



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**Desarrollo metodológico para la optimización
de la cadena de suministro esbelta
con m proveedores y n demandantes
bajo condiciones de incertidumbre.
Caso aplicado a empresas
navieras colombianas.**

Wilson Adarme Jaimes

**Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas
Medellín, Colombia
2011**

**Desarrollo metodológico para la optimización
de la cadena de suministro esbelta
con m proveedores y n demandantes
bajo condiciones de incertidumbre.
Caso aplicado a empresas
navieras colombianas.**

Wilson Adarme Jaimes

**Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Doctor en Ingeniería-Industria y Organizaciones**

**Director:
Martín Darío Arango Serna, Ph.D.**

**Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas
Medellín, Colombia
2011**

DEDICATORIA

En esta etapa de mi vida, conocedor de la
tolerancia, comprensión y amor
que siempre me han ofrecido,
esto va para mi esposa Rosa,
mis hijas Laura Marcela y Yully Paola.

Wilson.

AGRADECIMIENTOS

Concluida la investigación, debo reconocer y agradecer la ayuda y colaboración de todas aquellas personas que han apoyado mi trabajo y quienes con toda seguridad han contribuido a la terminación de esta tarea.

En primer lugar, quiero referirme a mi director de Tesis Doctor Martín Darío Arango Serna, de quien he recibido no sólo su apoyo en el área específica técnico científica de la investigación, sino en aspectos relacionados con la motivación y comprensión, aspectos éstos fundamentales en todo momento, en particular cuando se emprenden esfuerzos de largo alcance que llevan en ocasiones a pensar incluso en flaquear; sin embargo quiero reiterar que el Dr. Arango siempre estuvo presto a impulsar, orientar y atender mis observaciones y posibles vacilaciones con ese interés del maestro, para que de mi parte logrará alcanzar esta meta.

Quiero agradecer a los compañeros profesores de la Facultad de Ingeniería quienes estuvieron prestos y atentos a mis requerimientos; a los señores directivos de la Universidad Nacional de Colombia es sus Facultades de Minas en la sede Medellín e Ingeniería de la sede Bogotá.

A todos aquellas personas que me colaboraron en la configuración, edición y revisión de la propuesta: Luis Ernesto, Cesar, Isabel Cristina, Camilo, Iván, Juan Pablo, entre otros.

Y finalmente, a toda mi familia por su apoyo incondicional a lo largo de este camino, siempre ayudándome a mantener la ilusión en todo instante.

RESUMEN

La tesis propone una metodología que incluye caracterización, diagnóstico identificación y análisis de parámetros de la operación logística del sector naval colombiano, sumado al diseño, configuración y pruebas de modelos de programación lineal entera mixta utilizados para atender coordinadamente decisiones estratégicas sobre gestión de flota, proveedores, transporte y almacenamiento en este sector básico de la economía del país. Se definieron políticas y estrategias soportadas en los modelos matemáticos codificados en el lenguaje de programación algebraica GAMS, con interface en Visual Basic-Excel que permite realizar análisis de sensibilidad. La evaluación y pruebas de los modelos demuestran la bondad que tienen éstos en las decisiones logísticas para este sector, el cual de acuerdo con el diagnóstico merece especial y urgente atención dado los niveles de servicio y rendimiento que presentan sus procesos logísticos. Finalmente se presentan resultados numéricos que establecen propiedades, ventajas y desventajas de cada uno de los modelos, incluyendo el análisis de las externalidades generadas por la operación logística.

Palabras claves: logística, coordinación, industria naval, abastecimiento, almacenamiento.

ABSTRACT

The thesis proposes a methodology which includes characterization, identification and analysis of diagnostic parameters of the operation logistics Colombian naval sector, together with the design, configuration and testing models of mixed integer linear programming used to serve a coordinated strategic decision on fleet management, suppliers transport and storage in the basic sector of the economy. They supported policies and strategies defined in mathematical models coded in the GAMS algebraic programming language with Visual Basic-Excel interface that enables sensitivity analysis. The evaluation and testing of the models show the goodness they have in logistics decisions for this sector, which according to the diagnosis deserves special and urgent attention given the levels of service and performance traits that present logistical challenges. We present numerical results that set properties, advantages and disadvantages of each of the models put forward, including the assessment of externalities generated by the logistics operation.

Keywords: logistics, coordination, shipbuilding, supply, storage.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	25
Objetivo General y Objetivos Específicos	27
Objetivo General.....	27
Objetivos Específicos.....	27
Hipótesis de Investigación.....	28
1. CADENA DE SUMINISTRO.....	31
1.1 Generalidades	31
1.2 Conceptos.....	32
1.3 Modelos de control de inventario utilizados en el sector naval.....	38
2. ESTADO DEL ARTE.....	45
2.1 Administración de la CS y Logística	45
2.2 Relaciones de poder al interior de la CS	51
2.3 Teorías y enfoques.....	54
2.4 Coordinación entre agentes de la cadena de suministro.....	58
2.5 Niveles de decisión en la coordinación de agentes de la CS	60
2.5.1 Nivel estratégico	60

2.5.2	Nivel táctico	63
2.5.3	Coordinación del flujo de inventarios entre agentes y relaciones de poder.....	66
2.5.4	Estrategias y mecanismos de coordinación de inventarios entre agentes. ..	69
3.	METODOLOGÍA.....	75
3.1	Proceso metodológico.....	75
3.1.1	Planteamiento integral de medidas y soluciones.....	86
3.1.2	Verificación de resultados	88
3.1.3	Unidad de análisis	88
4.	CARACTERIZACIÓN SECTOR NAVAL COLOMBIANO.....	89
4.1	Aspectos generales	89
4.2	Actividad portuaria en Colombia.....	92
4.2.1	Características de la carga transportada.....	96
4.2.2	Puertos colombianos con relación al desempeño latinoamericano.....	97
4.3	Indicadores logísticos del país.....	101
4.4	La industria astillera en Colombia.....	104
4.4.1	Astivik S.A.	108
4.4.2	Cotecmar	108
4.4.3	Ferroalquimar S.A.	112
4.4.4	Navtech S.A.....	112
4.4.5	Gustavo Márquez & Cía.....	112
4.5	Procesos logísticos básicos de los astilleros.....	113
4.5.1	Abastecimiento	114
4.5.2	Almacenamiento	115
4.5.3	Distribución.....	117
4.5.4	Medios de soporte TICS.....	118
5.	FORMULACIÓN DE LOS MODELOS.....	121

5.1	Diseño del modelo de coordinación para Astilleros en Colombia	121
5.1.1	Modelo de Suministro Situación actual- sin integración coordinación.....	122
5.1.2	Modelo de Suministro con integración - coordinación.....	131
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	143
6.1	Evaluación de la caracterización de la CS.....	143
6.2	Propuesta metodológica de intervención	146
6.3	Análisis experimental y pruebas computacionales a los modelos matemáticos. Definición de escenarios.....	151
6.3.1	Condiciones para la intervención logística	152
6.3.2	Definición de escenarios.....	161
6.3.3	Sistema desintegrado.....	163
6.3.4	Sistema integrado	174
6.3.5	Modelo de servicio	184
6.4	Sistemas de información y comunicación para coordinar agentes de CS de la industria naval	188
6.4.1	Arquitectura física del sistema de gestión de la cadena de suministro	188
6.4.2	Arquitectura de software propuesta para el sistema de trazabilidad.....	190
6.4.3	Operación del sistema de trazabilidad.....	190
7.	CONCLUSIONES	199
	Futuras investigaciones	203
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	205

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1:	Consecuencias de la coordinación en la cadena de suministros.....	69
Tabla 2-2:	Estrategias más comunes de coordinación de inventarios	70
Tabla 3-1:	Investigación documental - Tipos de documentos.	80
Tabla 3-2:	Métodos analíticos disponibles y aplicables en el estudio.	86
Tabla 4-1	Infraestructura de los principales puertos del país (Cavallazzi, 2009)	95
Tabla 4-2:	Infraestructura portuaria marítima regional.	95
Tabla 4-3:	Tipo de carga movilizado en Colombia por año (toneladas).	96
Tabla 4-4:	Ranking 2009 de Actividad portuaria de contenedores en América Latina y el Caribe	97
Tabla 4-5.	Ranking principales puertos a nivel mundial.	98
Tabla 4-6:	Valoración global de los servicios portuarios. Países de la CAN.	100
Tabla 4-7:	Valoración global de los servicios portuarios. Países del cono sur.	100
Tabla 4-8.	Principales astillero en Colombia.	107
Tabla 6-1:	Indicadores Claves de Desempeño comunes en la Industria Naval.	148
Tabla 6-2:	Características de medios de transporte incluidos en el estudio.	156
Tabla 6-3:	Costos fijos y variables para los medios escogidos con destino Cartagena.	157
Tabla 6-4:	Costos fijos y variables para los medios escogidos con destino Barranquilla.	159
Tabla 6-5:	Índices utilizados.	161
Tabla 6-6:	Resultados escenario 0. Modelo desintegrado.	161
Tabla 6-7:	Distribución de flujo y composición de flota para el Escenario 0.	163
Tabla 6-8:	Resultados escenario -15%. Modelo desintegrado.	165
Tabla 6-9:	Distribución de flujo y composición de flota para el Escenario -15%.	166

Tabla 6-10: Resultados escenario +15%. Modelo desintegrado.	168
Tabla 6-11: Distribución de flujo y composición de flota para el Escenario +15%.....	168
Tabla 6-12: Resultados escenario flota restringida. Modelo desintegrado.	170
Tabla 6-13: Distribución de flujo y composición de flota para el escenario flota restringida.	170
Tabla 6-14: Resultados escenario proveedores restringidos. Modelo desintegrado.	172
Tabla 6-15: Distribución de flujo y composición de flota para el escenario proveedores restringidos.	172
Tabla 6-16: Resultados escenario 0. Modelo integrado.	174
Tabla 6-17: Distribución de flujo y composición de flota para el Escenario 0.	174
Tabla 6-18: Resultados escenario -15%. Modelo integrado. Fuente: Autor.	176
Tabla 6-19: Distribución de flujo y composición de flota para el Escenario -15%.....	176
Tabla 6-20: Resultados escenario +15%. Modelo integrado.	178
Tabla 6-21: Distribución de flujo y composición de flota para el Escenario +15%.....	178
Tabla 6-22: Resultados escenario flota restringida. Modelo integrado.	180
Tabla 6-23: Distribución de flujo y composición de flota para el escenario flota restringida.	180
Tabla 6-24: Resultados escenario flota restringida. Modelo integrado.	182
Tabla 6-25: Distribución de flujo y composición de flota para el escenario flota restringida.	182
Tabla 6-26: Paralelo entre modelo desintegrado y modelo integrado: Escenario 0	193
Tabla 6-27: Escenario demanda aumentada.....	194
Tabla 6-28: Escenario demanda disminuida.....	195
Tabla 6-29: Escenario flota restringida.....	196
Tabla 6-30: Escenarios proveedores restringidos.....	197

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1: Esquema de cadena centralizada.....	35
Figura 1-2: Cadena de Suministro descentralizada.	35
Figura 1-3: Tipos de enlace entre organizaciones en la CS.	36
Figura 1-4: Sistema de reaprovisionamiento para el EOQ	40
Figura 1-5: Esquematación general de un proceso de abastecimiento.	41
Figura 1-6: Esquema general del proceso de almacenamiento.	42
Figura 1-7: Esquema general del proceso de distribución.....	42
Figura 2-1: Efecto Bullwhip	47
Figura 2-2: Flujos en la CS.....	49
Figura 2-3: Relaciones de poder en una CS.	53
Figura 3-1: Pasos del proceso metodológico propuesto.	76
Figura 3-2: Modelo propuesto para el reconocimiento del sistema logístico en la cadena.	77
Figura 3-3: Actividades Paso uno: definición, caracterización y astilleros.....	77
Figura 3-4: Proceso secuencial para el análisis del sector en estudio.	78
Figura 3-5: Definición de una estructura teórica de cadena de suministro.....	80
Figura 3-6: Fases de Paso 3: Preparación, ejecución y análisis del trabajo de campo. .	81
Figura 3-7: Actividades de Paso 4: Determinación detallada de la estructura, parámetros y relaciones de interacción en la cadena de suministro.	82
Figura 3-8: Identificación de necesidades de coordinación.	84
Figura 3-9: Fases del diseño del modelo explicativo de la cadena de suministro.....	85
Figura 3-10: Actividades. Planteamiento integral de medidas y soluciones.	86

Figura 3-11: Planteamiento de medidas.	87
Figura 3-12: Actividades Verificación de resultados.	88
Figura 4-1: Ubicación de los principales puertos colombianos (Cavallazzi, 2009).....	94
Figura 4-2: Principales rutas de navegación.	99
Figura 4-3: Estructura de la cadena logística COTECMAR. Autor	111
Figura 4-4: Proceso de almacenamiento.	116
Figura 5-1: Aprovisionamiento situación actual.	123
Figura 5-2: Red de distribución astilleros.	131
Figura 6-1: Esquema de la metodología de intervención propuesta.....	146
Figura 6-2: Esquema general de estrategias y políticas propuestas.....	149
Figura 6-3: Disposición de la demanda durante el horizonte de planeación.....	154
Figura 6-4: Ubicación de astilleros en Cartagena y Barranquilla.	155
Figura 6-5: Proveedores – carreteras principales hacia Cartagena.....	156
Figura 6-6: Flujo de unidades de referencia por proveedor para el escenario 0.	164
Figura 6-7: Comportamiento del inventario para el Escenario 0.	165
Figura 6-8: Flujo de unidades de referencia por proveedor para el escenario -15%.....	167
Figura 6-9: Comportamiento del inventario para el Escenario Demanda -15%.	167
Figura 6-10: Flujo de unidades de referencia por proveedor para el escenario +15%....	169
Figura 6-11: Comportamiento del inventario para el Escenario +15%.....	169
Figura 6-12: Flujo de unidades de referencia por proveedor para el escenario flota restringida.....	171
Figura 6-13: Comportamiento del inventario para el Escenario flota restringida.	171
Figura 6-14: Flujo de unidades de referencia por proveedor para el escenario proveedores restringidos.	173

Figura 6-15: Comportamiento del inventario para el Escenario proveedores restringidos.	173
Figura 6-16: Flujo de unidades de referencia por proveedor para el escenario 0.	175
Figura 6-17: Comportamiento del inventario para el Escenario 0.	175
Figura 6-18: Flujo de unidades de referencia por proveedor para el escenario -15%.....	177
Figura 6-19: Comportamiento del inventario para el Escenario -15%.....	177
Figura 6-20: Flujo de unidades de referencia por proveedor para el escenario +15%....	179
Figura 6-21: Comportamiento del inventario para el Escenario +15%.....	179
Figura 6-22: Flujo de unidades de referencia por proveedor para el escenario flota restringida.	181
Figura 6-23: Comportamiento del inventario para el Escenario flota restringida.	181
Figura 6-24: Flujo de unidades de referencia por proveedor para el escenario proveedores restringidos.	183
Figura 6-25: Comportamiento del inventario para el Escenario proveedores restringidos.	183
Figura 6-26: Modelo de servicio	185
Resultados de la aplicación de la técnica QFD con lógica difusa.	185
Figura 6-27: Arquitectura física del sistema de gestión de la cadena de suministro.	189

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4-1. Distribución de la actividad de carga y descarga de contenedores en los puertos de Latinoamérica (2009).	90
Gráfico 4-2: PIB por ramas de actividad económica, 2009	92
Gráfico 4-3: Participación por componentes del PIB de Servicios de Transporte	92
Gráfico 4-4: Participación del tipo de carga en el tráfico portuario.	93
Gráfico 4-5: Participación de SPR colombianas en el tráfico de TEUS-2010.	95
Gráfico 4-6: TEU's totales movilizados en los principales puertos de América Latina y el Caribe, 2008-2009.	99
Gráfico 4-7: Índice de desempeño Logístico para Colombia.	103
Gráfico 4-8: Costos de distribución física internacional.	103
Gráfico 4-9: Costos logísticos sobre ventas en las empresas.	104
Gráfico 4-10 Comportamiento de ventas nacionales e internacionales.	110

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A. Formato de entrevista para la caracterización de la CS
- ANEXO B. Formato de encuestas para la caracterización de la CS
- ANEXO C. Metodología CYDOLOG [Caracterizar y diagnosticar operaciones logísticas. Autores Adarme, W y Arango, MD].
- ANEXO D. Listado de materiales de consumo típico en un astillero
- ANEXO E. Descripción de procesos logísticos, abasto, almacenamiento y distribución
- ANEXO F. Principales normas colombianas del sector marítimo
- ANEXO G. Modelo para la coordinación de agentes en un sistema logístico de la industria Astillera colombiana. Adarme, W; Arango, M; Balcázar, A. Revista de Ingeniería UN A1, Vol. Nro. xx 2011.
- ANEXO H. Ponencia congreso logística en Hamburg Alemania, 2011. Integration of analytical techniques for service management logistical coordination at the colombian shipbuilding industry. Adarme, W; Díaz I; Castrellón JP.
- ANEXO I. Aplicación del proceso de análisis jerárquico extendido con lógica difusa para la selección de software para logística. Arango, M; Adarme, W; Zapata, J.- Revista de Ingeniería UN A1. Aceptado 2011.
- ANEXO J. Ponencia II International Ship Design and Naval Engineering Congress Cartagena, Colombia. Marzo 2011. Optimization of a warehouse layout used for the storage of materials used in the construction and repair of ships. Adarme, W; Otero, MA; Rodríguez, T.
- ANEXO K. Ponencia congreso logística Hamburg - Alemania, 2011. Key performance measures for supply chain management from the colombian shipyard. Adarme, W; Arango, M; Clavijo, N.

- ANEXO L. Artículo. Medición del desempeño para cadenas de abastecimiento en ambientes de imprecisión usando lógica difusa. Arango, M; Cogollo, J, Adarme, W. Revista Ingeniería Universidad – Javeriana Bogotá. Aceptado Vol. 16. Nro. 1, 2012.
- ANEXO M. Formato para la determinación de parámetros logísticos
- ANEXO N. Código de modelos en GAMS
- ANEXO O. Interface Visual Basic-Microsoft Excel
- ANEXO P. Base de datos de proyectos- sector naval

INTRODUCCIÓN

La gestión eficiente de la cadena de suministro (CS) se ha convertido en factor clave de éxito para las organizaciones, que presentan una orientación al cliente, buscando la satisfacción de sus necesidades, cada vez más variantes y exigentes.

Investigadores y empresarios se han percatado de la importancia de ver a las organizaciones como elementos constitutivos del sistema conocido como cadena de suministro, y gracias a la experiencia, han logrado advertir la fuerte relación existente entre una correcta gestión de las interrelaciones entre agentes de cadena, y la capacidad que tiene cada uno de ellos para cumplir con las metas trazadas orientadas a dar solución a las expectativas de sus clientes en términos de calidad y cumplimiento.

Si bien dichas interrelaciones dependen de las condiciones propias relativas a cada sistema, cuentan con un elemento común, y es el alto grado de complejidad que las afecta, producto del interés de cada agente de la cadena por alcanzar el mayor beneficio posible para sí misma. Aunque dicha situación es más que natural en los ambientes de negocio, las prácticas utilizadas para optimizar el beneficio individual tienen efectos negativos sobre el desempeño del sistema en su conjunto, afectando niveles de cumplimiento e incrementando costos, todo lo cual va en contravía de la búsqueda de mayores beneficios para los integrantes de la CS.

