



Certificación ISO 9001:2000 ‡
Laboratorios acreditados por EMA §

“ESTADO DEL ARTE DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA COORDINACIÓN DE INVENTARIOS EN LA CADENA DE SUMINISTRO”

José Elías Jiménez Sánchez

Publicación Técnica No 281
Sanfandila, Qro, 2005

**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**Estado del arte de los modelos matemáticos
para la coordinación de inventarios en la
cadena de suministro”**

**Publicación Técnica No. 281
Sanfandila, Qro, 2005**

Este trabajo fue realizado por el Dr. José Elías Jiménez Sánchez, en el marco del programa doctoral “Gestión de la Cadena de Suministro e Integración Empresarial”. El autor agradece los valiosos comentarios de sus directores de tesis, el Dr. Juan Gaytán Iniestra y el Dr. José Pedro García Sabater. El trabajo de edición lo realizó Gabriela De Jesús Zea.

Índice

Índice	i
Resumen	v
Abstract	vii
Introducción	1
Objetivo general	
Objetivos específicos	
Hipótesis	
Metodología y alcances	
Capítulo 1 El sistema de inventarios	9
1.1 Inventarios	9
1.2 Problemática y sus costos relevantes	11
1.3 Gestión de inventarios	13
1.4 Sistema jerárquico de inventarios en la cadena de suministro	17
1.5 Relevancia de la coordinación cliente-proveedor	21
Capítulo 2 Coordinación de inventarios en la cadena de suministro	23
2.1 Medio ambiente operativo de la coordinación cliente-proveedor	23
2.2 Modelos de coordinación centralizada y descentralizada cliente-proveedor	27
2.3 Mecanismos de coordinación	29
Capítulo 3 Estrategias de coordinación cliente-proveedor	33
3.1 Estrategias de coordinación de la cadena de suministro	33
3.2 Estrategias de coordinación para la gestión de inventarios	38
3.2.1 Estrategia, desarrollo conjunto de órdenes (<i>DCO</i>)	39
3.2.2 Estrategia, “justo a tiempo” (<i>JIT: Just in Time</i>)	40

3.2.3	Respuesta rápida (<i>QR: Quick Response</i>)	40
3.2.4	Estrategia de reaprovisionamiento Eficiente (<i>ER: Efficient Replenishment</i>)	41
3.2.5	Reaprovisionamiento continuo (<i>CR: Continuous Replenishment</i>)	43
3.2.6	Planeación, pronóstico y reabastecimiento colaborativo (<i>CPFR: Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment</i>)	44
3.2.7	Inventario administrado por el proveedor (<i>VMI: Vendor Management Inventory</i>)	45
3.2.8	Estrategia gestión de la disponibilidad por el proveedor (<i>SMA: Supplier Managed Availability</i>)	47
3.2.9	Estrategia épocas comunes de resurtido (<i>CRE: Common Replenishment Epochs</i>)	48
Capítulo 4	Modelos de coordinación de inventarios	51
4.1	Generalidades	51
4.2	Planteamiento general del problema de coordinación de inventarios	53
4.2.1	Política individual del cliente	54
4.2.2	Política individual del proveedor	54
4.2.3	Política conjunta de coordinación cliente-proveedor	56
4.3	Estructura básica de los modelos de coordinación de inventarios	59
4.3.1	Coordinación entre un proveedor y un cliente	59
4.3.2	Coordinación entre un proveedor y múltiples clientes	67
4.3.3	Coordinación entre múltiples proveedores y un cliente	81
4.3.4	Coordinación entre más de dos eslabones de la cadena de suministro	82
4.4	Características principales de los modelos de coordinación de inventarios	84
	Conclusiones y líneas de futuro	87
	Referencias	91

Índice de cuadros

Cuadro 3.1	Estrategias en inversión de recursos	34
Cuadro 3.2	Estrategias para lograr una mayor coordinación en la cadena de suministro	36
Cuadro 3.3	Costos relevantes bajo acuerdo típico, y bajo una política de abasto a consignación	46
Cuadro 4.1	Características principales de los modelos de coordinación de inventarios	85

Índice de figuras

Figura 1.1	Disponibilidad de inventario con demanda constante	14
Figura 1.2	Nivel de inventario versus frecuencia de ordenar	15
Figura 1.3	Inventario anual, y costos por ordenar como una función del tamaño del pedido	16
Figura 1.4	Tipos de inventario	18
Figura 1.5	Ejemplo de configuraciones de cadena de suministro multieslabón	19
Figura 1.6	Segmento de estudio de la cadena de suministro	20
Figura 3.1	Proceso típico de reaprovisionamiento eficiente entre proveedor y cliente	42
Figura 3.2	Estrategias VMI y SMA	48
Figura 3.3	Características principales de la estrategia <i>épocas comunes de resurtido</i>	49
Figura 4.1	Tipos de modelos de inventario	52
Figura 4.2	Ciclo del inventario conjunto cliente-proveedor	56
Figura 4.3	Funciones de costo	57

Resumen

Bajo el nuevo paradigma de gestión de la cadena de suministro, la coordinación de los procesos logísticos entre los diferentes departamentos de una compañía o entre empresas, en los últimos años ha recibido considerable atención tanto en la práctica como en la investigación. El estudio de la coordinación se ha enfocado a diferentes instancias de análisis: i) entre eslabones de la cadena de suministro (proveedor-fabricante, fabricante-distribuidor, distribuidor-detallista, etc), es decir entre clientes y proveedores; ii) entre áreas funciones (abasto-producción, producción-distribución); y iii) entre actividades logísticas funcionales (compras-producción, producción-inventario, producción-transporte, inventario-transporte, etc), en modelos de empresa con ambientes centralizados o descentralizados. De manera particular, se presenta un examen de los estudios más significativos que realizan un análisis combinado de las instancias de coordinación anteriores, relacionado con la gestión de inventarios. Como resultado de dicho examen, se reconocen las estrategias de coordinación más utilizadas y los modelos matemáticos más recientemente desarrollados para el control coordinado de los inventarios entre clientes y proveedores. Se concluye que aún existen muchas variantes que no se han explorado, identificando los vacíos o líneas de futuro que pueden abordarse sobre este importante tema.



