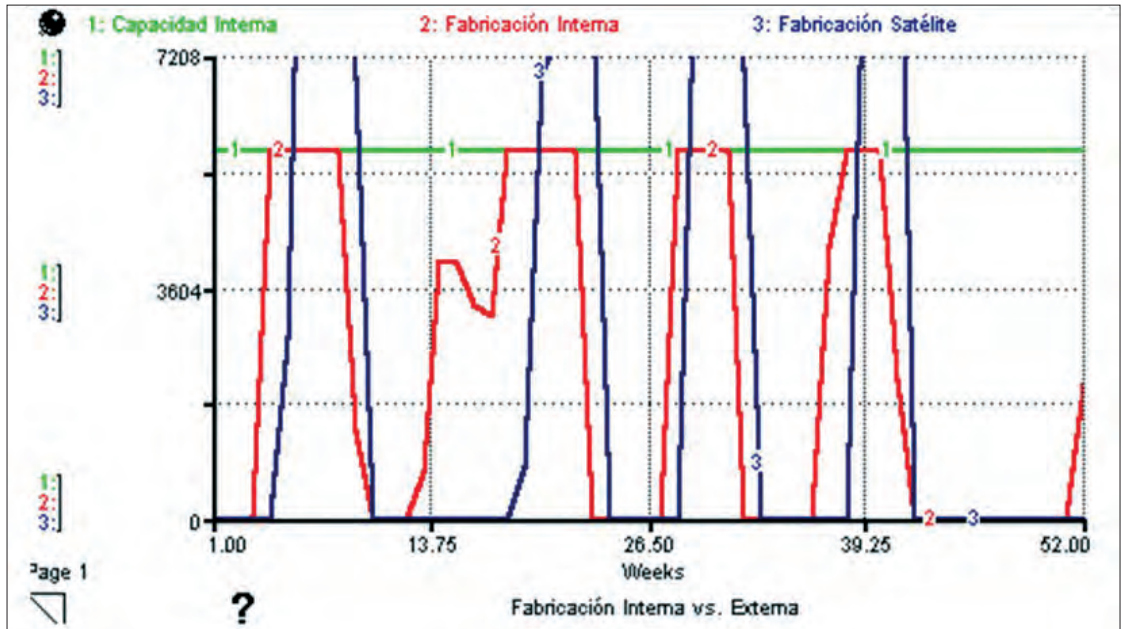


Figura 11. Utilización Capacidad Escenario 3

- **Escenario 4:** Aumento del inventario deseado de la tienda

En la, 13 y en la se observa el comportamiento del modelo al variar el inventario deseado de la tienda. Se aumenta el inventario de 7.000 unidades a 18.000.

- *Inventario Deseado Tienda: 18.000 unidades*

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados del escenario 4.

Nivel de Servicio	91,5%
Utilización Capacidad	70,8%
Costos Planta Interna	\$247.665
Costos Plantas Satélites	\$108.724
Costos Inventario	\$419.711
Costos Totales	\$776.099