En este sentido, surgen los conceptos de integración y coordinación de agentes CS, estudiados con rigurosidad por diversos académicos, en las últimas tres décadas. Para ello, han sido propuestas herramientas de gestión partiendo esencialmente de la utilización de modelos matemáticos, que recientemente han sido complementados con la utilización de tecnologías y sistemas de la información.

A pesar de que estas aplicaciones han demostrado resultados favorables en los ambientes donde han sido utilizadas, aún existen ciertos vacíos en su desarrollo e implementación,

al presentarse desde una perspectiva táctico-operativa, sin considerar la importancia de desarrollar este tipo de aportes desde el nivel estratégico, que determina el curso de acción que una organización debe tomar en aspectos fundamentales como la gestión de su CS. Esta situación limita en gran medida el impacto que pueda tener la utilización de recursos para incrementar la integración y coordinación de agentes en una cadena.

Una segunda situación evidenciada comprende la ausencia de estudios de investigación en donde se analice la coordinación e integración en sistemas de producción asociados con la industria naval, que cuentan con condiciones de funcionamiento bien especiales, determinadas por la producción por proyectos, y la presencia de ciertas características que hacen aún más compleja la labor de coordinar su operación logística.

En este sentido, se ha desarrollado una investigación aplicada, con el fin de diseñar e implementar una metodología orientada a coordinar los agentes de la CS desde una perspectiva estratégica, es decir, desarrollando una propuesta que configure los métodos apropiados para coordinar la cadena a nivel estratégico, que además se convierta en la guía que oriente el marco de acción de la CS en todos los procesos de negocio asociados a su funcionamiento. La metodología construida fue diseñada de acuerdo con las condiciones de funcionamiento de los principales astilleros colombianos, y se convierte en el punto de partida para que la industria naval del país disponga de una guía metodológica que permita mejorar el desempeño de su operación logística, y con ello, incrementar su competitividad en el mercado de construcción y reparación de buques y artefactos navales. Los propósitos y las hipótesis de investigación son los siguientes:

Objetivo General y Objetivos Específicos

Objetivo General

Diseñar una metodología que facilite gestionar la cadena de abastecimiento de forma esbelta en empresas navieras colombianas con m proveedores y n demandantes, soportada en la integración de técnicas de optimización matemática, en condiciones de incertidumbre.

Objetivos Específicos

- Caracterizar, diagnosticar y determinar parámetros de los sistemas de compras, abastecimiento, inventarios y almacenamiento en empresas industriales colombianas (naval), incluyendo la definición de las variables relevantes que condicionan la cadena de suministro esbelta para este tipo de industrias.
- Definir los indicadores globales que permitan gestionar de forma eficiente una cadena de suministros esbelta en ambientes difusos.
- Formular un modelo de optimización matemática que permita gestionar la cadena de suministro esbelta para m proveedores, n demandantes en condiciones de imprecisión.
- Evaluar las herramientas informáticas existentes en el mercado que faciliten la modelización matemática, paramétrica y heurística, que se ajuste al objeto de la investigación; que permita la identificación de escenarios y la toma de decisiones.
- Proponer una guía metodológica de acción en la operación logística para los astilleros, soportada en las diferentes técnicas, herramientas, sistemas de gestión y modelos matemáticos.
- Identificar la funcionalidad de los elementos estructurales más adecuados para implementar la metodología propuesta en industrias navieras colombianas.

Hipótesis de Investigación

H1: Sí se implementa una metodología de coordinación con criterios técnicos, económicos, sociales y ambientales para la gestión integral de compras, bodegas, inventarios, pagos y devoluciones, entre niveles de la cadena de suministro del sector industrial (naviero), permitirá elevar su desempeño medido a través de técnicas y herramientas apropiadas. Además se establecerá una línea de acción (sistema de información e indicadores) sobre la cual se podrán fijar acciones de mejora continua; se contribuirá a mejorar la productividad de las empresas nacionales, calidad en los productos, servicio al cliente, cumplimiento de las normas y estándares nacionales e internacionales y por ende a la sostenibilidad de los integrantes de la misma.

H2: Una propuesta metodológica apropiada de coordinación puede permitir a los integrantes de la cadena de suministro del sector (sub-sector astilleros, industria naval), una mayor flexibilidad y diversificación en su portafolio de productos, mejor y mayor transparencia en actividades de negociación y contratación, evaluar nuevas fuentes de financiación y en correspondencia con lo anterior, buscar nuevos mercados y particularmente para los astilleros opciones de ampliación de su operación, en armonía con la Política Nacional de Logística, CONPES 3547 de octubre de 2008.

H3: Una propuesta de coordinación integral de compras, pagos, inventarios, devoluciones permitirá establecer acciones de operación a corto, mediano y largo plazo y la necesidad de mejorar la conectividad y los sistemas de información, acorde con las expectativas y exigencias del mercado mundial actual y del futuro; en este sentido la propuesta facilitará a los astilleros apoyados en el **“Plan Nacional de Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones” del Ministerio de Comunicaciones, participar en las convocatorias para proyectos de investigación tanto a nivel nacional como internacional establecidas en su proyecto misional.**

Es así como la propuesta presentada constituye una novedad en el campo de estudio de la gestión de CS, al considerar la coordinación de agentes de la cadena desde una perspectiva integral, contemplando en particular el nivel corporativo que conlleva a la

definición de políticas y estrategias soportadas en modelos matemáticos de programación lineal entera mixta, el cual se ha codificado en un lenguaje de programación algebraica como el GAMS y con una interface en Visual Basic-Excel que permite de manera práctica realizar análisis de sensibilidad; la evaluación y pruebas al modelo demuestran la bondad que tiene el mismo como herramienta fundamental en los procesos de toma de decisiones para el sector naval colombiano, la cual de acuerdo con el diagnóstico merecen una especial y urgente atención dado los niveles de servicio y rendimiento en sus procesos logísticos. En tal sentido se presenta esta investigación estructurada en siete capítulos.

Se inicia con la introducción, luego el primer capítulo describe las generalidades de las Cadenas de Suministro, su gestión, estructura, niveles y relaciones de poder. El segundo desarrolla el estado del arte en detalle alrededor del tema de coordinación. El tercero plantea paso a paso la metodología utilizada. El cuarto describe los resultados de la caracterización de la industria naval focalizado en uno de sus principales agentes como son los astilleros. El quinto presenta los modelos detallados, de la misma forma la determinación de parámetros, variables y características de los modelos matemáticos de coordinación. El sexto incluye un análisis de los resultados y pruebas computacionales y El final relaciona una serie de consideraciones, conclusiones y recomendaciones de la investigación.

1. CADENA DE SUMINISTRO

En este capítulo se presenta el concepto de Cadena de Suministro (CS), sus tipologías, características, relaciones de poder, manejo de información y su gestión, así como una descripción de la forma de operación de la misma en el sector naval colombiano.

1.1 GENERALIDADES

La focalización de sistemas especializados de fabricación generalmente implican un desequilibrio entre producción y consumo, lo cual desde el punto de vista de las *actividades logísticas*¹, genera mayores costos. Revisar la estructura, rasgos y modelos de gestión de la CS, surge como medio para entender y atender estos ambientes donde los empresarios reconocen que sus competidores, proveedores, y clientes, tanto actuales como potenciales, se encuentran geográficamente situados en cualquier parte del mundo. Evaluar estrategias y mecanismos de coordinación-integración, así como relaciones de colaboración que orientan las acciones en una CS que pretenda sostenerse, resulta determinante y necesario en la construcción y definición de propuestas de mejora en su funcionamiento.

El uso de plataformas satelitales, el comercio por medio de intercambio electrónico de datos (EDI, por sus siglas en inglés), los mercados virtuales y la aplicación de técnicas de modelación pretenden mejorar la asignación de recursos y la coordinación entre integrantes de la CS, atendiendo limitaciones de infraestructura, en observancia de las

¹ Para el (Supply Chain Council, 2010) a través del modelo SCOR (*Supply Chain Operation Reference Model* en inglés) las actividades logísticas se agrupan en cinco procesos: planeación, compras, producción, distribución y devolución. Según (Frazelle, 2002), son cinco las actividades logísticas interdependientes: respuesta a clientes, planeación y gestión de inventarios, aprovisionamiento, transporte y distribución.

externalidades que se derivan de las actividades logísticas, como impactos² relacionadas con congestión, contaminación visual y sonora, manejo de residuos y movilidad entre otras, son aspectos a ser considerados en el diseño y la evaluación de planes de mejora.

A continuación se describen algunos conceptos incluyendo rasgos, características, ambientes de operación, coordinación, indicadores y niveles de servicio como elementos críticos en la gestión de la CS.

1.2 CONCEPTOS

Una CS se compone de diversos agentes³ que se encuentran *inter* e *intra* relacionados, haciendo posibles determinados procesos, es decir más que una cadena se trata de una “red”⁴. Los procesos de aprovisionamiento, almacenamiento, producción, distribución y retorno se han venido integrando con otros procesos de negocio formando una red de organizaciones, convirtiendo al cliente en socio de los proveedores y éstos, a su vez, en clientes socios de otras compañías que los abastecen, conformando así la CS.

Los procesos logísticos que se desarrollan al interior de la Cadena como sistema integrado, son descritos en forma detallada por (Lambert, Stock, & Ellram, 1998) de la siguiente manera: servicio al cliente, pronóstico y planeación de la demanda, gestión de inventarios, comunicaciones logísticas, manejo de materiales, procesamiento de órdenes, empaques, servicios de apoyo, localización de facilidades, contratos,

² (Crainic, Ricciardi, & Storchi, 2004) resaltan la importancia que tiene el movimiento de mercancías y sobre todo como esta puede afectar negativamente la calidad de vida en las ciudades a través de contribuciones a los niveles de congestión, ruido y contaminación; por lo tanto, la necesidad de establecer nuevos métodos y herramientas para estudiar, planificar y controlar el tráfico de mercancías buscando reducir congestión y aumentar movilidad. (Patier & Browne, 2010) plantean una metodología para evaluar los impactos que se derivan de las operaciones logísticas, la cual ha sido probada en diferentes contextos, con el fin de soportar la toma de decisiones relacionadas con la planeación que involucran aspectos sociales y políticos.

³ Según (Ghiani, Laporte, & Musmanno, 2004) una CS es un sistema logístico complejo en el cual las materias primas son convertidas en productos terminados y luego distribuidos al usuario final a través de **Agentes** que pueden ser proveedores, centros de manufactura, almacenes, centros de distribución y tiendas.

⁴ (Christopher M. , Logistics and Supply Chain Management, 2005) reconoce que las CS, son en realidad, redes. Estas son organizaciones complejas independiente e interdependientes. La complejidad de estas redes ha crecido y por lo tanto, con ella la necesidad de una coordinación activa de la misma.

manipulación, almacenamiento, transporte y logística de reversa. La CS se encarga de sincronizar las interrelaciones entre éstos procesos, bajo la perspectiva de mejorar la eficiencia operacional, rentabilidad y posición competitiva de quienes la integran, como su objetivo principal.

Las organizaciones que pertenecen a una cadena presentan fuertes relaciones de interdependencia, en términos del cumplimiento de objetivos de minimización de costos, aseguramiento de la calidad, entregas a tiempo y niveles de servicio. Como resultado, el desempeño de cualquier integrante depende del desempeño de las demás, y de sus habilidades particulares para coordinar las actividades al interior de la cadena.

Estructura general de la CS

La descripción de la estructura se puede asociar al nivel de decisión, tipo de relación existente entre agentes, dimensiones de la cadena, participantes y rasgos de sus procesos. (Chopra & Meindl, 2008), sugieren para la estructura de la CS la existencia de una jerarquía de tres niveles de decisión: estrategia competitiva, planes tácticos y rutinas operacionales.

En el primer nivel, se incluyen decisiones de localización y distribución, planeación de la demanda y de canales de distribución, alianzas estratégicas, selección de proveedores y tecnologías de la información, entre otros. A nivel de planes tácticos, se desarrollan tareas de control de inventarios, coordinación de producción y distribución y consolidación de órdenes y transporte. Las rutinas operacionales están constituidas por programación de rutas de vehículos y fuerza de trabajo, mantenimiento de registros y embalaje. Es necesario tomar bajo consideración que ninguna CS es igual a otra, es decir, las anteriores actividades se deben desarrollar en función de los rasgos propios de la cadena en cuestión.

La estructura sugerida por (Lambert & Cooper, 2000) y (Min & Zhou, 2002) plantea la existencia de tres elementos principales en la estructura de una CS, los cuales se conocen como: tipo de relaciones asociativas existentes en la cadena, dimensiones estructurales y características de los procesos desarrollados entre asociados. Una descripción de cada uno de ellos se da a continuación:

- A. **El tipo de relaciones asociativas existentes en la cadena.** Es pertinente identificar los actores que componen la CS, lo cual puede ser complicado dado que una inclusión de todos los miembros o actores potenciales amplificaría la cantidad de integrantes en total, haciendo más compleja la estructura de la misma. En consecuencia, se recomienda identificar aquellos que son críticos para los procesos de generación de valor agregado, logrando con ello reducir el número de elementos de utilidad que son considerados (Min & Zhou, 2002).

Bajo los preceptos de procesos de negocio dados por (Davenport, 1993), se diferencian los miembros de una CS así: **principales**, aquellas firmas de carácter autónomo, que realizan actividades que agregan valor a los procesos de negocio. **De apoyo**, son organizaciones encargadas de proveer recursos, conocimiento, utilidades o activos a los agentes principales.

Dentro del funcionamiento de los vínculos entre sus miembros, se pueden establecer estructuras de cadenas centralizadas o descentralizadas:

Cadena Centralizada: sistema de múltiples niveles, en donde existe un equipo de toma de decisiones que tiene la autoridad de decidir por todos los niveles (Chu & Leon, 2008). En este tipo de CS se coordinan las respectivas estrategias de abastecimiento, producción, inventario y distribución, que generen un mejor desempeño para el sistema, desde un sólo punto.

Cuando la toma de decisiones corresponda a un equipo, los beneficios de la coordinación son distribuidos equitativamente entre sus miembros, según lo explican (Li & Wang, 2007). La figura 1-1, esquematiza de manera general una cadena centralizada.

Cadena descentralizada: es un sistema donde cada elemento actúa de forma independiente y oportuna, buscando su propio beneficio (Li & Wang, 2007). Esta situación puede enfrentarse desarrollando planes de acción que propendan por mejorar y armonizar un desarrollo común de la cadena atendiendo posibles esquemas de incentivos en ambientes gana – gana. La figura 1-2 describe el esquema de una cadena descentralizada.

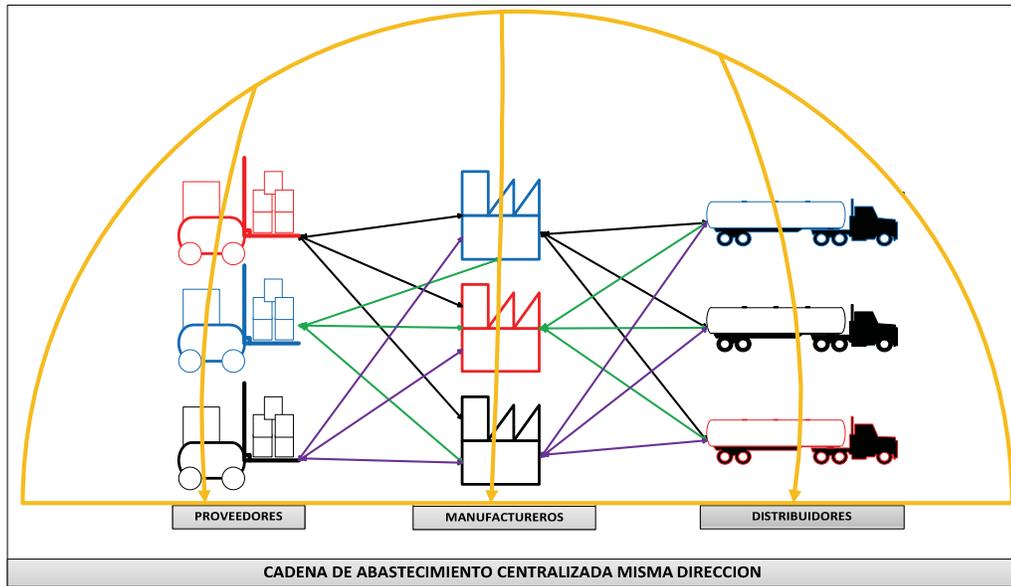


Figura 1-1: esquema de cadena centralizada.
Fuente: Autor

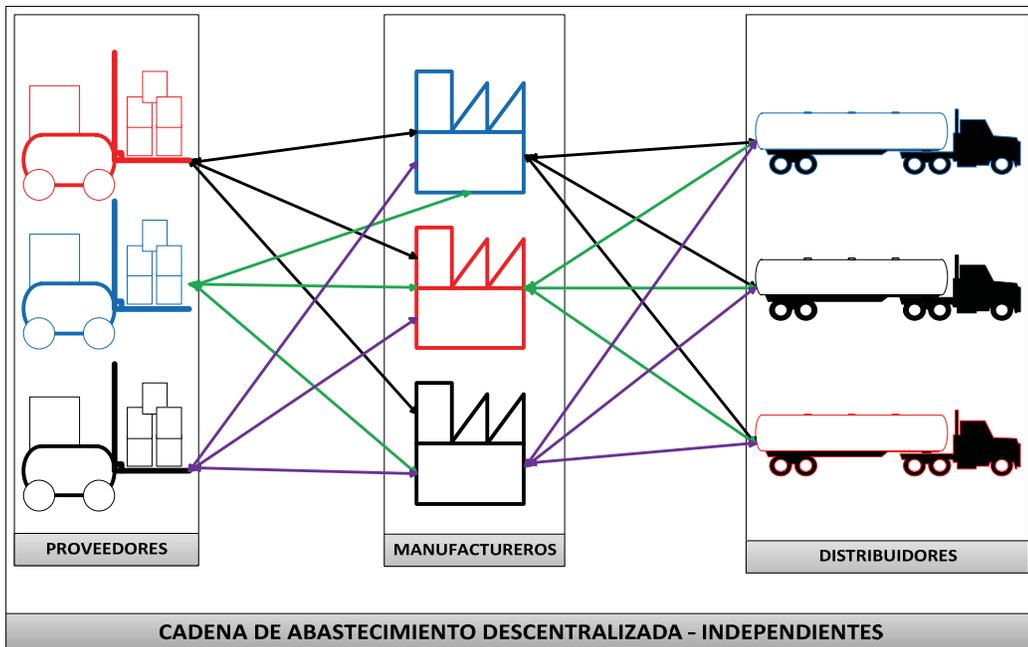


Figura 1-2: Cadena de Suministro descentralizada.
Fuente: Autor

El comportamiento independiente de cada agente de la CS por lo general deriva en efectos nocivos para sus integrantes, partiendo de la premisa que las decisiones individuales de un miembro afectan las acciones y políticas de los demás, generando problemas relacionados con flujos físicos (inventarios), de información y dinero, influyendo en los niveles de servicio de los diferentes eslabones donde sea considerado.

La importancia de construir metodologías, desarrollar y establecer procesos para hacer frente a la condición de cadenas descentralizadas es una actividad en construcción en los actuales momentos. La importancia de focalizar esfuerzos en este contexto subyace del imperativo de mejorar competitividad, racionalizar recursos y establecer sostenibilidad ante todo en especial en aquellas cadenas constituidas por organizaciones en mercados emergentes o en consolidación.

B. **Las dimensiones estructurales de la cadena.** Para (Lambert D., 1996) son tres las dimensiones estructurales: horizontal, vertical, y la posición horizontal de cualquier firma a lo largo de la cadena. La figura 1-3 muestra una CS con diferentes niveles: proveedores, empresa focal y clientes.