Abstract

Under the new paradigm of supply chain management, coordination of the logistic processes between the different company's departments or firms, has received in the last years considerable attention both in the practice as in the research. The study of the coordination has focused on different types of analysis: i) between tiers supply chain (e.g. suppliers-manufacturer, manufacturer-distributor, distributor-retailer), that is, between buyers and vendors; ii) between work areas (e.g. supply-production, production-distribution); and iii) between logistic functional activities (purchase-productions, production-inventory, production-transport, and inventory-transport) within a centralized or decentralized model.

In this work, we present a survey of research about the topic of coordinated of inventories, identifying the most significant studies interested on combined analysis of the previously mentioned types of coordination related with management inventories. As result of this analysis, are recognized the most used coordinating strategies and the mathematical models more recently developed for the coordinated inventories between buyers and vendors. Finally, this document identifies some variants that have not explored, and detect the gaps or lines of research in this important topic.

Introducción

El estudio de la administración de inventarios es un campo del conocimiento que se ha examinado de manera científica hace ya varias décadas. Desde que fue propuesto el modelo de lote económico (Harris, 1915), muchos autores se han dado a la tarea de resolver múltiples problemas de inventarios. El principio fundamental de esta clase de modelos se orienta a determinar la política de abastecimiento a través de precisar la cantidad a pedir y el período de suministro para lograr el costo mínimo.

En la actualidad, el estudio de los problemas de abasto y control de los inventarios es por tanto, una temática en constante evolución, a la vez que es atendida por una gran cantidad de investigadores mediante modelos cada vez más complejos. Los modelos más recientes enfocan sus esfuerzos a coordinar el tamaño de lote económico de producción/pedido que satisfaga las necesidades del cliente y el proveedor. El papel que juegan dichos modelos, radica en la posibilidad de atender problemas de inventarios en contextos más amplios de análisis, como es el caso de las cadenas de suministro internacionales, constituidas por empresas localizadas en diferentes partes del mundo. El uso y aplicación de ese tipo de modelos ha permitido mayor visibilidad de la cadena de suministro, y ayuda a la toma de decisiones coordinadas sobre el abastecimiento y control de los inventarios.

En el ámbito de la logística empresarial, regularmente la gestión no sólo comprende la administración de los recursos, sino también la operación de éstos y la ejecución coordinada de las tareas logísticas, tanto al interior como al exterior de la empresa en una especie de cadena. Por tanto, la coordinación de las actividades logísticas es un formalismo que no se da por sí sólo, o sea que éste debe encontrarse a través de la gestión explícita de los procesos de negocio.

De manera particular, el problema de los inventarios reside en que las empresas tratan de optimizar individualmente sus beneficios; muchas veces sin tener en cuenta el efecto causado a su cliente o proveedor. Diseñan políticas de inventario sin considerar la capacidad de respuesta de su contraparte comercial, creando un clima de incertidumbre que de manera inmediata se traduce en altos costos logísticos para ambas partes debido a la falta de coordinación. Sin coordinación, los flujos de mercancías entre los miembros de la cadena de suministro dan lugar al muy conocido “*efecto látigo*” (*bull whip effect*), a partir del cual se ha reconocido

que una efectiva gestión y control de los flujos de materiales a través de las fronteras, es vital para el éxito de las compañías.

Para Giannoccaro y Pontrandolfo (2002), la coordinación entre los socios comerciales depende de factores, tales como: estructura de la cadena de suministro; el tiempo involucrado en alcanzar las acciones (por ejemplo, desde que se coloca el pedido hasta su cumplimiento); y la pobre toma de decisiones relacionadas con la información y el flujo de materiales; sin embargo, aquí se asume que el transporte es también un factor que incide en la coordinación del abasto y el control de los inventarios por ser éste el instrumento que ejecuta la política prevista.

Bajo el nuevo paradigma de gestión de la cadena de suministro, la coordinación de los procesos logísticos entre los diferentes departamentos de una compañía o entre empresas, ha recibido en los últimos años considerable atención tanto en la práctica como en la investigación. De manera especial, el estudio de la coordinación de inventarios se ha enfocado en diferentes instancias de análisis: *i)* entre eslabones de la cadena de suministro (proveedor-fabricante, fabricante-distribuidor, distribuidor-detallista, etc.), es decir, entre clientes y proveedores; *ii)* entre áreas funcionales (abasto-producción, producción-distribución); y *iii)* entre actividades logísticas funcionales (compras-producción, producción-inventario, producción-transporte, inventario-transporte, etc.); y *iv)* la combinación de dichas instancias (Thomas y Griffin, 1996). Todo lo anterior, circunscrito a modelos de empresa con estructuras de organización centralizadas o descentralizadas.

Además, cabe señalar que el tema de la coordinación de inventarios ha sido atendido por medio de la instrumentación de estrategias de coordinación entre clientes y proveedores. El enfoque principal se ha orientado a la reducción de los costos totales con beneficios compartidos, a través del diseño de una adecuada política de suministro. Baganha y Cohen (1998) demuestran que las políticas de gestión de inventarios pueden tener un efecto desestabilizador debido al incremento en la volatilidad de la demanda, tal y como está pasando a largo de la cadena de suministro.

En tal virtud, llama poderosamente la atención por conocer ¿Cómo ha sido abordado el tema de la administración de los inventarios en los últimos años? ¿Cuáles son las estrategias más exitosas para la coordinación de inventarios?, ¿Cuáles son los principales factores involucrados en la conformación de los modelos de coordinación?, ¿Cuál es la tendencia del proceso de la gestión de

inventarios en el contexto de la cadena de suministro?, y sobre todo interesa descifrar ¿Cómo se considera la participación del transporte en los modelos de inventario?

