

# **MODELO DE SIMULACIÓN CONTINUA PARA LA GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO EN PRODUCTOS CON CICLO DE VIDA CORTO**

**DIANA ALEJANDRA RAMÍREZ LONDOÑO  
MARIANA VALENCIA TOBÓN**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial**

**Jaime Alberto Sánchez Velázquez Ms(c) Ing.  
Administrativa, Coordinador Área Simulación**



**ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA  
INGENIERIA INDUSTRIAL  
ENVIGADO  
2012**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo queremos dedicar a nuestros padres, quienes nos han acompañado durante estos cinco años en nuestra formación académica y personal. Gracias a ellos hoy estamos a un paso de convertirnos en ingenieras industriales, un sueño que compartimos en familia y que será el comienzo de un camino de éxitos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos al apoyo de nuestro asesor Jaime Alberto Sánchez Velázquez, quien nos acompañó y orientó en el desarrollo del trabajo realizado e hizo posible el alcance de los objetivos propuestos.

A su vez queremos agradecer a las personas que pertenecen a la institución Escuela de Ingeniería de Antioquia, por ayudarnos en nuestro proceso de formación e incentivarnos a ser futuras ingenieras capaces de superar cualquier reto.

Agradecemos también a nuestras familias quienes nos han acompañado en el recorrido de nuestra carrera profesional y nos han brindado su apoyo incondicional.

# CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	11
1. PRELIMINARES.....	13
1.1 Planteamiento del problema .....	13
1.1.1 Contexto y caracterización del problema .....	13
1.1.2 Formulación del problema .....	14
1.1.3 Justificación.....	14
1.2 Objetivos del proyecto .....	15
1.2.1 Objetivo General.....	15
1.2.2 Objetivos Específicos .....	15
1.4 Antecedentes .....	16
1.5 Marco de referencia.....	18
1.5.1 Administración de la cadena de suministro.....	18
1.5.1.1 Cadena de suministro .....	18
1.5.1.2 La cadena de suministro en Dinámica de Sistemas.....	18
1.5.2 Dinámica de sistemas.....	19
1.5.3 Diagramas causales .....	20
1.5.4 Diagramas Forrester.....	20
1.5.5 Software I Think.....	21
2. METODOLOGÍA.....	22
2.1 Paso 1: Definición del problema y sus límites .....	22
2.2 Paso 2: Formulación hipótesis dinámica.....	22
2.3 paso 3: Formulación del modelo de simulación .....	23

2.4	Paso 4: Pruebas y análisis de sensibilidad .....	23
3.	Dinámica de la gestión de la cadena de suministro para productos con ciclo de vida corto .....	24
3.1	Definición del problema y sus límites .....	24
3.2	Formulación hipótesis dinámica.....	26
3.2.1	Modelo conceptual .....	29
3.2.2	Variables del modelo .....	31
3.3.	Formulación del modelo de simulación.....	34
3.3.1	Ecuaciones del modelo.....	34
3.4	Pruebas y análisis de sensibilidad (Discusión de resultados) .....	36
3.4.1	Velocidad de Difusión .....	36
3.4.2	Tasa de repetición .....	38
3.4.3	Tiempo de reconocimiento de la demanda fantasma .....	39
3.4.4	Efecto de demanda fantasma .....	41
4.	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES .....	44
	BIBLIOGRAFÍA.....	45

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Características Actividades: Cadena de suministro en productos con ciclo de vida corto vs. ciclo de vida largo.....	26
Tabla 2. Variables Principales.....	32

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Representación del Minorista.....	27
Figura 2. Representación del Fabricante .....	27
Figura 3. Representación del Mercado .....	28
Figura 4. Representación del pronóstico.....	28
Figura 5. Representación del Costo Total.....	29
Figura 6. Mapa Conceptual del Sistema .....	30
Figura 7. Relación Minorista/Fabricante.....	30
Figura 8. Relación Mercado/Minorista.....	30
Figura 9. Relación Minorista/Mercado.....	30
Figura 10. Relación Minorista/Resumen .....	30
Figura 11. Relación Minorista/Pronóstico.....	30
Figura 12. Relación Fabricante/Minorista.....	30
Figura 13. Relación Pronostico/Fabricante .....	31
Figura 14. Relación Mercado/Resumen.....	31
Figura 15. Relación Fabricante/Resumen.....	31
Figura 16. Diagrama Causal .....	33
Figura 17. Demanda Total para diferentes Velocidades de Difusión.....	37
Figura 18. Demanda Periódica para diferentes Velocidades de Difusión .....	38
Figura 19. Capacidad de la Fábrica para diferentes Velocidades de Difusión.....	38
Figura 20. Demanda Total para diferentes Tasas de Repetición.....	39
Figura 21. Capacidad de la fábrica para diferentes Tiempos de Reconocimiento de la Demanda Fantasma .....	40

Figura 22. Inventario de la fábrica para diferentes Tiempos de Reconocimiento de la Demanda Fantasma ..... 41

Figura 23. Efecto de la Demanda Fantasma en la Demanda Esperada..... 42

Figura 24. Efecto de la Demanda Fantasma en el Inventario de la Fábrica ..... 42

Figura 25. Efecto de la Demanda Fantasma en la Capacidad de la Fábrica ..... 43



## RESUMEN

La gestión de la cadena de suministro normalmente es diseñada e implementada sin tener en cuenta cómo es el ciclo de vida de los productos; pasando de largo lo importante de darle un manejo diferente al proceso según el ciclo de vida que tenga el producto fabricado, pues de lo contrario se ocasiona poca eficiencia en los procesos y la dificultad de responder ante cambios tanto internos como externos. Es por esto que se hace primordial la implementación de un modelo de dinámica de sistemas que considere estos aspectos y reconozca los posibles eventos de una organización.

Se formula y evalúa mediante el uso del software I`Think, un modelo de simulación continua para gestionar la cadena de suministro en productos con ciclo de vida corto, esto con el fin de evidenciar el comportamiento dinámico del sistema desde las perspectivas del minorista, fabricante y mercado. Se realizaron análisis de sensibilidad con el fin de determinar qué cambios en las variables críticas producían una gestión más eficiente de la cadena.

Este modelo proporciona a las empresas que trabajan con productos de ciclo de vida corto una herramienta útil para la toma de decisiones, ya que permite visualizar el comportamiento de un sistema productivo desde varias perspectivas y consideraciones.

Palabras Clave: Cadena de suministro, Ciclo de vida corto, Simulación Continua, Bucles de retroalimentación, Escenarios de comportamiento.

## **ABSTRACT**

The management of the supply chain is designed and used without taking in mind the product life cycle, missing the important fact of making a different process regarding the fabricated product. Otherwise, low efficiency is encountered in the processes and also in the ability of responding against any internal or external changes, hereby it's really important the usage of a dynamic system and continuous simulations that take in mind this aspects and make a layout of the possible events of an organization.

This work is formulated and evaluated with the use of the I'Think software, which is a continuous simulation model used to manage the supply chain of short life cycle products, with the main purpose of identifying the dynamic system behavior from the retailer, the producer and the market perspectives. Sensibility analysis are made with the main purpose of determine what changes in the important variables would have a higher effect in a more efficient chain management.

This model gives the companies that fabricate products with a short life cycle, valuable information for decision making because they can visualize the behavior of a productive system from different perspectives and considerations in order to get a valuable and flawless outcome.

Keywords: Supply chain, Short cycle life, Continuous simulation, Feedback loops, Behavior Scenarios.

## INTRODUCCIÓN

Según los autores Özbayrak , Papadopoulou y Akgun (Özbayrak, Papadopoulou, & Akgun, Systems dynamics modelling of a manufacturing supply chain system, 2007) la cadena de suministro es la integración de factores involucrados en los procesos de producción y distribución de los productos, es por esto, que la gestión de la cadena de suministro se convierte en un aspecto fundamental para garantizar el éxito de las compañías, en donde éstas deben conocer tanto los factores y actores críticos que hacen parte de la cadena, y cómo su comportamiento puede impactar el sistema productivo.

Para administrar adecuadamente la cadena de abastecimiento es necesario tener presente el tipo de producto que se produce, bien sea de ciclo de vida corto o largo.

Se entiende por ciclo de vida al tiempo que un producto permanece en el mercado desde su etapa de introducción hasta su desaparición o declive. Los autores Briano et ál (Briano, Caballini, Giribone, & Revetria, 2010) afirman que los productos con ciclo de vida corto se caracterizan porque su duración en el mercado corresponde a un período limitado de tiempo, generalmente menor a un año; luego de dicho período los artículos quedan completamente expulsados del mercado, puesto que se convierten en obsoletos, por lo general no en términos de sus características físicas, sino en términos de la popularidad de la marca o de la evolución tecnológica; ejemplos de éstos son: juguetes, artículos de moda y tecnología. Por otro lado se encuentran aquellos de ciclo de vida largo, en los cuales su etapa de producción es extensa y sus fases de crecimiento, madurez y declive son mayores a los nombrados anteriormente.

Conociendo las diferencias entre los dos tipos de productos que se encuentran en el mercado, y según lo citado por Briano et ál (Briano, Caballini, Giribone, & Revetria, 2010), se hace fundamental que la gestión de la cadena de suministro en productos con ciclo de vida corto sea más flexible para responder fácilmente ante los cambios del mercado, de tal forma, que se reduzca la vulnerabilidad y la ocurrencia de eventos impredecibles perjudiciales para la compañía.

Con el fin de analizar el comportamiento de la cadena de suministro antes de llevar a cabo su implementación, se recurre a la modelación como guía para lograr un mapeo del problema bajo condiciones reales; dado que el uso de modelos analíticos o estáticos no ofrece claridad y profundidad en el tema estudiado. Según Filipov (Borshchev & Filippov, July 25 - 29, 2004) “La simulación puede considerarse como un conjunto de reglas (ecuaciones, diagramas de flujo, máquinas de estado, entre otras), las cuales definen como el sistema que está siendo modelado cambiará en el futuro, considerando el estado actual”. Para el caso puntual de estudio donde se consideran cinco perspectivas, la modelación juega un papel de vital importancia ya que permite visualizar cómo se ven afectados cada uno de los actores luego de realizar cambios en las variables críticas del sistema en conjunto. Con base a esto y sabiendo que la cadena de suministro trabajada se ubica en un nivel medio-alto de abstracción, es decir, es compleja por la cantidad de

variables y relaciones involucradas que presenta, se recurrió a la dinámica de sistemas puesto que ésta facilita la ilustración de situaciones complicadas y de gran precisión.

Una vez definida la dinámica de sistemas como herramienta para el análisis de la gestión de la cadena de suministro en productos con ciclo de vida corto, la secuencia implementada para desarrollar el trabajo inicia con la formulación de la estructura del sistema considerando las perspectivas del minorista, fabricante y mercado, con el objetivo de analizar desde cada una de éstas el comportamiento de la cadena; como siguiente paso se elabora la estructura del modelo, luego se prescribe el código, las variables y ecuaciones que lo ejecutan, y finalmente se realizan los respectivos análisis y resultados.

# 1. PRELIMINARES

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1.1 Contexto y caracterización del problema

Hoy en día se evidencia la necesidad de gestionar la cadena de suministro según el ciclo de vida del producto, puesto que las actividades, tecnologías, metodologías y decisiones que deben ser tomadas para llevar a cabo su producción difieren del tipo de vida que éste tenga, sea largo o corto.

Cuando se trabaja con productos cuya vida útil es larga, las estrategias implementadas para desarrollarlos dependen de ciertas características que hacen parte de las empresas que trabajen con dichos productos, éstas son: manejo de una planificación global, estimación de las ventas para toda la compañía, variedad de productos ofrecidos, uso de sistemas automatizados, comunicación tradicional, producción en línea, administración de inventarios, largos plazos de entrega y numerosos proveedores.

