

UNIVERSIDAD DEL ROSARIO



*Gestión de la cadena de suministros desde la dinámica de sistemas. Aproximación al mejoramiento de la toma de decisiones*

Trabajo de Grado

Felipe Orlando Brijaldo Oliveros

Bogotá, Colombia

2015

UNIVERSIDAD DEL ROSARIO



*Gestión de la cadena de suministros desde la dinámica de sistemas. Aproximación al mejoramiento de la toma de decisiones*

Trabajo de Grado

Felipe Orlando Brijaldo Oliveros

Giancarlo Salazar

Administración de Empresas

Bogotá, Colombia

2015

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por su incansable colaboración y su incondicional apoyo, por enseñarme los valores que hoy en día rigen en mí, por ser un ejemplo de dedicación y esfuerzo en todo momento y por ser la motivación más importante en cada paso que doy. También agradezco a los profesores que aportaron un profundo conocimiento en mi formación y que resaltan en algunas ideas de este trabajo. Por último, a mis amigos más allegados, que siempre me apoyaron y estuvieron en los buenos y malos momentos.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	2
Palabras Claves .....	2
ABSTRACT.....	3
Key Words .....	3
1. INTRODUCCIÓN .....	4
1.1 Planteamiento del Problema.....	4
1.2 Justificación .....	5
1.3 Objetivos .....	6
1.3.1 General .....	6
1.3.2 Específicos .....	6
1.4 Alcance y vinculación con el proyecto del profesor .....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 El Origen de la Dinámica de Sistemas .....	7
2.2 La Metodología de la Dinámica de Sistemas.....	9
2.3 La Cadena de Suministros .....	14
2.4 Logística y Logística Integral .....	17
2.5 Coordinación de la Cadena de Suministros .....	18
3. ENFOQUE METODOLÓGICO.....	20
4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	21
4.1 Área de Sistemas de Información.....	24
4.2 Área de Procesos de Mejoramiento .....	28
4.3 Área de Control de Procesos .....	30
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	33
6. REFERENCIAS.....	35

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Elaboración Propia.....	27
Tabla 2: Adaptado de Wankhade y Dabade (2006). TQM with quality perception: a system dynamics approach.....	29

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Etapas de un estudio de DS (Tomado de García, 2005) .....	10
Ilustración 2. Diagrama Causal sobre el lanzamiento de un nuevo producto en un nuevo mercado. (Tomado de Sterman, 2001) .....	12
Ilustración 3. Significado de los signos de las relaciones causales y de los bucles de realimentación. (Tomado de García, 2005) .....	12
Ilustración 4. The Establish Davis Database. Establish Davis Logistics Costs and Service 2013. CSCMPS Annual Global Conference. ....	15
Ilustración 5. Elaboración Propia, adaptado de Supply Chain and Logistics Fundamentals, MIT. .....	19
Ilustración 6. Elaboración Propia.....	32

## GLOSARIO

**Cadena de Suministros:** Todas aquellas partes que están involucradas de manera directa o indirecta en la satisfacción de las necesidades del cliente. La cadena de suministros incluye al fabricante, proveedor, transportista, almacenista, detallista e incluso a los clientes.

**Logística:** Parte de la cadena de suministros que hace el planeamiento, implementación y control efectivos de los flujos y almacenajes de bienes, servicios e información relacionada desde un punto de origen a un punto de destino.

**Dinámica de Sistemas:** Paradigma que asume que las cosas están interconectadas en patrones complejos, que el mundo se compone de tasas, niveles y ciclos de retroalimentación, que los flujos de información son intrínsecamente diferentes de los flujos físicos, que la no linealidad y los retrasos son elementos importantes en los sistemas, y que la conducta surge de la estructura del sistema.

**Enfoque basado en la información:** es el que trata todo lo referente al manejo de los procesos transformacionales, físicos, logísticos y demás que tiene una organización. Estos naturalmente, necesitan de ser guardados en un sistema de información que pueda integrar y sintetizar toda la información del negocio.

**Enfoque de mejoramiento de procesos:** En esta, el énfasis no está en obtener mejor información que pueda conllevar a una mejor toma de decisiones sino en la optimización y eficiencia de los procesos de transformación física subyacentes para lograr que la toma de decisiones sea más sencilla o pueda ser simplificada.

**Enfoque del control de procesos:** Se relaciona con la teoría de restricciones y el control de la carga de trabajo. Este enfoque no trata de simplificar procesos existentes o enfocarse en coleccionar y manipular información sino en asegurarse de que los flujos de bienes y servicios a través de la SC estén bajo un rango limite o de control para que no ocurran comportamientos no deseados en el sistema.

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es hacer un estudio sobre la cadena de suministros en organizaciones empresariales desde la Dinámica de Sistemas y como esta puede aportar al desempeño y el control de las cadenas de suministros. Se buscará Abordar el cocimiento sobre tres perspectivas de Supply Chain y su relación con la dinámica de sistemas. También se buscará identificar los tipos de integración en las actividades de la gestión en la cadena de suministros y sus horizontes de planeación. Por último, se pretende analizar las aplicaciones de Supply Chain Management que se han basado en el uso de la metodología de dinámica de sistemas.

Para esto, la investigación empezará por definir la problemática alrededor de unir estas dos áreas y definirá el marco teórico que fundan estas dos disciplinas. Luego se abordará la metodología usada por la Dinámica de Sistemas y los diferentes aspectos de la cadena de suministros. Se Ahondará en el acercamiento de las dos disciplinas y como convergen ayudando la SD a la SCM (Supply Chain Management). En este punto también se describirán los trabajos en los diferentes enfoques que se han hecho a partir de uso de la dinámica de sistemas. Por último, presentaremos las correspondientes conclusiones y comentarios acerca de este campo de investigación y su pertinencia en el campo de la *Supply Chain*.

Esta investigación abarca dos grandes corrientes de pensamiento, una sistémica, a través de la metodología de dinámica de sistemas y la otra, lógico analítica la cual es usada en Supply Chain. Se realizó una revisión de la literatura sobre las aplicaciones de dinámica de sistemas (SD) en el área de Supply Chain, sus puntos en común y se documentaron importantes empleos de esta metodología que se han hecho en la gestión de la cadena de suministros.

### **Palabras Claves**

Cadena de suministros, gestión de la cadena de suministros, dinámica de sistemas, enfoque de sistemas de información, enfoque de procesos, enfoque de control.

## **ABSTRACT**

The objective of this work is to make a study on supply chain business organizations from system dynamics and how it can contribute to the performance and control of supply chains. It seeks to address knowledge on three perspectives of Supply Chain and its relation to the dynamics of systems. It will also seek to identify the types of integration in the activities of management in the supply chain and planning horizons. Finally, it aims to analyze the Supply Chain Management applications that are based on the use of the methodology of system dynamics.

For this, the research will begin by defining the problem around these two areas and define the theoretical framework that founded these two disciplines. The methodology used by the system dynamics and the different aspects of the supply chain is then addressed. It will deal with the approach of the two disciplines and as helping the SD to converge the SCM (Supply Chain Management). At this point the work will also describe the different approaches that have been made from the use of system dynamics. Finally, we present the relevant conclusions and comments about this field of research and its relevance in the field of Supply Chain.

This research covers two major currents of thought, a systemic, through the methodology of system dynamics and the other analytical logic which is used in Supply Chain. There was a review of the literature on the applications of system dynamics (SD) in the area of Supply Chain. Also their common ground and the important jobs of this methodology that have been made and have been documented in the management of supply chains.

### **Key Words**

Supply chain management, supply chain, system dynamics, approach to information systems, process approach, control approach.

# 1. INTRODUCCIÓN

## *1.1 Planteamiento del Problema*

Las organizaciones, son sistemas altamente dinámicos y complejos que necesitan ser analizados desde una perspectiva donde variables y flujos sean identificados de tal manera que todos muestren relación entre sí. Esto hace que una decisión sea vista desde diferentes ángulos en las que el cambio sobre una variable influya directa o indirectamente sobre todo el sistema. En el entorno logístico, esta es la realidad de muchas compañías que desean asegurar calidad y un bajo costo de sus operaciones siguiendo modelos mentales analíticos o lógicos que no permiten pensar en interacciones múltiples de las variables que manejan (inventario, costos, tiempos de entrega, producción, ciclos de reabastecimientos, entre otros), esto es, pensar sistémicamente para desarrollar capacidades que les permitan ejecutar de forma continua, procesos de aprendizaje y auto organización, que garanticen su adaptabilidad y continuidad en el tiempo. Bajo este entorno cabría preguntarse, ¿Son los modelos de pensamiento no lógico-analíticos aplicables a la cadena de suministros?

La globalización de la producción, el consumo y la aparición de redes mundiales de suministro han fortalecido el papel de las cadenas de suministros como nodos en el sistema logístico mundial. El concepto de cadena logística es muy importante en el análisis de competitividad, por lo que, esta depende en parte de sus fortalezas y debilidades, y cada vez más del control y coordinación externa. Así mismo, para sobrevivir en el entorno competitivo, ya no es suficiente con cumplir con calidad y expectativas; es necesario sobrepasar las expectativas y conseguir resultados excepcionales. Las empresas deben renunciar a los modelos y paradigmas tradicionales y deben buscar una gestión integral y sistémica de los diferentes procesos internos del negocio.

La gestión integral de todas las actividades asociadas con el movimiento de bienes desde el estado de materias primas hasta el usuario final se denomina cadena de suministro (Pires y Carretero, 2007). En razón a esto, las empresas deben ser cada vez más conscientes de la relevancia de una eficiente gestión de suministros que es un elemento vital para generar valor agregado a los

clientes y además generar ahorros en costos a la empresa (Bowersox, 2008). La correcta comprensión de los factores que influyen en la cadena de suministros, permite realizar intervenciones frente a su diseño, financiación y realización, antes de su implementación, con el fin de disponer de puntos de referencia y elementos de comparación que puedan estimar los diferentes efectos que se pueden dar en diferentes marcos temporales.