En particular, la coordinación proveedor - cliente se puede realizar: a) basada en la reducción de costos sin cambiar las políticas de abastecimiento; b) introduciendo el sistema EDI (*Electronic Data Interchange*); c) introduciendo nuevos equipos de manejo de materiales; d) definiendo políticas de inventarios conjuntas; e) proporcionando descuento en los precios, bajo los supuestos del lote económico; f) administrando los costos de resurtido y preparación; g) considerando alguna especie de estrategia de suministro (por ejemplo, épocas comunes de resurtido, Inventario Administrado por el proveedor, etc.); h) respaldada en la formación de familias de productos que comparten un tiempo de preparación; i) definiendo relaciones de colaboración a largo plazo (contratos, precios, apoyo a la innovación); y j) una combinación de las anteriores.

Entre los aspectos que apoya la coordinación proveedor - cliente en la cadena de suministro se encuentra la reducción en los tiempos de entrega; mayor confiabilidad de los envíos; una reducción de costos (de transporte, de producción, de ordenar), mejora en la programación de la producción y de los envíos; mayor rentabilidad de la cadena, etc., con la consiguiente mejora en la posición de las empresas en la cadena.

A pesar de la importancia y relevancia de la coordinación basada en relaciones de colaboración, una investigación anterior al presente trabajo (Jiménez, 2004) pone de manifiesto que en México este tipo de prácticas logísticas no se ha desarrollado del todo, pues reporta que los empresarios no están preparados para ello. Especifica que no existe buena voluntad y confianza para compartir información, tecnología u otro tipo de recursos, limitando el escenario de las estrategias horizontales para el desarrollo de interrelaciones más formales. Como resultado de esta situación, según datos del Gobierno Mexicano, los costos logísticos a nivel global equivalen al 15% de su Producto Interno Bruto, que en comparación con otros países, éstos se encuentran muy por arriba. Por ejemplo, los costos logísticos de Estados Unidos son del 8.8%, y de la Unión Europea apenas representan el 7.2% del PIB; en tanto, las cifras para Asia y Sudamérica son del 13 y 18%, respectivamente.

Fuentes oficiales de la Secretaría de Economía señalan que en el 2004 la mayoría de las empresas mexicanas destinaron alrededor del 12.5% de sus gastos totales

a este segmento. De esa cifra, 40% se consignan al transporte y 60% a inventarios y almacenaje (Ortega, 2004). Estiman que parte de la problemática se debe a la falta de una mejor administración y coordinación entre los socios comerciales.

Objetivo general

Por lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo primordial conocer los enfoques más recientes para la gestión de los inventarios en el contexto de la cadena de suministro, y cómo se ha considerado el aspecto del transporte en los modelos matemáticos para la definición de la política de abasto por parte de los diversos autores que tratan el tema de la coordinación de inventarios entre clientes y proveedores, con el firme propósito de identificar los vacíos o líneas futuras de investigación que permitan explorar con mayor detalle su posible adopción a las condiciones actuales de las empresas mexicanas.

Objetivos específicos

- Identificar las principales estrategias utilizadas para la coordinación de inventarios
- Analizar y caracterizar los trabajos de investigación que tratan los modelos más recientes sobre la coordinación de inventarios
- Identificar los parámetros y variables relevantes consideradas en los sistemas de coordinación de inventarios
- Identificar nuevas líneas de investigación

Hipótesis

Un examen de las condiciones generales sobre la coordinación de los inventarios se puede aceptar como una magnífica oportunidad de estudio en la que llega a suponerse que aun en la estructura más simple de la cadena de suministro, constituida por un proveedor y un cliente es requisito insoslayable plantear la política de inventario, bajo alguna estrategia de gestión para que el sistema de abastecimiento proveedor-cliente sea eficiente en ciertas condiciones de demanda, precio de los productos y número de artículos suministrados, entre otros aspectos.

Metodología y alcances

Para dar respuesta a la hipótesis formulada, como metodología de investigación se llevó a cabo un ejercicio de revisión (“*estado del arte*”) de los trabajos relacionados con la coordinación de inventarios entre clientes y proveedores. Debido a la gran cantidad de artículos que tratan el tema, y por el interés que prevalece en esta investigación, los alcances de este trabajo se limitan a revisar únicamente aquellos artículos que modelan la coordinación de inventarios, y consideran a la demanda en el ámbito determinista; es decir, se ha decidido discriminar los artículos con un enfoque estocástico, con alguna excepción por el aporte directo que representa a esta investigación.

Las fuentes encontradas se obtuvieron de las principales revistas o publicaciones arbitradas de carácter internacional, de autores de reconocido prestigio y de algunas de la red mundial *Internet*.

Los alcances específicos de este trabajo, están contenidos en los siguientes capítulos que lo constituyen:

La presente **Introducción**, señala algunos aspectos de carácter general del sistema de inventarios, y describe brevemente la problemática existente y el motivo que originó este reporte, así como los alcances del mismo. Por supuesto, presenta también brevemente un resumen de los capítulos del trabajo.

El capítulo 1, **El sistema de inventarios**, presenta un panorama general de la gestión de los inventarios. Se identifica su problemática de manera breve y resumida. Asimismo, se definen los costos relevantes de inventario y su relación intrínseca. Cabe aclarar que en este capítulo no se pretende llevar a cabo un análisis profundo de los diversos aspectos relacionados con el tema en cuestión, ya que ello está bastante documentado en la literatura existente. Sin embargo, su enfoque busca destacar aquellos elementos más relacionados con el tema de la coordinación de inventarios, que sirven como preámbulo para abordar el tema de la relevancia de la coordinación de inventarios entre cliente-proveedor. Más adelante se hace un breve análisis de la relación entre el tamaño de la orden y su período de colocación, los cuales dan origen al modelo clásico de lote económico (EOQ). Posteriormente se analiza la estructura jerárquica de los inventarios en el contexto de la cadena de suministro.