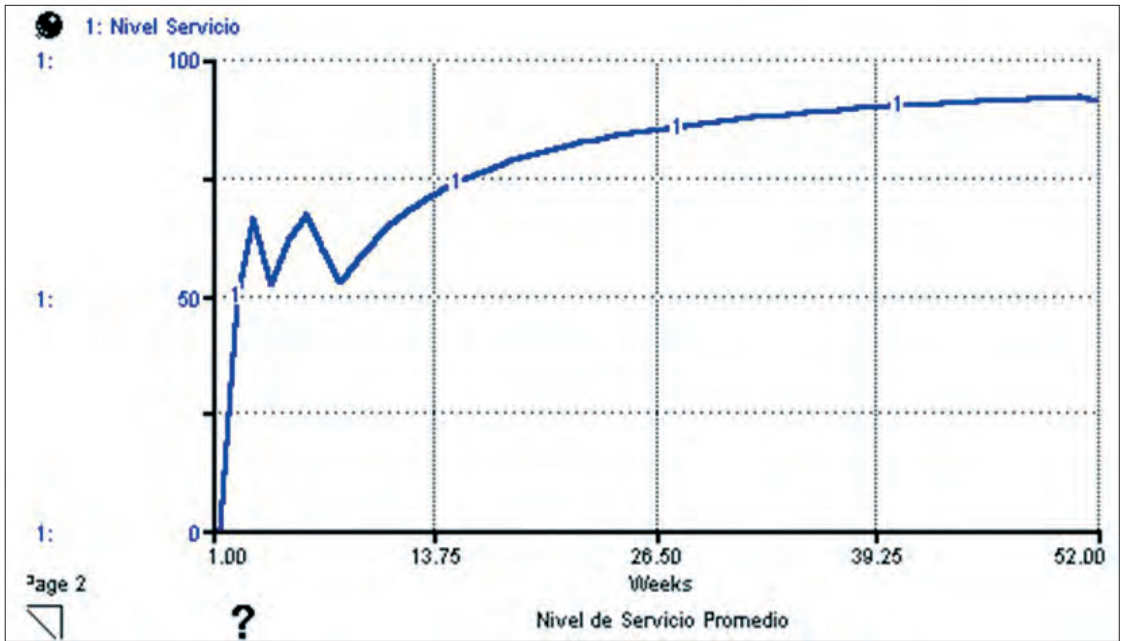


Figura 12. Nivel de Servicio Escenario 4

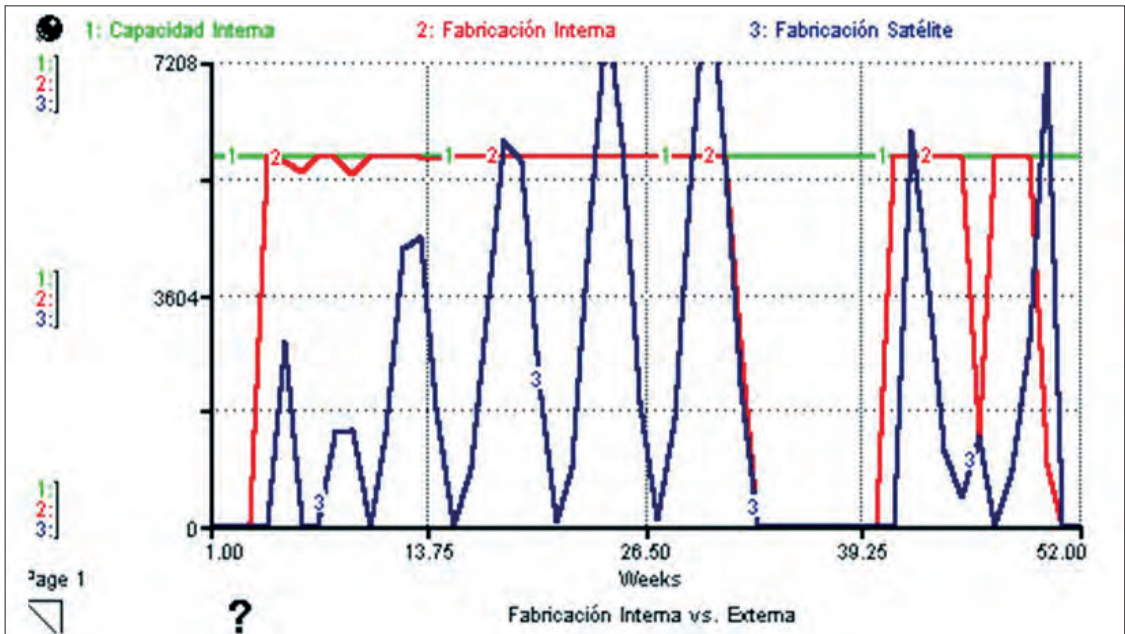


Figura 13. Utilización Capacidad Escenario 4.

Los resultados de los cuatro escenarios anteriores se muestran en Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de los diferentes escenarios.