## ***1.2 Justificación***

Desde los tiempos en que empezó a surgir la doctrina administrativa con Taylor y Fayol, el pensamiento analítico o lógico ha reinado en la mayoría de las teorías epistemológicas de pensamiento administrativo. Por otra parte, nuevos modelos mentales han sido adaptados a la administración para refrescar el saber administrativo que requiere cada vez más adaptarse a los mercados rápidamente cambiantes y con alto grado de dinamismo, mediante ciencias como la teoría de sistemas o la complejidad. En este sentido, el pensamiento sistémico es una condición esencial de la dirección y la gestión de las organizaciones. La noción de sistema es sin lugar a dudas, una de las producciones intelectuales del mundo moderno más condicionantes de las distintas ciencias y prácticas.

El pensar sistémicamente, aun cuando es una capacidad necesaria más no suficiente en el pensamiento administrativo, constituye una competencia humana de gran importancia en el mundo de las organizaciones; en especial para los directores y gerentes frente al reto del diseño, orientación y gestión. En la teoría organizacional, el pensamiento sistémico ocupa un lugar destacado, en especial, por facilitar la transición del pensamiento analítico, lineal, al pensamiento complejo, tema de gran importancia en el mundo de hoy.

El pensamiento sistémico como habilidad y herramienta en la formación administrativa se ha desarrollado mediante escuelas que desde diversas nociones de realidad, ha, aportado modelos que permiten no solo la identificación de los sistemas organizacionales, sino también la modelación y simulación de los mismos en la búsqueda de comprensión profundas de su dinámica.

### ***1.3 Objetivos***

#### *1.3.1 General*

- Analizar la cadena de suministros en organizaciones empresariales desde la Dinámica de Sistemas y como esta puede aportar al desempeño y el control de las cadenas de suministros

#### *1.3.2 Específicos*

- Abordar el conocimiento sobre tres perspectivas de Supply Chain y su relación con la dinámica de sistemas.
- Identificar los tipos de integración en las actividades de la gestión en la cadena de suministros y sus horizontes de planeación.
- Analizar las aplicaciones de *Supply Chain Management* que se han basado en el uso de la metodología de dinámica de sistemas.

### ***1.4 Alcance y vinculación con el proyecto del profesor***

Los modelos de pensamiento sistémico tienen gran relación con la gestión de la cadena de suministros. Cuando se relacionan los dos se centran, en particular, en el carácter de la realimentación de la información de un sistema industrial. El análisis desde la perspectiva dinámica, hace las aplicaciones de SD en la SCM más valiosas. Es así como la línea de investigación en gerencia de la Universidad del Rosario, utiliza el programa de *tecnologías para la gerencia*, para proponer alternativas de diseño y evaluación de intervenciones en Organizaciones Empresariales desde la Dinámica de Sistemas.

Estos modelos utilizan la planeación de la organización en una forma perfeccionada y se refieren 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); esto con miras de mejorar la toma de decisiones relacionada con los aspectos estratégicos y tácticos, y de ayudar en la implementación automática de un dictamen (Forrester, 1971). Es por esto que, además de aportar en la rigurosidad del análisis de las variables sobre el entorno y viceversa, también la SD es una herramienta para una mejor toma de decisiones que se da desde la comprensión de los efectos múltiples de los factores de un contexto.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### ***2.1 El Origen de la Dinámica de Sistemas***

Cuando hablamos de dinámica de sistemas (DS), es necesario buscar su fuente en la línea del pensamiento sistémico enunciado originalmente por Ludwing Von Bertalanffy (1901-1972). Este autor alineó el pensamiento sistémico en lo que llamó “Teoría General de Sistemas”, para referirse en principio, a una forma sistémica y científica de aproximación y representación de la realidad y también como una perspectiva holística e integradora donde priman las relaciones entre variables y los grupos que emergen a partir de ellas (Von Bertalanffy, 1976). Los descubrimientos conceptuales propuestos por Von Bertalanffy tenían un contexto científico en cuanto que su campo de acción era la biología, pero con el tiempo, diferentes autores y académicos fueron apropiando esta perspectiva a sus diferentes campos de estudio como las ciencias sociales.

A su vez, diferentes disciplinas se ramificaron partiendo del marco general del pensamiento sistémico. Es aquí donde nace la dinámica de sistemas a través de Jay Forrester en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) en lo que él denominó Dinámica Industrial y que hoy en día se aplica al aprendizaje organizacional como Dinámica de Negocios (Andrade, Dyer,

Espinosa, López y Sotaquirá, 2007). Es así como la dinámica de sistemas tiene sus orígenes en la ingeniería de control y en la administración. Esta aproximación estaba basada en la información de realimentación y tiempos de retraso para entender el comportamiento dinámico de sistemas físicos, biológicos y sociales (Angerhofer & Angelides, 2000).

Para definir la dinámica de sistemas hay que tener en cuenta dos consideraciones en la manera de entender el concepto, una desde su sentido ontológico y otra desde su sentido epistemológico (Lane y Oliva, 1998). Con respecto a la consideración ontológica, Meadows (1989) ofrece una exposición de los supuestos ontológicos básicos de DS: *"Este paradigma asume que las cosas están interconectadas en patrones complejos, que el mundo se compone de tasas, niveles y ciclos de retroalimentación, que los flujos de información son intrínsecamente diferentes de los flujos físicos, que la no linealidad y los retrasos son elementos importantes en los sistemas, y que la conducta surge de la estructura del sistema"*

De otro lado, el carácter epistemológico de esta metodología define sus fundamentos. En este sentido, Forrester (1961) define la dinámica de sistemas (dinámica industrial en su terminología) como *"el estudio de las características de realimentación de información de la actividad industrial para mostrar cómo la estructura organizativa, la amplificación (en las políticas), y los retrasos de tiempo (en decisiones y acciones) interactúan para influir en el éxito de la empresa. Se trata de las interacciones entre los flujos de información, dinero, pedidos, materiales, personal y los bienes de capital en una empresa, una industria o una economía nacional"*. De manera más general, Akkermans (2001) describe la dinámica de sistemas como una metodología con una fuerte noción contra-intuitiva del comportamiento complejo de la realidad dinámica. Esto lo explica en términos de la compleja interacción entre muchos factores interrelacionados y la no linealidad de sus relaciones. De esta manera, el comportamiento dinámico de sistemas complejos se hace difícil de predecir a partir de una descripción de su estructura estática y es por eso que se hacen modelos de simulación y análisis.

Así mismo, Sterman (2000) considera que la DS es un método para mejorar el aprendizaje en sistemas complejos. Un método que sirve para desarrollar habilidades de toma de decisiones en entornos dinámicos complejos, entendiendo las diferentes fuerzas que actúan sobre las políticas y normas. También añade que la intervención en DS requiere más que herramientas técnicas y

modelos matemáticos, resaltando que la DS es una metodología interdisciplinaria que se basa en la teoría de dinámicas no lineales y en el control del concepto de realimentación. Sin embargo, hay otra corriente de autores que van más allá de definir esta disciplina del pensamiento sistémico como una metodología. Plantean un modo de entender la DS como una forma o un paradigma de pensamiento que se comunica a través de sistemas de convenciones que involucran un lenguaje particular en el que se concibe en su interior la idea de la dinámica de sistemas como metodología para modelar situaciones (Andrade et al., 2007).

## ***2.2 La Metodología de la Dinámica de Sistemas***

Diferentes clasificaciones se encuentran en la variada literatura sobre la metodología y división de un estudio de DS (Forrester, 1961; Randers, 1980; Aracil, 1986; Morecroft, 2007). Partiendo de una organización diferente todas las metodologías contienen en esencia el mismo proceso y la misma idea acerca de cómo abordar un problema desde la DS. A continuación, se presenta un esquema con las etapas que resaltan el proceso completo que, dicho sea de paso, debe completarse de manera iterativa. Este no es una secuencia de pasos lineales, sino que debe ser revestido y constantemente refinado para retomar sobre lo construido según los nuevos hallazgos.

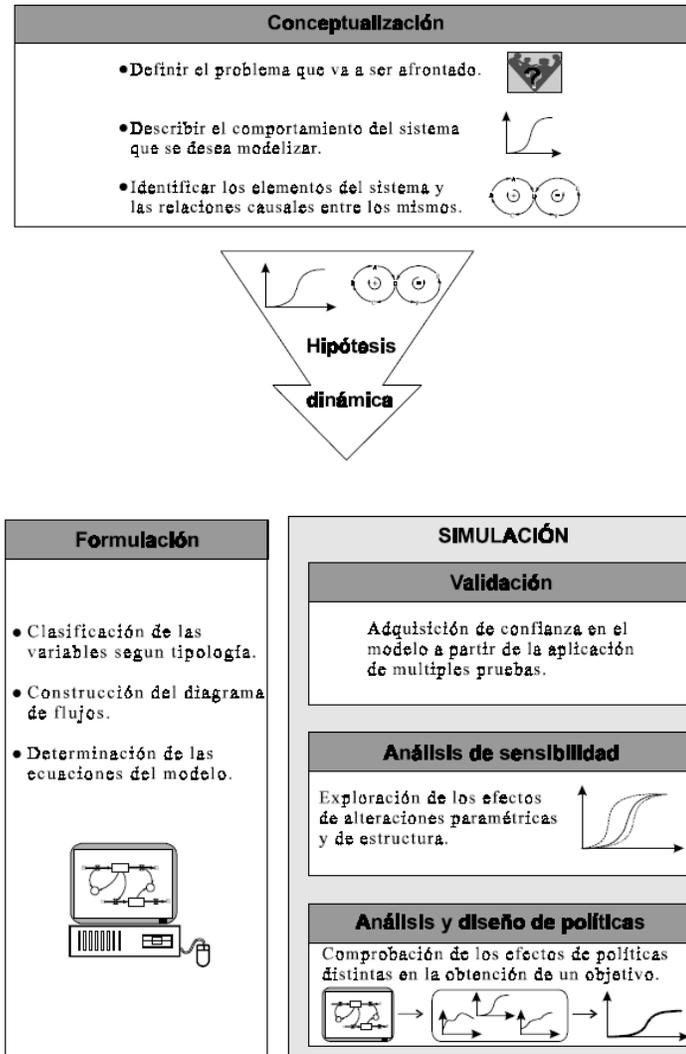


Ilustración 1. Etapas de un estudio de DS (Tomado de García, 2005)

El primer paso, y el más importante, habla sobre la definición de un problema, tema o comportamiento indeseable de un sistema que necesita ser corregido o solucionado (Forrester, 1961). El comportamiento del problema necesita ser identificado y descrito a modo de referencia. Luego, es importante identificar aquellos factores o variables que son responsables por causar tales efectos sobre la situación o sistema problemático y describir el modo en que se relacionan entre sí. Estas relaciones se enmarcan en bucles de realimentación que se pueden utilizar en la siguiente fase, para modelar el sistema. En este sentido, es de vital importancia determinar cuáles son los límites del modelo y hasta dónde debe extenderse, particularmente hablando de la cadena de

suministros, cuáles son sus fronteras hacia atrás (productores, proveedores, proveedores del proveedor) y hacia adelante (clientes directos, minoristas, consumidor final, entre otros) (Ramírez, Escalante, Pineda y Peña, 2010). Cabe también decir, que en la construcción del modelo hay que tener especial cuidado en el nivel de detalle que se establece. El modelo debe reflejar adecuadamente el comportamiento del sistema haciendo énfasis en la problemática pero sin caer en detalles muy específicos que no son relevantes en el desempeño del sistema ni en la toma de decisiones a nivel estratégico.