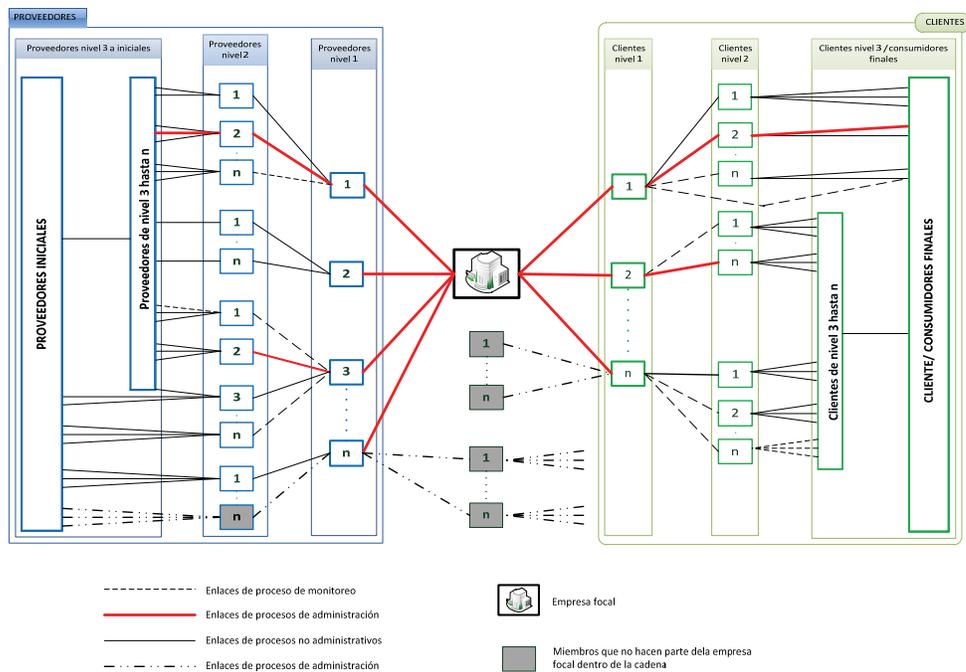


Figura 1-3: tipos de enlace entre organizaciones en la CS.

Fuente: Adaptada de (Lambert D., 1996)

El esquema ilustra la estructura horizontal, que hace referencia al número de niveles de proveedores o clientes existentes en la cadena, la cual es tan larga como el número de niveles que presente; la estructura vertical, compuesta por el número de proveedores o clientes en cada uno de los niveles de la cadena, y la posición horizontal de la empresa dentro de la CS, en donde ésta puede localizarse al inicio o cerca de la fuente inicial, o del último cliente, o inclusive, en un lugar entre estos dos extremos de la cadena.

C. Características de los procesos desarrollados al interior de la cadena entre asociados.

La existencia de vínculos entre las actividades de la CS puede implicar la creación de ventajas competitivas⁵. En este contexto, con el fin de obtener provecho de las relaciones entre diferentes actores de la cadena, la firma debe entender las características de la gestión de dichos vínculos, que se dividen en tres categorías (Lambert & Cooper, 2000); (Min & Zhou, 2002), así:

- **Procesos de administración de vínculos:** se desarrollan cuando una organización (actor principal), integra un proceso con uno o más clientes o proveedores, ejerciendo el poder sobre la administración del vínculo creado.
- **Procesos de monitoreo de vínculos:** no existe un control total por parte de alguna firma; sin embargo, un actor principal de la cadena ejerce una labor de monitoreo o auditoría alrededor de cómo están siendo integrados y administrados los vínculos al interior de la CS.
- **Procesos no administrados:** comprenden aquellas situaciones en donde ninguna empresa administra o monitorea de forma activa el desarrollo de las relaciones o vínculos entre los actores de la CS. En este caso, existe confianza entre los integrantes sobre la capacidad de sus contrapartes para administrar los procesos de creación y funcionamiento de vínculos entre ellos, descentralizando la responsabilidad sobre su manejo.

⁵ Ventajas competitivas: para (Porter, 1998) está en la habilidad, recursos, conocimientos y atributos, de los que dispone una empresa y los cuales no pueden igualar sus competidores.

1.3 MODELOS DE CONTROL DE INVENTARIO UTILIZADOS EN EL SECTOR NAVAL

Un rasgo relevante presente en las definiciones de SCM y logística está relacionado con la integración y coordinación entre sus agentes, con el fin de dar respuesta a las necesidades del mercado. Diversas investigaciones teóricas y prácticas demuestran que en las CS y en particular en el sector objeto de estudio los actores son analizados de forma independiente, incluso cuando estos pertenecen a la misma cadena.

En el sector naval colombiano, los astilleros operan por proyectos de reparación o construcción de artefactos navales y los procesos logísticos tradicionales de abastecimiento-almacenamiento (astilleros), transporte (operador logístico externo) y ventas (proveedores) operan en forma independiente y autónoma, atendiendo propósitos individuales sin considerar en armonía acciones de coordinación e integración en la cadena.

Procesos de abastecimiento – almacenamiento en los astilleros no aparecen debidamente coordinados, derivado de deficiencias en los sistemas de información y comunicación disponibles y los modelos de gestión utilizados, procesos gestionados por agentes externos como el transporte y las ventas son aún más críticos en su coordinación.

En los agentes de la cadena, prima el uso de decisiones de tipo táctico-operativo, buscando objetivos individuales; las decisiones de tipo estratégico que atiendan en forma conjunta la operación logística en la CS no son consideradas. A nivel táctico operativo se orientan a la definición de tamaño y frecuencia de pedidos desde uno de los agentes con técnicas como (*Economic Order Quantity* EOQ, *silverMeal*), entre otros y aunque existen modelos de coordinación entre agentes para definir tamaño y frecuencia (Pibernik & Sucky, 2007) aún es un campo por explorar dadas las complejidades matemáticas y fácticas que implican estos escenarios.

Abastecimiento: este proceso es responsable de adquirir todos los materiales requeridos por una organización (Waters, 2003), y cuyos objetivos principales son el aseguramiento de los procesos de suministro, minimización del inventario, mejora de la calidad, gestión/ desarrollo de proveedores, y la minimización de los costos totales. Se utilizan modelos

de gestión de inventarios que soportan decisiones operacionales los cuales han sido estudiados ampliamente. Estas técnicas se utilizan en forma independiente y autónoma, utilizando parámetros agregados y estimados.

Se desarrollan actividades para determinar la cantidad a comprar, el tamaño de la orden de compra, con qué frecuencia y a quién comprar. Dichas actividades se relacionan con el dimensionamiento y control de inventarios, en donde los métodos más ampliamente aceptados, difundidos y aplicados en el contexto logístico corresponden a: el modelo de cantidad de lote económico (EOQ), el algoritmo de *Wagner-Whittin*, la heurística de *Silver-Meal*, *lot for lot* y la programación lineal, una descripción breve del modelo EOQ y *SilverMeal* (Vidal, 2009) se presenta a continuación:

Parámetros

C_c = Costo de reposición del inventario de materia prima o producto terminado

C_r = Costo de mantener inventario de materia prima o producto terminado

CTR = Costo total relevante de la gestión de inventarios

T = Tiempo que transcurre entre uno y otro pedido

A = Costo de ordenamiento [\$/orden]

D_i = Demanda del ítem [unidades/unidad de tiempo]

r = costo de mantener el inventario [%/unidad de tiempo]

v = valor unitario del ítem [\$/unidad]

Q = cantidad de materia prima/producto terminado a ordenar por pedido

EOQ: En este modelo se determina un tamaño de lote que minimiza conjuntamente los costos de ordenar y costos de mantener una orden de materia prima y/o producto final. Los supuestos son: I) no existen descuentos en los precios de compra y/o transporte, II) todos los parámetros de costo son estacionarios, III) la tasa de reposición es infinita (es decir, los *lead time* son cero), IV) no se consideran órdenes diferidas o pendientes.

Los supuestos I) y II) permiten concluir que es preferible ordenar siempre una **cantidad a comprar** Q constante, mientras que de los supuestos III) y IV) se infiere que **la frecuencia** más adecuada **para comprar** es cuando el inventario disponible alcance un nivel de cero.

Una representación del sistema utilizado se da en la figura 1-4:

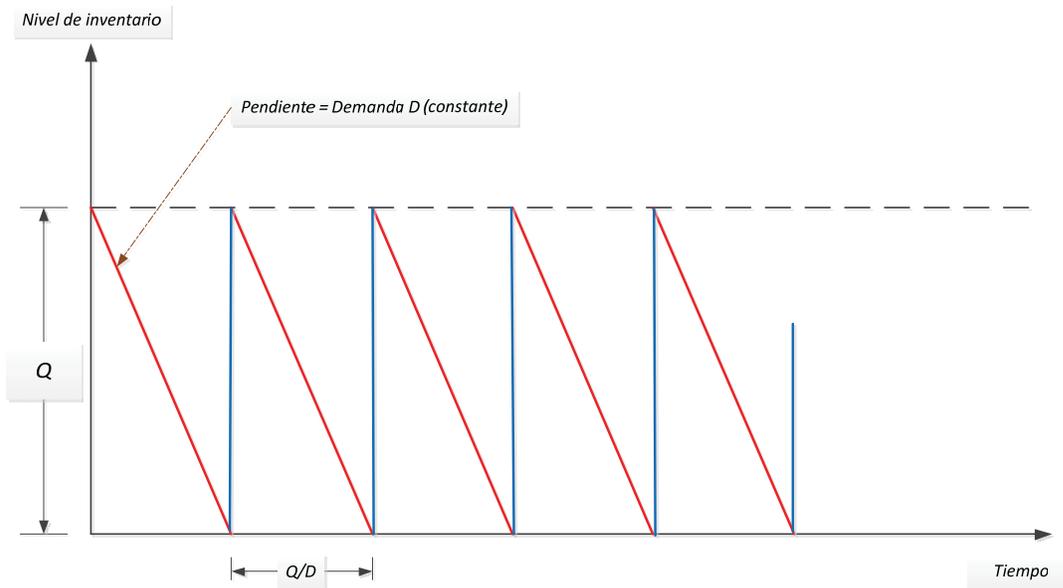


Figura 1-4: Sistema de reaprovisionamiento para el EOQ

Fuente: Vidal, CJ.

De acuerdo con esta figura, el tiempo entre cada orden T es $\frac{Q}{D}$. En este caso el subíndice i de la demanda no se considera al ser ésta constante en el tiempo.

El tamaño de la **orden de compra** viene determinado por la función de costo total relevante, que depende a su vez de los costos de reposición y mantenimiento en inventario:

$$\text{Donde } CTR = C_r + C_c \text{ Donde } C_r = (A + Qv) \frac{D}{Q}, \text{ es decir, } C_r = \frac{AD}{Q} + Dv$$

En este caso el término Dv es constante por la ausencia de descuentos, luego no se considera en la función objetivo.

El costo de mantener en inventario está dado por: $C_c = \frac{Q}{2} vr$

De esta manera, la función de costo total CRT viene dada por: $CRT(Q) = \frac{AD}{Q} + \frac{Qvr}{2}$

Para encontrar el tamaño óptimo de lote, o **cuánto pedir**, se deriva esta función de costo con respecto a Q , igualando a cero el resultado. Al despejar se obtiene:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2AD}{vr}}$$

Heurística de Silver-Meal: Este método fue desarrollado por Silver y Meal (1973) y ha demostrado un funcionamiento satisfactorio cuando el patrón de demanda es muy variable, es decir, cuando el método del lote económico de pedido (EOQ) y otros métodos heurísticos no producen buenos resultados. El criterio básico de este método es el de minimizar los costos de ordenamiento y mantenimiento del inventario *por unidad de tiempo*. El costo total relevante (CTR) está asociado a un número de T períodos, luego el CTR por unidad de tiempo está dado por: $CTRUT(T) = \frac{CRT(T)}{T} = \frac{A + Cc}{T}$

Los modelos *Wagner Whittin*, *Lot for lot* y *Programación Lineal PL*, han sido discutidos desde diferentes perspectivas en la literatura general de investigación de operaciones y de gestión de inventarios. Los procesos de abastecimiento tienen distintas configuraciones y es común encontrar sistemas como los que se representan en la figura 1-5.

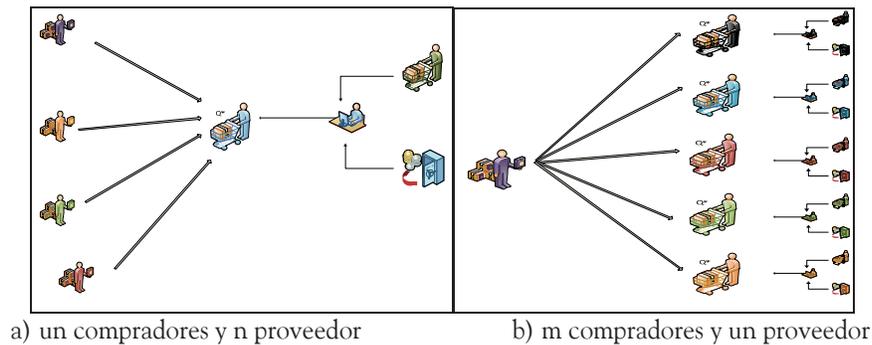


Figura 1-5: Esquemización general de un proceso de abastecimiento.

Fuente: Autor

Almacenamiento: esta actividad es definida por Lambert et al. (1998) como el enlace entre el productor y su cliente, y cumple con la función de almacenar materias primas, productos en proceso y productos terminados, en y entre el punto de origen y de consumo, y proveer información a la administración acerca del estado, condición y disposición de los ítems almacenados. Figura 1.6. La principal decisión estratégica de la función de almacenamiento es *en dónde ubicar un almacén*. A nivel táctico operativo se toman decisiones sobre recibo, clasificación, identificación de materiales, picking, packing, shipping mediante el uso de modelos exactos, heurísticas y meta heurísticas. Algunos métodos utilizados para atender aspectos estratégicos relacionados con ubicación de instalaciones son el Modelo del Centro de Gravedad, Modelo de la P-mediana, Modelo de cobertura, Modelo de localización de un eslabón y un único producto.

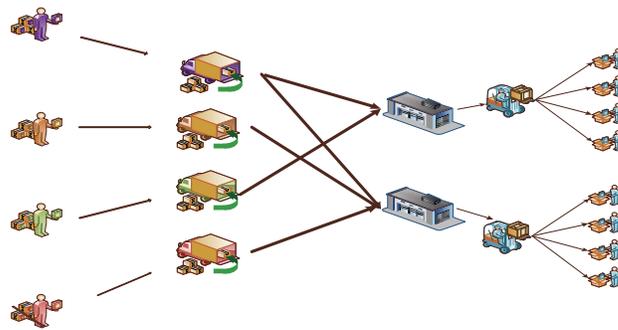


Figura 1-6: esquema general del proceso de almacenamiento.

Fuente: Autor

Distribución: implica un amplio conjunto de actividades para llevar el producto desde la fábrica al consumidor, involucra decisiones de diversa índole, destacándose a nivel logístico la selección de canales y redes de distribución, gestión de puntos de compra, y las decisiones relativas al transporte, en relación con los sistemas utilizados, tamaño de la flota, capacidades requeridas y establecimiento de rutas.

Modelo de ruteo de vehículos: el problema de ruteo de vehículos, más conocido como VRP (*vehicle routing problem*) es uno de los más estudiados en el contexto de la distribución logística. Su objetivo es determinar un conjunto óptimo de rutas a ser recorridas por una flota de transporte, con el fin de cumplir con la demanda de un grupo de clientes. (Toth & Vigo, 2002). Existen diversas variaciones al modelo VRP; una de ellas corresponde al CVRP, donde el problema considera las restricciones de capacidad de la flota de vehículos. Dentro de estos, el problema del flujo de vehículos es el más utilizado; se ajusta a casos donde el costo de la solución es expresado como una suma de los costos asociados a cada arco de la red, y las principales restricciones tienen que ver con la transición directa entre los clientes al interior de la ruta. La figura 1-7 representa en forma general este proceso.

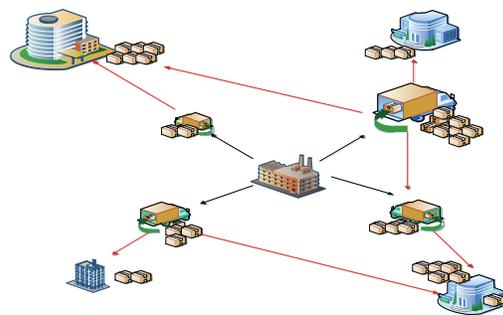


Figura 1-7: Esquema general del proceso de distribución.

Fuente: Autor

Los modelos mencionados en los distintos procesos logísticos se focalizan a nivel táctico operativo y permiten a cada miembro de la cadena establecer políticas individuales, ello conlleva a que estos procesos sean gestionados de manera aislada, sin ningún tipo de interrelación. La evidencia en los avances realizados en estos modelos han sido a nivel de adaptarse a diversas características de horizonte de planeación, demanda dependiente/independiente, estática/dinámica, determinística/probabilística, número de productos, restricciones de capacidad, deterioro de los productos, estructura de *setup* y escasez de inventarios (Karimi, Ghomia, & Wilson, 2003); sin embargo, no existen en la actualidad registros de desarrollo de modelos que contemplen bajo un mismo esquema la optimización de sistemas logísticos en el sector naval colombiano a la luz de los procesos de abastecimiento, almacenamiento y distribución, a nivel estratégico.

En este sentido, atendiendo la situación del sector naval esta investigación propone a nivel corporativo una metodología que oriente la forma de realizar una evaluación integral del *modus operandi* de las CS, así como la definición de políticas, estrategias y reglas de negociación en el primer nivel (estratégico) de la cadena en forma coordinada, soportada en la utilización de modelos matemáticos de programación lineal entera mixta.

De esta manera se presentaron las generalidades de la CS, donde se resalta la importancia y trascendencia de la coordinación orientada a sistemas de producción por proyectos, en correspondencia con sus sistemas de información y comunicación y la gestión del servicio. Seguidamente se describe el estado del arte alrededor de coordinación entre agentes de la CS y el flujo de sus inventarios.

2. ESTADO DEL ARTE

Esta descripción corresponde a una revisión bibliográfica del estado del arte alrededor de la CS, y de manera específica a la *coordinación entre agentes*, ilustrando el avance logrado por los diferentes académicos e investigadores que estudian este tema.

2.1 ADMINISTRACIÓN DE LA CS Y LOGÍSTICA

El concepto de CS y su gestión se ha venido refinando a través de los años, evidenciado en diferentes investigaciones destacándose estudios a nivel estratégico que incluyen análisis de la estructura, su carácter centralizado o descentralizado, análisis de emplazamientos, capacidades, modos y medios utilizados en almacenamiento, transporte, comunicaciones y manejo de información, definición de políticas, estrategias y reglas de negociación, identificación de relaciones de poder, así como evaluaciones que demuestran como representar las CS y establecer sus indicadores de gestión y la gestión del servicio.

A nivel táctico - operativo, se presentan estudios que describen mecanismos para la adopción de estrategias de coordinación en CS; diseño y ajuste de estrategias de coordinación en particular asociados a los flujos físicos (inventarios) entre agentes de la CS, determinación de tamaños de pedidos en ambientes determinísticos o estocásticos, procedimientos y sistemas de compras, revisión de técnicas de pronósticos, evaluación de parámetros de costos y capacidades, gestión de bodegas, sus mecanismos y sistemas de información y comunicación, así como la definición de programas de ruteo y distribución.