El capítulo 2, **Coordinación de inventarios en la cadena de suministro**, inicia con la descripción del medio ambiente operativo de la coordinación cliente-proveedor. Establece las bases del comercio mundial que dan origen a la formación de las cadenas de suministro a partir de la apertura comercial y la competitividad internacional. Después, enfatiza la relevancia de la coordinación centralizada y descentralizada entre clientes y proveedores, en la que se identifican sus diferencias específicas. Más tarde se destacan los mecanismos utilizados por los eslabones de la cadena para lograr la coordinación, que son aplicados en el desarrollo de las estrategias diseñadas para el mejor desempeño colectivo y funcional, en todos los ámbitos de la cadena (por ejemplo: planeación, operación y ejecución) al largo, mediano y corto plazos.

En el capítulo 3, **Estrategias de coordinación cliente-proveedor**, se presentan un breve ensayo de las estrategias de coordinación que más se han utilizado en la praxis empresarial. De acuerdo con la hipótesis de este proyecto de investigación, el interés se centra en presentar las estrategias más empleadas para la coordinación de las actividades fundamentales y de operación entre clientes-proveedores, dirigidas a resolver problemas de abasto y control de inventarios. Por tanto, a partir del estudio de los modelos matemáticos para la coordinación de los inventarios, primero se hace un recuento de aquellas estrategias de coordinación aplicadas en todos los ámbitos de la cadena de suministro; después, se describen y detallan las más orientadas hacia la coordinación de inventarios entre cliente y proveedor, las cuales dan un claro ejemplo de la modernidad de las relaciones comerciales del presente siglo.

En el capítulo 4, **Modelos de coordinación de inventarios**, se incluye una revisión del estado del arte de los modelos desarrollados en la coordinación de inventarios entre cliente-proveedor. En principio, se describen los tipos de modelos que han sido desarrollados y las principales características que los distinguen. Posteriormente, se hace referencia, por su estructura básica, de los modelos más representativos desarrollados por investigadores de reconocido prestigio internacional. Debido a la gran cantidad de artículos que tratan el tema y por el interés que prevalece en esta investigación, se decidió discriminar los artículos que abordan la coordinación con un enfoque estocástico; es decir, que únicamente se reportan artículos del ámbito determinista, con alguna excepción por el aporte directo que le representa a este trabajo. Al final se presenta una clasificación de los modelos, de acuerdo con las variables fundamentales identificadas.

Finalmente, en las **Conclusiones y líneas futuras de investigación** se ofrecen algunos comentarios sobre los resultados de la identificación de las estrategias y los modelos de coordinación de inventarios; se presentan además algunas directrices sobre las líneas de investigación identificadas.

1 El sistema de inventarios

En este capítulo se atiende el tema de los inventarios y sus problemas de gestión, de manera breve y resumida. Se identifican y definen los costos relevantes de inventario y su relación intrínseca. Cabe señalar que en este capítulo no se pretende llevar a cabo un análisis profundo de los diversos tópicos relacionados con el tema en cuestión, ya que ello está bastante documentado en la literatura existente. Sin embargo, más bien el enfoque está dirigido a identificar aquellos elementos que más relacionados con el tema de la coordinación de inventarios, que sirven como preámbulo para abordar el tema de la relevancia de dicha coordinación entre cliente-proveedor, que más tarde se describe.

1.1 Inventarios

Los inventarios son un recurso inactivo que podría utilizarse para producir un beneficio y que, sin embargo, deben mantenerse con objeto de satisfacer una demanda. De hecho, el problema consiste en gestionar o controlar los inventarios; es decir, tener en existencia los materiales, productos, personal, equipo o el dinero, según se trate, de manera tal que se logre un equilibrio entre los costos propios de mantener un inventario y los costos de no poder satisfacer una demanda. La gestión de inventario está relacionada con el flujo, dentro y desde la compañía, y con el equilibrio o exceso entre almacenes en un ambiente de incertidumbre (Tersin, 1988). A nivel meramente básico, es el resultado en el tiempo, de la diferencia entre la acumulación de la oferta y la acumulación de la demanda.

Matemáticamente, el nivel de inventario se puede expresar de la siguiente manera: sea $I(t)$ el nivel de inventario en la planta en el período t , y el estado inicial del inventario es $I(0)=0$. Sea $S(0, t]$ la oferta acumulada (flujo de entrada a la planta) en el período t , y $D(0, t]$ la demanda acumulada (flujo que sale de la planta) en el período t (van Ryzin, 2001). Entonces:

$$I(t) = S(0, t] - D(0, t] \quad (1.1)$$

Sin embargo, cuando $I(t) < 0$ implica que $D(0, t] > S(0, t]$; por tanto, existe cierto nivel de escasez.

El planteamiento antes señalado de ninguna manera es deseable; lo ideal sería que $S(0, t] = D(0, t]$. No obstante, en la vida real las cosas no son tan simples, y esta idea bien puede ser considerada como utópica. Lo verdaderamente relevante cuando se estudia el tema de inventarios, es tratar de encontrar las causas que provocan el desequilibrio entre la oferta y la demanda.

De hecho, el desequilibrio de la oferta y la demanda es en muchas ocasiones deliberado. Por ejemplo, para atender demandas de estación, como es el caso de productos navideños, juguetes infantiles, ropa de invierno; o en situaciones especiales como serían los almacenes localizados en las comunidades marginadas con difícil acceso en México; ahí, cada año el nivel de inventario de productos de primera necesidad se magnifica con meses de anticipación a la época de lluvias, lo anterior debido a que las comunidades quedan incomunicadas, ya sea por la creciente de los ríos que las circundan o por el mal estado de los caminos, haciendo prácticamente imposible el abasto.