ALTERNATIVA	Nivel Servicio (%)	Utilización Capacidad (%)	Costos Planta Interna (\$)	Costos Plantas Satélites (\$)	Costos Inventario (\$)	Costos Totales (\$)
Escenario 1: Condiciones Iniciales	77,8	60,5	247.665	85.512	298.438	631.615
Escenario 2: Aumento Operarios	75,5	42,4	345.330	3.414	307.427	656.171
Escenario : Aumento Inventario Deseado CEDI	80,0	40,4	247.665	167.852	501.230	916.747
Escenario 4: Aumento Inventario Deseado Tienda	91,5	70,8	247.665	108.724	419.711	776.099

De las alternativas analizadas anteriormente, la que mayor incidencia tiene en un aumento del nivel de servicio es el incremento en el inventario deseado de la tienda, sin que ello signifique un aumento exagerado de los costos. Es conveniente analizar con mayor detalle esta variable, en busca de un nivel satisfactorio dentro de unos costos razonables. Para lograr esto se realiza un análisis de sensibilidad con los parámetros de la .

Tabla 6. Valores del Inventario deseado de la tienda.

Línea	Inventario Deseado Tienda (und)	Nivel de Servicio (%)	Costos Totales (\$)
1	2.000	63.22	548.637
2	8.000	77.89	646.838
3	14.000	86.84	725.040
4	20.000	92.75	835.832

En la figura 14 se observa cómo varía el nivel de servicio para diferentes valores de inventarios deseados en la tienda.

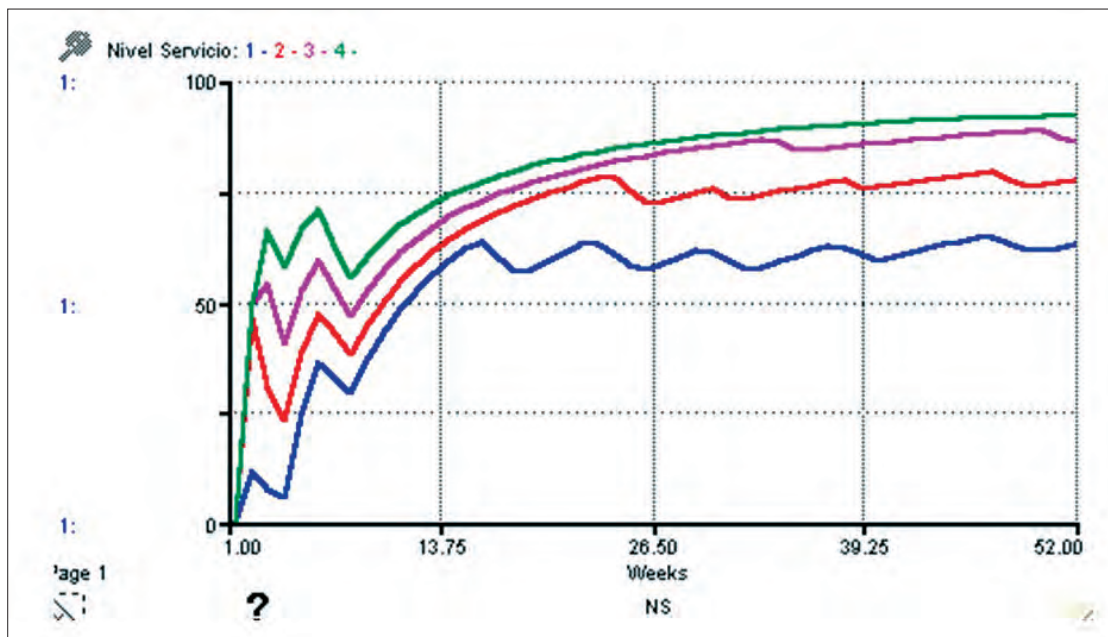


Figura 14. Análisis de Sensibilidad: Inventario Deseado Tienda - Nivel de Servicio

Como se observa, a medida que aumenta el inventario deseado de la tienda, aumenta el nivel del servicio, pero al mismo tiempo aumentan los costos totales de la cadena de abastecimiento. Con un análisis de este tipo, la empresa puede determinar fácilmente cuánto le cuesta alcanzar un nivel de servicio determinado. En el escenario 4 el nivel de servicio es del 91,5% con una inversión en inventario de \$776.099, y en la línea 4 se observa que el nivel de servicio es del 92,75% y la inversión en inventario es de \$835.832. El incremento en el nivel de servicio es del 1,36%, con un incremento en el costo del 7,69%. Con un análisis de este tipo, la empresa puede determinar fácilmente cuánto cuesta alcanzar un nivel de servicio determinado y si está dispuesta a pagar por este incremento de nivel de servicio.