Para esbozar la evolución del concepto de CS y su gestión se indica que los sistemas de producción de la primera parte del siglo xx eran sencillos, presentaban flujos únicos de productos, que partían desde el proveedor quien suministraba las materias primas, hacia la fábrica y luego a los clientes. La evolución de los sectores productivos y el surgimiento de las nuevas formas de negocio y de comercialización, el problema del abastecimiento, almacenamiento y distribución, ha cobrado mayor importancia. La rapidez de los mercados y los requerimientos cada vez más exigentes en un entorno globalizado, han demandado el desarrollo de modelos de coordinación entre agentes de la CS más congruentes con la dinámica y complejidad tanto de los sistemas productivos, como de los clientes.

Aunque se han desarrollado modelos novedosos y se han implementado políticas en la gestión de la CS, orientadas a reducir tiempos de entrega, minimizar costos de manejo y mejorar las relaciones entre sus eslabones, aún se presentan dificultades importantes en los procesos logísticos, relacionados con lo que define (Sterman, 2000), como la inestabilidad de los sistemas, que surge con la fluctuación irregular pero persistente en niveles de producción, ingresos, demanda, cambios en el mercado laboral y de servicios, entre muchos otros, que afectan a todo tipo de industrias y tienen un efecto negativo en el conjunto de la economía.

La inestabilidad de la CS puede apreciarse mediante el conocido efecto látigo, (*bullwhipeffect*, en inglés), el cual indica el aumento en los niveles de variabilidad, en la medida en que escalan las operaciones de las redes, desde los procesos de suministro a los de producción dentro de la CS. (Geary & Disney, 2006) han evaluado diversas causas que pueden originar el fenómeno determinado en principio por Forrester, en 1961.

La variabilidad en la demanda puede amplificarse a medida que se realiza un proceso de transición de uno a otro nivel de la cadena, y pequeños cambios “aguas abajo” pueden generar grandes variaciones “aguas arriba”. Como resultado de ello, la CS en su totalidad puede sufrir distorsiones dadas por cambios en la demanda, en tanto cada empresa dentro de la cadena intenta resolver el problema desde su propia perspectiva. Esta distorsión es conocida como “El efecto látigo”. (Metters, 1997) Figura 2.1.

El estudio de la CS ha sido tomado como un eje fundamental para el desarrollo de la economía, se destacan estudios como los de (Oliver & Webber, 1982) quienes presentan los beneficios potenciales de integrar compras, manufactura, ventas y distribución al

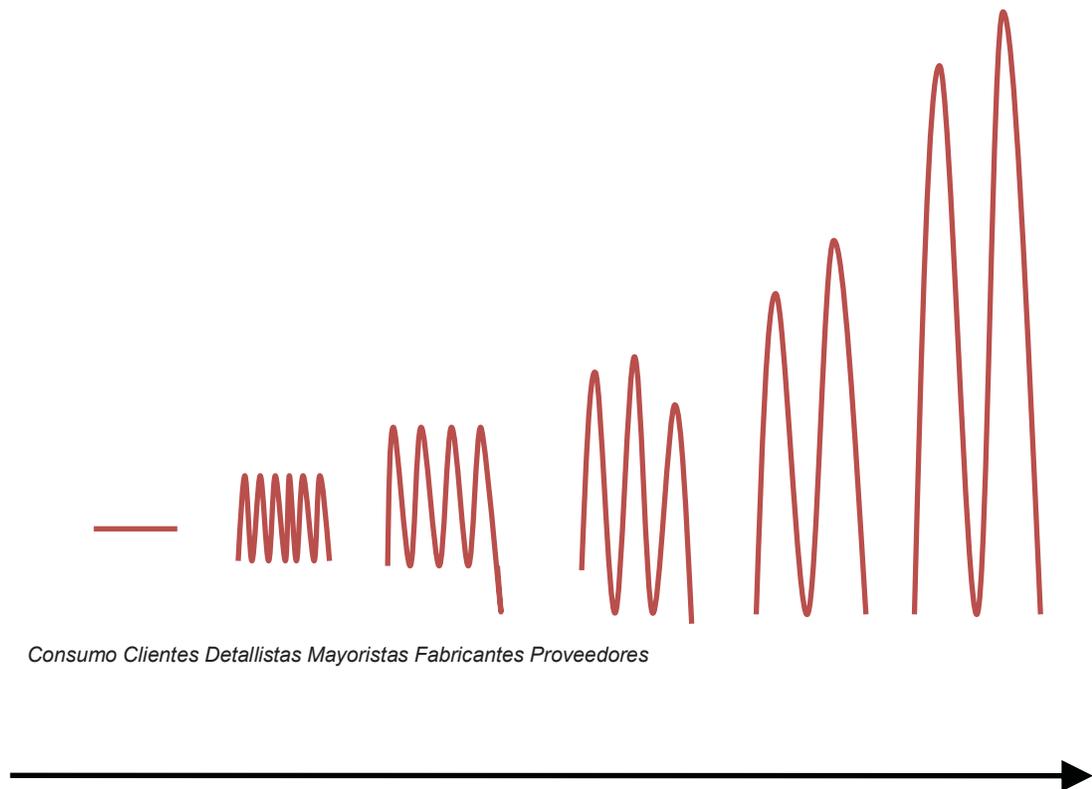


Figura 2-1: Efecto Bullwhip

interior de una CS. (Houlihan, 1987), relaciona el concepto de administración de CS con la descripción de los mecanismos para la administración de materiales a lo largo de los límites organizacionales. (Ellram & Cooper, 1993), plantean la CS como una filosofía de integración para administrar el flujo total en un canal de distribución desde el proveedor hasta el consumidor final. Para (Simchi-Levi & Kamininsky, 2000), la CS es el conjunto de empresas eficientemente integradas por proveedores, fabricantes, distribuidores y vendedores mayoristas o detallistas coordinados que buscan ubicar uno o más productos en las cantidades correctas, en los lugares correctos y en el tiempo preciso, al menor costo para sus integrantes, satisfaciendo los requerimientos de los consumidores.

(Johansson, 2002), define a la CS como un sistema cuyas partes constitutivas incluyen proveedores de materias primas, instalaciones para la producción, servicios de distribución y clientes vinculados mediante el flujo de materiales hacia adelante y el flujo de información hacia atrás. Para (Waters, 2003) la CS consiste en un conjunto

de actividades y organizaciones en donde los materiales se mueven a lo largo de su ruta desde proveedores iniciales hasta consumidores finales. Para (Sucky, 2006) una cadena es considerada una red de diferentes locaciones dispersadas geográficamente, en donde materias primas, productos intermedios, o productos terminados son transformados, y existen vínculos de transporte que conectan las locaciones.

El *Council of Supply Chain Management Professionals* - (CSMP, 2010) define la CS como:
1. Iniciando con materias primas no procesadas y finalizando con los bienes terminados siendo consumidos por el cliente final, la CS enlaza muchas firmas. 2. Los intercambios de materiales e información en el proceso logístico se extienden desde la adquisición de materias primas hasta la entrega de productos terminados al consumidor final. Es así como los vendedores, proveedores de servicio y clientes son los vínculos al interior de la CS. La figura 2-2 muestra los tipos de flujos tipo en la CS.

Según (Kim, Tannock, Byrne, Farr, Cao, & Er, 2004), las CS no siempre se comportan de acuerdo con lo esperado, la variabilidad presente en la demanda debida a distorsiones en la información que fluye entre sus miembros puede convertirse en un problema serio, razón por la cual se le ha otorgado especial importancia a lo largo del tiempo.

El estudio sobre la administración de cadenas de suministro (SCM, por sus siglas en inglés) ha cobrado especial relevancia en las últimas dos décadas, un indicador que puede dar una idea de esta apreciación muestra como tan sólo en una de las bases de datos consultadas se registran 62.968⁶ artículos y libros de producción científica alrededor del tema. Estas evaluaciones han permitido establecer una definición de SCM como:

“La administración de CS abarca la planeación y administración de todas las actividades involucradas en el aprovisionamiento, la obtención y conversión, así como todas las actividades de administración logística. De manera importante, incluye la coordinación y colaboración de los asociados, que pueden ser proveedores, intermediarios, proveedores de servicio (terceros), y clientes. En esencia la administración de CS integra el aprovisionamiento y administración de la demanda al interior y entre las compañías.” (Kuse, Endo, & Iwao, 2010).

⁶ ScienceDirect. consultada en 16 de mayo de 2011

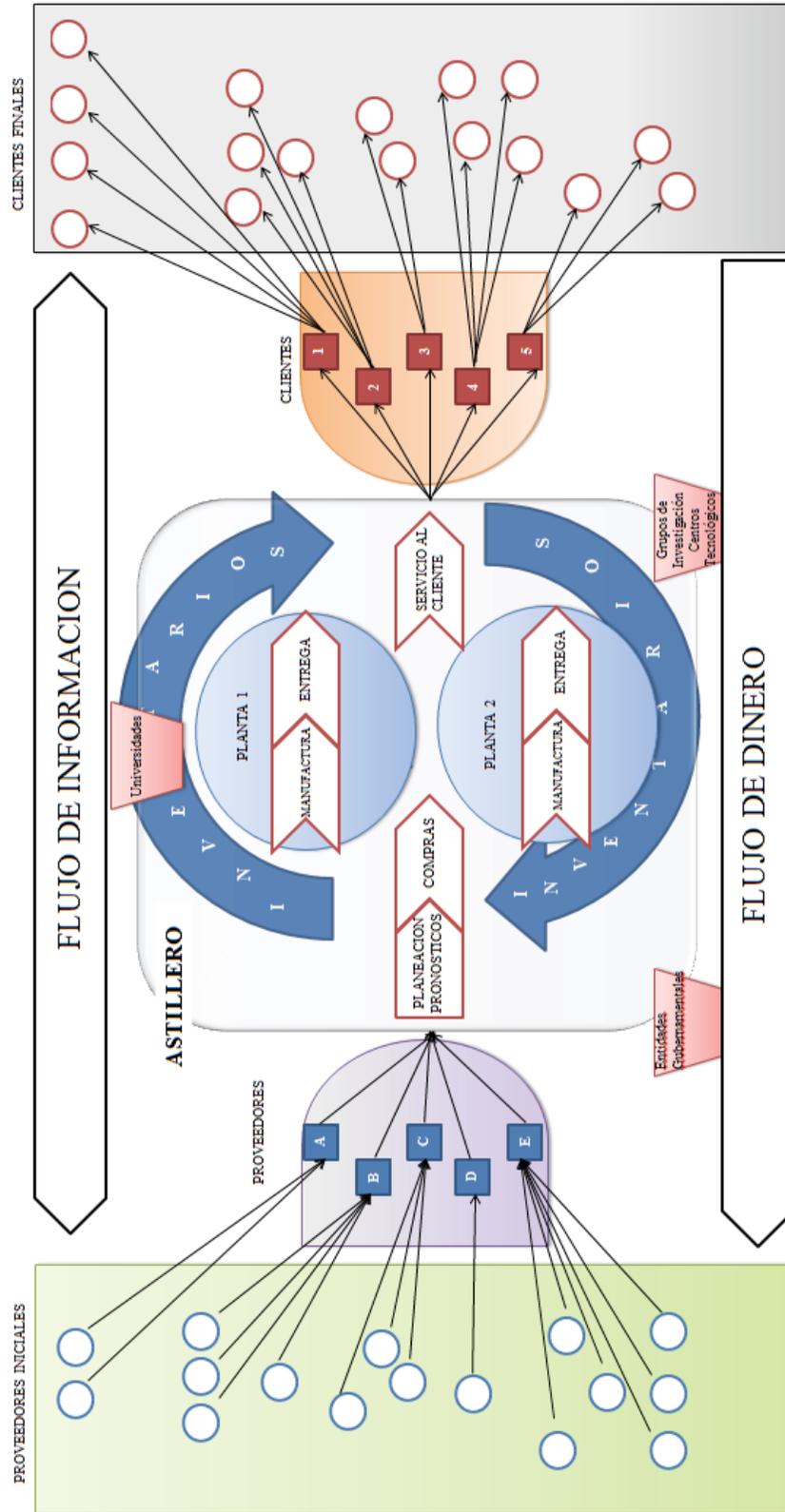


Figura 2-2: Flujos en la CS.

Fuente: Autor

Una definición de logística que permita mostrar tanto los elementos comunes, así como diferenciadores del concepto de SCM es la siguiente:

“Aquella parte de SCM que planea, implementa y controla eficiente y efectivamente el flujo normal y en reversa y el almacenamiento de bienes, servicios y su información relacionada, entre el punto de origen y el punto de consumo con el objeto de satisfacer las necesidades del cliente”. CSCMP (Council of Supply Chain Management professional - CSCMP) citado por (Rushton, Croucher, & Baker, 2006).

Sobre caracterización, identificación de procesos y representación de la CS se resaltan los trabajos de (Huang, Sheoran, & Keskar, 2005); (Persson & Araldi, 2006); (Abdulmaleka & Rajgopal, 2007). Estos investigadores describen en detalle aspectos específicos a considerar para la representación en forma general de una CS, a través del Modelo SCOR (*supply Chain Operation Reference Model*) y el VSM (*Value Stream Mapping*).

Un escenario relevante para la investigación es aquel donde por lo menos un agente de la CS funciona bajo un **sistema de producción por proyectos**, que tiene condiciones especiales, afectando la gestión de su CS. Al no tratarse de un sistema tradicional, pueden presentarse tensiones competitivas, por lo que es necesario considerar elementos relacionados con técnicas de negociación (Peña-Mora, 1998). Diversos autores que han analizado el tema, lograron detectar la presencia de ineficiencias a nivel logístico como consecuencia de la falta de comunicación e integración entre los agentes, conllevando a desperdicios de material y pérdidas de tiempo innecesarias.

Autores como (Vrijhoef & Koskela, 2000), (Ghiassi & Spera, 2003), (Brewton & Steller, 2003), han resaltado la importancia de profundizar en el estudio de técnicas para el mejoramiento de los procesos logísticos en sistemas productivos por proyectos, orientados a una mayor integración entre los agentes participantes de sus CS. (Gunasekaran & Ngai, 2005) plantean la necesidad de considerar factores económicos, fuerzas del mercado, y factores competitivos en la formulación del modelo de negocio, y de estrategias de SCM asociadas, considerando sus condiciones particulares, que difieren ampliamente de los sistemas tradicionales, y además, no han sido estudiadas a profundidad.

Otros aspectos a considerar en la CS, son la información y la gestión del servicio. A nivel logístico, la información es un componente fundamental en el accionar de las empresas

del mundo real, siendo apropiada para conocer qué ocurre en los eslabones inferiores y superiores de la CS, y así reducir la incertidumbre asociada. Permite medir, conocer y mejorar las operaciones organizacionales, sirviendo de soporte al objetivo de optimizar los resultados. Goldsby et al. (2005), Paletta et al. (2008) conceptualizan los sistemas de información y comunicaciones como el conjunto de actividades y soluciones producidas por una fuente computacional y con aplicaciones en muchas áreas. Las tecnologías de la información y las comunicaciones denotan el conjunto de recursos automáticos dedicados al almacenamiento, procesamiento y comunicación de la información, así como al modo como estos recursos están organizados bajo un sistema ejecutor.

Las tecnologías de la información asociadas a logística se dividen en cuatro familias básicas. La primera hace referencia a aquellas tecnologías destinadas a la captura y transferencia de la información (internet, banda ancha, EDI, XML), la segunda, al almacenamiento y a la recuperación de la información (bases de datos), la tercera a la identificación y entrega de información (códigos de barras, identificación por radiofrecuencia-RFID, bandas magnéticas y tarjetas ópticas, sistemas de posicionamiento global-GPS, sistemas *voicepicking*, sistemas *pick to light*, y *visión picking*, OCR y reconocimiento visual artificial), y la última, a la manipulación, administración y reporte de la información.

Es importante considerar la función de servicio al momento de caracterizar e intervenir cualquier CS, más aún cuando una cadena “es considerada efectiva en tanto puede cumplir con los cambiantes requerimientos de los clientes”. (Duglosz, 2010). Cada compañía que compone una CS, actúa a la vez como proveedor y cliente, es decir debe explorar las necesidades del siguiente eslabón, considerando que el servicio al interior de un sistema logístico está relacionado con tres componentes principales: disponibilidad del producto, desempeño operacional y confiabilidad del servicio. (Bowersox, Closs, & Cooper, 2002).

2.2 RELACIONES DE PODER AL INTERIOR DE LA CS

La coordinación al interior de la CS puede tener éxito en el marco de la confianza y de la existencia de adecuados mecanismos de administración de sus relaciones de poder. La ausencia de confianza hace que las firmas se abstengan de colaborar con

sus asociados (Fawcett & Magnan, 2002); el sostenimiento de dicha cooperación está condicionado por el poder presente en la CS (Jaber & S.K., 2008). La confianza en este contexto se define como “el grado en el que una firma cree que su asociado es honesto y/o benévolo” (Geyskens, Steenkamp, & Kumar, 1998).

Ha sido posible identificar beneficios de la confianza entre miembros de la CS, como medio para mantener la cooperación y reducir los conflictos (Speakman, Kamauff, & Myrh, 1998); apoyar la reducción del riesgo percibido tras el incremento de la confianza (Das & Teng, 1998), así como la disposición de las empresas para compartir información y trabajar de forma conjunta en la coordinación de sus procesos desde el interior de cada compañía hacia la cadena en su totalidad (Yan, Selen, Zhang, & Huo, 2008).

Sobre las relaciones de poder, éste es conocido como “la habilidad que presenta un miembro de la cadena para influenciar el comportamiento y las decisiones de otros” (Cox, 2001). Puede ser utilizado por los miembros de la cadena para incrementar la integración, o intensificar la dependencia de un integrante frente a otro. Así, los compradores buscan mecanismos para restar la dependencia de sus proveedores. Investigadores como (Brown, Lusch, & Nicholson, 1995, Maloni & Benton, 2000) y (Benton & Maloni, 2005) han estudiado los efectos negativos de ejercer poder coactivo, en tanto genera en los integrantes de la cadena que no tienen el poder reacciones oportunistas, que dificultan la labor de coordinación. En la figura 2-3, se presentan algunas relaciones de poder y los propósitos de las mismas.

Otra fuente de poder la constituye aquella que no se basa en la mediación presente de forma natural entre eslabones de la cadena. Estas no requieren de algún tipo de intención por parte de la fuente que ejerce el control, quien puede no percatarse de la existencia de la base de poder. (Brown, Lusch, & Nicholson, 1995) (Maloni & Benton, 2000).