Una segunda razón por crear desequilibrio en la oferta y la demanda, es para tomar ventaja de los cambios en los costos de materiales o productos, por ejemplo, es muy común que las distribuidoras de cigarros almacenen grandes inventarios de este producto semanas antes de un aumento en el precio. En tal virtud, dichas operaciones de compra parecen estar más orientadas a la planificación de negocios en el futuro, que en decisiones operativas normales.

Los desequilibrios de oferta y demanda también ocurren cuando los eslabones de la cadena de suministro están separados en el tiempo y/o la distancia. Por ejemplo, supóngase que se inician operaciones de abastecimiento desde un centro doméstico de distribución a un cliente localizado en un mercado en ultramar, al que se le envían 3,000 unidades de productos por semana por medio de una cadena de transporte (camión-barco, portacontenedores-camión) que demora cinco semanas de tiempo total. En este tiempo no sucede mucho en la planta de recibo, al menos no durante las cinco primeras semanas, cuando reciben los artículos embarcados en la semana cero. En la semana seis, los socios en ultramar recibirán lo embarcado en la semana uno; en la séptima semana recibirían los productos embarcados en la semana dos, y así sucesivamente.

En otras palabras, la salida del almacén es la entrada retrasada en la planta cinco semanas antes: $D(0, t] = S(0, t - 5]$. De ahí que $I(t) = S(0, t] - S(0, t - 5]$

represente el inventario durante el transporte, conocido comúnmente como “*inventario en tránsito*”, el cual simplemente es la cantidad acumulada de productos durante las cinco semanas anteriores. En este caso, debido a que se embarcan exactamente 3,000 unidades por semana, el inventario en tránsito es una constante de 15,000 unidades ($5 \times 3,000$).

Por lo anterior, en una cadena de transporte con una demora de L unidades de tiempo, el inventario en tránsito está dado por:

$$I(t) = S(0, t] - S(0, t - L] \quad (1.2)$$

Desde luego, el transporte no es la única causa de demoras entre dos eslabones en la cadena de suministro. Los tiempos de ciclo de producción, comunicación y colocación del pedido introducen también demoras significativas. En cualquier momento dichas demoras están presentes y pueden ocasionar importantes fluctuaciones en los niveles de inventarios, provocando el ya conocido “*efecto látigo*” (*Bull Whip Effect*).

Por tanto, el estudio del fenómeno de los inventarios, el cual considere ambos aspectos (inventario en planta (almacén) y en transporte) se puede considerar de vital importancia para el establecimiento y elección de la estrategia de coordinación.

1.2 Problemática y sus costos relevantes

Muchos académicos y practicantes han señalado que las inversiones en inventarios representan una gran proporción de los bienes de la compañía. De hecho, estiman que la inversión puede llegar a representar entre el 20 y 40% del total (Tersin, 1988, Verwijmeren y Donselaar, 1996).

El inventario encapsula el dinero; y una mala gestión del mismo puede afectar el estado financiero de las compañías. Tener demasiado inventario es tan problemático como disponer de poco. Demasiado, implica costos adicionales innecesarios relacionados con el almacenaje, seguros, impuestos y los correspondientes al deterioro u obsolescencia de los artículos que se mantienen en existencia. Dichos costos son crecientes con el aumento del inventario. Sin embargo, existen otros que disminuyen cuando el inventario aumenta. En general, los costos relevantes del inventario son los siguientes:

1. Costo de adquisición o de manufactura (en caso de fabricación). Considera costo de mano de obra directa o indirecta, costo de materiales directos o indirectos, gastos generales (se expresa en unidad monetaria por unidad de producto).
2. Costos por ordenar. Costos administrativos y de oficina involucrados en el proceso de una orden de compra, despacho, trámite del pedido, costo de transporte o costo de iniciar una tanda de producción, en caso de fabricación (se expresa en unidad monetaria por orden).
3. Costo de almacenamiento. Dinero inmovilizado en inventario, costo del espacio de almacenamiento, costo de manipulación, costo de seguro, obsolescencia, deterioro de calidad, costo de tener registro de inventario (expresado en unidad monetaria / unidad/unidad de tiempo).
4. Costo por faltantes/escasez (déficit). Considera los requerimientos de tiempo extra ocasionado por el déficit, tiempo adicional de oficinas administrativas, costo de apresuramiento, pérdida de reputación, costo especial de manipulación y embarque, pérdida de tiempo de producción y cualquier otro costo atribuible al déficit (expresado en unidad monetaria/unidad-unidad de tiempo). No considera ventas perdidas porque supone que esto no ocurre ya que contemplan solo retrasos en las entregas.

La relación intrínseca de los costos de inventarios tiene diversos planteamientos, por ejemplo: poco inventario puede provocar escasez (*stockouts*) e interrupciones en los sistemas de producción. Además, la producción de largo plazo, asociada a un nivel de inventario alto, oculta problemas de producción (por ejemplo: calidad) que puede dañar el desempeño de la compañía a largo plazo (Vergin, 1998). Por tanto, el problema de inventario supone la existencia de una relación directa entre los diferentes tipos de costos mencionados; por ejemplo, al aumentar el inventario, el tercer tipo de costo crece y el segundo decrece. El inventario óptimo es aquel para el cual la suma de estos costos se hace mínima (véase figura 1.3).

Asimismo, los costos asociados con el retraso o la imposibilidad de satisfacer la demanda, se traducen en pérdida de ventas o incluso de clientes. Los costos de preparación, procesamiento, y de realizar una orden de compra (o de producción), o los relacionados con la puesta en marcha para la producción de un lote, crecen para lotes de pequeño tamaño; también, los costos asociados con el ahorro

obtenido por descuentos en el precio de compra o por las economías de escala al producir grandes lotes, se pueden ver reducidos ante un aumento en los costos de almacenamiento.