El segundo paso hace referencia a la hipótesis dinámica que se formula a partir de la conceptualización en la primera etapa. Esta consta de una descripción de la estructura de realimentación del sistema, seguida de una hipótesis de cómo se cree que funcionará éste. Es una explicación potencial de cómo esa estructura está causando el comportamiento observado y relaciona las variables causales con el modo de referencia descrito en la conceptualización (Lane & Oliva, 1998). Por último, unido a este proceso, es necesario un estudio cuidadoso del proceso de toma de decisiones. El propósito es el de poder convertir el flujo de decisiones en una política que continuamente transforme bucles de información en decisiones.

Esto, para describir la manera en que los agentes toman decisiones en el sistema real. Y se hace referencia a este punto porque el proceso de conceptualización y definición de una hipótesis dinámica ha evolucionado con el tiempo (Sterman, 2001). Mientras que originalmente, eran los expertos del caso los que desarrollaban el análisis, ahora los clientes o todos los participantes involucrados directamente en la situación problemática, son involucrados en el mapeo y diagnóstico de la situación (Venix & Gubels, 1992).

Antes de pasar al tercer paso, es menester definir los diagramas causales en que se basan los modelos. Estos son una representación gráfica del modelo y muestran las variables interrelacionadas a través de líneas causales que muestran el sentido de la influencia y van acompañadas del signo de la relación. Así mismo, los diagramas incorporan los bucles de realimentación (también llamadas cadenas cerradas de relaciones causales) cuyo signo indica el comportamiento temporal que se espera del mismo. El diagrama causal mostrado a continuación es un ejemplo de cómo se dan estas relaciones y cómo interpretarlas

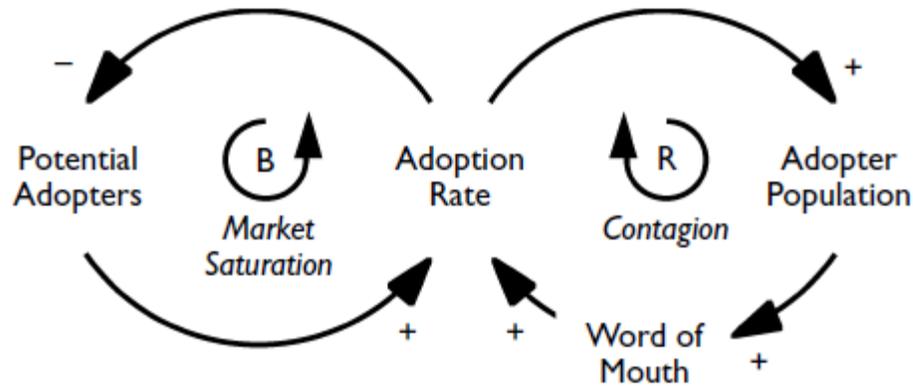


Ilustración 2. Diagrama Causal sobre el lanzamiento de un nuevo producto en un nuevo mercado. (Tomado de Sterman, 2001)

Este tipo de diagramas ayudan a entender como las estructuras crean sistemas dinámicos y generan resistencia a las políticas establecidas. Deben ayudar a evaluar las consecuencias de nuevas estructuras y políticas que se podrían diseñar. Justamente gran parte de la esencia de modelar sistemas dinámicos consiste en descubrir y representar los procesos de realimentación y otros elementos complejos que determinan la dinámica de un sistema (Sterman, 2001). Representan los modelos mentales de los agentes del sistema, construidos por y para el análisis de su actuar y sus posibles puntos de intervención. En la siguiente tabla, se muestra el significado de los signos de las relaciones causales y de los bucles de realimentación.

	Una relación causal de un elemento A sobre otro elemento B es <b>positiva</b> si (1) un cambio en A produce un cambio en B en el mismo sentido o (2) A aumenta a B.
	Una relación causal de un elemento A sobre otro elemento B es <b>negativa</b> si (1) un cambio en A produce un cambio en B en sentido contrario o (2) A disminuye a B.
	Un bucle de realimentación es <b>positivo</b> , si contiene un número par de relaciones causales negativas. Aisladamente, llevan asociado un comportamiento de búsqueda de un equilibrio.
	Un bucle de realimentación es <b>negativo</b> , si contiene un número impar de relaciones causales negativas. Aisladamente, llevan asociado un comportamiento de crecimiento o decrecimiento exponencial.

Ilustración 3. Significado de los signos de las relaciones causales y de los bucles de realimentación. (Tomado de García, 2005)

Como lo muestra la tabla, aunque parezca que todo es complejo, la dinámica nace de la interacción de dos tipos de relación y bucles de realimentación, positiva y negativa. Basandose en el diagrama, las flechas indican el efecto de una variable sobre otra, por ejemplo, entre más haya un voz a voz sobre el nuevo producto innovador mayor va a ser la población que adopte ese producto y mayor será la tasa de adopción. Esa sería una relación positiva dado que un cambio en una variable aumenta en el mismo sentido (signo) a otra variable.

Por otra parte, los buques de realimentación también son positivos o negativos. En la literatura pueden estar expresados por signos positivos y negativos o también por las letras “B” y “R” que significan respectivamente, *Self-Balancing or corrective* y *Self-Reinforcing*. Los bucles de balance (positivos) buscan un equilibrio en su comportamiento y los bucles reforzadores (negativos) conllevan un efecto de crecimiento o decrecimiento acentuado o exponencial. Por ejemplo entre más atractiva es una ciudad, más inmigrantes va atraer e incrementará aún más el desempleo, los precios de la vivienda, la congestión vehicular, etc. Hasta que la ciudad dejará de ser atractiva.

Esto nos lleva al tercer paso, que se refiere a la formulación del modelo. El propósito es crear un modelo en programación matemática que sea capaz de llevar registro de todas las interacciones entre variables y sus comportamientos dinámicos. Esta formulación puede ser en cualquier lenguaje de programación aunque ya muchos programas de software los incorporan dentro de sus soluciones en dinámica de sistemas, como *Stella* o *Vencim*.

El cuarto paso corresponde a la simulación y prueba del modelo. En esta etapa es donde la representación del sistema debe tener credibilidad para la gente involucrada en la situación relevante. De esta manera, todas las formulaciones e interacciones se validan y prueban su habilidad para replicar un comportamiento histórico del sistema (Lane & Oliva, 1997). Después de hacer las validaciones básicas, Forrester y Senge (1980) hacen una descripción detallada para hacer tests de validación y estimación de parámetros, este puede ser usado para medir el impacto de diferentes políticas o explorando análisis y-sí (Morecroft, 1988).

Por último, de ser aceptado, el modelo es tratado como una representación abstracta de los flujos actuales de información y físicos en un sistema problemático. Este será usado para hacer recomendaciones sobre políticas o cambios estructurales. Cabe decir que el proceso de validación

y de exploración de diferentes escenarios o políticas están intrínsecamente unidos en cuanto a los constantes cambios en el modelo afectan el uno al otro. Sin embargo, el proceso de implementación de un re-diseño o cambios estructurales debe ser debatido y estudiado con los agentes que no participan en la intervención pero que serán afectados por las decisiones que se tomen.

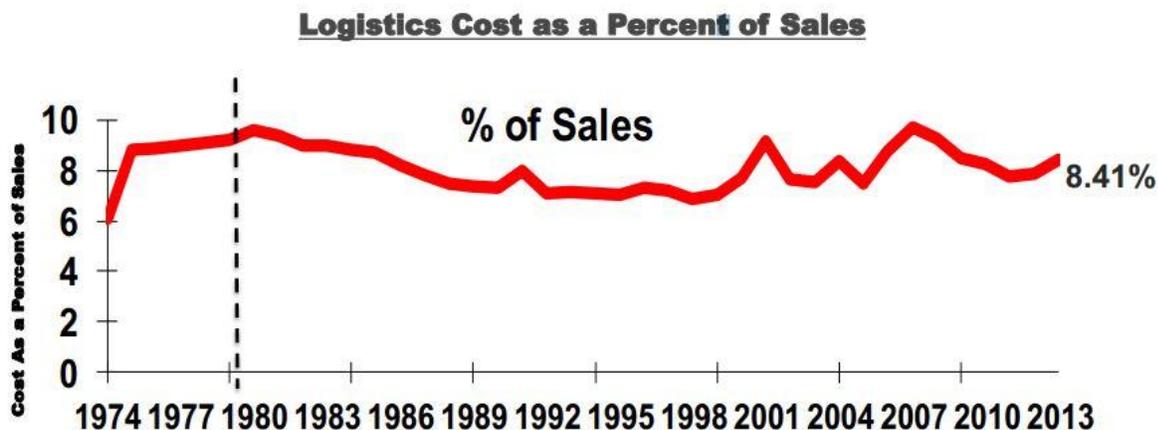
### ***2.3 La Cadena de Suministros***

La investigación presente tiene su base en la cadena de suministros (SC, por sus siglas en inglés), es por eso que resulta importante definir el concepto. Ballou (2004) la explica como todas las actividades relacionadas con el flujo y transformación de información y bienes que van desde la materia prima hasta el usuario final, teniendo en cuenta que estos bienes e información van de atrás a adelante y viceversa en la cadena. Handsfiel y Nichols Jr (1999) definen la cadena de suministros como la integración de todas las actividades mediante el mejoramiento de las relaciones de los actores o eslabones de una cadena para alcanzar una ventaja competitiva sostenible. Así mismo, Chopra (2008) dice que: *“Una cadena de suministros está formada por todas aquellas partes que están involucradas de manera directa o indirecta en la satisfacción de las necesidades del cliente. La cadena de suministros incluye al fabricante, proveedor, transportista, almacenista, detallista e incluso a los clientes.”* De Otro modo, Chase (2009) afirma que la cadena de suministros es una imagen o mapa de la manera en que las organizaciones están vinculadas teniendo en cuenta el punto de vista de una compañía en particular o de un eslabón de la cadena. Es claro que todas las definiciones antes mencionadas tienen un componente integral y se ve a esta disciplina de manera holística y transversal al negocio de una compañía. Bien lo dice Van der Vorst (2000) al asociar la cadena de suministros a un conjunto de actividades conectadas por flujos de materiales e información que cruzan las fronteras organizacionales con el fin de satisfacer las necesidades de un consumidor y al mismo tiempo de los *stakeholder*, o de las partes interesadas.