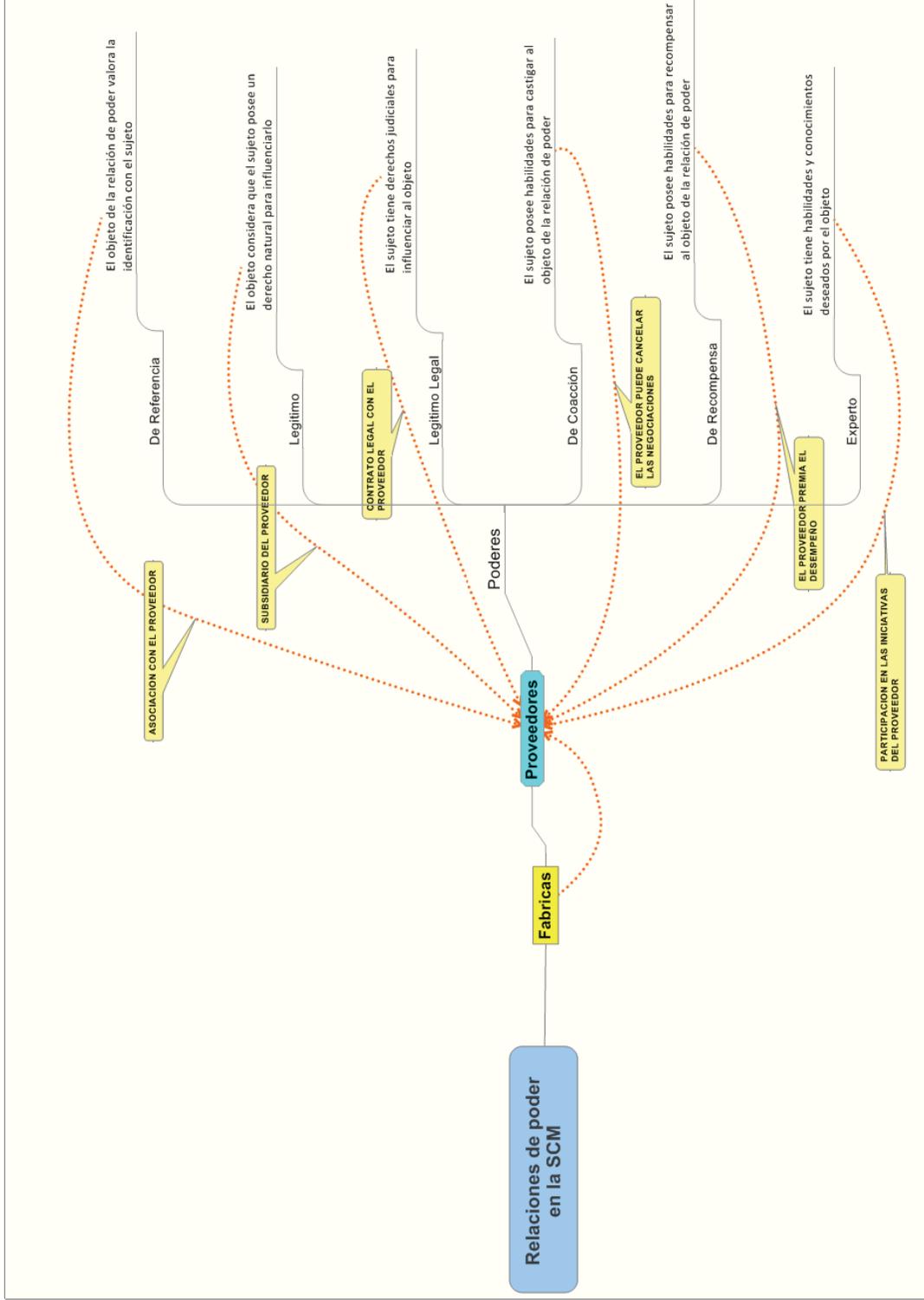


Figura 2-3: relaciones de poder en una CS.

Fuente: Autor a partir de la información de (Maloni & Benton, 2000)

2.3 TEORÍAS Y ENFOQUES

En las últimas dos décadas se han venido configurando diferentes enfoques en CS así:

Gestión del riesgo, vulnerabilidad y resiliencia en las CS. (Christopher M., 2002) la define como aquella gestión de los riesgos externos a través de un enfoque coordinado entre los miembros de la CS para reducir su vulnerabilidad. De acuerdo con (Rao & Goldsby, 2009) los investigadores de negocios utilizan el término riesgo para referirse a algún tipo de variación negativa con respecto al desempeño.

Autores como (Ponomarov & Holcomb, 2009), (Sheffi, 2007) y (Christopher & Peck, 2004) incorporan el término resiliencia en la gestión de la CS, definida como su capacidad de adaptación para prepararse frente a acontecimientos inesperados, responder a las interrupciones, y recuperarse de estos, manteniendo la continuidad de las operaciones en el nivel deseado. Los procesos de resiliencia son flexibles, ágiles y cambiantes. La vulnerabilidad de la CS se presenta como una exposición a las perturbaciones graves que pueden afectar su desempeño (Wagner & Neshat, 2010). En este sentido, las posibles pérdidas en que podría incurrir la empresa son el resultado de dicha vulnerabilidad.

La gestión de riesgos de la cadena de suministros (SCRM- siglas en inglés) se define como la administración de los riesgos presentes en la CS, a través de la coordinación y colaboración entre las organizaciones que la conforman, con el objetivo de garantizar la rentabilidad y continuidad de sus negocios (Tang 2006). Es común la asociación que se realiza entre riesgo e incertidumbre, incluso ha llegado a considerarse similar. El riesgo puede representar la posibilidad de que un evento inesperado ocurra y afecte negativamente las actividades de una organización o impida que éstas se realicen de acuerdo a lo planeado; la incertidumbre se relaciona con la falta de información y el poco conocimiento sobre el comportamiento de una situación específica. La incertidumbre implica riesgos; es decir, no se tiene certeza de lo que realmente ocurrirá en el futuro (incertidumbre) y por tanto existe la probabilidad (riesgo) de que un evento adverso ocurra (Khan y Burnes 2007).

Para Manuj and Mentzer (2008), la SCMR comprende la identificación y evaluación de los riesgos y consecuencias en las CS y la implementación de las estrategias apropiadas a través de un enfoque colaborativo con los demás socios de la cadena, con el objetivo final de reducir las pérdidas, la probabilidad de ocurrencia, la duración del evento, el

tiempo necesario para la detección, la frecuencia y la exposición. Faisal et al. (2006) definen los siguientes elementos que facilitan la efectiva SCMR: Compartir información, agilidad en la CS, confianza entre los actores de la cadena, relaciones de colaboración entre los actores de la cadena, seguridad de la información, responsabilidad social empresarial, alinear las políticas de repartición de ganancias entre los actores de la cadena de suministro, planeación estratégica del riesgo, compartir el riesgo entre los actores de la cadena, conocimiento sobre los riesgos de la cadena de suministro, análisis y evaluación continua del riesgo.

Los riesgos que afectan a la CS son múltiples y muy diversos. Tang (2006) clasifica los riesgos de la cadena de suministro en dos tipos. Riesgos operacionales y de disrupción. Para Chopra y Sodhi (2004) la clasificación de los riesgos de la CS son: Demoras, disrupciones, riesgos en sistemas, riesgos en los pronósticos, riesgos de propiedad intelectual, riesgos de suministro, riesgos en las cuentas por cobrar, riesgos de inventario y riesgos de capacidad.

CS lean (LSC, por sus siglas en inglés). Está orientada a proporcionar valor al cliente a través de la optimización del desempeño de la CS, siendo especial para demandas estables y un portafolio no tan amplio de productos. Los objetivos relevantes apuntan a reducir costos y desperdicios, estandarizar procesos y productos, generar capacidad de aprendizaje en la evolución y crear colaboración entre las empresas de la CS. Una LCS requiere seguimiento constante de los requerimientos de clientes y una reducción en el ciclo de vida de los productos. (Booth, 2006).

La dirección de la cadena “enfatisa en las interacciones de la logística que tienen lugar entre las funciones de marketing, logística y producción en una empresa, y las interacciones que se llevan a cabo entre empresas independientes legalmente dentro del canal de flujo del producto” (Ballou 2004). De esta forma, dentro de la SCM la logística tiene un rol importante al ser el proceso “que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficientes y efectivos de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes”⁷. Igualmente, el concepto de logística es amplio y su

7 Normas del Consejo de la Dirección Logística. En línea. Disponible en: <<http://www.clm1.org>>

aplicación ha evolucionado de acuerdo a los objetivos estratégicos planteados dentro de la SCM. Dos perspectivas usadas en el desarrollo de dichas operaciones son la Logística Esbelta (Lean Logistics) y la Logística Verde (Green Logistics).

La logística esbelta o “Lean Logistics” se basa en los principios de la manufactura esbelta. En ella se busca agregar valor, eliminando todo desperdicio interno y externo a la cadena de suministro por medio de la reducción de inventarios excesivos, tiempos de entrega y costos innecesarios (Hines et al. 2004; Christopher & Towill 2000). Se utiliza una estrategia de “halar” y no de “empujar”, lo que implica un sistema reactivo que hala el flujo de material aguas abajo en la cadena de suministro solo cuando surge la orden de un cliente, lo cual a su vez genera un flujo de información aguas arriba (Klaas-Wissing 1998). En este orden de ideas, el impacto del uso de Logística Esbelta en la cadena de suministros es positivo siempre y cuando todos los actores dentro de la red cumplan con la función que se les ha planteado.

Otra perspectiva usada en la SCM es la logística verde o “Green Logistics”, la cual busca reducir el impacto negativo medioambiental que tienen algunos procesos dentro de la cadena de suministro. Por ejemplo, una correcta planeación de rutas no solo optimizaría el traslado de la mercancía, sino que también ayudaría a reducir la emisión de gases que generan los vehículos al momento del transporte. Adicionalmente, la Logística Verde está relacionada con las operaciones que se llevan a cabo en la cadena de suministro en reversa, muchas veces llamadas Logística Inversa. La Logística Inversa incentiva la recuperación, tratamiento y la eliminación de residuos y desperdicios producidos por compañías, lo cual es muy importante a la luz de las políticas medioambientales. Algunas actividades ejecutadas al momento de implementar este modelo son la reparación, re-manufactura y re-venta de productos devueltos y materiales recuperados (vidrio, madera, papel, metal, etc.) (De La Fuente et al. 2008). Para el caso de la re-manufactura se busca recuperar el valor que aun está incorporado en los productos usados (por ejemplo partes de máquinas), mientras que en la reparación se restauran productos o elementos que tienen fallas debido a que ya se han usado, posiblemente con una pérdida de calidad (por ejemplo, botellas, pallets y containers) (Fleischmann et al. 1997). Este modelo no sólo representa beneficios ambientales sino también económicos, ya que promueve la calidad, innovación y mejora la productividad en la cadena de suministro de las empresas (Pokharel & Mutha 2009).

Así mismo como se busca generar una ventaja competitiva a través de herramientas en la SCM, las exigencia del mercado y la interacción entre empresa-ambiente, también compromete a tener una cadena de suministro sostenible, donde se adquiere una conciencia en la administración de los recursos, y se introduce el nuevo concepto de *Green logistics* o logística verde. Desde comienzo de los noventas regulaciones medioambientales y conciencia en los consumidores han fomentado en muchas compañías adicionar el componente medioambiental a la administración de la cadena de suministro (Ubeda, Arcelus, & Faulin, 2011).

Estos tipos de aplicación logística han recibido una creciente atención por parte de la comunidad académica y empresarial, debido a los cambios en los requerimientos del mercado, las políticas gubernamentales y la necesidad de generar una ventaja competitiva sostenible en el tiempo. La logística esbelta busca reducir todo desperdicio que se traduzca en aumento de costos, mientras que la logística verde tiene como finalidad comprometer a las empresas en la disminución de los impactos medioambientales que causan sus distintas operaciones y productos. De esta forma la administración de la cadena de suministros se convierte en algo esencial en donde cada eslabón cumple una función importante, la cual debe ser gestionada para asegurar la efectividad de la cadena en general.

CS ágil (ASC, por sus siglas en inglés). Esta tipología aplica a ambientes con una gran variedad de productos ofertados y demandas no estables (Waddington, 2003), requieren de novedosas tecnologías, métodos, herramientas y técnicas para resolver problemas imprevistos. Una ASC debe orientar sus esfuerzos en cumplir dos competencias internas: automatización de procesos y capacitación y empoderamiento de empleados (Yusuf, Gunasekaran, Adeleye, & Sivayoganathan, 2004).

CS totalmente flexible (FFSC, por sus siglas en inglés). Esta CS es apropiada cuando hay gran cantidad de productos que comparten algunas características básicas y se pueden fabricar en la misma línea de producción (Santa-Eulalia, Bezerra de Araujo, Kettani, Franciosi, Cambiaghi Azevedo, & Bremer, 2009). Tiene capacidad para adaptarse a la demanda cambiante de clientes y de menores tiempos de entrega. La propuesta de valor de la FFSC consiste en la satisfacción de la demanda no planeada o imposible de planear mediante soluciones innovadoras, entregas extra rápido con intervención

humana extensiva y estrategias de despliegue utilizadas para mejorar la capacidad de respuesta al cliente en una base selectiva (Gattorna, 2009).

CS de reaprovisionamiento continuo (CRSC). Se concentra en la zona colaborativa con demanda predictiva, y su mayor énfasis es mantener las relaciones con los clientes más leales que fácilmente podrían representar el 80% de la rentabilidad. El proceso de administración del cliente es clave en esta situación y requiere ser soportada en estrategias como gestión de relaciones con el Cliente (CRM, sigla en inglés), Inventario gestionado por el proveedor (VMI, sigla en inglés), Collaborative, Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR) y Gestión de relaciones con proveedores (SRM, sigla en inglés).

CS híbridas (HSC, sigla en inglés). Conocida como Leagile Supply Chain, no es un enfoque más sino una combinación del esquema Lean y Agile, basado en una producción robusta con una respuesta rápida (Christopher M., 2000).

2.4 COORDINACIÓN ENTRE AGENTES DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Un rasgo relevante en las definiciones de SCM y logística está relacionado con la coordinación entre sus integrantes, con el fin de dar respuesta a las necesidades del mercado. Los procesos de coordinación llevan implícito un grado de complejidad determinado por la condición inherente a las CS en donde sus agentes desean maximizar sus propias ganancias de forma independiente.

Cada uno de los actores de la CS toma sus propias decisiones, buscando los mejores resultados en aprovisionamiento, producción, almacenamiento y distribución. En consecuencia, surge la necesidad de aplicar estrategias de coordinación en CS. En este contexto se entiende por coordinación a “la acción de administrar las dependencias entre entidades y el esfuerzo conjunto de las mismas, trabajando hacia el cumplimiento de unas metas conjuntamente establecidas”. (Malone & Crowston, 1994).

Escenarios de coordinación en la cadena de suministro. Una CS está compuesta por procesos de abastecimiento, almacenamiento, distribución, servicios, relaciones intra e inter-organizacionales, y medidas de desempeño, (Arshinder & Deshmukh, 2008), siendo preciso comentar los posibles escenarios de coordinación que se dan en estas cadenas, y de esta forma identificar las interrelaciones dadas.

Proveedor-comprador: (Goyal & Yash, 1989) sugieren que la coordinación entre proveedor y comprador puede ser mutuamente beneficiosa. Los estudios se centran en determinar el tamaño óptimo de la orden para las dos partes, lo cual puede producir incrementos en ganancias, que pueden ser repartidas en partes iguales. Las decisiones que tome un agente en esta relación proveedor-comprador afectarán de inmediato a su contraparte y por lo tanto al vínculo existente entre los dos. Por ejemplo, los vendedores prefieren recibir grandes órdenes de aprovisionamiento, en tanto reducen costos de procesamiento, alistamiento y distribución, mientras que los compradores prefieren adquirir el tamaño de su orden óptima pues cualquier desviación puede generar incrementos en sus costos de pedir y de mantener inventarios.

Distribución-inventario: este sistema considera las relaciones de interacción entre la administración de inventarios, ubicación de instalaciones y determinación de políticas de transporte, enmarcado dentro de una red de distribución, en donde un problema central de diseño es balancear el suministro y la demanda de la forma más económica, para lo cual es necesario encontrar mecanismos de toma de decisiones relacionadas con: i) ubicación de instalaciones, sus capacidades y asignación de acuerdo con la demanda. ii) políticas de transporte, que implica la selección del medio de transporte y su característica (contratada, propia), tamaños de carga y su frecuencia de envío. iii) administración de inventarios, a nivel de la definición de sus niveles y su ubicación en las diferentes instalaciones. (Jayaraman, 1998)

Compra-producción: este escenario se relaciona con el manejo efectivo del flujo total de bienes desde la compra de materias primas hasta la entrega de productos terminados a los clientes. A su interior intervienen un conjunto de elementos de gran complejidad tales como producción, inventarios y programación, que deben ser administrados eficientemente, en cuyo contexto la estrategia de dividir el problema en sus componentes y tratarlos por separado, es útil en los problemas de optimización, debe complementarse con la utilización de adecuados mecanismos de coordinación.

2.5 NIVELES DE DECISIÓN EN LA COORDINACIÓN DE AGENTES DE LA CS

2.5.1 Nivel estratégico

Se describen estrategias, reglas modelos y tipos de decisiones que a este nivel son considerados.

Definida la coordinación en la CS como una relación entre firmas orientada hacia la administración del riesgo y la capacidad para compartir recompensas, buscando un mejor desempeño para todos sus miembros (Lambert, Emmelhainz, & Gardner, 1999); se tiene una visión desde la responsabilidad conjunta, en donde la logística debe integrar actividades de las CS interrelacionadas a través de diferentes grados de autoridad y responsabilidad a nivel organizacional (Ballou, Gilbert, & Mukherjee, 2000), donde estos aspectos axiológicos (responsabilidad, autoridad) son fundamentales para formular directrices corporativas.

En la coordinación al interior y entre organizaciones, se desarrollan diferentes perspectivas, alrededor de organizaciones unpersonales, organizaciones basadas en equipos y organizaciones cuyos nexos están basados en contratos (Whang, 1995), acuerdos que son considerados vitales en la configuración de estrategias, políticas y reglas de negociación. La cooperación entre firmas independientes que pueden llegar a compartir recursos y capacidades para cumplir con las necesidades críticas de sus clientes, es determinante gracias a la identificación de aquellas oportunidades de obtención de ganancias que no podrían ser logradas sin trabajar de forma conjunta (Narus & Anderson, 1996). Es importante adaptar el concepto de mutualismo a la naturaleza de las interdependencias en una CS, en donde la coordinación es un prerequisite para la integración y el logro tanto de los objetivos conjuntos como de aquellos particulares a cada firma (Simatupang, Wright, & Sridharan, 2002).

Medios de apoyo para una efectiva coordinación incluyen los sistemas de información y comunicación. Por ejemplo para la realización conjunta de actividades de planeación y desarrollo del producto, intercambio de datos, demandan sistemas de información integrados, además de pretender una división equitativa de los riesgos y beneficios que se

produzcan en la CS (Larsen S. , 2000). La coordinación al interior de una CS se concibe como un medio para rediseñar la estructura del flujo de recursos para alcanzar un mejor desempeño (Lee H. , 2000). Siendo importante analizar el valor que representa para una CS contar con procesos de intercambio de información y coordinación del flujo físico (Sahin & Robinson, 2002).

Decisiones a nivel estratégico dentro del marco de los acuerdos, contratos, políticas, estrategias, axiología se encuentran aquellas que tienen relación con ubicar centros de distribución o bodegas entre otros.

La localización de instalaciones, bodegas, puntos Crossdocking en la configuración de CS contempla el dimensionamiento y sus ubicaciones de acuerdo a proyecciones de mercado, incluye horizontes de planeación en tiempo finito con periodos discretos en la mayoría de los casos. Se hace necesario replantear el problema acercándolo a situaciones reales del contexto empresarial. El problema de localización y dimensionamiento se transforma en un problema multiperiodo (dinámico), con proyecciones de mercado estocásticas, en un horizonte de tiempo finito con unidades discretas, y en el cual se manejan varios tipos de productos y/o servicios dentro de instalaciones que cuentan con una capacidad variable, sujeta de ser modificadas durante el horizonte de planeación.