De acuerdo con Lambert, *et al.* (1998), el objetivo principal de la gestión de inventarios ha sido la de maximizar la rentabilidad de la compañía, minimizando el costo de capital inmovilizado en el inventario y al mismo tiempo satisfacer los requerimientos de servicio al cliente.

Tradicionalmente, una empresa siempre tiene intereses en conflicto: Ventas pretende mantener un inventario alto y variado para poder surtir cualquier pedido; Compras también busca manejar grandes inventarios, al querer aprovechar los descuentos y fluctuaciones decrecientes en los precios; Producción quiere programar y realizar grandes volúmenes, procurando reducir los costos unitarios; en cambio, Finanzas se interesa por la rentabilidad de la empresa y en el flujo neto de efectivo, por lo que trata de bajar los inventarios; con objeto de evitar las pérdidas por obsolescencia, Ingeniería tiende a disminuir los inventarios.

De este modo, lo que debe importar realmente es poder determinar el inventario óptimo de cada artículo, que equilibre los intereses de las partes en conflicto. Por tanto, los costos relevantes ya descritos dependen de la cantidad adquirida (producida) por orden, de la frecuencia de adquisición (producción), o de ambas variables. En concreto, resolver un problema de inventario consiste en definir cuánto y cuándo debe ordenarse.¹

1.3 Gestión de inventarios

El tema de la gestión de inventarios es por excelencia uno de los temas más atendidos por los académicos, y de mayor interés para los industriales. Ganeshan y Harrison (1995) señalan que debido a que el costo de los inventarios puede estar entre el 20 y el 40% de su valor, su eficiente administración se vuelve un factor crítico en la operación de la cadena, y estratégico para lograr las metas globales de gestión. Los costos de inventario son relativamente los más fáciles de identificar y acometer cuando se atienden problemas de la cadena de suministro.

¹ Además de los campos de acción típicos de los problemas de inventario, como son el de compras y el de producción, éstos aparecen también en la formación de recursos humanos, en la determinación del tamaño óptimo de un equipo, o en la determinación de la cantidad de capital circulante que debe haber en una empresa.

Su relación con muchas de las actividades logísticas de la cadena de suministro es muy evidente. La implementación de muchos métodos y técnicas para resolver el problema de inventarios ha logrado desarrollos importantes a nivel de tecnologías para abordar este tema, sin embargo, Cardona, *et al.* (2001), argumentan que aun no se recogen los resultados esperados por los expertos.

Los inventarios muchas veces son inevitables. En alguna parte de los eslabones de la cadena de suministro existen, lo que implica que las decisiones sobre su cantidad sean tomadas por algún decisor, cuyo control sobre los procesos que definen el nivel del inventario (demanda y reposición) se encuentra muy limitado (Tomé, 2005). Según Waters (2001), considerando dichos procesos existen tres decisiones que pueden resumir los grados de libertad del tomador de decisiones: *i)* ¿Qué productos deben ser almacenados?, *ii)* ¿Cuándo colocar el pedido? y *iii)* ¿Cuánto debe pedirse? Para Hopp (2004), la toma de decisiones sobre el nivel de inventario involucra la necesidad de elegir entre *costo y servicio (trade-off)*.

En términos del costo, el modelo básico de gestión de inventarios permite evaluar la decisión (*trade-off*) de frecuencia de pedido y el nivel de inventario. La base técnica establece que una mayor frecuencia de pedido (o producción) de un producto, resulta en un menor nivel de inventario en el sistema. De esta manera, si un producto que experimenta una demanda constante a una tasa de unidades por año D , que es surtida instantáneamente en lotes de tamaño Q , el producto será surtido con una frecuencia $F = D/Q$ veces por año y el nivel de inventario promedio será $Q/2$ (véase figura 1.1).

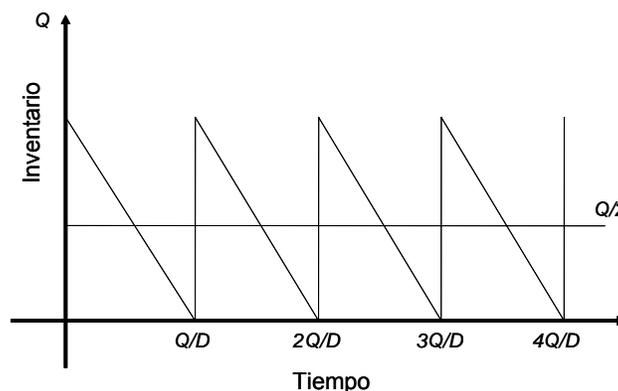


Figura 1.1
Disponibilidad de inventario con demanda constante

Fuente: Hopp (2004).

Ello significa que cada vez que se duplique la frecuencia de pedido (para disminuir Q), se reducirá a la mitad el nivel de inventario. De ahí que, la relación entre el nivel de inventario y la frecuencia de pedido mostrará un comportamiento como el que se observa en la figura 1.2.

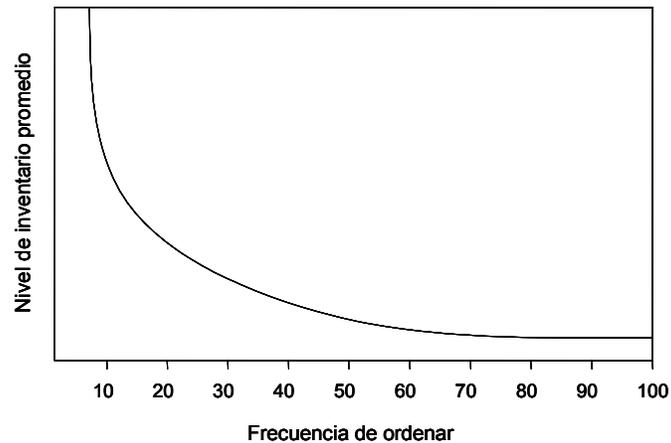


Figura 1.2
Nivel de inventario versus frecuencia de ordenar

Fuente: Hopp (2004).