Si bien es cierto que todas las definiciones son acertadas y se acercan a la misma idea, Mentzer y otros (2001) proponen una definición más amplia y general que agrupa todas estas definiciones a través de la administración de la SC. Estos afirman que: *“La administración de la*

*cadena de suministros se define como la coordinación sistemática y estratégica de las funciones tradicionales del negocio y de las tácticas a través de estas funciones empresariales dentro de una compañía en particular, y a través de las empresas que participan en la cadena de suministros con el fin de mejorar el desempeño a largo plazo de las empresas individuales y de la cadena de suministros como un todo.”*

Ahora bien, surge la necesidad de resaltar la importancia de la SC. En este sentido, Ballou (2004) identifica seis modos en que este concepto es importante en el mundo empresarial. En primera instancia, los costos siempre son un rubro a tener en cuenta a la hora de considerar factores claves de impacto en una compañía. Específicamente, el costo logístico total para una empresa en el estudio realizado por Establish Davis Database (2013) se ubicó en un promedio de 8.41%. La siguiente gráfica muestra cómo ha variado la tendencia del costo logístico total desde 1974.



**Ilustración 4.** The Establish Davis Database. Establish Davis Logistics Costs and Service 2013. CSCMPS Annual Global Conference.

Sin embargo, no hay una tendencia a la baja con respecto al tiempo. El costo logístico puede variar según la coyuntura actual de las cuentas que lo componen como el transporte, almacenamiento, servicio al cliente, maquinaria y nómina entre otros.

En segundo lugar, las expectativas en torno a la logística del servicio al cliente crecen cada vez más. Diferentes fenómenos como Internet y el reaprovisionamiento continuo del inventario, herramientas como Just in Time, Batch Size Reduction y Lean Six Sigma y tecnologías como RFID y plataformas EDI, entre otros han hecho que los clientes y consumidores esperen respuestas

rápidas a los procedimientos de sus requerimientos, entregas de pedidos y disponibilidad de productos.

En tercer lugar, las redes de suministro y distribución están creciendo con mayor complejidad. El concepto de globalización es una realidad en la economía e impacta la cadena de suministros. Esto hace que los eslabones de una red puedan estar distantes entre sí o en diferentes países y continentes, refiriéndose al lugar donde se produce, donde están las materias primas, los componentes y la mano de obra. Esta tendencia se ha dado principalmente por la búsqueda de las empresas en reducir costos, por su voluntad de querer expandirse a diferentes mercados o bien por un tema político en el que se fomentan los acuerdos comerciales (Ballou, 2004).

En cuarto lugar, la cadena de suministros y la logística han pasado de ser un aspecto operativo a convertirse en un aspecto estratégico. En este sentido, estas áreas afectan una parte importante de los costos de una empresa y su adecuado funcionamiento impacta en el nivel de servicio al cliente que se ofrece. Esto quiere decir que una adecuada dirección de la SC puede no solo reducir costos sino también generar ventas (Chase, 2009).

En quinto lugar, la generación de valor también es un factor importante. En general, un negocio tiene cuatro tipos de valor tanto para productos como en servicios: Forma, tiempo, lugar y posesión (Grewal y Levy, 2010). La cadena de suministros crea dos de esos cuatro valores: el tiempo y el lugar, principalmente mediante el transporte, el flujo de información y los inventarios. Además, considerando que la producción es como tal un eslabón de la cadena, tres de los cuatro tipos de valor son responsabilidad de un director de logística y cadena de suministros (Ballou, 2004).

Por último, los clientes buscan cada vez más una respuesta rápida y personalizada. La responsabilidad de este hecho recae en una mejora en los sistemas de información y los procesos de manufactura flexibles que han llevado a la fabricación a escala de manera personalizada (Grewal y Levy, 2010). Esto ha hecho que las empresas ofrezcan productos que satisfagan necesidades individuales de cada cliente.

## ***2.4 Logística y Logística Integral***

En este trabajo se parte de la diferencia entre el concepto de cadena de suministros y el de logística. Si bien estos conceptos en principio habían sido tratados de manera similar, hoy en día la investigación teórica ha permitido generar diferencias entre estos. En un principio, el Consejo de Administración Logística (1986) definió la logística como el planeamiento, implementación y control efectivos de los flujos y almacenajes de bienes, servicios e información relacionada desde un punto de origen a un punto de destino.

Ya hacia 1999, el Consejo de Administración Logística hizo explícita la diferencia de estos dos conceptos redefiniendo la logística como parte de la cadena de abastecimientos, no como todo el proceso de la cadena, aun teniendo las funciones de planeación implementación y control. En este sentido, se ha avanzado en la profundidad del proceso logístico cuyo objetivo es el de aumentar eficiencia y reducir costos en la empresa. Pero la logística no solo se trata de administrar fletes y gestionar el almacenamiento, sino que incluye funciones antes no atribuidas en la logística clásica como mejorar el nivel de servicio y reducir el dinero represado en inventarios a través del manejo de los sistemas de información (Quagliano, 2012).

En décadas anteriores, el concepto tradicional de suministro giraba en torno a los principios siguientes: secuencialidad de flujos de trabajo, separación de tareas en áreas funcionales, automatización del trabajo e independencia del entorno (Bloch, 2001). La excesiva división del trabajo y de las áreas funcionales, muy bien aplicadas y tan promulgadas por Fayol, conducía comúnmente a la falta de comunicación y coordinación.

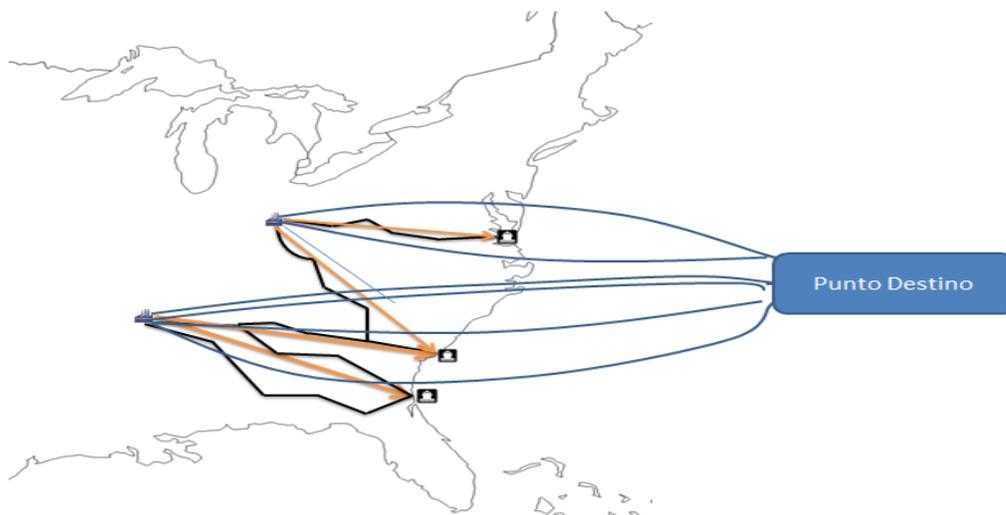
De esta manera, surge el concepto de logística integral cuya ideología principal es considerar el flujo de materiales e información de manera horizontal, es decir, involucrando todas las áreas del negocio integralmente. Este concepto puede verse desde el pensamiento sistémico, donde el abastecimiento, la producción (o almacenamiento, en los casos de las comercializadoras) y la distribución se integran como subsistemas del sistema logístico de la empresa.

## ***2.5 Coordinación de la Cadena de Suministros***

Si bien es importante entender el contexto y los parámetros en que funciona la cadena de suministros, no se ha abordado aún el papel de esta desde un enfoque inter-organizacional, partiendo de las relaciones proveedor-cliente. No hay que olvidar que la creciente complejidad y competitividad en el ambiente de los negocios ha hecho que se preste atención a la gestión de los negocios fuera de los límites de la compañía. Muchos autores (Viswanathan y Piplani, 2001; Mishra, 2004; Chan y Kingsman 2005) han dado gran importancia a la coordinación proveedor-cliente en el funcionamiento de la cadena de suministros. En general, ven como una ventaja competitiva la coordinación entre eslabones de la cadena, haciendo que se puedan aprovechar mejor las ventajas competitivas de las compañías además de superar obstáculos y restricciones con el manejo conjunto de los procesos comerciales.

A menudo, se busca como aprovechar mejor los recursos de los proveedores para crear valor a los clientes (Fawcett y Magnan, 2001). Esta corriente sigue los principios de Michael Porter en cuanto a la ventaja competitiva. Es aquí donde se sienta parte de las bases de la gestión moderna de la cadena de suministros (Jiménez, 2006). Justamente su aporte a partir de la estrategia y la definición de la cadena de valor, ha hecho que el enfoque cambie pasando de un enfoque en eficiencias internas a un enfoque de integración inter-funcional e inter-organizacional que busca bajar el costo del cliente o aumentar su desempeño, a través del impacto de la cadena de valor del proveedor en la cadena de valor del cliente (Porter, 2000).