Es posible identificar algunos problemas típicos en la localización de instalaciones (Ortega & García, 2005): ubicación de instalaciones con capacidad limitada (mono o múltiple), o con capacidad ilimitada, con capacidad dinámica (limitada e ilimitada) y el problema de ubicación de instalaciones limitada múltiple y multi periodo. Al considerar demandas estocásticas que se comportan de acuerdo a una función de densidad de probabilidad o estimaciones de carácter cualitativo con funciones de pertenencia asociadas a la precisión de las estimaciones, estos problemas varían significativamente inclusive en instancias pequeñas. Al contemplar la incertidumbre en los modelos citados, el objetivo común es optimizar el valor esperado de los resultados del sistema, elegir las ubicaciones de instalaciones, determinar capacidades, y decidir que clientes servir y desde cuáles instalaciones para maximizar los beneficios esperados resulta altamente complejo (Snyder, 2006).

Al desarrollar extensiones de estos problemas para el contexto de las CS los modelos se transforman en problemas de múltiples niveles, aumentando el grado de dificultad

para su formulación y solución. Así mismo es posible considerar múltiples criterios para la localización y el dimensionamiento, como los beneficios, costos, oportunidades, cubrimiento, niveles de servicio, accesibilidad, conveniencia, asuntos políticos, regulaciones y riesgos (Farahani, SteadieSeifi, & Asgari, 2010).

Contemplando múltiples niveles, periodos y criterios, los problemas de localización y dimensionamiento de instalaciones son de naturaleza *Np-hard*, siendo problemas de grandes instancias debido al número posible de combinaciones que demanda su solución, requiriendo el desarrollo y aplicación de técnicas específicas en función de la instancia del problema a tratar. El desarrollo de estos modelos se centra en la inclusión de condiciones restrictivas como el uso de inventarios de seguridad, demandas estocásticas, economías de escala (en términos del transporte), combinación de inventarios, logística de reversa, entre otros (Manzini & Gebennini, 2008).

Sobre técnicas de solución para estos problemas se acude a la programación lineal, programación lineal entera mixta, programación dinámica, programación multicriterio, programación meta, programación cuadrática, relajación lagrangiana, programación estocástica, algoritmos genéticos, técnicas heurísticas como algoritmos de búsqueda local, recocido simulado, y en algunos casos a técnicas analíticas como AHP, entre otros (Ortega & García, 2005; Snyder, 2006).

Para la localización multi período, se tiene el caso que corresponde a la activación general de la infraestructura para todo el horizonte de planeación. Este es derivado de la formulación *p-median problem* propuesta por (Current and Weber 1994) en la cual se garantiza la demanda satisfecha y se fija el número de las instalaciones a construir a un nivel determinado (siendo este nivel un número entero). Aunque en general, las decisiones sobre localización de infraestructura se llevan a cabo para horizontes de tiempo de largo plazo, otros casos se pueden generar a partir de la inclusión de una dinámica en cuanto a la relocalización, redimensionamiento o rediseño de la infraestructura propuesta, como los presentados por (Roy and Erlenkotter 1982). Un caso factible de ser desarrollado corresponde aquel cuando la infraestructura no debe ser construida necesariamente desde el período inicial, sino que puede darse su habilitación en cualquiera de los períodos del horizonte.

Otro escenario, que puede representar una serie de inconvenientes logísticos y de sobre costo, representa una situación en la cual se puede habilitar y deshabilitar dinámicamente cualquiera de los potenciales centros de acopio para limitar su uso en cualquier subconjunto de períodos (Klose and Drexel 2005).

2.5.2 Nivel táctico

Dentro de los mecanismos, estrategias y modelos de coordinación de actores a nivel táctico resulta determinante el flujo físico (inventarios) el tratar de identificar cuándo, cuánto, en qué medio y qué combinación de productos entre otros, es una actividad en constante desarrollo.

Se han propuesto distintos modelos de negociación entre proveedores y compradores, por ejemplo dependiendo de las políticas de producción de los proveedores, considerando que generalmente un comprador establece una política independiente basado en el EOQ (*Economic Order Quantity*); generando con ello consecuencias desfavorables en las políticas de producción del proveedor. Por tanto, éste debe incentivar a sus compradores con políticas de descuento para estimular la coordinación (Sucky E., 2005). También se construyen modelos de negociación con información asimétrica sobre la estructura de los costos de los compradores, asumiendo que éstos tienen el poder de imponer su política individual, teniendo en cuenta que la implementación de políticas conjuntas requiere de coordinación y cooperación en la CS, y que ello es fruto de una negociación en donde las partes hacen concesiones (Sucky E., 2006).

(Pibernik & Sucky, 2007): Consideran importante para una CS determinar las cantidades de producción e inventario para todos los eslabones, generalmente la planeación en la cadena descentralizada se hace “aguas hacia arriba”, generando respuestas sub-óptimas. Por lo tanto desarrollaron un modelo de centralización parcial, que pueda generar beneficios repartidos entre los actores de la misma (Schwarz, 1973) complementa los trabajos desarrollados por Wagner *et al.* (1958) y Zangwill (1969) sobre CS centralizadas con demanda determinista. Sugieren la existencia de una solución óptima basada en políticas de tamaño de lote bajo restricciones de ausencia de inventarios, órdenes de último minuto e intervalos estacionarios de reaprovisionamiento.

Se han desarrollado políticas óptima para un sistema de inventario integrada de un comprador y un vendedor, bajo restricciones de tamaño en los lotes transferidos, y la capacidad de transporte. El modelo está dirigido a CS centralizadas, cuyo objetivo es reducir al mínimo los costos totales conjuntos anuales (Hoque & Goyal, 2000).

También se analizan una CS cuya demanda depende del nivel de inventario. La cadena es descentralizada, de forma que se utilizan conceptos de teoría de juegos para determinar cómo el fabricante establece el precio al por mayor del producto y cómo el minorista determina la cantidad de orden. Es incluido un esquema de descuento de cantidad para inducir al minorista a aumentar la cantidad de pedido para maximizar el beneficio del fabricante, mostrando resultados útiles en el objetivo de coordinar la CS (Zhou & W.C, 2007). Otro aspecto son los trabajos en un ambiente de coordinación al interior de una CS descentralizada de dos niveles. Se demuestra que la existencia de equilibrio en la función de minimización de costo en donde un centro de distribución administra el inventario de los bienes terminados. Mediante teoría de juegos se analizan los equilibrios en ambientes competitivos en virtud de las limitaciones en las estrategias de los jugadores. Esto significa que las medidas adoptadas por uno de los jugadores limitan las opciones posibles de los otros jugadores (Romero & Vermeulen, 2009).

Sobre mecanismos como activadores de las estrategias se abordan el tema de coordinación en una cadena donde el proveedor ofrece descuentos por cantidad utilizando un mecanismo de intercambio de información, concediendo a sus compradores el conocimiento de sus parámetros de costo. El proveedor considera que una vez los compradores conocen dichos datos, pueden solicitar un adelanto del descuento ofrecido (Karabati & Sayin, 2008). También se desarrolla un modelo de descuento de cantidad para coordinar una CS entre un proveedor y un comprador. Proponen un ajuste de riesgo del comprador que permite compartir dicho riesgo en casos de abastecimiento excesivo temporal bajo niveles de demanda incierta (Shin, Benton, & Jun, 2009).

Existen técnicas como la lógica difusa utilizada como medio para coordinar efectivamente acciones entre actores de la CS. (Petrovic, Xie, Burnham, & Petrovic, 2008), evalúan aplicaciones e incidencias de la lógica difusa para atender parámetros (demanda, costos, tamaño de pedido) que pueden tener un comportamiento impreciso en la CS. (Jaber & S.K., Coordinating a three-level supply chain with multiple suppliers, a vendor and

multiple buyers, 2008) investigan sobre la coordinación en una CS centralizada de tres niveles. Proponen un modelo donde se garantiza que los costos de los actores en la cadena se mantienen constantes, o disminuyen como resultado de su implementación, que genera ahorros distribuidos de manera equitativa.

Se conocen planteamientos alrededor de los sistemas integrados de adquisición de productos, estableciendo mecanismos para determinar: número de productos, horizontes de planeación y métodos de solución empleados, además de algunos elementos relacionados con el reaprovisionamiento conjunto (Goyal & Deshmukh, 1992). También se presentan modelos de coordinación basados en vínculos de planeación de aprovisionamiento y producción, planeación de producción y distribución, y planeación de la distribución y administración de inventarios (Bhatnagar, Chandra, & Goyal, 1993).

(Hoyt & Huq, 2000) analizan el proceso de creación de relaciones entre un comprador y un proveedor desde la perspectiva de la teoría de costos de transacción, la aplicación de estrategias de negocio y las teorías de administración de recursos en la firma.

(Larsen, Thernoe, & Anderson, 2003), sugieren que un proceso de coordinación entre los miembros de una CS es efectuado siempre y cuando dos o más de dichos miembros desarrollen actividades de manera conjunta y construyan pronósticos sincronizados, determinando cuáles procesos de producción y aprovisionamiento deben desarrollarse. Para (Hill & Omar, 2006) la coordinación puede alcanzarse cuando los miembros de una CS minimizan de forma conjunta los costos de operación y comparten los beneficios luego de planear la producción y sus políticas de programación de operaciones; así como (Sarmah, Acharya, & Goyal, 2006) sugieren que la coordinación entre dos unidades de negocio se convierte en un medio importante para lograr ventajas competitivas en tanto que disminuye los costos de la CS. Los autores estudian modelos de coordinación utilizando descuentos por cantidad comprada.

Otros estudios (Benton & Maloni, 2005), prueban empíricamente las influencias de poder en la CS sobre la satisfacción del proveedor, analizando la industria del automóvil.

En este contexto de la coordinación de agentes o sistema propios de la CS son sobresalientes los estudios focalizados en aspectos tácticos-operativos, con desarrollos

amplios de situaciones y modelos con aportes significativos. En esta parte trascendental de la actividad cotidiana, operativa las reglas de negociación puntuales, los mecanismos de coordinación son necesarios e importantes de atender, siendo relevantes los aportes de (Sucky E., 2005), dadas las bondades de sus resultados sobre coordinación entre un proveedor y un comprador incluyendo relaciones de poder.

2.5.3 Coordinación del flujo de inventarios entre agentes y relaciones de poder

El inventario es un elemento crítico dentro de la SCM, ya que éste puede impactar directamente los costos y además el nivel de servicio al cliente. Es por ello, que se han desarrollado amplios estudios alrededor de la coordinación de los inventarios entre actores de la CS. Sin embargo, esta no es una tarea sencilla, ya que las políticas entre los diversos miembros de la cadena pueden ser contradictorias y la existencia de múltiples niveles y miembros dentro del sistema lo hacen más complejo. Algunos estudios analizan la coordinación de inventarios en ambientes centralizados o descentralizados, con distintas variaciones en la configuración de la CS.

Dentro de los parámetros relevantes para establecer la coordinación se encuentran sus costos, que se clasifican en (Silver, Pyke, & Peterson, 1998): variable unitario, mantenimiento del inventario, pedir, faltante y el costo en el que se incurre en el corto plazo por capacidad insuficiente o por evitar incurrir en ella. Los sistemas de control de costos corresponden a una categoría especial que incluye los costos de operación de un sistema especial, considerando costos por adquisición, almacenamiento, mantenimiento y computación de la información, y costos intangibles relacionados con el personal (capacitaciones, interpretación de resultados, entre otros).

De acuerdo con (Arshinder & Deshmukh, 2008) las decisiones a tomar en la CS en relación con los inventarios son: determinar cuánto y cuándo ordenar, el punto de re-orden y el reabastecimiento de inventarios. Los factores a tener en cuenta para ello son: el comportamiento de la demanda (determinística o estocástica), los miembros que componen la CS, el tiempo de espera para reaprovisionamiento, el horizonte de planeación, los costos, la ubicación geográfica y el *Lead time*.

Coordinación de inventarios en CS descentralizadas. Considerando que cada uno de los miembros de la CS actúa en forma independiente para tratar de optimizar su desempeño, apuntando a sus metas propias, la idea de la coordinación en este tipo de cadenas trata de alinear los objetivos independientes de los diferentes integrantes (Li & Wang, 2007).

(Romero & Vermeulen, 2009) plantean la existencia de un equilibrio en una cadena descentralizada de dos niveles, en donde los proveedores deben tomar decisiones partiendo del conocimiento de las políticas de inventarios de sus clientes. Otros estudios, han evaluado el tema de coordinación en aquellos sistemas donde no se comparte información entre los miembros de la cadena (Chu & Leon, 2008).

Coordinación de inventarios en CS centralizadas. En este contexto la existencia de sistemas de intercambio de información es clave en tanto permite a uno y otro actor de la cadena tomar decisiones con base en el conocimiento acerca de la situación de los demás miembros. (Jaber & S.K., Coordinating a three-level supply chain with multiple suppliers, a vendor and multiple buyers, 2008), desarrollaron un modelo de coordinación en una cadena tres niveles, suponiendo demanda determinística y constante en el tiempo, así como un horizonte de planeación infinito. El procedimiento general planteado, busca minimizar el costo total de la cadena, conformado por la suma de los costos para cada nivel.

Debido a que los resultados de la coordinación pueden generar beneficios para unos niveles y aumentos en los costos para otros, se han generado estrategias de compensación, que buscan repartir los ahorros a lo largo de la cadena, para estimular la ayuda con la cooperación entre miembros de la CS, necesaria para que exista coordinación. Ello debe complementarse con un acceso adecuado a la información necesaria para la toma de decisiones en forma conjunta.

Las relaciones de dependencia mutua entre los integrantes de una CS influyen sobre el desempeño de todos los actores involucrados, generando relaciones de poder entre ellos. El poder de cada miembro en la cadena, puede depender de la configuración de la misma. Proveedores, productores o compradores pueden poseer el poder prevalente. Las fuentes de poder son determinantes en el resultado obtenido de ejercer influencia

en la cadena; aquellas basadas en el poder coactivo hacen que quien posee la fuente tenga la potestad para decidir cómo y cuándo ejercer la influencia esperada. La fuente no coactiva permite al actor afectado determinar en qué nivel puede ser influenciado por el miembro de la cadena que cuenta con el poder. (Zhao, Huo, & Yan, 2008).

Cuando el poder está centrado en el comprador, quien maneja diferentes referencias de productos, y desea realizar el control conjunto de los mismos, suministrados por un mismo proveedor, bajo un mismo modo de transporte; dicho control conjunto presenta diversas ventajas como: ahorros en precios unitarios de compra, pues se busca mediante la coordinación lograr tamaños de orden mínimos impuestos por el proveedor para otorgar ciertos descuentos y/o economías de escala al transportar cierto volumen mínimo; ahorro en los costos totales de ordenamiento, pues al incluir más ítems en una orden sencilla, es posible disminuir el número anual de órdenes; facilidad de programación, en cuanto a recepción de materiales e inspección.

En esta situación se utilizan medidas agregadas de eficiencia y se recurre a curvas de intercambio, las cuales pueden servir para determinar valores de costos de pedir y tasas del costo de mantener inventario (Vidal, 2009). Considerando varios ítems, las medidas agregadas de eficiencia comunes son: máximo costo total anual del inventario promedio, máximo costo fijo total (o número total) de reposiciones por año, máximo valor de faltantes por año y la máxima demora permitida de órdenes pendientes.

La ubicación del poder depende de la configuración de la CS, por ejemplo, el poder no mediado de un productor puede ser considerable en aquel sistema donde es el único proveedor disponible. Mientras que el poder coactivo de un cliente(s), puede ser grande si tiene la posibilidad de acceder a múltiples productores.

Adicional a los efectos negativos que sobre la coordinación de la CS imponen las cadenas descentralizadas, la falta de confianza y el ejercicio de poder coactivo, existen otros impactos, relacionados en la tabla 2-1.

Tabla 2-1: consecuencias de la coordinación en la cadena de suministros.
Adaptado de (Arshinder & Deshmukh, 2008)

AUSENCIA DE COORDINACIÓN	PRESENCIA DE COORDINACIÓN
Errores de pronóstico	Incremento en las ventas
Baja utilización de la capacidad	Reducción de los tiempos de entrega
Cantidades excesivas de inventario	Eliminación de los excesos de inventarios
Inadecuado servicio al cliente	Mejor servicio al cliente
Inoportuna rotación y costo de inventarios	Menores costos de producción
Baja capacidad de cumplimiento de las expectativas del cliente	Incremento de la flexibilidad frente a las variaciones de la demanda
Baja capacidad de retención de los clientes	Mejores ingresos y aumento en la capacidad de retención de los clientes

2.5.4 Estrategias y mecanismos de coordinación de inventarios entre agentes.

Son diferentes las tipologías de estrategias de coordinación existentes, así como sus alcances, para (Fawcett & Magnan, 2002) éstas son: alineamiento o estandarización, focalizada en una mejora de las relaciones cliente-proveedor; medición y cambio en los procesos orientados a una mejora en sistemas de evaluación, y reingeniería de procesos.

Entre las estrategias de coordinación comúnmente utilizadas en las CS se encuentran: suministro ajustado, programas de suministro continuo, épocas comunes de resurtido, reaprovisionamiento eficiente, planeación pronóstico y reabastecimiento colaborativo, eficiente respuesta a consumidores, justo a tiempo, desarrollo conjunto de órdenes e inventario administrado por el proveedor (Jiménez, 2005). La tabla 2-2 resume los estudios analizados.

Tabla 2-2: estrategias más comunes de coordinación de inventarios

AUTOR	TÍTULO	ESTRATEGIA
(Monahan, 1984)	A Quantity Discount Pricing Model to Increase Vendor's Profits	Desarrollo conjunto de ordenes
(Banerjee, 1986)	Note On "A Quantity Discount Pricing Model to Increase Vendor Profits"	Desarrollo conjunto de ordenes
(Lee & Rosenblatt, 1986)	A Generalized Quantity Discount Pricing Model to Increase Supplier's Profits	Desarrollo conjunto de ordenes
(Lau & Lau, 1994)	Coordinating two suppliers with offsetting lead time and price performance	Desarrollo conjunto de ordenes
(Viswanathan & Piplani, 2001)	Coordinating Supply Chain Inventories Through Common Replenishment Epochs (CRE)	Épocas comunes de resurtido
(Dong & Xu, 2002)	A Supply Chain Model of Vendor Managed Inventory (VMI)	Inventario gestionado por proveedor
(Klastorin, Moinzadeh, & Son, 2002)	Coordinating Orders in Supply Chains Through Price Discounts	Justo a tiempo JIT
(Kim, Leung, Park, Zhang, & Lee, 2002)	Configuring a Manufacturing Firm's Supply Network with Multiple Suppliers	Desarrollo conjunto de ordenes
(Khouja, 2003)	Optimizing Inventory Decisions in a Multi-stage Multi-customer Supply Chain	Justo a tiempo JIT
(Mishra, 2004)	Selective Discount for Supplier- buyer Coordination Using Common Replenishment Epochs (CRE)	Descuento en precio / Épocas comunes de resurtido
(Piplani & Viswanathan, 2004)	Supply Chain Inventory Co-ordination through Multiple, Common Replenishment Epochs and Selective Discount	Épocas comunes de resurtido
(Hill & Omar, Another look at the single-vendor single-buyer integrated production-inventory problem, 2006)	Another look at the single-vendor single-buyer integrated production-inventory problem	Colaboración vendedor/comprador
(Yao & Dresner, 2008)	The inventory value of information sharing (IS), continuous replenishment, and vendor-managed inventory (VMI)	Reaprovisionamiento continuo, compartiendo información
(Adarme, Prieto, Vidal, 2007)	Modelo para integrar la red de abastecimiento de las pymes subsector panificador de Palmira Tesis maestría. U. Valle.	Inventario gestionado por proveedor - VMI
(Chiang, 2008)	Periodic review inventory models with stochastic supplier's visit intervals	N.A

Algunos rasgos relevantes de esta evaluación son los siguientes:

Desarrollo conjunto de órdenes, tiene como objeto buscar la uniformidad en lotes de producción del proveedor y tamaño de órdenes del cliente. En este caso el poder lo tiene el proveedor. (Monahan, 1984) plantea cómo en los modelos tradicionales de ofrecimiento de inventarios analizan la situación desde la perspectiva del cliente, luego el vendedor no cuenta con mecanismos para establecer los términos a ofrecer en su política de descuentos. (Lee & Rosenblatt, 1986), generalizan el modelo propuesto por Monahan (1984) para incorporar restricciones en la cantidad de descuentos a ofrecer, relajando el supuesto de producción lote a lote.