A diferencia de las características mencionadas anteriormente, las empresas cuyo enfoque son productos de ciclo de vida corto trabajan bajo una planeación primaria, la estimación de la demanda se hace para cada producto, se usan sistemas de manufactura flexible, outsourcing, manufactura por orden, niveles bajos de inventarios de materia prima y productos terminados, y se tiene alianza con pocos proveedores.

Analizando las diferencias en cuanto a las estrategias de administración y producción referente a los posibles ciclos de vida del producto, es necesario gestionar la cadena de suministro para cada una de éstas, determinando los factores que tienen influencia sobre el flujo de materiales y procesos. Es decir, para lograr una gestión de la cadena de suministro efectiva es indispensable como punto de partida identificar las metodologías de la compañía, y por tanto el tipo de producto que ésta fábrica; para así contar con bases que permitan simular los diversos escenarios que se puedan presentar en la oferta y demanda del producto.

Finalmente, evidenciando la necesidad en el medio y conociendo los factores claves para desarrollar y gestionar una cadena de suministro, nos enfocaremos en el estudio de los productos con ciclo de vida corto, realizando simulación continua que permita visualizar la alternativa más efectiva para manejar la obtención de materia prima, su transformación en producto terminado y distribución; logrando solidez y resistencia ante cambios externos.

### **1.1.2 Formulación del problema**

La gestión de la cadena de suministro normalmente es diseñada e implementada sin tener en cuenta cómo es el ciclo de vida de los productos; pasando de largo lo importante de darle un manejo diferente al proceso según el ciclo de vida que tenga el producto fabricado, pues de lo contrario se ocasiona poca eficiencia en los procesos y la dificultad de responder ante cambios tanto internos como externos. Es por esto que se hace primordial la implementación de un modelo de dinámica de sistemas que considere estos aspectos y reconozca los posibles eventos de una organización.

Por esta razón, se desea elaborar un modelo de simulación continua con base a la cadena de suministro en empresas que trabajen con productos que tengan un ciclo de vida corto.

### **1.1.3 Justificación**

Actualmente, la información disponible sobre el funcionamiento de la cadena de suministro se muestra como un tema general, donde escasamente se diferencia el desarrollo de ésta con base a cuál es el ciclo de vida del producto a fabricar. Por esta razón, es necesario analizar detalladamente que factores deben tenerse en cuenta para desarrollar la cadena de abastecimiento tomando también como elemento importante el tipo de ciclo del producto.

Las empresas que manejan productos con ciclo de vida corto presentan un problema particularmente difícil, partiendo de este hecho concreto y de la presente necesidad por diferenciar el tipo de vida del producto, se hace necesario proporcionar datos investigativos con fuertes fundamentos sobre el desarrollo de una cadena de suministro en productos con ciclo de vida corto. De esta forma, es de gran utilidad y aporte analizar cómo afecta la vida útil del producto en el proceso de producción de éste y ver según sus características y elementos, en qué escenario debe desenvolverse la cadena de suministro. Por consiguiente, brindar esta información constituye un valor profesional pues ofrece a las empresas una oportunidad para mejorar su competitividad, analizar claramente lo que sucede en cada uno de los escenarios posibles, y proporcionar la adecuada solución al problema que cada organización tenga respecto a la cadena de suministro.

El desarrollo de este trabajo de investigación ofrece la oportunidad de aplicar nuevos conocimientos, encontrar nuevas metodologías y hallar soluciones prácticas para implementar en las empresas de hoy en día. El planteamiento del modelo por medio de la modelación continua, facilita la creación de diversos escenarios en los cuales se puede desenvolver la cadena de suministro, permitiendo así mostrar claramente las formas posibles que puede tomar ésta y los resultados que se obtendrían para cada uno de los casos propuestos. El diagnóstico de la situación ayudaría a la visualización de las problemáticas actuales de las organizaciones y propiciaría la búsqueda de soluciones innovadoras y viables, las cuales mejoren el desempeño de la compañía.

Como estudiantes de Ingeniería Industrial, tenemos como reto aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en un proyecto específico como es la creación de un modelo de simulación continua en productos con ciclo de vida corto. Consultando la

literatura, se evidencia la ausencia de estudios sobre la gestión de la cadena de suministro para los bienes cuya vida útil es inferior a un año, considerando las 4 etapas que la conforman: nacimiento del producto, crecimiento de las ventas, madurez, y declive o desaparición de éste. Es así, como las autoras tenemos un gran reto en compañía de nuestro director de proyecto, profesor de la asignatura de logística en la Escuela de Ingeniería de Antioquia, de crear un modelo empleando dinámica de sistemas para evaluar los diversos factores que influyen en todas las fases del proceso productivo, comenzando con la entrada de las materias primas a la planta de producción y finalizando con la distribución del producto terminado a los clientes finales o a los intermediarios.

Finalmente, el valor agregado de nuestro proyecto, es presentar un modelo genérico de simulación continuo para gestionar la cadena de suministro en productos con ciclo de vida corto, el cual sirva como referencia para aquellas empresas fabricantes de ese tipo de bienes con el objetivo de aumentar su eficiencia y capacidad de respuesta ante cambios en la demanda del mercado; logrando alinear a la compañía con su estrategia competitiva y estructura de la cadena de suministro, considerando las 6 directrices del desempeño de ésta que tienen que ver con las instalaciones, información, inventario, abastecimiento, transporte, y factor de precios.

## **1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.2.1 Objetivo General**

Elaborar y evaluar un modelo de simulación continua para planificar la cadena de suministro en productos de ciclo de vida corta, representado los diferentes escenarios y perspectivas.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Establecer el sistema de gestión de la cadena de suministro en productos con ciclo de vida corto.
- Elaborar los diagramas causales del modelo de simulación continua en la gestión de la cadena de suministro en productos con ciclo de vida corta.
- Evaluar técnicas para parametrizar el modelo de la simulación continua en la gestión de la cadena de suministro en productos con ciclo de vida corto.
- Validar el modelo propuesto.
- Analizar el comportamiento del sistema bajo diferentes escenarios sensibilizando algunos parámetros de interés en el modelo.

## 1.4 ANTECEDENTES

Es necesario que las organizaciones determinen el ciclo de vida del producto, entendido como el conjunto de todas las etapas por las que pasa un producto desde el mismo momento en que es lanzado para su venta, hasta que se deja de comercializarlo teniendo siempre en cuenta el volumen de venta, para identificar si se trata de un bien con ciclo de vida corto o largo, y así, gestionar adecuadamente la cadena de suministro; considerando los diversos factores, procesos, actividades, personas y equipos requeridos para llevar a cabo la fabricación y venta del artículo deseado. (1109)

Se encontró bibliografía respecto a productos con ciclo de vida corta, referida a una temporada especial de ventas. Los autores Rodríguez y Vidal afirman que en diversos sectores manufactureros, el ciclo de vida de los productos es cada vez más corto. La aplicación directa de técnicas convencionales de pronóstico y control de inventarios a productos de corto ciclo de vida (SLCPs) no es efectiva porque su demanda es transitoria, no estacionaria y altamente variable. En el artículo, se desarrolló un método heurístico de fácil implementación para el control de inventarios de SLCPs durante su temporada de ventas. El método heurístico comprende un submodelo de un sólo despacho al comienzo de la temporada de ventas y un submodelo que considera múltiples despachos a lo largo de dicha temporada. Ambos modelos trabajan bajo un ambiente de inventario manejado por el proveedor (VMI) dentro de una cadena de abastecimiento con una bodega y N detallistas, donde se busca minimizar el costo total relevante del sistema, compuesto por los costos de devoluciones, los costos de faltantes y los costos fijos de despacho. Estos últimos costos han sido escasamente considerados en la literatura para productos de corto ciclo de vida. En el modelo de múltiples entregas, se determina el tamaño de envío mediante una adaptación del conocido modelo de la cantidad económica de pedido (EOQ). El inventario de seguridad es determinado mediante la razón crítica del modelo del vendedor de periódicos. Con base en datos reales de ventas de una empresa productora de textos escolares, se compara el desempeño del método heurístico con la estrategia actual de despachos de la firma. En los dos casos de prueba, el costo total relevante del método heurístico fue menor que el de la actual política de control de la compañía. (Rodríguez & Vidal, Jun2009)

Los autores Özbayrak et ál, definen la cadena de suministro como la integración de factores involucrados en los procesos de producción y distribución de los productos, y por ende, es necesario crear modelos dinámicos para optimizar y elevar la cadena de suministro. Para esto, se presenta un modelo de dinámica de sistemas en el cual se simula el funcionamiento de una cadena de suministro de complejidad media para una empresa que fabrica centrales con un sistema bajo pedido. Como conclusiones se obtienen que las operaciones realizadas en la red dependen de la capacidad para entender la cadena como un todo, el análisis de las interacciones de los componentes en el sistema, y el suministro de información. La estructura del modelo que se plantea es construida bajo 8 escenarios de la vida cotidiana en la empresa productora de centrales, considerando los indicadores claves como niveles de inventario, producto en proceso, órdenes atrasadas y satisfacción



del cliente, y a su vez, comparándolos antes y después de la implementación del modelo de dinámica de sistemas. (Özbayrak, Papadopoulou, & Akgun, Systems dynamics modelling of a manufacturing supply chain system, 2007)

En la publicación “ Using system dynamics for short life cycle supply chains evaluation”, la cual hace parte de un proyecto de investigación Italiano, en donde se exponen aspectos que deben tenerse en cuenta para gestionar la cadena de suministro en productos con ciclo de vida corta empleando dinámica de sistemas, como son el modelo, la elasticidad y su competitividad. Para esto los autores realizan 3 estudios sobre el tema; el primero, se refiere a enumerar las diferencias entre los productos con ciclo de vida corto y largo teniendo en cuanto la planeación, pronósticos, manufactura, inventarios y proveedores; el segundo, consta de un modelo de dinámica de sistemas para gestionar la cadena de suministro en circunstancias donde aparezca una amenaza de terremoto, y considerando que la oferta del mercado se encuentra dividida en dos grandes competidores cada uno con el 50% de participación; y el último, hace referencia a la creación de un modelo de dinámica de sistemas que evalúa la competitividad y atractivo de dos empresas con productos de ciclo de vida corto, basándose en las políticas de dirección de cada una de éstas. (Enrico, Caballini, Giribone, & Revetria, 2010)

Respecto a la primera investigación llevada a cabo por Briano, Caballini, Giribone y Revetria, se encuentra que los productos como los juguetes, artículos de moda o aparatos electrónicos, tienen características diferentes a los bienes cuyo ciclo de vida es largo, lo cual implica que la forma de gestionar la cadena de suministro y los factores de competitividad son diferentes entre los 2 tipos. Los artículos con ciclo de vida corto se caracterizan por producirse en un período inferior a un año, se vuelven obsoletos rápidamente debido a las tendencias de la moda, popularidad de la marca e innovaciones tecnológicas, es por esto, que las empresas fabricantes de estos productos tienen que responder al mercado continuamente a través de una cadena de suministros resistente y flexible, la cual reduzca la vulnerabilidad de la compañía frente a eventos no deseados, a su vez, se hace necesaria una estimación precisa en la demanda para no ocasionar excesos de inventarios ni tampoco escasez de los productos. Como conclusiones a lo planteado por los autores, se debe realizar una planeación primaria para cada producto, los métodos empleados son heurísticos, cualitativos y por analogía para realizar los pronósticos, los sistemas de manufactura son flexibles, híbridos y automáticos, los inventarios son reducidos, y los proveedores son pocos ya que éstos ofrecen la mayoría de las materias primas requeridas para elaborar los productos. A su vez, para desarrollar esta fase, se implementó un modelo para gestionar la cadena de suministro en productos con ciclo de vida corto, el cual contiene las fases de materia prima, productos en proceso (WIP) y artículos terminados, considerando que sólo se cuenta con un proveedor, el pronóstico de la demanda se estima mediante el doble suavizamiento exponencial, los parámetros del modelo son los tiempos de entrega y la demanda inicial, y como conclusión, se encuentra que éstos tienen impactos en las cantidades de unidades vendidas y en la rentabilidad de las compañías. (Enrico, Caballini, Giribone, & Revetria, 2010)