En este sentido, la planificación integrada es vital en la gestión de la cadena de suministros. Shapiro (2000), identifica tres tipos de integración en las actividades de esta área. En primer lugar se encuentra la integración funcional que supone las actividades de abastecimiento, fabricación, almacenaje y distribución. En segundo lugar, se refiere a la integración espacial en medio de vendedores, instalaciones y mercados geográficos. Por último, considera la integración inter-temporal de estas actividades en límites de planificación estratégicos, operacionales y físicos.



**Ilustración 5. Elaboración Propia, adaptado de Supply Chain and Logistics Fundamentals, MIT.**

Es así como Shapiro (2000) deriva en que la gestión de la cadena de suministros se lleva a cabo a través de los tres horizontes de planeación descritos anteriormente y que se pueden visualizar en la figura en la parte superior:

- a) *Planeación física* – Implica las decisiones que afectan a corto plazo el negocio y que muestran como el producto se mueve físicamente a través de las vías dependiendo de modo de transporte. En la figura representan las líneas negras.
- b) *Planeación operativa* – Implica decisiones con respecto a una serie de nodos y arcos, donde uno puede escoger un punto (nodo) con un específico modo de transporte y con sus respectivos costos, tiempos y distancias asociadas. En la figura representa las flechas naranjas que van de punto a punto, por ejemplo de una planta de origen, a un puerto.
- c) *Planeación Estratégica* – Implica una toma de decisiones integral, una ruta de extremo a extremo desde el principio remoto de la cadena, hasta el último destino de esta. En esta se representa el costo logístico total, descripciones de tiempos y distancias y características del nivel de servicio con respecto a la alineación entre el transporte y los inventarios. En la figura, representa las líneas azules que conectan un punto inicial con el final.

### 3. ENFOQUE METODOLÓGICO

La metodología usada para esta investigación recae sobre la revisión de la literatura existente en las dos áreas mencionadas. Se han usado amplias y muy detalladas bases de datos como EBSCO, JSTOR, PROQUEST, entre otras, así como revistas especializadas en Dinámica de Sistemas y Supply Chain. A partir del estado del arte definido, se buscará ampliar el conocimiento de estos dos campos de manera integrada y entrelazada. Los criterios utilizados para la búsqueda en estas bases de datos incluyen un periodo de tiempo del año 2000 al 2014. Se hicieron filtros avanzados para encontrar investigaciones que tuvieran los dos campos de conocimiento en cuestión. Dentro de la metodología se busca exponer diferentes ejemplos en los que mediante esa revisión de la literatura se ha influido de un campo a otro.

Según la taxonomía de investigación y desarrollo en modelamiento de dinámica de sistemas sobre *Supply Chain Management (SCM)* propuesta por Angerhofer y Angelides (2000) hay tres tipos de categorías a saber: Investigación, Práctica y la investigación aplicada o en práctica. La primera se basa en la actividad de modelar para construir un marco teórico, es decir, teorizar sobre los conceptos y aspectos fundamentales de la SC. La segunda tiene que ver con el modelamiento como una manera de resolver problemas reales de la SC. Por último, la tercera hace alusión a mejorar la aproximación de modelado a través de la teoría. En este sentido, este documento de investigación seguirá la línea de la categoría de investigación para caracterizar los conceptos y aspectos fundamentales de la SC.

Pero no basta con definir la categoría sino también el enfoque de modelamiento en la SC. Holweg y Disney (2005) distinguen tres enfoques metodológicos que se usan en investigación de este campo: El enfoque en tiempo discreto, el enfoque en tiempo continuo y el enfoque de la teoría de control o de dominio de la frecuencia. El primero se refiere a las decisiones que se toman ya sea sobre capacidad, cantidades a ordenar, producción, demanda, tiempos de entrega y demás en términos de una periodicidad definida previamente, es decir, diaria, semanal, mensual, trimestral, etc. El segundo enfoque hace mención al carácter constante e ininterrumpido del monitoreo que se tienen sobre las variables de control (inventario, costos, tiempos de entrega, producción, ciclos de reabastecimientos, entre otros) y sobre las decisiones que se toman sobre estas. Este tipo de

perspectiva hace que se puedan tener en cuenta efectos de aprendizaje y percepción humana por parte de quienes manejan los sistemas y operaciones.

Por último, el tercer enfoque es una perspectiva que puede tomar tanto tiempos discretos como tiempos continuos y tiene la característica de manejar funciones lineales para relacionar los recursos o fuentes de un sistema, con los resultados del mismo (relación Input – Output). De esta manera, un análisis de los tres enfoques muestra que la perspectiva de tiempo continuo es en la que hay mayor monitoreo constante sobre la interacción de las variables para poder modificar o mantener las decisiones que sobre estas se han tomado. Sin embargo, el enfoque mixto es más apropiado para entornos dinámicos con múltiples patrones tanto discretos como continuos.

#### **4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

El uso de SD en investigación aplicada al campo de SCM ha tenido un gran incremento desde hace más de veinte años, y ha habido grandes aportes en tres grandes áreas para la práctica de la gerencia de la cadena de suministros. En términos genéricos estas tres áreas son el área de la SC basada en la información, el área basada en los procesos y el área basada en el control (Akkermans y Dellaert, 2005). Ahora bien, es importante reconocer que ninguno de los enfoques mencionados desde la teoría de SCM podría haber tenido éxito en sus investigaciones sin asumir supuestos que probablemente no estén cerca de ser realizables en la práctica. Entre ellos se encuentran elementos como la toma de decisiones continua, la toma de decisiones en los distintos niveles jerárquicos sin pensar en las consecuencias de los diferentes niveles, o la certeza completa sobre procesamientos o plazos de entrega en cumplimiento total (Akkermans y Dellaert, 2005). En este sentido los enfoques pueden ayudarse más unos a otros para cubrir los puntos débiles y los puntos ciegos a partir de la metodología de la SD. A continuación, se hará una breve descripción de cada uno para conocer después los esfuerzos y trabajos que se han hecho en cada área con la utilización de SD.

El área que tiene un enfoque basado en la información es el que trata todo lo referente al manejo de los procesos transformacionales, físicos, logísticos y demás que tiene una organización. Estos naturalmente, necesitan de ser guardados en un sistema de información que pueda integrar y sintetizar toda la información del negocio. Es así como estos además de presentar datos e información, también son una herramienta para ayudar a una adecuada toma de decisiones basada en conocimiento de las operaciones de la empresa. Esta área tuvo su mayor asentamiento a finales del siglo pasado cuando las grandes compañías empezaron a hacer fuertes inversiones en sistemas ERP, los cuales todavía tienen su base en los algoritmos del modelo MRP (*Material Requirement Planing*) creados por Joseph Orlicky en el año 1975. La suposición latente en esta área se ha mantenido constante a través del tiempo y es la de conservar el manejo y el conocimiento acerca de los niveles de las ordenes de clientes, inventarios y capacidades de producción a través de la cadena para que se puedan tomar decisiones con relación a su desempeño.

Recientemente, este conjunto de sistemas de información han hecho sus mayores avances, en relación a SCM, con respecto a software de planeación avanzada que ayudan a mejorar la toma de decisiones en la cadena de suministros. Sin embargo, esta perspectiva presenta debilidades en cuanto a su concepción. Esto quiere decir que, es común asumir que entre más información se tendrán mejores decisiones, también se asume que la calidad de los datos es perfecta teniendo en cuenta que al mismo tiempo información equivocada induciría a decisiones equivocadas. Así mismo, el impacto de las decisiones no tiene en cuenta toda la red de suministros en cuanto a que funciona a nivel interno de las empresas y eso al final tiene repercusiones en las próximas decisiones.

Si pensamos en términos de las reglas para tomar decisiones óptimas de inventarios, cuál es el uso de estas, sino hay información exacta acerca de la asignación de costos (costos por órdenes de recibos, contenidos de cheques, la aprobación de los departamentos financieros, asignación de los costos realizados en el departamento de compras, etc.) y cómo incluir el hecho de que el proceso de toma de decisiones se hace por parte de humanos. En esta área siempre es importante saber la magnitud del impacto que puede tener sobre el desempeño de la SC. Así pues, la DS es una metodología que es capaz de compensar y reparar algunos de estos elementos, modelando de forma explícita los retrasos percibidos, racionalidad limitada y la fijación de objetivos.

La segunda área está relacionada con el mejoramiento de procesos. En esta, el énfasis no está en obtener mejor información que pueda conllevar a una mejor toma de decisiones sino en la optimización y eficiencia de los procesos de transformación física subyacentes para lograr que la toma de decisiones sea más sencilla o pueda ser simplificada. Las raíces de este enfoque están en el trabajo realizado por los gurús de la gestión de la calidad, Deming, Juran y Shewhart, en los años 1950's como consecuencia de la Segunda Guerra Mundial y que se puso en práctica por primera vez en Japón como modelo de crecimiento económico para recuperarse de los estragos que dejó la guerra. A partir de allí, nacen otros modelos de simplificación y estandarización de procesos como el Just In Time (JIT) (Schonberger 1982), el Total Quality Management o el Kaizen o mejoramiento continuo (Imai, 1986).

No obstante, su mayor debilidad radica en que aun cuando se tienen los procesos más optimizados o estandarizados a nivel interno, de alguna u otra forma, se tendrá que lidiar con el entorno donde hay muchas dificultades y problemas que afectan de manera exógena a la empresa. Esto hace que en algún momento se tengan que amortiguar por ejemplo retrasos de los proveedores o un estancamiento inesperado de la demanda. También en la mejora de procesos, la SD puede hacer su contribución haciendo que los límites implícitos del sistema se manejen de forma explícita.

La presencia de los competidores a menudo sólo se percibe en elementos como los costos de oportunidad entendidos como costos de carencia (un cliente al que no se le atiende bien podría ir a otro lugar) o en una decisión de precios de acuerdo al uso de la teoría de juegos (Davenport, 1990). Sin embargo, utilizando SD estos competidores están considerados dentro de los límites del sistema cuando estos son relevantes para el sistema en cuestión. Lo mismo pasa con la demanda de los clientes, la cual puede ser parte del modelo SD, algo no común en otros modelos cuantitativos en cuanto que la demanda de los clientes no es exógeno sino endógeno, y se determina al menos en parte por el rendimiento de la red de suministro. Esto en la SD es una práctica estándar pero no sucede así en otros enfoques (Davenport, 1990).