Épocas comunes de resurtido, establece períodos comunes de reaprovisionamiento e incluye la utilización de políticas de descuentos sobre precios. (Viswanathan & Piplani, 2001), proponen un modelo para analizar los beneficios de la coordinación de inventarios mediante el uso de esta estrategia en una cadena de un vendedor y múltiples compradores en donde se abastece un único producto. (Mishra, 2004), parten del concepto de la estrategia ECR, en donde un proveedor puede reducir los costos de *setup* al ofrecer programas de descuento que obliguen a los compradores a utilizar períodos comunes de reaprovisionamiento, generalizan la propuesta de (Viswanathan & Piplani, 2001) al excluir algunos compradores del programa de beneficios para así minimizar los costos del proveedor. Con ello se demuestra la bondad de la estrategia de coordinación ECR, que reduce los costos del proveedor en distintos escenarios.

Inventario administrado por el proveedor (VMI, por sus siglas en inglés). Esta estrategia permite al proveedor administrar los inventarios de acuerdo con las unidades de almacenamiento requeridas por el cliente. Es conocida como una estrategia de “ventas en consignación” en donde el proveedor garantiza a su cliente un nivel mínimo y máximo de inventario, cercano a la línea de producción del cliente, y con la posibilidad de utilizar material diariamente de acuerdo con sus necesidades. El proveedor asume la responsabilidad de mantener los niveles de inventario y determinar las cantidades ordenadas para sus clientes, permitiendo una evaluación sistemática de los beneficios logrados, y facilitando automáticamente la coordinación de la CS (Dong & Xu, 2002). La implementación de VMI requiere compartir información y coordinar e integrar los procesos entre clientes y proveedores. (Yao & Dresner, 2008).

Las ventajas y desventajas de su aplicación en un contexto como el colombiano han sido ampliamente evaluadas, analizadas y adoptadas por (Adarme, Prieto y Vidal, 2007), (Arango, Adarme, & Zapata, 2010); así como por (Contreras, Arango, & Adarme, 2010) en diferentes sectores. Según (Dong & Xu, 2002) existe evidencia de que VMI genera beneficios para compradores y proveedores, aunque puede que éstos tengan un periodo largo de adaptación y reconfiguración previo.

Se relacionan los mecanismos utilizados para facilitar la adecuación o apropiación de estrategias de coordinación en CS. Algunos están relacionados con alineación de metas, definición de precios o incentivos especiales atendiendo volúmenes o frecuencias en los pedidos, descuentos en precios, confiabilidad y oportunidad de la información, sistemas compartidos de control y seguimiento, trazabilidad, reducciones en la variabilidad de los lead time, usos de sistemas de múltiples modos y medios de transporte. (Klastorin, Moinzadeh, & Son, 2002), demuestran que la aplicación de una política en donde los compradores coordinan el tiempo en el que realizan sus órdenes, bajo condiciones de descuento en precio, puede mejorar la eficiencia de la cadena de suministro en su conjunto.

La revisión del estado del arte ha permitido establecer dentro de las estrategias, mecanismos, modelos de coordinación y análisis de relaciones de poder, la existencia marcada de sistemas de control de inventarios entre agentes de la CS. Se detecta como las asimetrías de información y comunicación, costos y beneficios, conocimientos y tecnología, estructura y poder y procesos de negociación entre los integrantes de la CS son determinantes del modus operandi y posibles condicionantes de los resultados de la Cadena en conjunto. Estas asimetrías pueden llegar a producir desconfianza y poco compromiso necesarios en los procesos de coordinación y cooperación.

Otros aspectos relevantes del estado del arte sobre coordinación están marcados por aquellos elementos que actúan como conectores entre agentes, es decir los flujos físicos (inventarios), de información y dinero, así como los procesos de toma conjunta de decisiones. Los procesos de coordinación se pueden considerar importantes desde el punto de vista de sostenibilidad empresarial, motivando a las organizaciones a trabajar

conjuntamente convirtiendo la interdependencia entre ellas en una relación de socio a alianza, para obtener beneficios mutuos y garantizar la supervivencia de la Empresas y sus cadenas, sin embargo la colaboración no es fácil de establecer entre agentes de la CS en especial cuando consideran que tiene igualdad de poder y tamaño.

En este contexto para determinar un perfil de estrategias y políticas como elementos centrales de un plan de CS que proyecte sostenibilidad para las empresas y sus cadenas, minimice costos logísticos de almacenar tanto a nivel de proveedor como de comprador, así como los costos de pedir y transportar en forma conjunta coordinada, sumado a costos de localización, atendiendo niveles de servicio y soportados en el estado del arte, se busca la forma de configurar una metodología y modelos a nivel estratégico que soporten las decisiones en una CS en este caso del sector naval colombiano, actuando con agentes autónomos. Los modelos se van detallando paulatinamente y en orden a los hallazgos y circunstancias determinadas en la CS, así como en las consideraciones propias del investigador hasta lograr determinar la propuesta de coordinación de agentes en cadenas descentralizadas.

3. METODOLOGÍA

3.1 PROCESO METODOLÓGICO

La metodología se ha configurado con base en el problema a investigar, fundamentada en las dificultades de coordinar los agentes en la CS de la industria naval colombiana, articulada con los sistemas de información y comunicación disponibles; donde se generan dificultades en el manejo, transporte y almacenamiento de materiales, incidiendo en los niveles de calidad, servicio, sostenibilidad económica, ambiental y técnica que demanda el sector.

La metodología está compuesta por una evaluación cualitativa que incluye entrevistas a los integrantes de la cadena, caracterización y diagnóstico *in situ* de los diferentes sistemas y en particular compras, almacenamiento e inventarios, evaluando aspectos sobre las relaciones comerciales, y una investigación cuantitativa mediante encuestas (Anexo A y B . Formatos encuestas), trabajo de campo, con medios apropiados para determinar los parámetros requeridos en la modelación.

El objetivo de plantear una metodología para la caracterización y el diseño del *modus operandi* de una CS con m proveedores y n demandantes, quienes trabajan por proyectos y tomando como referente los astilleros colombianos, se centra en establecer un procedimiento que sirva de guía para este tipo de investigaciones. El precepto bajo el cual se desarrolla la metodología es el principio instrumentalista, como lo expone (Giacomo & Patrizi, 2010), teniendo en cuenta que las relaciones funcionales y los parámetros de un modelo no se deben asumir como conocidos o correctos a priori; por el contrario, deben ser inferidos o estimados por medio de métodos formales de manera que la estructura del sistema determinado sea sintáctica y semánticamente adecuada⁷.

7 De acuerdo con Giacomo et al. (2010) un modelo es sintácticamente correcto si puede ser convertido en un sistema formal, compuesto por definiciones formales, axiomas (o supuestos) y teoremas derivados; incorporando si

Se consideran los *agentes directos e indirectos* o las partes interesadas en el proceso, en tanto la construcción de un mecanismo de coordinación al interior de una CS implica analizar los comportamientos, condiciones de funcionamiento y relaciones entre todos los agentes (partes interesadas) que participan en la misma.

La metodología diseñada se construye considerando elementos teóricos y procedimentales desarrollados por (Adarme & Arango, 2010), referenciado en el Anexo C. Metodología CYDOLOG – Caracterización y diagnóstico de operaciones logísticas, y la (Iniciativa de la Integración regional Sudamericana - IIRSA, 2009) para el análisis del potencial de integración productiva y desarrollo de servicios logísticos de valor agregado en proyectos. La Figura 3-1, resume la metodología, la cual se detalla a continuación.

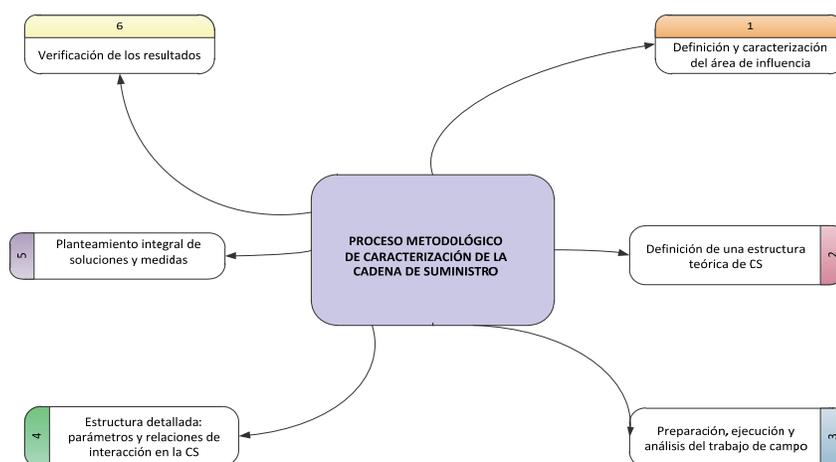


Figura 3-1: Pasos del proceso metodológico propuesto.
Fuente: Autor, adaptado de CYDOLOG e IIRSA (2009). Buenos Aires

PASO 1: Definición y caracterización del área de influencia. Corresponde a definir el funcionamiento operacional de los procesos logísticos al interior de la CS. En este paso se pone en evidencia la necesidad de identificar los procesos logísticos, realizar su análisis, y proceder a detallar para cada proceso, cuáles son sus agentes, clasificándolos de acuerdo con su nivel de influencia directa o indirecta.

es necesario, otros sistemas axiomáticos requeridos (matemáticas, estadística, análisis numérico, etc.) Todas las proposiciones derivadas del sistema pueden ser sometidas a pruebas lógicas para verificar su pertinencia y consistencia. Un modelo es semánticamente adecuado, si los resultados de las aplicaciones o comportamientos reales pueden ser reproducidos por el modelo con cierto grado de seguridad, que define quién caracteriza el modelo.

Luego se resaltan las relaciones determinadas por las interacciones existentes entre los procesos; a cada relación deben asociarse los elementos clave o restricciones que se convierten en puntos críticos en el desarrollo de la labor. Debido a la existencia de posibles relaciones entre un proceso y otro, se presenta la posibilidad de que un *agente de la CS* influya en más de un proceso. La figura 3-2, expone el modelo sugerido para reconocer el sistema logístico.

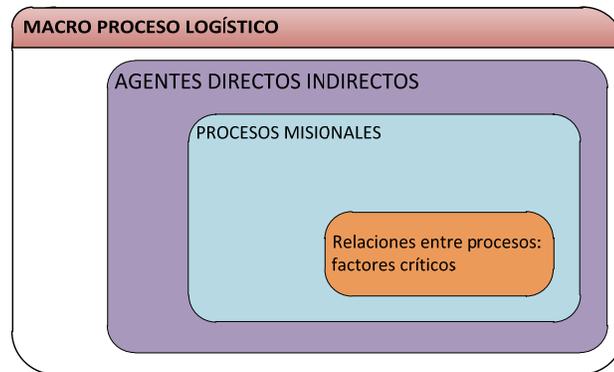


Figura 3-2: Modelo propuesto para el reconocimiento del sistema logístico en la cadena.
Fuente: Autor.

Con base en el conocimiento de estos elementos asociados a las relaciones entre los agentes de la cadena, es posible establecer los mecanismos de coordinación a utilizar. Este paso incluye la identificación de las principales características económicas y logísticas propias del área física en donde se analiza la actividad de la CS. Lo anterior permite plasmar conceptualmente la estructura productiva y logística de la zona, donde se incluyen las siguientes actividades resumidas en la figura 3-3.

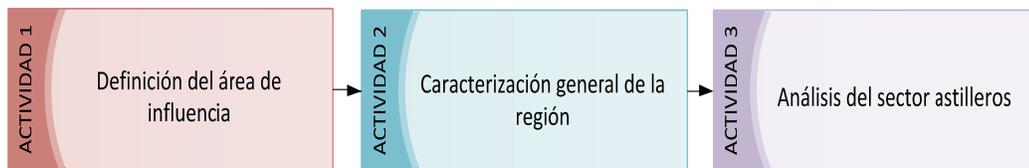


Figura 3-3: Actividades Paso uno: definición, caracterización y astilleros.
Fuente: Autor

Definición del área de influencia: implica realizar la identificación del área de influencia de la investigación, reconociendo cuáles son los actores de la CS para dicha área.

Deben identificarse los polos productivos que lideran la actividad de abastecimiento de los insumos de los astilleros, a partir de los cuales se va tejiendo una red de flujos de carga y personas que configuran un espacio territorial interrelacionado (IIRSA, 2007), determinado por las zonas geográficas en donde existe presencia de firmas de compra, abastecimiento y transporte de materiales.

Caracterización general de la región: implica conocer aquellos aspectos relevantes claves, como infraestructura, y condiciones ambientales.

En el primer paso de la metodología, los elementos son caracterizados con base en información secundaria, para lo cual se consultan fuentes oficiales nacionales y sectoriales; mientras que en un paso posterior se procede a aplicar la recolección de información directamente en el origen. Este proceso de recolección de información es complementario en la caracterización de la CS.

Análisis del sector: se desarrolla una labor de acercamiento a las condiciones estructurales y de funcionamiento del sector naval. Esta fase incluye una secuencia de actividades con el fin de buscar el acceso a los datos necesarios para caracterizar la CS en forma apropiada. La secuencia se presenta en la figura 3-4.

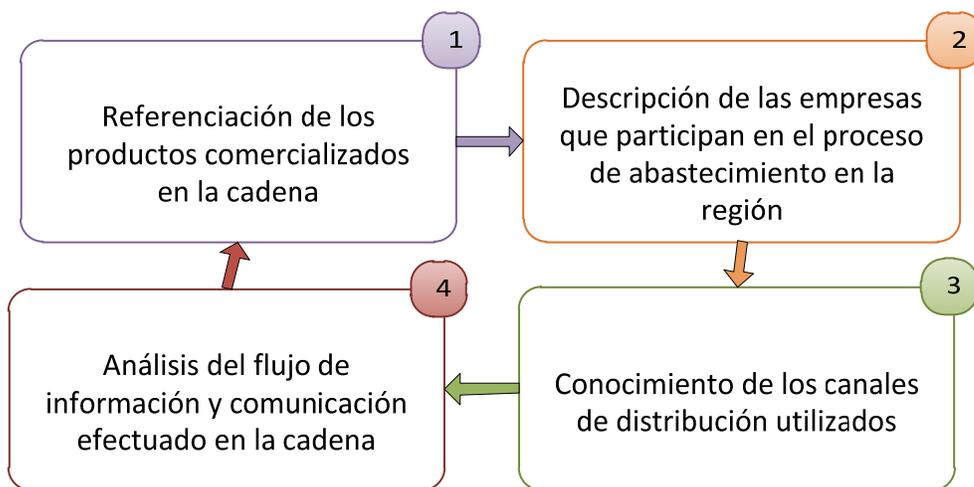


Figura 3-4: Proceso secuencial para el análisis del sector en estudio.

Fuente: Autor

Cada una de estas actividades corresponde a:

1. Orientar la CS hacia la entrega de productos terminados al cliente, en las condiciones que se exijan. El proceso de caracterización debe tomar bajo consideración las condiciones del producto en estudio.
2. Relacionar aquellas empresas involucradas en las labores de compra, distribución y transporte de los productos previamente referenciados, agrupados en diferentes eslabones de acuerdo con la misión de su organización. El análisis de estas empresas, implica la identificación de sus condiciones de funcionamiento, así como agremiaciones o estructuras asociativas que se presenten entre ellas.
3. Identificar las fases de la distribución de insumos/producto, así como aquellos actores que intervienen en este proceso, y las relaciones que tienen efecto sobre su desarrollo.
4. Analizar a lo largo de la cadena un conjunto de datos relativos a las variables y los parámetros de funcionamiento; por lo tanto, es necesario entender el flujo de información que acompaña a los flujos físicos entre los integrantes de la cadena, razón por la cual se deben identificar protocolos para el flujo de información y los procesos de comunicación, así como aquellos elementos tecnológicos de hardware y software requeridos.

Dentro del análisis del sector, se deben conocer las características a nivel normativo (leyes) relacionadas con la venta de este tipo de materiales /productos y la existencia de permisos para su comercialización. Se deben tener claras las condiciones existentes para su transporte, así como las características de los mecanismos de distribución empleados.

PASO 2: Revisión bibliográfica sobre coordinación y definición de una estructura teórica de CS.

Se procedió a realizar una revisión bibliográfica sobre coordinación en la CS, detallando elementos relacionados con antecedentes y temas estudiados, mecanismos y estrategias de coordinación aplicados y propuestos, sumado a otros elementos sobre decisiones

estratégicas, definición de medidas de desempeño y gerencia del servicio. Algunas de las fuentes de información primaria y secundaria utilizadas se relacionan en la tabla 3-1.

Tabla 3-1: investigación documental - Tipos de documentos.

Fuente: Autor

DOCUMENTOS PROPIEDAD DE ASTILLEROS	DOCUMENTOS PÚBLICOS
<ul style="list-style-type: none"> • Manuales de procedimientos • Mapas de proceso • Guías o protocolos • Estudios previos 	<ul style="list-style-type: none"> • Revistas, artículos científicos • Textos especializados. • Páginas web

Corresponde dar inicio al proceso de definición de la estructura de la CS de la industria (Figura 3-5), utilizando los resultados de aplicar el primer paso de definición del área de influencia. Este proceso de definición debe permitir la identificación de los siguientes aspectos esenciales en la estructura de la CS.

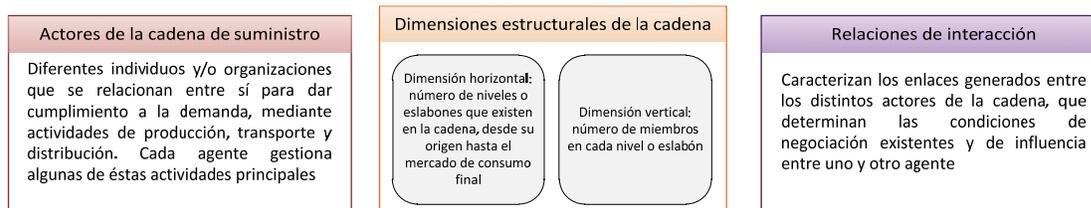


Figura 3-5: Definición de una estructura teórica de cadena de suministro.

Fuente: Autor

Se debe diseñar un proceso de recolección de información directa para las zonas de influencia, el cual estará guiado por la estructura de la cadena planteada, y deberá garantizar la pertinencia de la información a recolectar, pues ello guiará el desarrollo de las etapas posteriores de la investigación.