En el segundo estudio Briano, Caballini, Giribone y Revetria consideran que es necesario crear cadenas de suministro fuertes, flexibles, y con capacidades para enfrentar oportuna y eficazmente acontecimientos inesperados como guerras, desastres naturales, y ataques terroristas. Es así, como los autores recurren a la metodología de “Análisis de

vulnerabilidad” propuesto por Asbjornslett y Rausand (1997) en donde se evidencian las amenazas y puntos críticos que tienen los productos con ciclo de vida corto. Posteriormente, se clasifican los posibles riesgos según el método de Christopher y Towill (2002) en internos, externos o ambientales. Para el estudio del caso, Briano, Caballini, Giribone y Revetria eligen como riesgo ambiental la aparición de un terremoto y tienen en cuenta dos proveedores de materia prima sugeridos por Yossi Sheffi (2005) en “La Mejor Estrategia de Suministro”, la cual considera una cadena resistente. Es así, como se elabora un modelo de dinámica de sistemas por medio del software Studio de Powersim para mostrar el comportamiento de la cadena de suministro en productos con ciclo de vida corto. Como resultado se encuentra que debido al terremoto, sólo logra sobrevivir un proveedor quién garantiza el flujo continuo de materia prima para la compañía trabajando hasta en un 50% de su capacidad de producción.

Finalmente, para el tercer análisis, Briano et ál hacen una comparación entre dos empresas con productos de ciclo de vida corto tomando como referencia parámetros de competitividad, los cuales afectan las ventas, la cadena de suministro y el volumen de producción de éstas. Para ello, es necesario considerar los factores cuantitativos del producto como son el precio, la cuota del mercado y el número de ventas en un período determinado, al igual, que los aspectos cualitativos en los cuales la calidad del producto se presenta por la percepción del cliente. Como consecuencia, se formula una matriz denominada “Matriz Direccional de políticas” propuesta por General Electrics y desarrollada por McKinsey & Company, donde se relacionan los factores cualitativos y cuantitativos.

## **1.5 MARCO DE REFERENCIA**

### **1.5.1 Administración de la cadena de suministro**

#### **1.5.1.1 Cadena de suministro**

“También llamada cadena de abastecimiento, hace referencia a todas las actividades que hacen parte del proceso de transformación de bienes o servicios, va desde la obtención de la materia prima hasta que llega al usuario final. La cadena de suministros integra proveedores, fabricantes, distribuidores y minoristas, es el conjunto de procesos y estructuras de una organización para obtener un output.”

“La cadena de suministro es el conjunto de procesos para posicionar e intercambiar materiales, servicios, productos semiterminados, productos terminados, operaciones de pos-acabado logístico, de posventa y de logística inversa; así como la información en la logística integrada, que va desde la procuración y la adquisición de materia prima hasta la entrega y puesta en servicio de productos terminados al consumidor final.” (Antún)

“Las cadenas de suministro 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.” (Echeverri, 2010)

### **1.5.1.2 La cadena de suministro en Dinámica de Sistemas**

“En dinámica de sistemas la cadena de suministro está conformada por: los stocks, es decir, las estructuras de niveles y los flujos para la adquisición, almacenamiento y transformación de entradas en salidas; y por otra parte, por las políticas de decisión que gobiernan los flujos. Esto permite el momento correcto de las salidas del output. La cadena de suministro está especialmente administrada por ciclos de retroalimentación negativos o no reforzados, puesto que cuando las necesidades de los clientes cambian, los directivos de la cadena deben responder modificando la tasa en que se ordenan los recursos.”

“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 interactúan entre sí: información, materiales, órdenes, dinero, fuerza laboral y equipos. El modelo considera una fábrica, una bodega, un distribuidor y un minorista. Basado en este modelo, Forrester investiga los temas relacionados con la cadena de abastecimiento.” (Echeverri, 2010)

“La utilización de la teoría general de los sistemas para explicar el funcionamiento de la cadena de suministro, pretende identificar las bases teórico-metodológicas que influyen en la formación de la cadena y los tipos de relación entre sus elementos. El análisis de la cadena de suministro con un enfoque de sistema, permite desarrollar un marco teórico de referencia para la toma de decisiones en el proceso de su diseño.” (Hernández García & Sanchez Jimenez)

### **1.5.2 Dinámica de sistemas**

“Es una metodología usada para entender como los sistemas cambian en el tiempo. Sirve para estudiar y administrar sistemas complejos de retroalimentación; la dinámica de sistemas tiene como base que el comportamiento de los sistemas es causado por la retroalimentación y los retardos en el tiempo, es decir, el comportamiento dinámico de un sistema es consecuencia de su estructura. La dinámica de sistemas permite estudiar y comprender el sistema, para luego representarlo en un modelo de simulación.”

“La definición propuesta por Forrester para la dinámica de sistemas es: Estudio de las características de retroalimentación de la información dentro de las actividades industriales para ilustrar como la estructura organizacional, la aplicación y los retardos en el tiempo, interactúan para determinar el éxito de una empresa. Trata las interacciones entre los flujos de información, dinero, órdenes, materiales, recursos humanos y equipos dentro de una compañía, industrial o economía nacional”

“La aplicación de la teoría de sistemas para el análisis de la cadena de suministro es necesaria pues hace posible una delimitación del sistema con su entorno.” (Hernández García & Sanchez Jimenez)

### 1.5.3 Diagramas causales

“Un diagrama causal consiste en variables interconectadas entre sí que indican las relaciones causales entre ellas mismas. Normalmente se trata de un sistema interconectado que refleja la estructura de retroalimentación del mismo. Además, en dicho esquema es fácil determinar los ciclos de alimentación importantes, ya que éstos son evidentes. En el caso del software a utilizar, I Think, se identifican por flechas que unen los diferentes procesos que se realizan dentro del sistema. Es importante mencionar que una relación causal existe cuando una variable X incide sobre una variable Y.

Un diagrama causal se compone de los siguientes elementos:

- Las variables
- Las relaciones causales entre las variables
- La polaridad de la relación causal (cuando X aumenta y Y aumenta la polaridad es positiva, y cuando pasa lo contrario ésta es negativa).
- Identificadores de ciclo



Los diagramas causales son una herramienta útil, ya que en primer lugar permiten identificar rápidamente las hipótesis sobre las causas de las dinámicas. Además, captan el modelo mental de los individuos y por último, permiten comunicar las retroalimentaciones importantes que el modelador considera son las responsables del problema.”

### 1.5.4 Diagramas Forrester

“Tienen como principales elementos los flujos, las variables auxiliares, los niveles y finalmente los conectores.

- Los Flujos: Su única función es llevar y traer flujos de un nivel a otro. Es decir, aumentan o disminuyen las cantidades que se encuentran en los recipientes de almacenamiento (Niveles). Además es importante resaltar que siempre tendrán las mismas unidades del stock, pero por unidad de tiempo.
- Las Variables Auxiliares: Se encargan de hacerle alguna operación matemática a los datos de entrada y convertirlos en datos de salida modificados. También se utilizan con el fin de representar valores constantes para el modelo, como entradas externas o para ingresar funciones gráficas.
- Los Niveles: Son depósitos en los cuales se almacenan y se refleja el estado presente o futuro del sistema a analizar. Se usan para interpretar acumulaciones de cosas materiales o no materiales. Las cantidades que se encuentran en los diferentes niveles están determinadas directamente por los flujos que entran y salen de ellos.
- Los Conectores: Enlazan los diferentes elementos del modelo; transmiten la información entre los elementos y simbolizan las relaciones que hay entre ellos.”

### **1.5.5 Software I Think**

“Es una herramienta utilizada para modelar problemas de la vida real, que proporciona la simulación de modelos dinámicos. Permite generar una situación a partir de los elementos ya descritos, y correrla con el fin de determinar cuáles son sus efectos en un lapso de tiempo específico. Además permite crear las situaciones necesarias para arrojar resultados que faciliten tomar decisiones sobre el problema que se está estudiando.” (Peñalosa Armel & Tamayo Castaño, 2010)

## **2. METODOLOGÍA**

En términos generales la metodología estándar usada para el modelado con Dinámica de Sistemas se compone esencialmente de 5 pasos, los cuales no necesariamente se siguen de forma consecutiva sino que pueden ser iterativos (Sterman, 2000): Definición del problema y sus límites, formulación de hipótesis dinámicas, formulación del modelo de simulación, y finalmente, pruebas y análisis de sensibilidad. Estos pasos se describen a continuación.

### **2.1 PASO 1: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y SUS LÍMITES**

- Analizar las características de los productos con ciclo de vida corto y largo: Se estudiaron las características de los productos considerando su ciclo de vida mediante una revisión de la literatura.
- Comparar las actividades tanto de la cadena de suministro en productos de ciclo de vida corto como largo: Se realizó un cuadro comparativo con base a las labores que se ejecutan en la cadena según el tipo de producto.
- Identificar las variables críticas del sistema productivo: Se analizaron cuales variables del sistema poseen mayor variación en su comportamiento dependiendo del tipo de ciclo que los productos tengan.
- Contrastar el comportamiento de las variables críticas del sistema productivo para productos de ciclo de vida corto y largo: Se comparó la actuación de la demanda esperada, demanda fantasma, nivel de inventario, y capacidad de la fábrica para los dos ciclos.

### **2.2 PASO 2: FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DINÁMICA**

- Definir la estructura del modelo: Se describe la composición del modelo, sus perspectivas y variables.
- Describir la interrelación de las variables del sistema en términos de causa - efecto y las retroalimentaciones del sistema: Realizar diagramas causales para ilustrar gráficamente los enlaces entre las variables.

### **2.3 PASO 3: FORMULACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN**

- Evaluar técnicas para parametrizar el modelo.
- Construir ecuaciones matemáticas: Se establecen las ecuaciones para cada ítem del sistema y los métodos de pronóstico a utilizar.
- Definir parámetros iniciales: Se seleccionan los valores iniciales del sistema.

### **2.4 PASO 4: PRUEBAS Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD**

- Probar el modelo y analizar el comportamiento de las variables críticas que lo componen: Se ejecuta el modelo y se analizan los resultados de las variables que arroja la simulación.

### **3. DINÁMICA DE LA GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTROS PARA PRODUCTOS CON CICLO DE VIDA CORTO**

#### **3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y SUS LÍMITES**

Actualmente, es evidente la falta de herramientas útiles que permitan la toma de decisiones eficientes en la gestión de la cadena de suministro para productos con ciclo de vida corto. Por esto, es necesario el estudio de las características especiales de este tipo de producto y determinar en que difieren éstos con aquellos que cuenta con un ciclo de vida largo.

Los productos con ciclo de vida corto cuentan con una etapa de introducción rápida, su tiempo de crecimiento es prolongado, el período de madurez es reducido, y finalmente, la fase de declive es acelerada. Esto se debe a que factores como la moda, la tecnología, los cambios de gustos de los usuarios, y la presencia mayor de la cantidad de competidores, alteran el tiempo de duración en cada una de las etapas. A diferencia de éstos, los productos con ciclo de vida largo permiten a la empresa un mayor tiempo de respuesta frente a los cambios y requerimientos del comprador, ya que cuentan con etapas de introducción, crecimiento, madurez y declive, desarrolladas en un período de tiempo más amplio.