La tercera área es la del control de procesos que se relaciona con la teoría de restricciones y el control de la carga de trabajo. Este enfoque no trata de simplificar procesos existentes o enfocarse en coleccionar y manipular información sino en asegurarse de que los flujos de bienes y servicios a través de la SC estén bajo un rango límite o de control para que no ocurran

comportamientos no deseados en el sistema. Por otra parte, esta perspectiva tiene sus raíces en la teoría de control propuesta por Wiener en 1948, pero se ha manifestado de varias formas en la práctica. Ejemplo de esta es la teoría de restricciones (Goldratt y Cox, 1984), el control de la carga de trabajo o el control input-output (Bertrand, 1980). La idea intrínseca en esta área es que si un proceso que está implícitamente dentro de una cadena de suministros recibe demasiadas entradas, la carga de trabajo allí aumentará rápidamente teniendo efectos indeseables en cuanto a la saturación del cuello de botella y consiguiente retraso de los siguientes eslabones. De esta manera, lo ideal es limitar los flujos de trabajo en el punto problemático o cuello de botella a la cantidad exacta que este puede recibir para que todo el sistema pueda responder adecuadamente. Sin embargo, su mayor debilidad radica en que se tenga que asumir una cantidad limitada de trabajo cuando muchas veces la demanda incrementa y eso debe aumentar la capacidad. En sí, los empresarios prefieren a que haya muchas ordenes por despachar a que este vacío el almacén. Si bien es cierto que el enfoque de control de procesos puede ser perfectamente analizado desde los modelos de la teoría de control, sólo puede hacerlo para situaciones en pequeña escala (Akkermans y Dellaert, 2005). La SD no sufre de estas limitaciones y por lo tanto se convierte en un candidato perfecto para analizar las complejas configuraciones de las cadenas de suministro y las redes globales de suministro actuales.

Ahora bien, los aportes que se han hecho en cada área han mejorado la práctica de SCM a través de la SD. A continuación, detallamos en mayor medida cada uno.

#### ***4.1 Área de Sistemas de Información***

En el área basada en la información un área de investigación prometedora es la que inició Morecroft (1983) con su perspectiva de sistemas en MRP's donde ya se evidencia un esfuerzo por analizar los diferentes efectos que tienen los sistemas de control sobre las cadenas de suministros en su desempeño global a largo plazo. Si bien es cierto que hoy en día muchas cadenas de suministros son controladas por una cantidad amplia de software que incluyen ERP y APS, existe un entendimiento poco profundo de la dinámica resultante y los efectos de realimentación y retrasos que están generando estos sistemas (Akkermans y Dellaert, 2005).

Hoy en día, esta área de la información es más conocida como las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicaciones). Estas, han sido esbozadas por diferentes autores como (Ballou, 2004; Berenguer y Ramos, 2003; Tompkins y Harmelink, 2004; Urzelai, 2006). En la práctica de *logística*, las TIC's se han transformado en un medio ágil, flexible y mejorado para intercambiar información y operaciones utilizadas en la gestión logística como el almacén y el transporte (Espinal, Montoya y Arenas, 2010). Así mismo, dentro de la caracterización de las TIC en logística, algunas son transversales a la gestión del área en cuestión sea almacenamiento, trabajo, procesos, etc. Otras, son más específicas de un proceso como el *Picking to Light y Voice*, que se aplica al proceso de preparación en pedidos (Espinal, Montoya y Arenas, 2010). A continuación, se muestra una tabla con el contenido de las TIC más usadas en la actualidad y de su aporte en *Supply Chain*.

TIC en la gestión logística	
<b>WMS (Warehouse Management System)</b>	Apoya la planeación, ejecución y control de procesos desde la recepción, acomodo y almacenamiento hasta la preparación de un pedido y su despacho. Además, maneja integralmente la gestión de los recursos disponibles como pueden ser los equipos de manejo de materiales, personal y costos (Mentzer, 2001). Para su diseño y configuración hay que tener en cuenta la capacidad de inversión y la estructura de procesos de la empresa (Espinal, Montoya y Arenas, 2010).
<b>LMS (Labor Management System – Sistema de manejo de personal)</b>	Busca mejorar la productividad de un área a través de una adecuada gestión de la programación, seguimiento y control del personal y recursos que participan en las actividades de dicha área. (Mchugh Software

---

International, 2008). También puede incrementar el ROI aunque con una inversión alta al requerir conectarse con otros sistemas de información.

### **Código de Barras**

Tecnología que permite reunir datos e identificar productos y unidades de carga, los cuales se manipulan en los diferentes eslabones de la cadena de suministros. En especial es muy útil en el control de inventarios y la trazabilidad de los productos. Es de fácil utilización y bajo costo de implementación. (Gourdin, 2006). Además, permite identificar no solo unidades individuales sino también las de almacenamiento como cajas y pallets, agilizando su registro y trazabilidad (Monsoi, 1994).

### **RFID (Sistema de identificación por Radiofrecuencia)**

Su objetivo es mejorar el flujo de productos e información, normalmente en almacenes y centros de distribución, aunque no exclusivamente, a través del seguimiento y control de los bienes en las entradas y salidas de los despachos (Glover y Bhatt, 2006). Al igual que el código de barras también tiene una función de capturar datos. Es muy útil en operaciones de cross-docking en cuanto que este sistema hace una rápida identificación de carga para recibir y agiliza el proceso de despacho (Lee, Cheng y Leung, 2009).

**Picking to light y voice – Recogida por voz y luz** Apoyan la realización de la preparación de pedidos sin tener que usar papeles o documentos físicos y sin tener que sincronizarse con otros sistemas como WMS, LMS O YMS. Esto se hace para mejorar la rapidez de procesos en la gestión logística. Gracias a su manejo de información en tiempo real, permite mejorar operaciones de recogida y control de inventarios (Novak, 2006).

**YMS (Yard Management System – Sistema de manejo de patios)** Tiene como objetivo controlar, rastrear inventarios y vigilar el estado de camiones y contenedores haciendo seguimiento en patios y muelles para así maximizar y agilizar el flujo de productos por este espacio. Además, da información de tiempos de espera, cargue y descargue de camiones, las prioridades y urgencias en la carga y recibimiento de camiones y el rastreo y movimiento de trailers en tiempo real (Ross, 2004; Gattorna, Ogulin y Reynolds, 2003).

---

**Tabla 1: Elaboración Propia.**

#### ***4.2 Área de Procesos de Mejoramiento***

En el área basada en procesos se ha utilizado la SD para evaluar el desempeño de la metodología *Just in Time* y también en la metodología de Total Quality Management. En el primer caso, se ha utilizado la SD para analizar JIT desde un sistema KanBan (Gupta y Gupta, 1989). De hecho, hay pocos estudios que han resaltado el papel de los sistemas Kanban utilizando SD. Gupta et al (1989), han hecho un estudio en el que obtienen un mejor entendimiento acerca de los sistemas JIT-Kanban tomando como laboratorio una estación sencilla con una línea de producción. En esta, se encuentran procesos de producción, kanbans sobre la producción, kanbans de transporte, contenedores de almacenaje y dos ubicaciones para el almacenaje.

La producción funciona con respecto a la demanda de cada etapa predecesora. Este sistema genera un flujo continuo de materiales de una etapa a otra y minimiza los inventarios en proceso midiendo el nivel de procesamiento en cada estación de acuerdo a los kanbans. Es por eso, que estos sirven para saber cuándo producir pero aún más importante para saber cuándo no producir y controlar los flujos de stock para que no se generen cuellos de botella. De esta manera, se mejoran las órdenes de despacho y el cumplimiento de tiempo con los clientes. Ahora bien, la SD en este caso se usó para interrelacionar las variables que antes se mencionaron, en un diagrama de flujo el cual consiste de tasas y niveles que indican el flujo y la cantidad de unidades en el sistema en cualquier momento determinado. Teniendo el sistema una naturaleza pull de demanda, se empieza analizando la última etapa de la estación de producción que es la tasa de consumo o demanda actual de bienes terminados. Así mismo, esta variable se ve influenciada por la variable de ubicación del almacenaje de las unidades transportadas en las cuales hay un nivel de inventario.

Esta a su vez está precedida por la variable de la ubicación del almacenaje de la producción y en seguida de la variable nivel de los contenedores Kanban.

Todas las variables tienen otras variables externas que se interrelacionan con ellas para poder definir un comportamiento y así correr la simulación del modelo en SD. Esta, fue ejecutada en siete periodos. La simulación se corre varias veces y con diferentes escenarios para mostrar cómo se comporta el sistema. Lo que muestra en resumen es cómo varían diferentes ítems como el inventario el proceso, el tiempo de desabastecimiento, el tiempo de inactividad en la producción, y el número de setups en función del tiempo. Como consecuencia, este estudio provee un

entendimiento detallado del sistema a través del conocimiento de los elementos primarios que lo conforman y aporta a las prácticas de SCM basadas en procesos a través de la SD. En el segundo caso se ha utilizado SD como una aproximación para explicar la calidad en términos de TQM (Wankhade y Dabade, 2006). Este estudio comienza explicando cómo la calidad ha pasado de ser equivalente a un proceso de inspección a un objetivo importante en las organizaciones. De allí, se resalta el concepto de TQM como un término acuñado para el movimiento de la calidad contemporánea al mundo industrial. Argumenta como la gestión de la calidad ha sido observada desde varios horizontes de una manera aislada necesitando un proceso de asimilación.