CONCLUSIONES

Bajo el escenario 1 se analiza el sistema en las condiciones iniciales y se obtiene un nivel de servicio del 77,8%. La utilización de la capacidad de la planta propia es del 60,5% en promedio a lo largo del horizonte de tiempo analizado. Los costos totales son de \$631.615, divididos en \$247.665 de costos internos (39%), \$85.512 en costos de las plantas satélites (14%), y \$298.438 en costos de inventarios (47%).

El Escenario 2 es el que presenta el menor nivel de servicio, con un costo total mayor que el del Escenario 1, que tiene un mejor nivel de servicio.

Cuando se aumenta el inventario deseado del CEDI en el Escenario 3, el nivel de servicio aumenta de un 77,8% a un 80%. Sin embargo, disminuye la utilización de la capacidad y los costos se elevan a \$916.747, es decir, aumentan en un 45%. Los costos del inventario pasan de \$298.438 a \$501.230, es decir, aumentan en 67%.

Por su parte, cuando se incrementa el nivel de inventario deseado en la tienda, en el Escenario 4 se percibe un aumento mucho mayor del nivel de servicio, pasando del 77,8% mencionado a 91,5%, esto es, un 13,7% más. Adicionalmente se utilizan mejor los recursos propios de la

empresa, lo que se comprueba al observar el crecimiento en la utilización de la capacidad. Los costos naturalmente ascienden, en particular los de plantas satélites y los de inventario, debido a que los costos de planta interna se mantienen iguales. Los costos totales pasan de \$631.626 a \$776.039.

De los escenarios analizados, el que mayor incidencia tiene en un aumento del nivel de servicio es el incremento en el inventario deseado de la tienda, sin que ello signifique un aumento exagerado de los costos. Se analiza con mayor detalle esta variable, en busca de un nivel satisfactorio dentro de unos costos razonables. Para lograr esto se realiza un análisis de sensibilidad, en el cual los resultados son que el incremento en el nivel de servicio es del 1.36% con un incremento en el costo del 7.69%. Con un análisis de este tipo, la empresa puede determinar fácilmente cuánto cuesta alcanzar un nivel de servicio determinado y si está dispuesta a pagar por este incremento en los costos por una diferencia tan poca en el nivel de servicio.

El modelo propuesto se considera eficiente para la gestión de la cadena de suministros de Creaciones Nadar S.A., debido a que relaciona las variables más relevantes y permite evaluar los indicadores de forma integral. Esto ayuda a tomar decisiones de capacidad instalada, costos y nivel de servicio. Es posible evaluar escenarios para encontrar en qué costos debe incurrir la empresa para alcanzar un nivel de servicio determinado o deseado, al mismo tiempo que analiza qué tan bien utiliza su capacidad disponible y, en consecuencia, mide qué tan eficiente es en el uso de los recursos.

BIBLIOGRAFIA

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. En: *System Dynamics Review*, 21 (3), 173-186.

Anderson Jr., E., Morrice, D. J., & Lundeen, G. (2005). The physics of capacity and backlog management in service and custom manufacturing supply chain". En: *System Dynamics review*, 21 (3), 217-247.

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

Goncalves, P., Hines, J., & Sterman, J. (2005). The impact of endogenous demand on push-pull production systems. En: *System dynamics review*, 21 (3), 187-216.

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

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

Parra M, C. M., Pérez R, J. I., & Torres F, D. (2006). Modelación y simulación computacional de un proceso productivo de una pequeña empresa usando dinámica de sistemas. *Ingeniería & Desarrollo* (jul.-dic.), 151-171.

Parlar, M., & Z. K. Weng. (1997). Designing a firm's coordinated manufacturing and supply decisions with short product life cycles. *Management Sci.* 43(10), 1329-1344.

Ovalle, R. (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.

Ovalle, R. (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.

Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. Washington: McGraw Hill.

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