La toma de decisiones por parte de los gerentes a cargo de la producción de productos con ciclo de vida corto es más exigente debido a las características que éstos presentan; el tiempo de respuesta requerido ante los cambios del mercado es corto y exigente, hay ausencia de información histórica y mayor incertidumbre de la demanda, la etapa de decadencia es temprana y de duración corta, la cadena de abastecimiento requiere mayor flexibilidad para poder adaptarse al mercado, y además, las oportunidades para lograr ajustes estratégicos de la cadena se reducen. Por estas razones, el uso de una herramienta que permita anticiparse a eventos futuros puede soportar una gestión adecuada.

Conociendo las características que hacen parte de los productos según su tipo de ciclo, se procede a estudiar cómo debe ser el manejo de cada una de las actividades que componen el proceso de éstos.

De acuerdo a Szozda and Swierczek (Szozda & Swierczek, 2008), las principales diferencias entre las tareas para la cadena de suministro en productos de ciclo de vida corto y largo se muestra a continuación.



Actividad/Proceso	Cadena de suministro en productos con ciclo de vida corto	Cadena de suministro en productos con ciclo de vida largo
Planeación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planeación elemental.</li> <li>- La estimación de la demanda para cada producto y servicio un solo valor para la empresa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planeación global y general.</li> <li>- El pronóstico es estimado por las ventas de la compañía.</li> <li>- La estimación de la demanda para un grupo de productos.</li> </ul>
Pronostico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se usa método heurístico.</li> <li>- Se usa métodos cualitativos.</li> <li>- Pronóstico por analogía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se usa métodos cualitativos.</li> <li>- Se usa métodos estadísticos.</li> </ul>
Manufactura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema flexible de manufactura.</li> <li>- Sistemas altamente automatizados.</li> <li>- Manufactura en alto rango de productos.</li> <li>- Outsourcing.</li> <li>- Procesos híbridos de manufactura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas altamente automatizados.</li> <li>- Producción en línea.</li> </ul>
Inventarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manufactura en orden.</li> <li>- El número de materiales y productos almacenados es menor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manufactura por Stock.</li> <li>- Los productos se venden por stock.</li> </ul>
Proveedores	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema global de reabastecimiento.</li> <li>- Contratos a largo plazo que permiten flexibilidad en los</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proveedores locales.</li> <li>- Frecuente cambio de proveedores.</li> </ul>

	tiempos de planificación y en las cantidades requeridas.  - Pocos proveedores que ofrecen gran variedad de materiales prima.  - Consolidación de pedidos.	- Largos tiempos de entrega.  - Gran número de proveedores.  - Tradicional forma de comunicación.  - Sistemas de información compartidos.
--	---	---

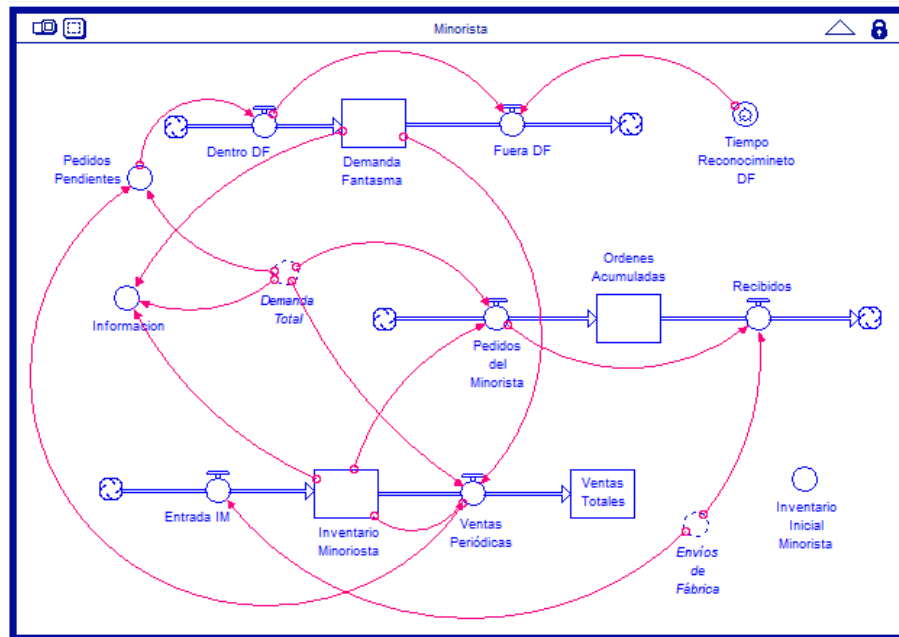
**Tabla 1. Características Actividades: Cadena de suministro en productos con ciclo de vida corto vs. ciclo de vida largo**

Conociendo las diferencias entre las actividades esenciales para la producción de los dos tipos de productos, se tomaron como variables críticas de estudio aquellas cuyo comportamiento varía en gran medida según su ciclo. Se sabe que en la producción de productos con ciclos de vida corto, la demanda esperada presenta un crecimiento y decadencia en un periodo de tiempo menor frente a aquellos de ciclo de vida largo; esto hace más exigente el uso de un pronóstico exacto para estos artículos; de igual forma, se conoce que la empresa debe ser más flexible en cuanto a los cambios en su capacidad de producción acorde con la exigencia del mercado. Considerando los inventarios, se observa que éstos tienen alta rotación y su posibilidad de acumularse para el periodo final es mayor. Es importante también considerar la demanda fantasma pues esta altera la percepción de la demanda real; para productos con ciclo de vida corto el tiempo en que ésta se detecte juega un papel clave, pues facilita la toma acertada de decisiones.

### **3.2 FORMULACIÓN HIPÓTESIS DINÁMICA**

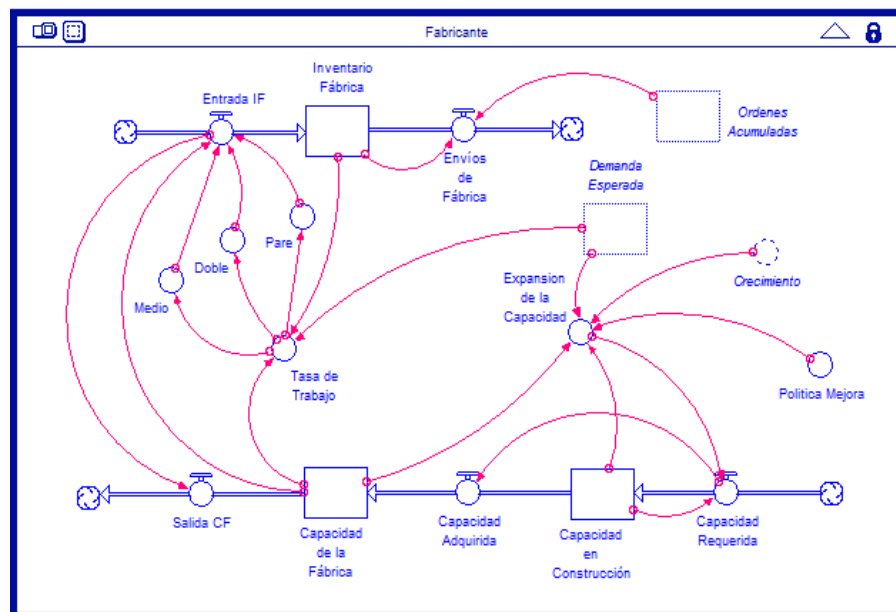
El modelo formulado es genérico por lo cual se tomaron valores ficticios. Se corrió en un periodo de 104 semanas, equivalente a dos años. La estructura de éste considera cuatro perspectivas principales; minorista, fabricante, mercado y resumen/ análisis financiero.

- Minorista: Es el punto de contacto directo con el cliente, esta perspectiva considera la estimación de la demanda fantasma, los niveles de inventario, las órdenes acumuladas y por ende las ventas periódicas realizadas a los consumidores finales.



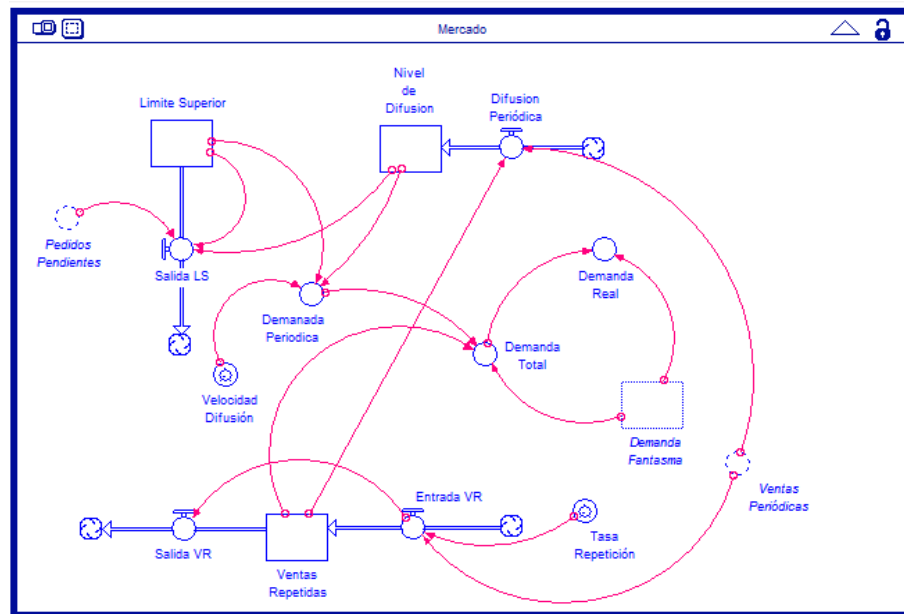
**Figura 1. Representación del Minorista**

- Fabricante: Se encarga de transformar la materia prima en el producto terminado según las especificaciones y requerimientos de los clientes, como aspectos principales esta perspectiva considera la capacidad de la fábrica, políticas de mejora y volúmenes requeridos de expansión.



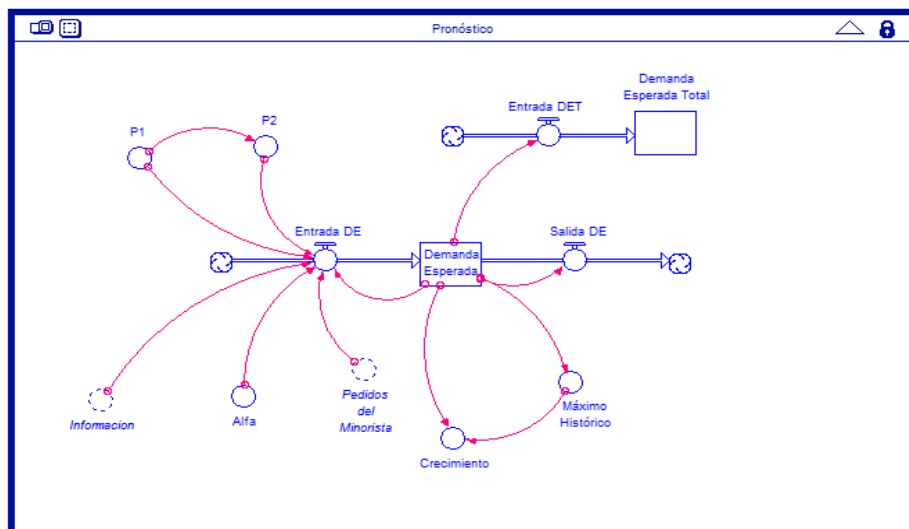
**Figura 2. Representación Fabricante**

- Mercado: Es la razón de ser de la cadena de abastecimiento, tiene en cuenta la oferta y la demanda del producto; se estima la velocidad con que el producto se conoce, las ventas realizadas considerando la tasa de repetición de éstas y la proporción del mercado que falta por ser atendido.