Hay un problema en torno a la falta de un modelo TQM universal al que se le puedan atribuir las variaciones en las herramientas utilizadas y técnicas practicadas en el mundo industrial (Sila y Ebrahimpour, 2002). Es por esto que se decide hacer un modelo de calidad total utilizando SD, el cual incluya un fenómeno muy conocido en la economía como la asimetría de información que produce incertidumbre en la calidad lo cual afecta la percepción de la calidad del cliente o consumidor. Los autores definen una serie de factores claves para la gestión (Badri and Davis, 1995) y percepción (Wankhade and Dabade, 2004) de la calidad, los cuales estarán dentro del modelo de dinámica de sistemas que formulan. Estos se muestran en la siguiente tabla:

<b>Gestión de la Calidad</b>	<b>Percepción de la Calidad</b>
Papel de la alta dirección	La asimetría de la información
Papel del departamento de calidad	Educación
Formación para la calidad	Economía nacional
El diseño del producto / servicio	Medio cultural
Gestión de la calidad del proveedor	Promulgaciones globales / nacionales
Procedimientos de Gestión de Procesos / Operación	Publicidad
Los datos de calidad y la presentación de informes	Garantía / garantía
relaciones con los empleados	Palabra de boca en boca
Relaciones con los empleados	Reputación de la empresa
	Trabajo en la cadena de suministro

**Tabla 2: Adaptado de Wankhade y Dabade (2006). TQM with quality perception: a system dynamics approach.**

De esta manera, se ha utilizado la SD para modelar y analizar la percepción de la calidad la cual es un fenómeno complejo que involucra aspectos sociales, económicos, técnicos y culturales. A paso seguido, se utilizan estas variables para conformar ecuaciones que describan el sistema y su comportamiento, es así como los autores definen cuatro funciones a los cuales asignan nombres según el factor clave que representan. Estos son: TQMI (Total Quality Management Index), simetría de información, percepción debido a facilitadores, percepción de la calidad y esfuerzos extras requeridos (Wankhade et al, 2006). Cabe aclarar, que el horizonte temporal de estudio es de vital importancia a la hora de analizar los resultados en una simulación en SD. En este caso, el horizonte temporal fue de 25 años desde el 2000 hasta 2025.

Al tener la metodología SD un enfoque dinámico, pueden cambiar las tendencias en el transcurrir del tiempo. En este estudio pasa esto con la percepción de la calidad la cual indica un predominio de TQMI sobre esa variable, y en el transcurso del tiempo los resultados de la simulación muestran como la percepción debido a los facilitadores van adquiriendo importancia para contrarrestar la asimetría de información dado que tienen una relación directa y al bajar la asimetría de información aumentan la percepción de la calidad. Estos facilitadores son la publicidad, el boca a boca, las políticas de devolución y garantías. Es así como este estudio desde la dinámica de sistemas ayudó a comprender nuevas visiones acerca del TQM a través de la percepción de la calidad.

### ***4.3 Área de Control de Procesos***

En el área basada en el control de procesos, el beneficio es mutuo en tanto que cada uno puede aprovechar consideraciones del otro. En primer lugar, la SD puede ser una herramienta útil para el control de procesos ya que esta maneja una gran cantidad de variables que son difíciles de manipular, tales como los diferentes tipos de inventarios (materias primas, en proceso y producto terminado), flujos de pedido, cantidades de ordenes por unidad de tiempo procesadas, tiempo de respuesta, lead time, productividad de las maquinarias, *takt time*, entre otras, pero que con la herramienta descrita hace el trabajo fácil para configurar.

Además, los ambientes de aprendizaje en que se basa la SD son prácticos para explicar y educar a ejecutivos, académicos, investigadores y otros, en la importancia de comportarse de una manera diferente a la práctica gerencial actual; así como la SD pudo romper paradigmas con el juego de la cerveza que hizo entender a muchos como funciona la dinámica industrial básica en una cadena de suministros (Akkermans y Dellaert, 2005). En este sentido, Godinho y Uzsoy (2014) presentan una evaluación del impacto de alternativas como la teoría de restricciones aplicada a una planta de producción con la ayuda de SD.

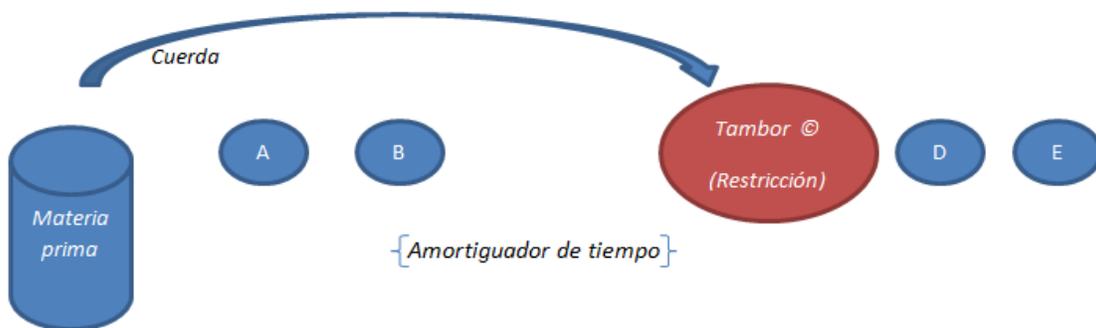
En segundo lugar, también el control de procesos puede ayudar a mejorar la SD. En este sentido, Mabin, Davies y Cox (2006) usan el proceso de pensamiento de la teoría de restricciones para complementar un aspecto de la dinámica de sistemas el cual son los diagramas causales. Aunque la metodología de la teoría de restricciones es rigurosa y sigue al método científico (Wixon y Mills, 2007) presenta dificultades en evaluar cambios sobre las implementaciones presentadas por cuanto implica mucho más tiempo y dinero en su elaboración. Por el contrario, la SD, que también sigue el esquema del método científico, resulta más práctica dado que su estructura permite hacer pruebas rápidas sobre los sistemas cuando se implementan cambios, para verificar la efectividad de los mismos haciendo simulaciones que identifican posibles restricciones antes de cometer costosos errores.

Cabe entonces, explicar en términos generales el proceso de la teoría de restricciones por sus pasos y su interacción. Goldratt (1984), propone un proceso de cinco pasos de mejoramiento continuo en un sistema, estos son:

1. Identificar una restricción: Para poder manejar un problema, es necesario identificar donde está este.
2. Explotar la restricción: Es necesario enfocarse en cómo conseguir más productividad con la limitada capacidad existente.
3. Subordinar la restricción: Tener cuidado de tener materiales o bienes indispensables, parados o esperando en una cola de un recurso que no es restricción.
4. Elevar la restricción: Después de haber explotado la restricción, surgen nuevos puntos limitantes.

5. Repetir el proceso: Con estos nuevos limitantes, se hace necesario volver a controlar y manejar las restricciones.

Ahora bien, resultaría sencillo definir los procesos sin el cómo hacerlo. Es aquí donde entra a jugar el enfoque de producción a través de las restricciones conocido como “*Tambor – Amortiguador – Cuerda*” y el *Buffer Management*. La imagen siguiente muestra cómo funciona.



**Ilustración 6. Elaboración Propia.**

En este enfoque explicado por Goldratt (1984), Las restricciones hacen el papel de tambores que dictan el ritmo de la producción en un sistema productivo. Pero estas necesitan ser protegidas de desperdicios de tiempo o capacidad, por lo que se introduce un tiempo de amortiguación el cual previene a los cuellos de botella de quedarse estancados o de colapsar con operaciones posteriores. Lo que se busca es que se tenga un tiempo estimado de reacción ante eventualidades y que sirva de amortiguador para que no genere fallas en los cuellos de botella. Sin embargo, esto podría generar excesos de inventario introducidos en el sistema, por lo que entra a jugar un papel importante la llamada *cuerda*. Esta es el enlace entre la materia prima o cualquier trabajo en proceso y la restricción del sistema y dictamina cuando lanzar trabajo o recursos al cuello de botella haciendo que solo se procese lo que necesita ésta. Al mismo tiempo mantiene los inventarios en niveles mínimos. De esta manera, el objetivo es controlar la demanda con los flujos productivos. Si bien es cierto que este enfoque involucra un pensamiento sistémico, no provee una

manera de simular los sistemas bajo estudio para probar si las recomendaciones desarrolladas bajo la metodología TOC, van a ser efectivas. Es aquí donde la SD puede ayudar a ser más efectivos los conceptos de TOC a través de su modelamiento en software como *Stella* o *Vencim* (Wixon y Mills, 2007).

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se ha expuesto un detallado recorrido por el origen de la dinámica de sistemas y sus diferentes perspectivas que presentan expertos en el campo. Independientemente de las relativas diferencias entre conceptos, lo que es de resaltar es el carácter de metodología de la DS y su aporte como forma de pensamiento para modelar situaciones de la vida real, con un alcance pragmático y dinámico ante los variados escenarios que se pueden hacer en este. Su aplicación a la cadena de suministros es de vital importancia para entender una manera en la que se puede impactar la gestión operacional de las organizaciones.

Es menester recordar que en general, las organizaciones buscan que sus relaciones ya sean formales o informales sean esquemas operativos dinámicos confiables y rentables. Sin embargo, no siempre las empresas pueden alcanzar ventajas competitivas sostenibles porque los poderes de negociación en los que están inmersos son recesivos con respecto a los grandes clientes que manejan o por la necesidad que tienen de mantener sus canales de distribución. Es por esto que un esquema de coordinación como se describió en el marco conceptual es fundamental para lograr resultados que emergen de la filosofía moderna de la C.S, la cual se basa en la consecución de objetivos alineados, estrategias y esquemas de colaboración entre los eslabones de la cadena (Jiménez, 2006).

Luego, se describió un estado del arte de la cadena de abastecimientos y sus diferentes perspectivas según autores reconocidos en el tema. Parte importante de este proceso era el de demostrar la importancia de la gestión de la cadena de suministros a través de datos que hablen de su peso en costos y de su actuación como facilitador para mejorar no solo los niveles de servicio al cliente sino también la eficiencia en procesos y la capacidad de respuesta de las empresas ante escenarios difíciles. Se hizo especial referencia a la logística integral y a la coordinación de la

cadena de abastecimientos como las nuevas tendencias y prácticas que deben surgir en las compañías para reforzar sus procesos logísticos y comerciales, tanto internos como externos. Esto, en miras de fortalecer la relación proveedor-cliente.

No menos importante es tener en cuenta los horizontes de planeación bajo los que se rige la cadena de suministros. Tan importante es la planeación física, como la operativa o la estratégica, cada una con diferentes implicaciones pero con objetivos similares si se le ve desde la perspectiva de la logística integral.