No obstante lo anterior, a pesar de que el abasto más frecuente de un producto tiene un gran impacto en el inventario, se ha demostrado también que los beneficios de esta política de inventario disminuyen rápidamente. Para comparar lo anterior, basta considerar los costos de manutención de inventario y de colocación de órdenes de resurtido, a partir de la relación mostrada en la figura 1.2. Por ejemplo, si h es el costo de mantener una unidad de inventario por año, y A el costo por colocar una orden de surtido, sus costos anuales serán $hQ/2$ y AD/Q , respectivamente. En términos del valor de Q (la cantidad a pedir), las funciones de costo de manutención y por ordenar acusan un equilibrio económico, y minimizan el costo total en el punto donde los costos marginales de manutención son iguales a los costos marginales por ordenar (véase figura 1.3), es decir, $hQ/2 = AD/Q$, lo cual implica que el tamaño del lote se calcule con:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h}} \quad (1.3)$$

Fórmula muy conocida para calcular la cantidad de pedido económico (EOQ: *Economic Order Quantity*, por sus siglas en inglés), que establece las bases para

integrar el almacenaje y los costos por ordenar en el momento de determinar la cantidad del lote a producir o comprar (¿cuánto pedir?).

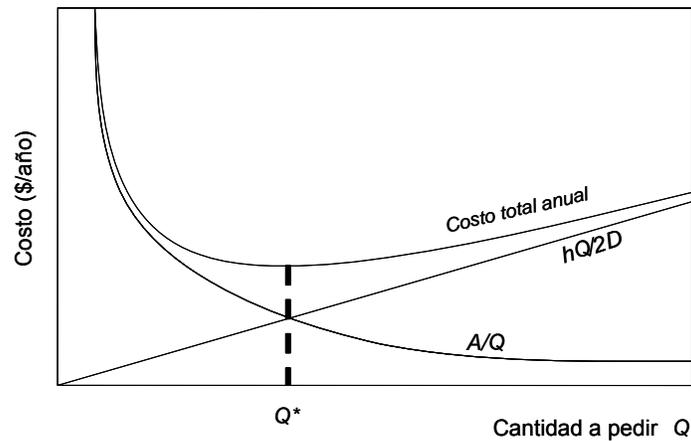


Figura 1.3
Inventario anual y costos por ordenar como una función del tamaño del pedido

Fuente: Hopp (2004).

En el contexto de la gestión de la cadena de suministro los conflictos de intereses entre las actividades logísticas de los diversos eslabones de la cadena se recrudecen, y el nivel de incertidumbre se incrementa sobre los procesos que definen el nivel del inventario (demanda y reposición) haciendo poco práctico el modelo básico de gestión de inventarios. Según Delgado y Marín (2000), a partir de las aportaciones hechas por Harris (1915) del modelo *EOQ* y de Wilson (1934) del sistema de reposición de inventarios mediante “*punto de pedido*” (¿cuándo pedir?), se desarrollan diferentes variantes en las que se incorporan nuevos condicionantes.

Muchos investigadores han desarrollado modelos matemáticos más sofisticados para la gestión de inventarios considerando múltiples variables y parámetros, relacionados con la demanda, el número de productos, eslabones, períodos de reaprovisionamiento constante y dinámico, variación de precios, coordinación entre proveedores y clientes, etc.

1.4 Sistema jerárquico de inventarios en la cadena de suministro

En términos generales, en una empresa industrial más o menos compleja se tienen sistemas de aprovisionamiento a varios niveles o entre departamentos, conocido como inventario multinivel. El problema que plantea dicho inventario supone la minimización del costo total a todos los niveles.

Así, los inventarios más comunes en cada nivel son: 1) inventario de materias primas (artículos para producción: componentes, subensambles; artículos para oficina y herramientas); 2) inventario de productos en proceso; 3) inventario de productos terminados; y 4) inventario en tránsito (véase figura 1.4). Por materia prima se puede entender como aquellos productos comprados a proveedores para usarse como insumo en el proceso de producción y transformación a bienes terminados. Los productos en proceso (*WIP*, por sus siglas en inglés) se refieren a los bienes parcialmente terminados que se encuentran todavía en el proceso de fabricación. Los productos terminados son bienes finales disponibles para venta, distribución, almacenaje y consumo.

El inventario en tránsito está compuesto por aquellas mercancías que se encuentran en la ruta de transporte para su consumo final. Hay quienes consideran las provisiones como otro tipo de inventario, y éste se refiere a todo artículo utilizado para el mantenimiento, reparación, y elementos de apoyo para las operaciones (es decir, lápices, papel, bombillas, máquina de escribir, cintas, y artículos de mantenimiento de instalación), desde luego, este tipo de inventario no es considerado en este trabajo (Tersin, 1988).

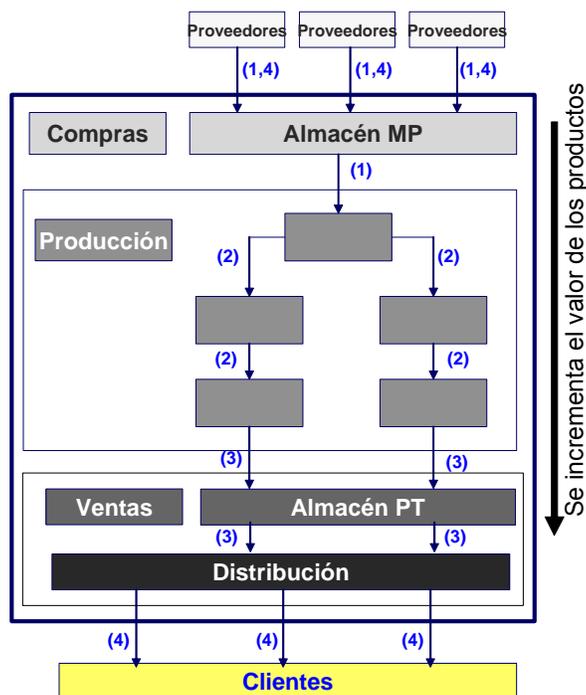


Figura 1.4
Tipos de inventario

Una situación relevante de este esquema de inventarios reside en que cada vez que los materiales cursan una nueva área funcional, los productos poseen mayor densidad económica, lo que hace más significativa la necesidad de lograr la mejor gestión de inventarios por medio de la integración de los procesos entre las áreas funcionales de la empresa, y por supuesto entre proveedores y clientes. En tal caso, ello puede ayudar a reducir los altos costos de capital que genera el almacenaje de artículos terminados. En la figura 1.4, el sombreado en gris hasta el negro total así lo pretende ilustrar.