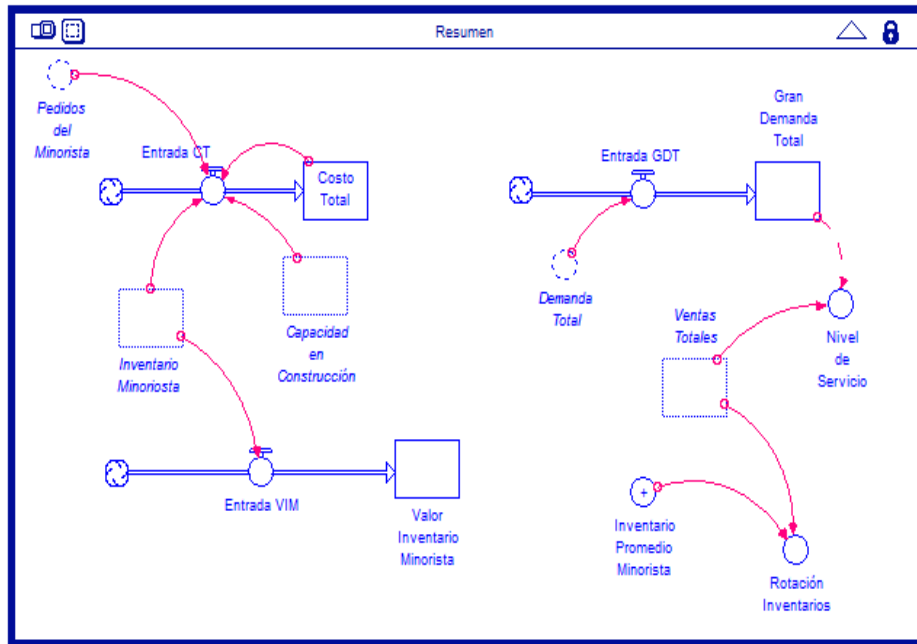
**Figura 3. Representación del Mercado**

- Pronóstico: Estimación anticipada a datos futuros, en esta perspectiva se considera la demanda esperada, su máximo valor obtenido y el crecimiento de ésta.



**Figura 4. Representación del pronóstico**

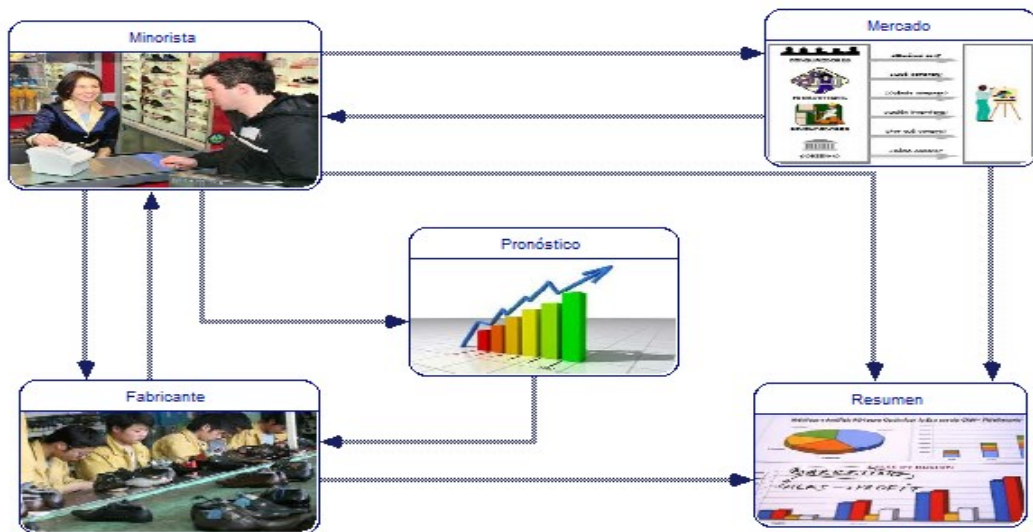
- Resumen: Se considera el estudio financiero del modelo, el cual toma los datos del nivel de inventario, la capacidad de la fábrica y los pedidos del minorista, para obtener el valor del costo total de la cadena de suministro.



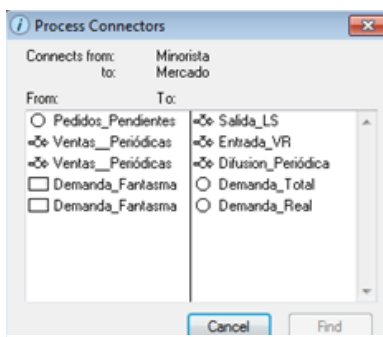
**Figura 5. Representación Costo Total**

### 3.2.1 Modelo conceptual

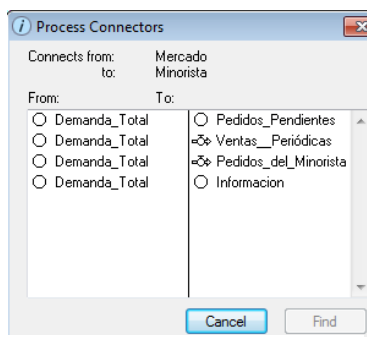
El modelo conceptual que se expone a continuación ilustra de forma general las perspectivas que hacen parte del sistema y las relaciones entre las variables que lo componen.



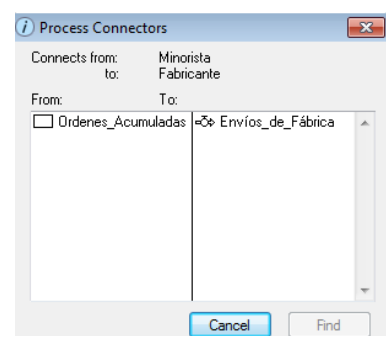
**Figura 6. Mapa Conceptual del Sistema**



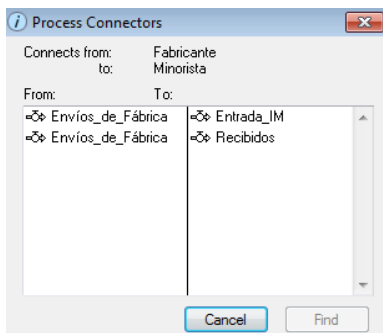
**Figura 9. Relación Minorista/Mercado**



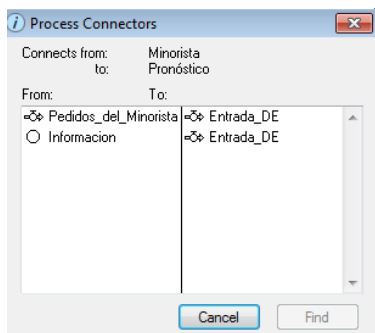
**Figura 8. Relación Mercado/Minorista**



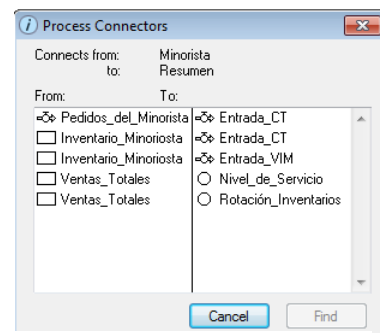
**Figura 7. Relación Minorista/Fabricante**



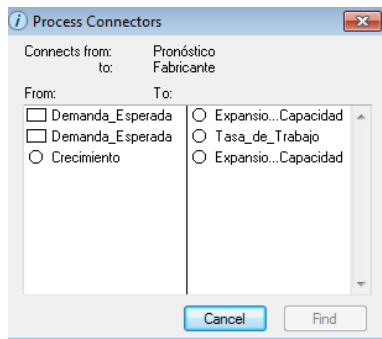
**Figura 12. Relación Fabricante/Minorista**



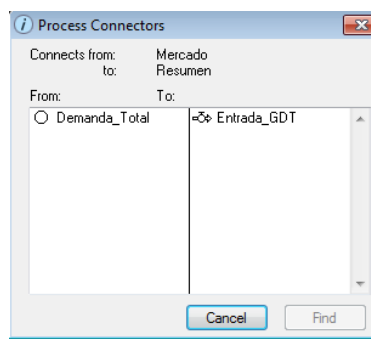
**Figura 11. Relación Minorista/Pronóstico**



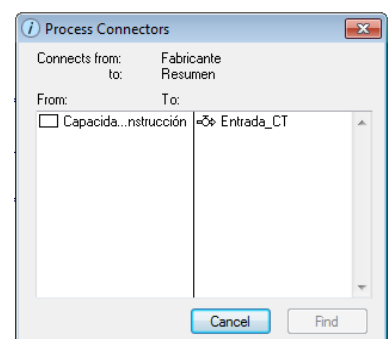
**Figura 10. Relación Minorista/Resumen**



**Figura 15. Relación Pronóstico/Fabricante**



**Figura 13. Relación Mercado/Resumen**



**Figura 14. Relación Fabricante/Resumen**

### 3.2.2 Variables del modelo

Se describen a continuación las principales variables del modelo construido.

Perspectiva	Nombre Variable	Característica
Minorista	Demanda Fantasma	Se presenta cuando el minorista experimenta desabasto en los productos, y por ende, duplica las órdenes al fabricante
	Órdenes Acumuladas	Cantidad de requerimientos que son planeados por parte del minorista y fabricante
	Inventario Minorista	Nivel de existencias del minorista
	Ventas Totales	Ventas periódicas
	Demanda Total	Corresponde a la sumatoria de la demanda Periódica, demanda fantasma y ventas repetidas
Mercado Fabricante	Límite Superior	Número teórico de clientes potenciales que se emplean en el modelo de la curva logística
	Nivel de Difusión	Rapidez con la que se propaga un nuevo producto en el mercado, está dada por la cantidad de clientes que lo adquieren en un período determinado

	Ventas Repetidas	Porcentaje de clientes que repiten la compra del producto
	Inventario Fábrica	Nivel de existencias en el fabricante
	Capacidad Fábrica	Capacidad de fabricación disponible
	Capacidad Construcción	Capacidad de fabricación en construcción
Pronóstico	Demanda Esperada Total	Demanda esperada en un período de tiempo
Resumen	Costo Total	Costo asociado a la cadena de suministro
	Rotación Inventarios	Tasa que relaciona las ventas totales con el inventario del minorista

**Tabla 2. Variables Principales**

Según lo descrito por Sterman (Sterman J. D., 2000), “los comportamientos más complejos surgen de las interrelaciones entre los componentes del sistema, no de la complejidad de éstos”, por lo cual se hace importante la representación gráfica de las relaciones entre las variables principales del sistema, pues proporciona mayor conocimiento sobre las incidencias entre ellas y en consecuencia el comportamiento del sistema en conjunto.

Los diagramas causales presentan bucles de retroalimentación positivos o negativos; Bucles positivos tienden a reforzar o ampliar lo que está sucediendo en el sistema, por el contrario, bucles negativos lo contrarrestan. Éstos crean la complejidad dinámica del sistema.

Los circuitos de retroalimentación pueden presentar dos tipos de interacciones, positiva o negativa; cuando hay una relación directa entre las variables, es decir, si al aumentar una de éstas la otra presenta el mismo comportamiento la relación causal es positiva, mientras que si se aumenta una de éstas la otra disminuye o viceversa ésta es negativa.

Luego de definir la estructura de la cadena de suministro para un producto con ciclo de vida corto, se realizó el diagrama causal considerando las variables que juegan un papel primordial dentro del sistema, con el fin de visualizar las relaciones entre ellas y su impacto, evidenciándose así los patrones de comportamiento y los parámetros claves a considerar para la prevención de eventos futuros.