PASO 3: Preparación, ejecución y análisis del trabajo de campo. La definición de instrumentos para la recopilación de la información, el establecimiento de un proceso de planificación para su aplicación y la ejecución del trabajo de campo efectuado sobre

las áreas de influencia, son las actividades desarrolladas en este tercer paso del proceso metodológico, para la caracterización de la CS. Incluye:

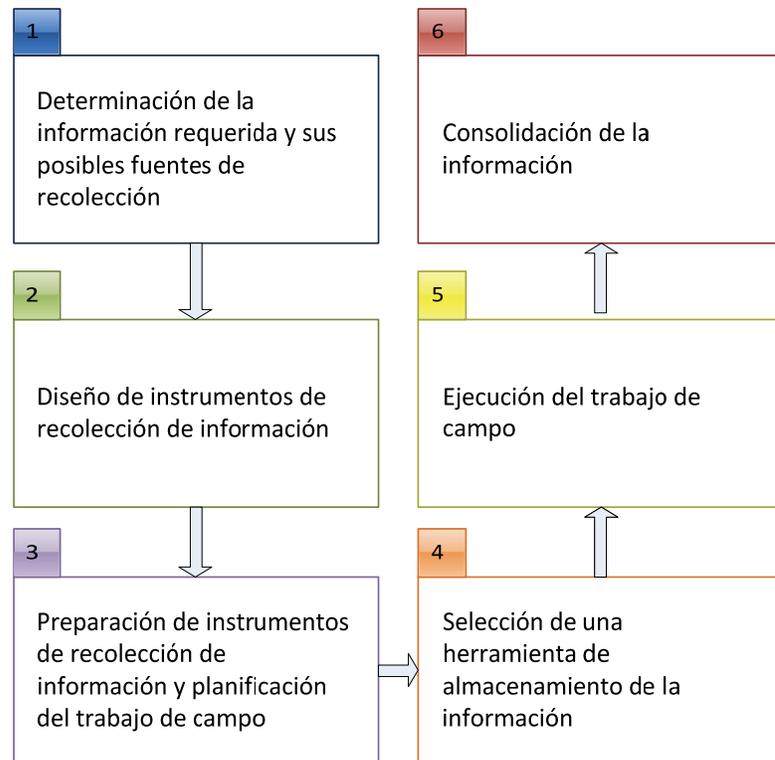


Figura 3-6: Fases de Paso 3: Preparación, ejecución y análisis del trabajo de campo.

Fuente: Autor

Un comentario de cada una de las actividades se presenta a continuación:

- I. La estructura de la CS planteada, sirve como insumo para determinar la información a recolectar, y junto con los resultados de los procesos de definición y caracterización de la región de influencia, permiten establecer posibles fuentes de información.
- II. Es necesario definir qué herramientas de recolección de datos deben ser aplicadas en la caracterización de la CS. Además, deben identificarse caracterizarse los obstáculos y limitantes presentes en su aplicación, recurriendo por ejemplo a consultas sobre la fuente.

- III. Preparación de instrumentos de recolección de información y planificación del trabajo de campo.
- IV. Es necesario seleccionar una herramienta tecnológica para el almacenamiento de la información encontrada en el proceso de trabajo de campo, la cual debe clasificarse de acuerdo con la utilización que de ella se dará posteriormente.
- V. El proceso de aplicación de los instrumentos diseñados implica la interacción con diferentes personas o asociaciones; y por lo tanto, es necesario explicar los objetivos de dicho proceso, procediendo a solicitar toda la información posible y que además resulte útil al propósito del trabajo de campo.
- VI. Organización de los datos recolectados de acuerdo con su clasificación, para su posterior utilización.

PASO4: Determinación detallada de la estructura, parámetros y relaciones de interacción en la CS. De los resultados del trabajo de campo, y de la información secundaria disponible para la caracterización de la CS, se procede a verificar la pertinencia de la estructura diseñada en el paso 2, de acuerdo con la información recolectada. Es necesario revisar dicha estructura de acuerdo con la aplicación de las actividades que muestra la figura 3-7:

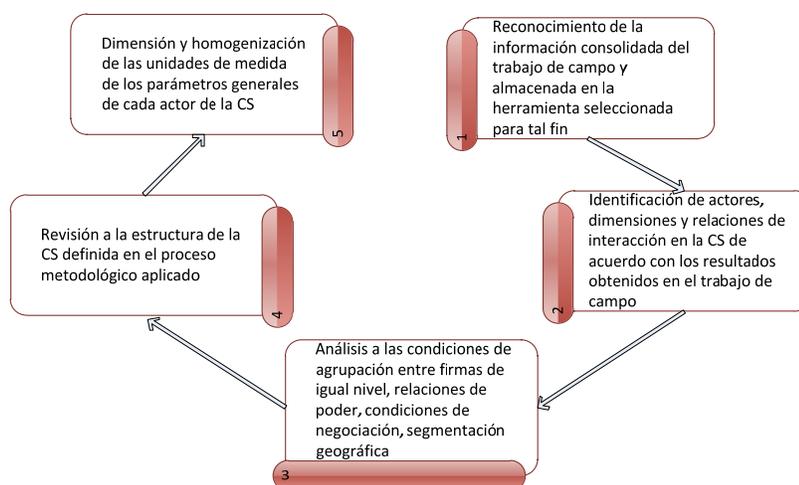


Figura 3-7: Actividades de Paso 4: Determinación detallada de la estructura, parámetros y relaciones de interacción en la cadena de suministro.

Fuente: Autor

Cada una de estas actividades se compone de lo siguiente:

- I. Registrar los datos obtenidos en el trabajo de campo, de acuerdo con la clasificación realizada y los niveles de utilidad que presente.
- II. Identificar la estructura de la CS para establecer qué actores la conforman, su dimensionamiento y las características de las relaciones existentes entre los actores.
- III. Utilizar la información recolectada alrededor de elementos cualitativos relacionados con condiciones para la agrupación de empresas, y las características de influencia entre actores de la cadena de acuerdo con el poder representado por una superioridad evidente en algún sentido (económico, social, político).
- IV. Realizar la labor de evaluación de la estructura encontrada.
- V. Establecer los parámetros, las relaciones entre ellos y las variables.

Los parámetros a determinar son los siguientes, aunque es posible incluir otros elementos de acuerdo con el proceso de aplicación que se desarrolle, y sus objetivos: capacidad de almacenamiento para compradores y vendedores, volumen de compras, volumen de ventas, precios de compras y ventas, distancias entre centros de distribución y minoristas, niveles de stock, inventarios iniciales, costos de transporte, inventarios, pedidos, tiempos de entrega, capacidad de transporte, números de medios disponibles (transporte, almacenamiento en cada nodo), número y localización de proveedores, características, patrones de demanda, peso o volumen.

La nomenclatura de los índices, conjuntos, parámetros y variables requeridos para el modelo diseñado y sobre el cual gravitan las decisiones en la propuesta corresponden a los presentados en el capítulo quinto. Los parámetros se recolectaron siguiendo los pasos indicados en esta metodología.

La modelación se plantea en dos escenarios: un modelo de programación lineal entera mixta que muestra cómo es la operación naval en Colombia referenciada desde los astilleros como agentes principales en la misma. Este modelo para el campo naval servirá

de soporte central en las decisiones tomadas a nivel estratégico y táctico operando bajo un esquema de gestión por proyectos independientes. Un segundo modelo que plantea un escenario de coordinación con centros de acopio de información del sistema, que evalúa la posibilidad de concentrar las compras en un ambiente de autonomía de los proyectos y de los astilleros, considerando cooperación que busque la mejora en el uso de los medios existentes (transporte, almacenamiento, entregas), articulado con protocolos de información y comunicación compatible y apuntando a la mejora del servicio.

Protocolo de coordinación

Dada la complejidad de los procesos logísticos se deben analizar las necesidades de coordinación inter procesos. Este procedimiento incluye ciertas actividades (figura 3-8).

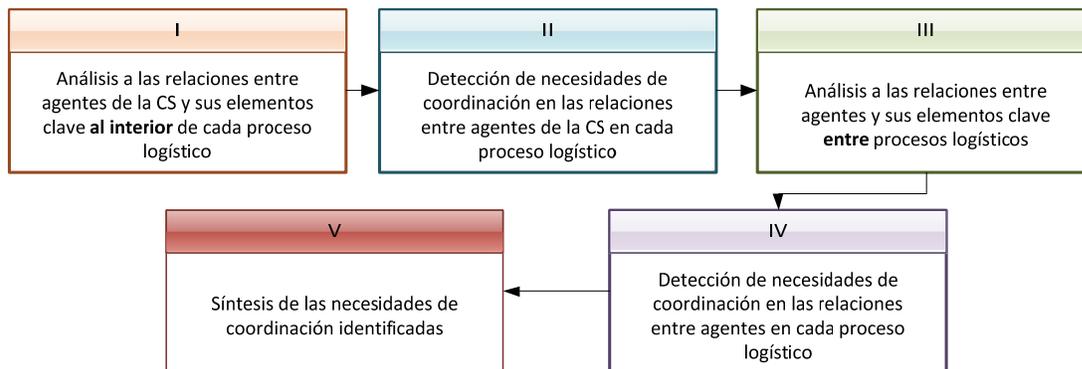


Figura 3-8: Identificación de necesidades de coordinación.

Fuente: Autor

PASO 5: Planteamiento integral de soluciones y medidas

A partir de la caracterización de la CS, se procede a la toma de decisiones, con base en el conocimiento de la situación y de acuerdo con los objetivos trazados. En este proceso se considera pertinente la utilización de programación lineal entera, programación lineal entera mixta, y heurísticas en particular para evaluar los problemas de flujos; sumado a técnicas como AHP (*Analytic Hierarchy Process*), útil para selección de proveedores, de tecnologías de información y comunicación, modos y medios de transporte, mecanismos y medios de almacenamiento, y de aplicativos entre otros.

De la misma manera se pueden flexibilizar los modelos exactos mediante lógica difusa (*fuzzy logic*), a nivel de optimización de los flujos; también es adecuado contemplar la aplicación de la herramienta QFD (*Quality Function Deployment*) o despliegue de la Función de Calidad, en particular para evaluar servicio al cliente; todo con la ayuda de aplicativos como GAMS. Independiente del criterio y de las características particulares del modelo, en la figura 3-9 se mencionan las etapas para su planteamiento y resolución.

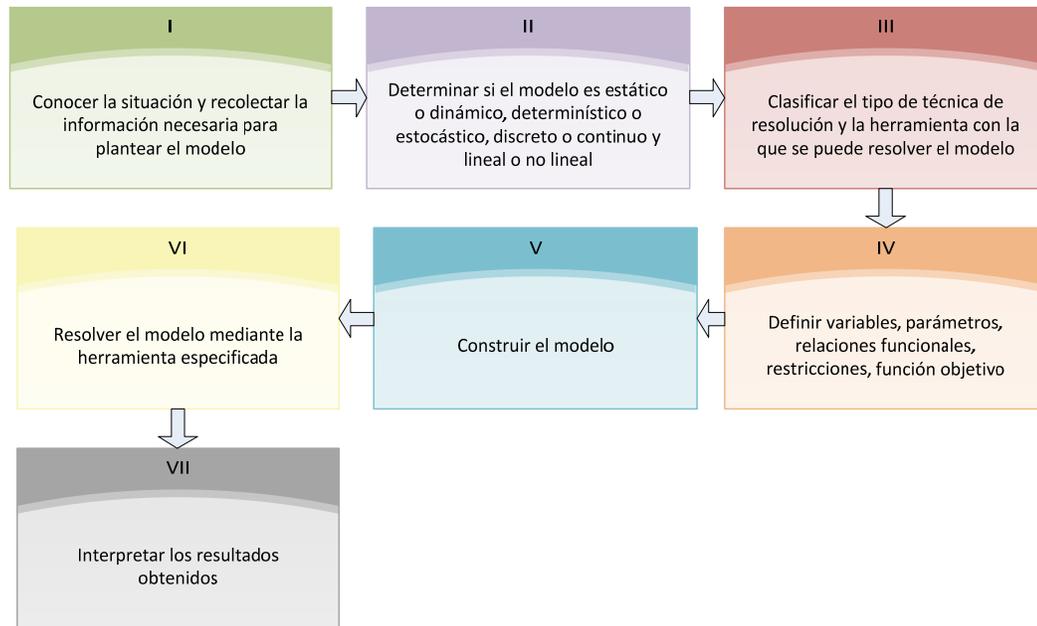


Figura 3-9: Fases del diseño del modelo explicativo de la cadena de suministro.

Fuente: Autor

Se originan y desarrollan en forma secuencial los siguientes escenarios: Una descripción, caracterización, parametrización e identificación de los *agentes* asociados a la CS; modelos matemáticos de coordinación m por n para la CS a la cual pertenecen los astilleros, un sistema de medición del desempeño y servicio en la cadena.

PASO 6: Verificación – evaluación de los resultados

En este paso se busca determinar la pertinencia de la caracterización y la bondad de los resultados obtenidos por el modelo. Se hace la comprobación de las hipótesis planteadas. Los criterios de evaluación utilizados corresponden a los lineamientos encontrados

en el sector y a la evaluación de las propuestas, la cual podrá hacerse con base en la comparación entre los resultados arrojados por los escenarios planteados, frente a los escenarios que se presentan en el sistema actual.

3.1.1 Planteamiento integral de medidas y soluciones

Se plantean las medidas y soluciones a implementar. La figura 3-10 indica el proceso.

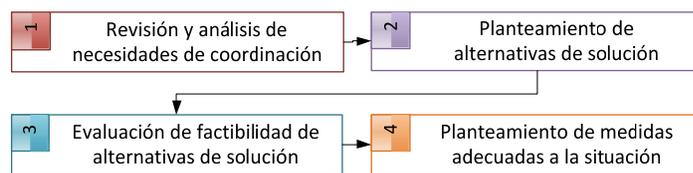


Figura 3-10: Actividades. Planteamiento integral de medidas y soluciones.

Fuente: Autor

Actividad 1. La primera actividad comprende disponer de la síntesis de aquellas necesidades de coordinación identificadas en los pasos 2, 3 y 4.

Actividad 2. Se procede a plantear diferentes alternativas de solución, materializadas en métodos cuantitativos y cualitativos expuestos en la tabla 3-2, que demandan la utilización de herramientas y la construcción de protocolos con el fin de establecer los pasos a seguir para garantizar el cumplimiento del objetivo de coordinación.

Tabla 3-2: métodos analíticos disponibles y aplicables en el estudio.

Fuente: Autor

MÉTODOS CUANTITATIVOS	MÉTODOS CUALITATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> • Modelamiento matemático • Técnicas de dimensionamiento • Técnicas de pronóstico • Simulación • Técnicas de planeación y administración de materiales • Heurísticas 	<ul style="list-style-type: none"> • Definición de protocolos de negociación • Métodos analíticos para la toma de decisiones • Planteamiento de mecanismos de coordinación soportados en TIC's • Aplicaciones para la coordinación de CS en sistemas por proyectos

Actividad 3. Evaluación de viabilidad de alternativas de solución: después de exponer diversas alternativas de solución, se procede a analizar sus condiciones de viabilidad, considerando las características del entorno que pueden facilitar o limitar su implementación.

Actividad 4. Planteamiento de medidas adecuadas a la situación: de acuerdo con los resultados de la actividad 3, se aplica el procedimiento descrito en la figura 3-11, el cual facilita el proceso de toma de decisiones para establecer cuáles de las soluciones pueden ser implementadas. Se realiza un resumen de las soluciones a proponer como mecanismos de coordinación en la CS donde hacen parte los astilleros colombianos.

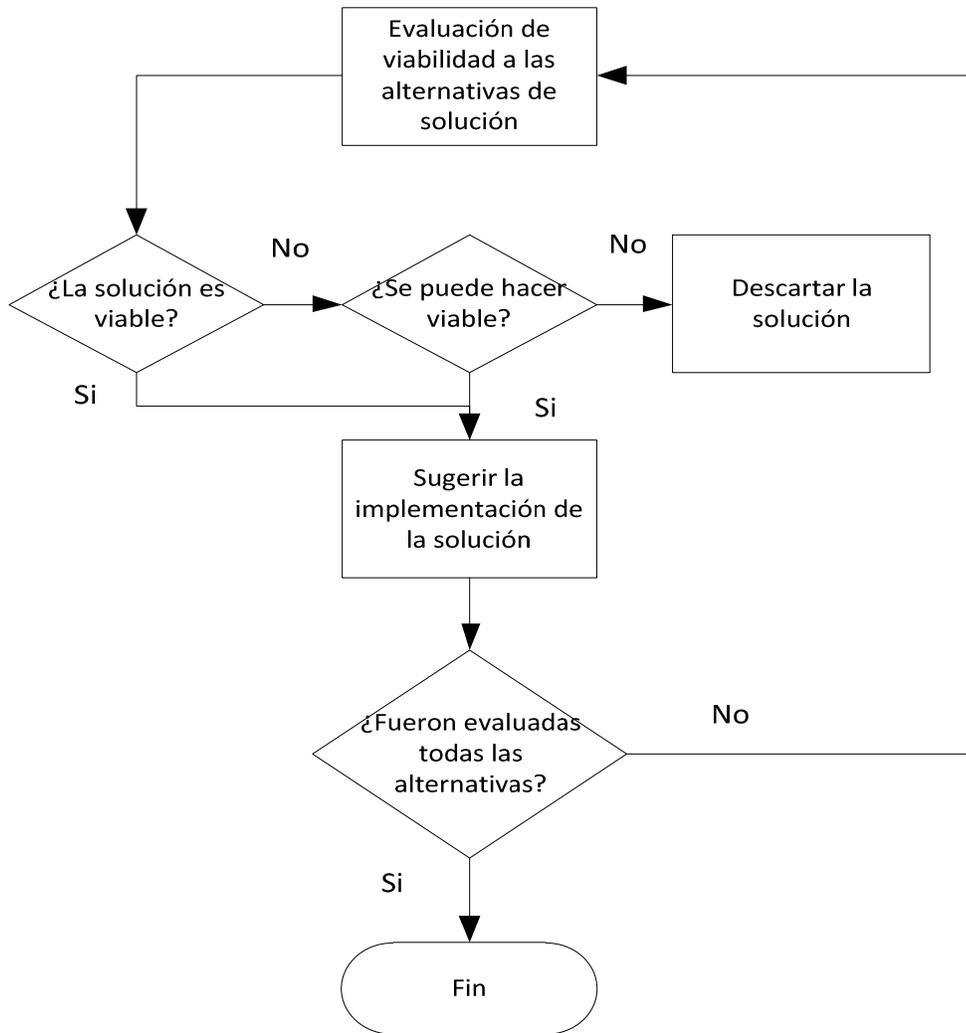


Figura 3-11: Planteamiento de medidas.

Fuente: Autor

3.1.2 Verificación de resultados

Las soluciones propuestas deben ser implementadas con el fin de medir su bondad. El proceso de verificación correspondiente se muestra en la figura 3-12.

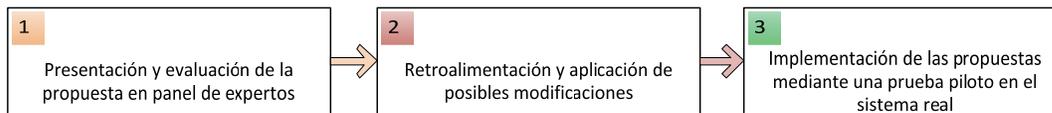


Figura 3-12: Actividades Verificación de resultados.

Fuente: Autor

Actividad 1. Presentación y evaluación de la propuesta: el proceso de validación inicia con una revisión a las soluciones propuestas.

Actividad 2. Retroalimentación y aplicación de posibles modificaciones: como resultado de la fase anterior, se realiza una retroalimentación a las soluciones propuestas, en aquellos casos donde sea necesario aplicar algún tipo de modificación.

Actividad 3. Implementación de las propuestas mediante una prueba piloto en el sistema real: es necesario aplicar una prueba piloto en el sistema real para monitorear el funcionamiento de las propuestas, y construir un protocolo que establezca un procedimiento de seguimiento periódico a los resultados obtenidos al implementar las soluciones sugeridas.

3.1.3 Unidad de análisis

La unidad de análisis corresponde a los astilleros como agentes centrales del sector naval en Colombia y los proveedores de materiales a los mismos.