Paso seguido, se hizo un estado del arte acerca de las contribuciones que diferentes autores han hecho utilizando la dinámica de sistemas para resolver problemas en la gestión de C.S. En este apartado se discutieron tres grandes áreas para la práctica de la gerencia en Supply Chain. La primera fue la relacionada con los sistemas de información logísticos, la segunda hace referencia al enfoque basado en procesos y la última tiene que ver con los sistemas de control. Todas estas abren la posibilidad de nuevas investigaciones y descubrimientos en la C.S, así como son una ayuda para robustecer la fundamentación teórica.

## 6. REFERENCIAS

- Akkermans, H. H. (2012). *Emergent supply networks: system dynamics simulation of adaptive supply agents*.
- Akkermans, H., & Dellaert, N. (2005). *The rediscovery of industrial dynamics: the contribution of system dynamics to supply chain management in a dynamic and fragmented world*. *System Dynamics Review* (Wiley), 21(3), 173-186.
- Andrade Sosa, H. H., R., I. D., Espinosa, Á., López, H., & Sotaquirá, R. (2007). *Pensamiento sistémico: Diversidad en búsqueda de unidad*. Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander. (Original work published 2001)
- Angerhofer, B. J., & Angelides, M. C. *System Dynamics Modelling In Supply Chain Management: Research Review. The 2000 Winter Simulation Conference*, 10.
- Aracil, J. (1986). *Introducción a la Dinámica de Sistemas*. Alianza Editorial S.A., Madrid.
- Badri, A.M. & Davis, D. (1995). *A study of measuring the critical factors of quality management*, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 12 No. 2, pp. 36-53.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística: Administración De La Cadena De Suministro* (Quinta ed.). México: Pearson/Educación.
- Berenguer, J. & Ramos, J. (2003). *Negocios digitales: Competir utilizando Tecnologías de Información*. Navarra, España: Universidad de Navarra (EDUNSA).
- Bertalanffy, L. V. (1976). *Teoría general de los sistemas: fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Bertrand, J. W. (1980). *Analysis of a production-inventory system for a diffusion department*. *International Journal of System Science* **11**: 589–606.

- Bloch R. 2001. *Logística militar y civil*. Ed. Dunken, 101 pág., Buenos Aires.
- Bowerbox, D. (2008). *Administración y logística en la cadena de suministros*. México D.F.; McGraw-Hill.
- Chan, Chi Kin & Kingsman, B. G. (2005). *Coordination in a Single-Vendor Multi-Buyer Supply Chain by Synchronizing Delivery and Production Cycles*. Transportation Research Part E. 2005.
- Chase, R. B., & Jacobs, F. R. (2009). *Administración De Operaciones: Producción Y Cadena De Suministros* (Duodécima ed.). México: McGraw-Hill.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2008). *Administración De La Cadena De Suministro: Estrategia, Planeación Y Operación* (Tercera ed.). México: Pearson Educación.
- Davenport, T., & Short, J. (1990). *The new industrial engineering: information technology and business process redesign*. Sloan Management Review Summer: 11–26.
- Espinal, A. A. C. Montoya, R. A. G., & Arenas, J. A. C. (2010). *Gestión de Almacenes y Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC)*. Estudios Gerenciales, 26(117), 145-171.
- Fawcett, S. E., & Magnan, G. M. (2001). *Achieving World-Class Supply Chain Alignment: Benefits, Barriers, and Bridges*. Center for Advanced Purchasing Studies (CAPS); Arizona State University Research Park.
- Forrester, J. W. (1961). *Industrial dynamics*. Cambridge, Mass.: M.I.T. Press.
- García, F. A. (2005). *La Dinámica de Sistemas en Economía de la Salud*. Universidad de Murcia. Murcia, España.
- Gattorna, J., Ogulin, R. & Reynolds, M. (2003). *Gower handbook of supply chain management*. United Kingdom: Gower Publishing.

- Glover, B. & Bhatt, H. (2006). *RFID Essentials*. Sebastopol, CA: O'Reilly.
- Godinho Filho, M., & Uzsoy, R. (2014). *Assessing the impact of alternative continuous improvement programmes in a flow shop using system dynamics*. *International Journal of Production Research*, 52(10), 3014-3031.
- Goldratt, E. M., & Cox, J. (1984). *The Goal: Excellence in Manufacturing*. North River Press: New York.
- Gourdin, K. (2006). *Global Logistics Management: a competitive advantage for the 21<sup>st</sup> century*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- Grewal, D., & Levy, M. (2010). *Marketing* (Segunda Ed.). Boston: McGraw-Hill Irwin.
- Gupta, Y. P., & Gupta, M. (1989). *A System Dynamics Model of a JIT-Kan Ban System*. *Engineering Costs & Production Economics*, 18(2), 117-130.
- Handfield, R y Nichols Jr, E. (1999). *Introduction to Supply Chain Management*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, pág. 2.
- Holweg M, Disney SM. (2005). *The evolving frontiers of the bullwhip effect*. In *Proceedings of the EurOMA 2005 Conference*; 707–716.
- Imai, M. (1986). *Kaizen, the Key to Japan's Competitive Success*. Random House: New York.
- Jiménez, J. E. (2006). *Coordinación de Inventarios en una Cadena de Suministro a Través de Épocas Comunes de Resurtido Bajo Demanda Dinámica Considerando Diversos Modos de Transporte y Diferentes Políticas de Descuento en los Precios de los Productos y en las Tarifas de Transporte*. Departamento de Organización de Empresas, Economía y Contabilidad. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. 2006.

- Lane, D. y Oliva, R. (1998). “*The greater whole: Towards a synthesis of System Dynamics and Soft Systems Methodology*”. *European Journal of Operational Research*, 107: 214-235.
- Lee, Y., Cheng, F. & Leung, Y. (2009). *A quantitative view on how RFID can improve inventory Management in a supply chain*. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 12(1), 23-43.
- Mabin, V. J., Davies, J., & Cox, J. F. (2006). *Using the theory of constraints thinking processes to complement system dynamics' causal loop diagrams in developing fundamental solutions*. *International Transactions In Operational Research*, 13(1), 33-57.
- Mchugh Software International. (2008). *The Top 10 Facilities of Logistics Labor Management*. Recuperado el 06 de Octubre de 2014, de <http://www.idii.com/wp/top10lms.pdf>
- Meadows, D. H. (1989). *System dynamics meets the press*. *System Dynamics Review* (Wiley), 5, no. 1: 69.
- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., et al. (2001). *Defining Supply Chain Management*. *Journal of Business Logistics*, Vol. 22, 1-25.
- Mentzer, J.T. (2001). *Supply Chain Management*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Mishra, A. K. (2004). *Selective Discount for Supplier–Buyer Coordination Using Common Replenishment Epochs*. *European Journal of Operational Research* 153; pp. 751–756.
- Monsoi, J. (1994). *Sistemas de identificación y control automáticos*. Barcelona: Marcombo.
- Morecroft, J. W. (1983). *A Systems Perspective on Material Requirements Planning*. *Decision Sciences*, 14(1), 1-18.
- Morecroft, J.D.W., (1988). *System dynamics and microworlds for policymakers*. *European Journal of Operational Research* 35 (3), 301-320.

- Morecroft, J. (2007). *Strategic Modelling and Business Dynamics: A feedback systems approach*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Novak, S. (2006). *The small manufacturer's toolkit: a guide to selecting the techniques and systems to help you win*. Broken Sound Parkway, NW: CRC Press.
- Pires, S. R., & Carretero, L. E. (2007). *Gestión de la Cadena de Suministros*. Madrid; McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U.
- Porter, M. E. (2000). *Ventaja competitiva: Creación y sostenimiento de un desempeño superior*. Compañía Editorial Continental, 19va. Impresión. México.
- Quagliano, J. (2012). *Logística y Modelización de la Cadena de Vinos finos en la Argentina*. Programa de Agronegocios y Alimentos. Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Ramírez, S., Escalante, D., Pineda, M., & Peña, G. (2010). *The Impact of Supply Chain Decisions, Using Dynamic Systems, of an Aquatic Garment Manufacturing Company*. Revista Ingeniería Industrial. Año 9 N° 1: 67 - 85, 2010. Colombia.
- Randers, J. (1980). *Guidelines for model conceptualization*. Elements of the System Dynamics Method. (pp. 117-138). J. Randers (Ed.), Productivity Press, Cambridge, Massachusetts.
- Ross, F. (2004). *Distribution Planning and control: managing in the era of Supply Chain Management*. New York, NY: Springer.
- Schonberger, R. J. (1982). *Japanese Manufacturing Techniques: Nine Hidden Lessons in Simplicity*. Free Press: New York.
- Shapiro, J. F. (2000). *Modeling the Supply Chain*. Duxbury Press; December, 20.
- Sila, I., & Ebrahimpour, M. (2002). *An investigation of the total quality management survey based research published between 1989 and 2000: a literature review*. International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 19 No. 7, pp. 902-70.

Sterman, J. D. (2001). *System Dynamics Modeling: TOOLS FOR LEARNING IN A COMPLEX WORLD*. California Management Review, 43(4), 8-25.

Tompkins, J. & Harmelink, D. (2004). *The Supply Chain Management Handbook*. Perry: Tompkins Press.

Urzelai, A. (2006). *Manual Básico de Logística Integral*. Madrid: Díaz de Santos.

Van der Vorst, J. (2000). "Effective food supply chains. Generating, modeling and evaluating supply chain scenarios" CIP-Data Royal Library, The Hague, The Netherlands.

Vennix, J.A.M., Gubels, J.W., (1992). *Knowledge elicitation in conceptual model building: A case study in modeling a regional Dutch health care system*. European Journal of Operational Research 59 (1), 85-101.

Viswanathan, S. & Piplani, R. (2001). *Coordinating Supply Chain Inventories through Common Replenishment Epochs*. European Journal of Operational Research; vol. 129, pp. 277-286.

Wankhade, L. & Dabade, B.M. (2004). *Information asymmetry and quality perception*. Proceedings of the Second International Conference on Logistic and Supply Chain Management, August 3-5, 2004, Coimbatore, India.

Wankhade, L. L., & Dabade, B. M. (2006). *TQM with Quality Perception: A System Dynamics Approach*. TQM Magazine, 18(4), 341-357.

Wixon, J. & Mills, J. (2007). *A System Dynamics View of the Theory of Constraints*. U.S. Department of Energy, Idaho.