A continuación se muestra el diagrama con los bucles de retroalimentación teniendo en cuenta el modelo a simular.





representados en el diagrama causal por dos de los bucles que inician en la demanda periódica forman un pico elevada de ésta, lo que gráficamente se ilustra como una campana.

- Igualmente, se puede concluir que al considerar una política de mejora y expansión de la capacidad, la fábrica contará con un mayor volumen de producción y por tanto a futuro necesitará menor crecimiento de la línea de fabricación.
- En el diagrama causal se evidencia que un aumento del inventario del minorista produce un aumento en las ventas periódicas; para que esto ocurra es necesario considerar la existencia de una política de precios, donde al minorista experimentar altos niveles de inventario reduzca el precio del producto y aumente así sus ventas periódicas.

### 3.3. FORMULACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Teniendo en cuenta la naturaleza del caso de estudio no fue necesaria la estimación del parámetro de la velocidad de difusión por medio de regresión logística, ya que se desarrolló no como un caso particular de estudio sino como un modelo general; es por esto que al no contar con datos históricos reales se estimó un  $\alpha$  de 0.00000002 el cual controla la rapidez con la cual se difunde el producto.

Se supuso entonces que el comportamiento del proceso de difusión del producto se puede determinar mediante la aplicación de la derivada de la curva logística, representada por:  $\alpha \cdot \text{nivel de difusión} \cdot (\text{límite superior} - \text{nivel de difusión})$ ; donde el valor de  $\alpha$  es el mencionado anteriormente, el límite superior teórico es el 50% de la población colombiana la cual es de 45.000.000 y la velocidad de difusión es 100.000, que se refiere a la cantidad de personas que compran el producto en un determinado tiempo. Para el pronóstico de la demanda se implementó un método cuantitativo de suavizamiento exponencial.

#### 3.3.1 Ecuaciones del modelo

A continuación se exponen las principales ecuaciones del modelo.

##### **Órdenes Acumuladas**

Inicial=0

Flujo Entrante: Pedidos del Minorista= MAX(Demanda\_Total-Inventario\_Minorista,0)

Flujo Saliente: Recibidos= Envíos\_de\_Fábrica+DELAY(Pedidos\_del\_Minorista-Envíos\_de\_Fábrica,4)

**Demanda Fantasma**

Inicial=0

Flujo Entrante: Dentro DF= Pedidos\_Pendientes\*0.2

Flujo Saliente: Fuera DF= DELAY (Dentro\_DF,Tiempo\_Reconocimineto\_DF)

**Inventario Minorista**

Inicial= Inventario\_Inicial\_Minorista

Flujo Entrante: Entrada IM= Envíos\_de\_Fábrica

Flujo Saliente: Ventas Periódicas= MIN (Inventario\_Minorista,Demanda\_Total-Demanda\_Fantasma)

**Ventas Totales**

Inicial= 0

Flujo Entrante: Ventas Periódicas= MIN(Inventario\_Minorista,Demanda\_Total-Demanda\_Fantasma)

**Límite Superior**

Inicial= 45000000\*.5

Flujo Saliente: Salida LS= IF(Limite\_Superior>Nivel\_de\_Difusion) then Pedidos\_Pendientes \* 0.1 else 0

**Nivel de Difusión**

Inicial= 100000

Flujo Entrante: Difusión Periódica= Ventas\_\_Periódicas-Ventas\_Repetidas

**Ventas Repetidas**

Inicial= 0

Flujo Entrante: Entrada VR= DELAY(Ventas\_\_Periódicas\*Tasa\_Repetición/100,1)

Flujo Saliente: Salida VR = DELAY(Entrada\_VR,1)

**Inventario Fábrica**

Inicial= 37500

Flujo Entrante: Entrada IF=

DELAY(Capacidad\_de\_la\_Fábrica\*(2^Doble)\*((1/2)^Medio)\*(0^Pare),1)

Flujo Saliente: Envíos de la Fábrica = MIN(Inventario\_Fábrica,Ordenes\_Acumuladas)

**Capacidad de la Fábrica**

Inicial= 37500

Flujo Entrante: Capacidad Adquirida= DELAY(Capacidad\_Requerida,3)

Flujo Saliente: Salida CF = Entrada\_IF/160

**Capacidad en Construcción**

Inicial= 0

Flujo Entrante: Capacidad Requerida= IF (Capacidad\_en\_Construcción=0) then Expansion\_de\_la\_Capacidad else 0

Flujo Saliente: Capacidad Adquirida = DELAY (Capacidad\_Requerida, 3)

### **Demanda Esperada Total**

Inicial=0

Flujo Entrante: Entrada DET= Demanda\_Esperada

### **Demanda Esperada**

Inicial=0

Flujo Entrante: Entrada DE=

$(Pedidos\_del\_Minorista * P1 + Informacion * P2) * Alfa + Demanda\_Esperada * (1 - Alfa)$

Flujo Saliente: Salida DE= Demanda\_Esperada

### **Costo Total**

Inicial=  $(Capacidad\_de\_la\_Fábrica - 100) * 50$

Flujo Entrante: Entrada CT=

$Pedidos\_del\_Minorista * 20 + MAX(Inventario\_Minorista, 0) * 2.5 + Capacidad\_en\_Construcción * 50 + Costo\_Total * 0.18/52$

### **Valor Inventario Minorista**

Inicial=0

Flujo Entrante: Entrada VIM=  $MAX(Inventario\_Minorista, 0) * 2.5$

### **Gran Demanda Total**

Inicial=0

Flujo Entrante: Entrada GDT= Demanda\_Total

## **3.4 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD (DISCUSIÓN DE RESULTADOS)**

Luego de la ejecución del modelo construido, se analizaron las variables críticas que impactan de manera significativa el comportamiento del sistema. Dicho análisis se muestra a continuación:

### **3.4.1 Velocidad de Difusión**

Teóricamente la velocidad de difusión es la rapidez con la que un producto es conocido en el mercado, ésta se basa en el comportamiento de la curva logística. Con el fin de analizar el impacto de dicha variable en la demanda total, demanda periódica y la capacidad de la fábrica, se tomó como base la ecuación de la derivada de la curva logística, la cual está definida por:  $\alpha * nivel\ de\ difusión * (límite\ superior - nivel\ de\ difusión)$ ;  $\alpha$  es el parámetro que determina la velocidad con que un producto se da a conocer en el mercado, su interpretación muestra que a valores mayores de alfa la velocidad de difusión es mayor. Para el caso de estudio se tomaron diversos valores de alfa ( $\alpha = 0.00000001$ ,  $\alpha = 0.000000015$ ,  $\alpha = 0.000000025$ ) con el fin de evaluar el impacto de la velocidad de difusión en la demanda que se tendrá de un producto y en la capacidad que generará la empresa para responder a ésta.

Como se evidencia en las figuras 17, 18 y 19 al aumentar la velocidad de difusión se produce un pico elevado de la demanda total y periódica, esto genera una reacción de aumento máximo en la capacidad de la fábrica, generándose así altos niveles de inventarios que pueden resultar riesgosos para la compañía.

Observando la tendencia de la demanda y la habilidad de manufactura al variar la velocidad de difusión, se puede concluir que para productos con ciclo de vida corto, la demanda gráficamente muestra una campana más estrecha, es decir, la demanda crece y decae más rápidamente, ya que la velocidad de difusión es mayor.

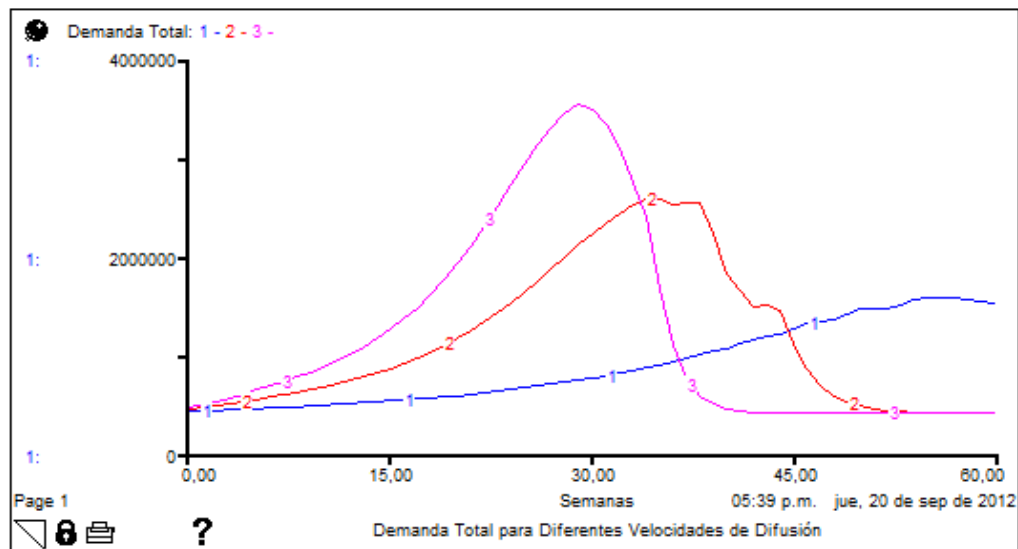


Figura 17. Demanda Total para diferentes Velocidades de Difusión

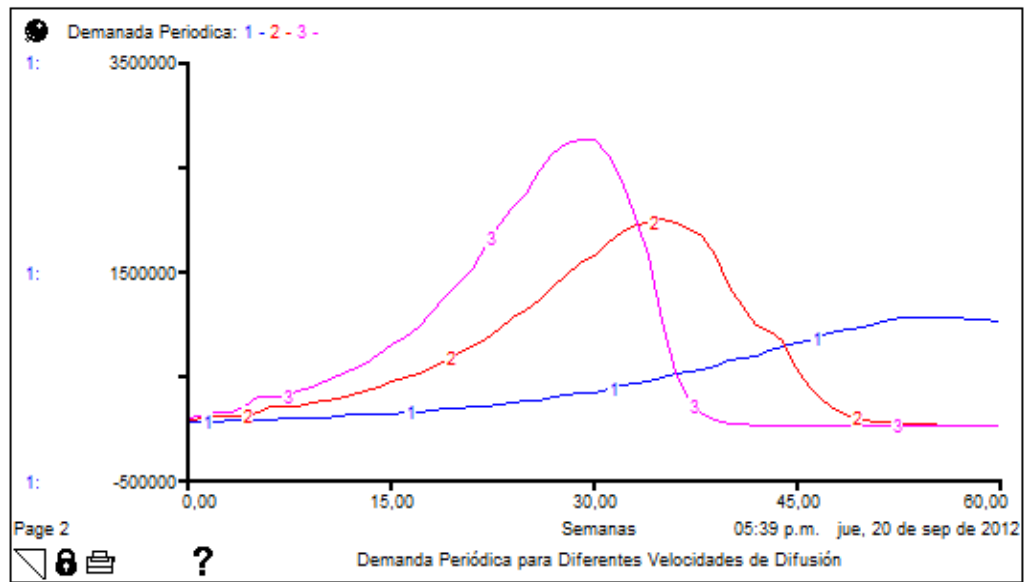


Figura 18. Demanda Periódica para diferentes Velocidades de Difusión

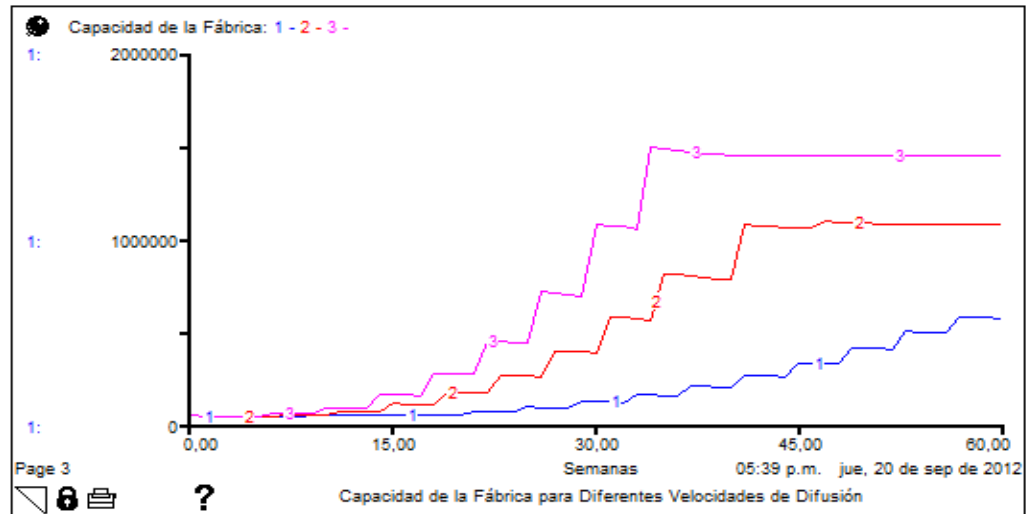


Figura 19. Capacidad de la Fábrica para diferentes Velocidades de Difusión

### 3.4.2 Tasa de Repetición

La tasa de repetición se entiende como aquel valor porcentual que muestra la cantidad de clientes que repiten su compra; el conocimiento de esta variable permite obtener una

estimación más precisa de la demanda total del producto ofrecido. Para el modelo trabajado se tomaron tres valores específicos (5%,10%,15%), al variar dicha tasa, se evidenció que en aquellos casos donde se considera la cantidad de clientes que repiten una compra, la percepción de la demanda total cambia; a su vez se comprobó que a mayor tasa de repetición la demanda se mostrará en más corto plazo y su pico será más elevado.

Al tener en cuenta la tasa de repetición se debe considerar la posibilidad de obtener una caída más rápida de la demanda; ya que una alta cifra de ésta puede representar un elevado auge del producto, y por consiguiente su salida rápida del mercado, esto puede ocurrir por la pérdida de interés de los clientes por el producto, la cual aumenta para el caso específico de aquellos con ciclo de vida corto.

Identificar la tasa de repetición puede considerarse en algunos casos un amortiguador para el fabricante, ya que permite compensar la reducción de la demanda en la etapa de decadencia, sin embargo, aún con velocidad de repetición alta no siempre se puede asegurar que una alta tasa de ésta compensará la contracción de la demanda.

Como se observa en la figura 20 cuando la tasa de repetición toma un valor porcentual mayor, el pico de la demanda se incrementa y sus etapas de crecimiento y decadencia se dan en menor período de tiempo.

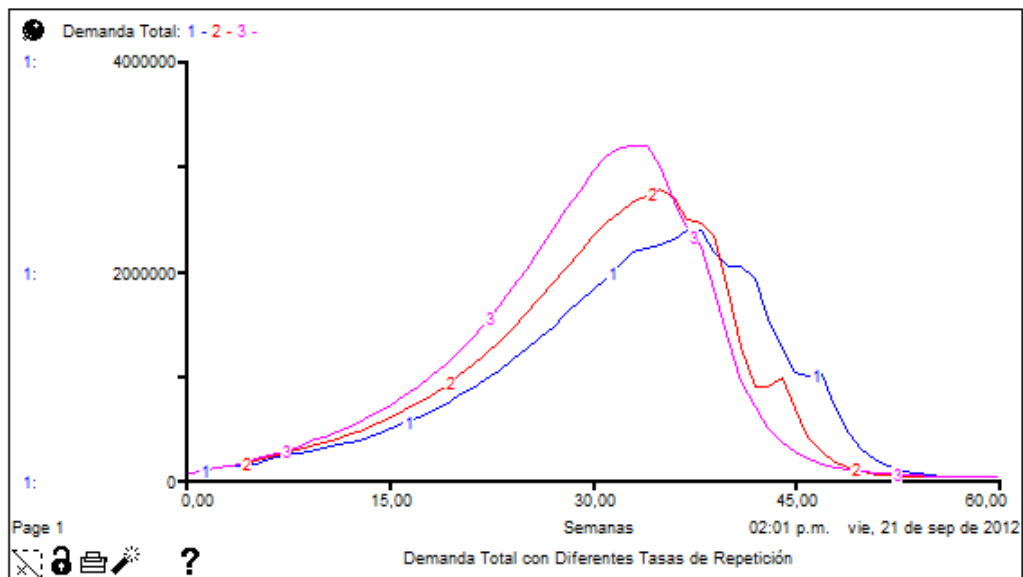


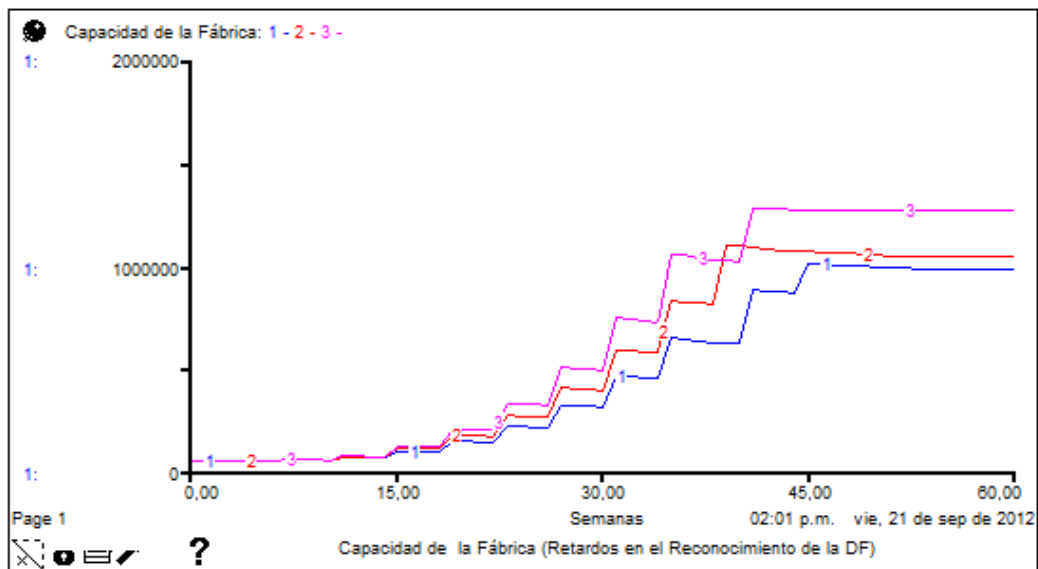
Figura 20. Demanda Total para diferentes Tasas de Repetición

### 3.4.3 Tiempo de reconocimiento de la demanda fantasma

La estimación de la demanda fantasma permite conocer la demanda ficticia que se percibe como resultado de la respuesta del mercado al lanzamiento de un nuevo

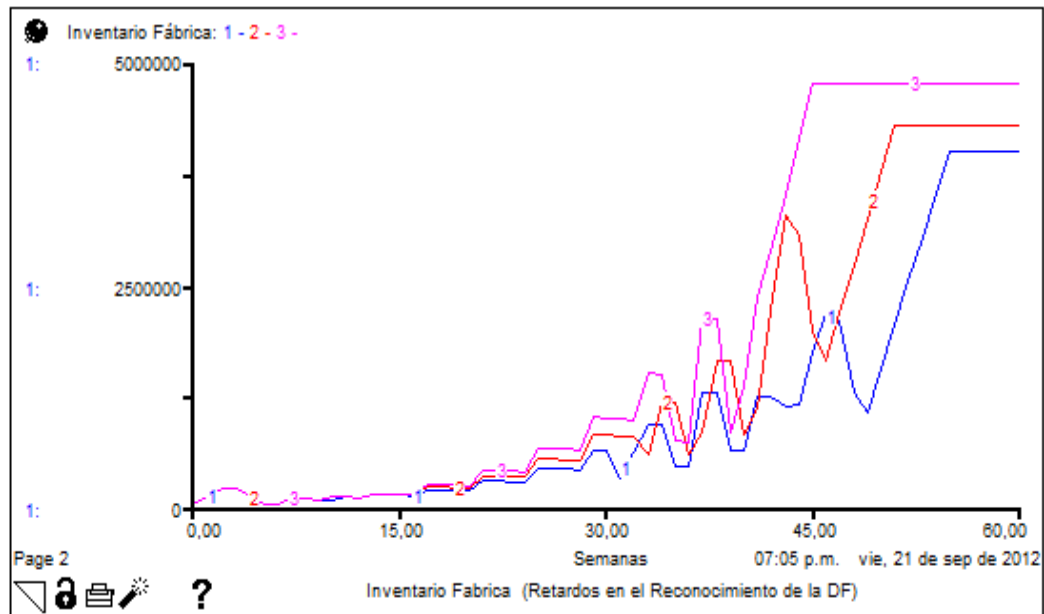
producto, es decir, permite conocer qué valor de la demanda que se estima está dada por la reacción de las personas al pedir repetidamente un producto al minorista y al aumento de pedidos por medio de éste debido al miedo que siente hacia una posible escasez del producto.

El tiempo con que esta demanda se reconoce varía las cifras de inventarios que se generan en la fábrica y las decisiones de capacidad. Para el análisis del impacto de esta variable, se estudiaron tiempo de 1, 2 y 3 semanas. Como se muestra en la figura 21 y 22 entre mayor sea el tiempo de reconocimiento de la demanda fantasma, el valor percibido de la demanda total será más alto, por lo tanto al fabricante observar dicho aumento incrementará su capacidad de fabricación, ocasionando así excesos de inventario y a su vez elevación en los costos.



**Figura 21. Capacidad de la fábrica para diferentes Tiempos de Reconocimiento de la Demanda Fantasma**





**Figura 22. Inventario de la fábrica para diferentes Tiempos de Reconocimiento de la Demanda Fantasma**

### 3.4.4 Efecto de demanda fantasma

La demanda fantasma genera que se infle los pedidos al fabricante de forma innecesaria y por tanto, se disminuya el buen funcionamiento de la cadena de suministro.

Como se muestra en la figura 23, 24 y 25 la demanda fantasma afecta directamente los niveles de inventario del fabricante, a mayor demanda ficticia mayores serán los niveles de inventario que se generen, igualmente mayor será la capacidad de producción que tendrá el fabricante para poder responder a la petición del producto.

Para el análisis del comportamiento de la cadena de suministro se consideran dos contextos esenciales, aquel donde se tiene en cuenta la información, es decir, identificando la demanda fantasma y tomando dicho valor para la estimación de la demanda real ( $\text{demanda total} - \text{demanda fantasma} - \text{inventario minorista}$ ), y aquel donde no se tiene en cuenta la demanda fantasma y por lo tanto la demanda real es estimada con base a los pedidos del minorista. Es evidente cómo con información se logra una oportuna respuesta a las necesidades y una mitigación del efecto látigo; además, se consigue que la demanda esperada sea más próxima a la demanda periódica, minimizándose así los inventarios y obteniendo una estimación más precisa hacia las necesidades de aumento de capacidad.

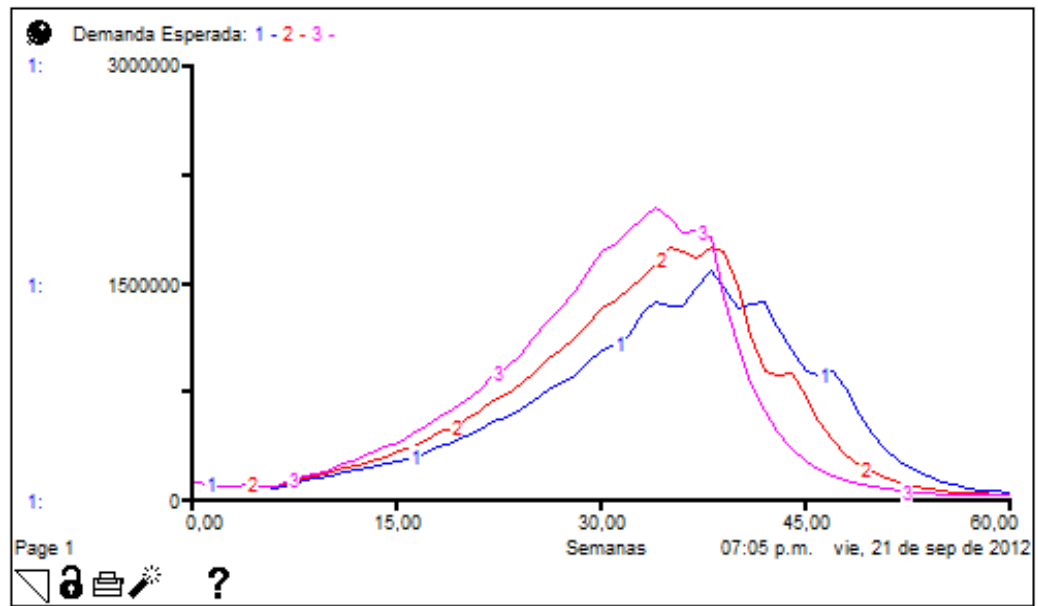


Figura 23. Efecto de la Demanda Fantasma en la Demanda Esperada

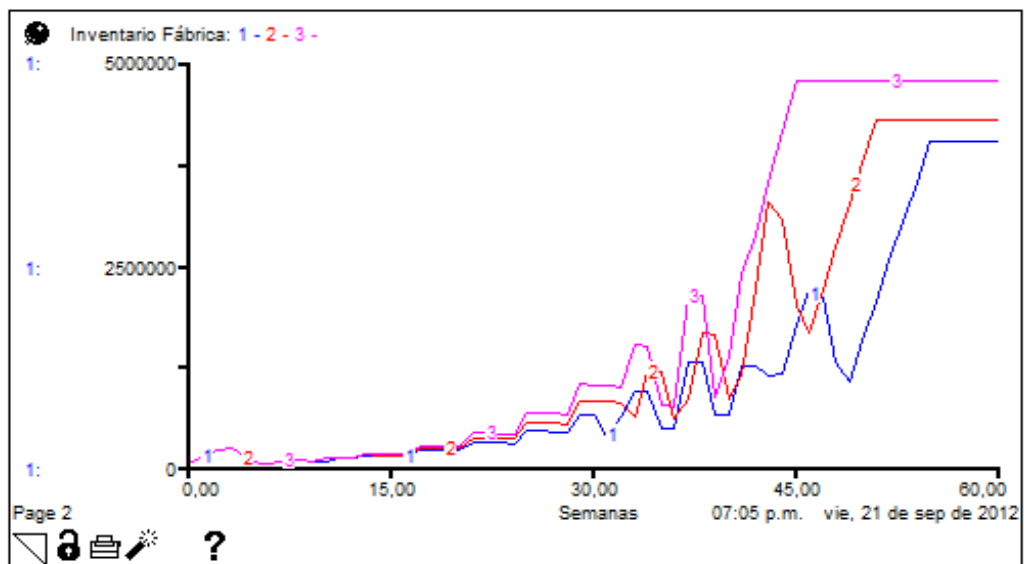


Figura 24. Efecto de la Demanda Fantasma en el Inventario de la Fábrica

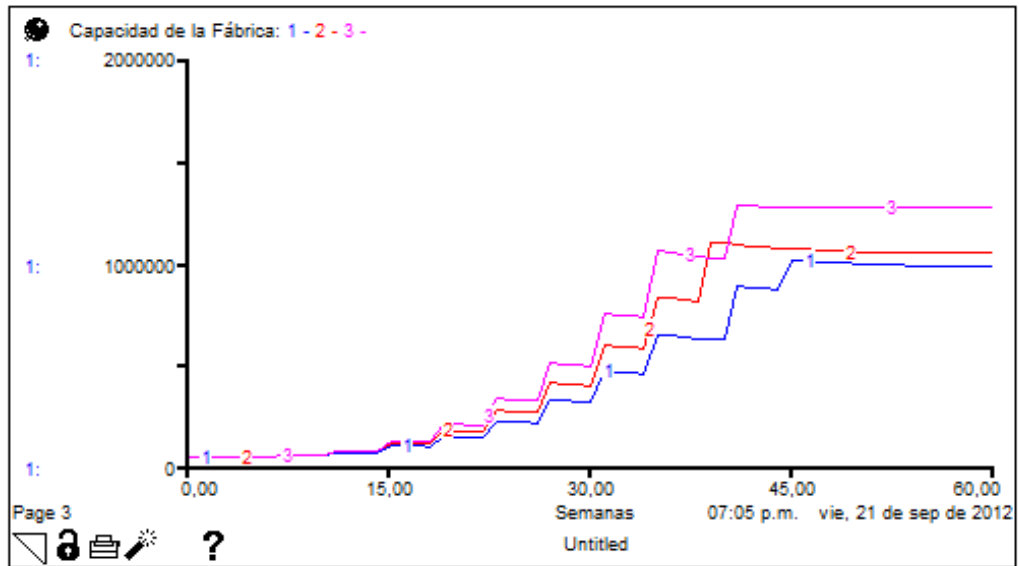


Figura 25. Efecto de la Demanda Fantasma en la Capacidad de la Fábrica

## 4. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

El presente trabajo permitió obtener un modelo de simulación continua que representa la dinámica de la cadena de suministro en productos con ciclo de vida corto, éste admite mostrar cómo será el comportamiento a futuro del sistema productivo con base a la información suministrada. Es por esta razón que el modelo establecido puede ser una herramienta útil para las empresas que manejan productos con ciclo de vida corto, apoyando la toma de decisiones en cuanto a su gestión y permitiendo visualizar cómo será el desempeño a futuro de cada actividad involucrada en el proceso.

La elaboración del diagrama causal antes de la construcción del modelo, facilita concebir la estructura de retroalimentación entre las variables y por ende conocer el comportamiento o la dinámica del sistema en términos de balance o refuerzo. Sabiendo esta información, es posible lograr una mejor gestión de los factores implicados en la cadena. Una empresa que trabaje bajo este método, será capaz de intervenir en la administración de sus factores a partir del conocimiento de las relaciones causa-efecto de éstos.

La representación del modelo por medio de perspectivas, permite obtener una visión detallada sobre los actores que son considerados, así como el análisis de la participación que tiene cada uno de ellos en el sistema productivo. Anteriormente, los actores de la cadena de suministro tales como minorista, fabricante y mercado trabajaban únicamente teniendo en cuenta su papel dentro de la cadena, lo que generaba excesos de inventario y aumentos innecesarios de capacidad. Actualmente, se evidencia la necesidad que cada uno de los jugadores de la cadena de abastecimiento establezca una relación directa de comunicación y alianza para trabajar en una gestión en conjunto que logre beneficios para todos. Igualmente poder crear diversos escenarios, es decir, jugar con las variables críticas del sistema posibilita a las empresas observar como un escenario estimado afecta cada parte de la cadena de abastecimiento.

Se recomienda para próximos estudios probar el modelo considerando datos reales provenientes de una empresa que trabaje con productos de ciclo de vida corto, con el objetivo de comprobar qué tan útil y eficiente puede ser el uso del modelo en una situación de la vida real. A su vez, se sugiere analizar el uso de otros métodos de pronóstico en la estimación de la demanda.

## BIBLIOGRAFÍA

Özbayrak, M., Papadopoulou, T. C., & Akgun, M. (Nov2007). Systems dynamics modelling of a manufacturing supply chain system. *Simulation Modelling Practice & Theory*, Vol. 15 Issue 10, p1338-1355.

Briano, E., Caballini, C., Giribone, P., & Revetria, R. (2010). Using System Dynamics For Short Life Cycle Supply Chains Evaluation. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, (págs. 1820-1832). Génova.

Borshchev, A., & Filippov, A. (July 25 - 29, 2004). From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools. *The 22nd International Conference of the System Dynamics Society*. Oxford, England.

(s.f.). Recuperado el 10 de 09 de 2011, de <http://www.gestiopolis.com/administracion-estrategia/estrategia/el-ciclo-de-vida-de-los-productos.htm>

Rodriguez, J. A., & Vidal, C. J. (Jun2009). A heuristic method for the inventory control of short life-cycle products. *Ingeniería y Competitividad*, p 37-55.

Antún, J. P. (s.f.). *Administración de la Cadena de Suministros*.

ECHEVERRI, S. R. (2010). *Modelización de una cadena de abastecimiento para el sector textil-confeción en el entorno Colombiano*. Medellín.

Hernández García, S., & Sanchez Jimenez, J. (s.f.). *Marco conceptual de la cadena de suministros: Un nuevo enfoque logístico* .

PEÑALOSA ARMEL, D., & TAMAYO CASTAÑO, J. C. (2010). MODELOS DE SIMULACION EN DINAMICA DE SISTEMAS PARA COMPARAR LAS DIFERENCIAS EN LOS NIVELES DE INVENTARIOS Y LOS TIEMPOS DE TRANSITO ENTRE UNA CADENA DE SUMINISTROS TRADICIONAL Y UNA CON INVENTARIOS MANEJADOS POR EL VENDEDOR (VMI) . Medellín .

Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking*. Irwin MacGraw- Hill .

Szozda, & Swierczek. (2008). The success factors for supply chains of a short life cycle product. *Total Logistic Management*, 163-173.




ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA


ACTA DE EVALUACIÓN FINAL DE TRABAJO DE GRADO

Fecha: (dd/mm/aa)	16 / Noviembre / 2012						
Nombre del proyecto:	Modelo de Simulación continua para la gestión de la cadena de suministro en productos con ciclo de vida corto.						
Director del proyecto:	Jaime Alberto Sánchez						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nombre del estudiante</th> <th>Programa académico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mariana Valencia Tobón</td> <td>Ingeniería Industrial</td> </tr> <tr> <td>Diana Alejandra Ramírez Londoño</td> <td>Ingeniería Industrial</td> </tr> </tbody> </table>		Nombre del estudiante	Programa académico	Mariana Valencia Tobón	Ingeniería Industrial	Diana Alejandra Ramírez Londoño	Ingeniería Industrial
Nombre del estudiante	Programa académico						
Mariana Valencia Tobón	Ingeniería Industrial						
Diana Alejandra Ramírez Londoño	Ingeniería Industrial						
Nombre del Jurado:							
<b>Evaluación del proyecto. Espacio exclusivo para jurado</b>							
<input type="checkbox"/> No aprobado <input type="checkbox"/> Aprobado sin mención <input checked="" type="checkbox"/> con Mención Pública <input type="checkbox"/> con Mención honorífica <input type="checkbox"/> Trabajo laureado							
<b>Justificación del reconocimiento:</b> (Artículo 28 del Acuerdo 11: "El director del Programa presentará el acta final de evaluación al Consejo Académico, donde consta la solicitud de mención especial debidamente justificada y el Consejo determinará si se otorga o no"). La justificación debe tener mínimo 500 palabras.							

  
 DIRECTOR INGENIERÍA INDUSTRIAL

  
 DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

  
 JURADO (Si lo hubo)

  
 JURADO (Si lo hubo)