Por lo anterior, un problema común de la gestión de inventarios consiste en determinar en qué punto del proceso de producción deben formarse, y en qué deben consistir. Cuanto más elaboradas estén las mercancías mantenidas en existencia, menor será el retraso en el suministro a clientes, pero mayores serán los costos de capital por almacenaje; lo contrario ocurre con las mercancías menos elaboradas (en forma de materias primas en el caso extremo).

El problema planteado es más complejo cuando el sistema de inventarios tiene carácter multieslabón. Es decir, cuando el suministro involucra más de un

elemento por eslabón. Por ejemplo, si existe más de un proveedor que abastece los componentes a un fabricante para su ensamble, y que éste a su vez envíe sus productos terminados a más de un distribuidor. Este tipo de esquemas es complejo debido a que cada miembro del eslabón manejará distintos niveles de inventario. Por lo anterior, la coordinación de inventarios y sus flujos se convierte en un desafío clave en la gestión de la cadena de suministro. Cuanto mayor sea el número de elementos por eslabón, más alto será el costo de almacenaje en la cadena; pero una buena coordinación de inventarios permitiría incluso reducir las ventas perdidas por la escasez.

Con base en lo anterior, Hopp (2004) señala que las cadenas de suministro pueden estar estructuradas de muy diversas maneras. Afirma que la configuración de las mismas está influenciada por el diseño del producto, geografía del mercado, las expectativas del cliente, así como de las decisiones de gestión. En una estructura específica puede haber muchas variaciones sobre las estrategias de inventarios, políticas de envío, procedimientos de comunicación e información y otros parámetros. Algunas posibilidades se muestran en la figura 1.5. Cabe señalar que por la complejidad que presentan, los sistemas de gestión multieslabón actualmente han recibido mucha atención.

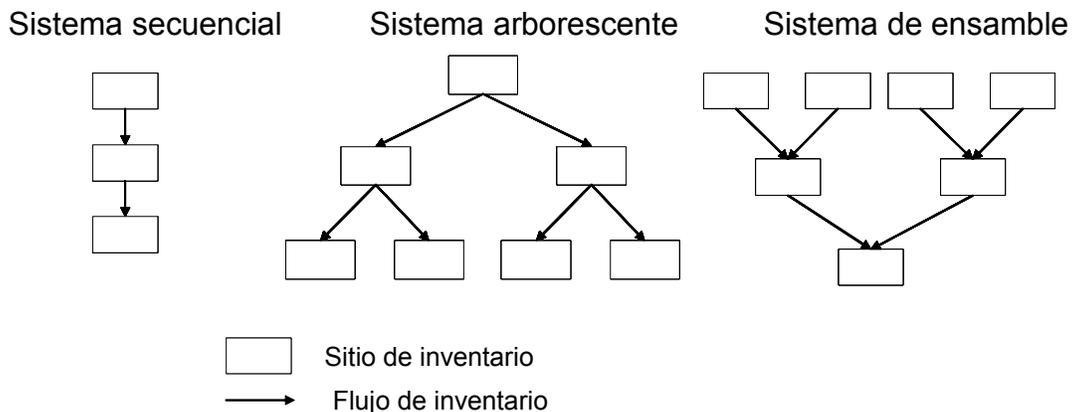


Figura 1.5
Ejemplo de configuraciones de cadena de suministro multieslabón

Fuente: Hopp (2004).

Desde el punto de vista del flujo de las materias primas y los insumos en el proceso de producción, Hopp (2004) señala que los inventarios se dan por los “cuellos de botella” debido al uso intensivo de los recursos asignados (maquinaria, equipo, servicios de apoyo, etc.), provocando colas de espera debido a sus limitaciones de capacidad. Afirma que variaciones en la demanda, tiempo de procesamiento, tiempo de entrega y otros factores afectan también a los flujos,

requiriéndose de puntos de almacenamiento (*buffering*) en forma de inventario, capacidad o tiempo. Concluye que la variación impacta principalmente aquellos recursos que son altamente empleados.

En la cadena de suministro, la operación es muy similar a los flujos de producción. También se presentan puntos de inventario que surgen por la necesidad de almacenar productos, realizar entregas rápidas, reaccionar a las variaciones de la demanda, o como consecuencia de alguna estrategia de gestión. En este contexto, Hopp (2004) mira la cadena de suministro como un sistema jerárquico de inventarios; es decir, cada eslabón recibe su inventario desde el anterior y entrega inventario al eslabón inferior (véase figura 1.5 anterior).

No obstante, la gestión de inventarios en la cadena de suministro es una situación que se torna muy compleja, y por lo que, el estudio por segmentos o descomposición, es una alternativa para la definición de políticas adecuadas de cooperación. Así, se puede pensar en dividir una cadena de suministro compleja en una serie de piezas más simples, constituidas por un proveedor que abastece a un sólo cliente, y que éstas se encuentren realmente coordinadas y conectadas por el transporte. Esto puede ayudar a reducir dicha dificultad, y sólo se espera que se desarrollen las estrategias más adecuadas de coordinación entre cada par de eslabones de la cadena entera (véase figura 1.6).

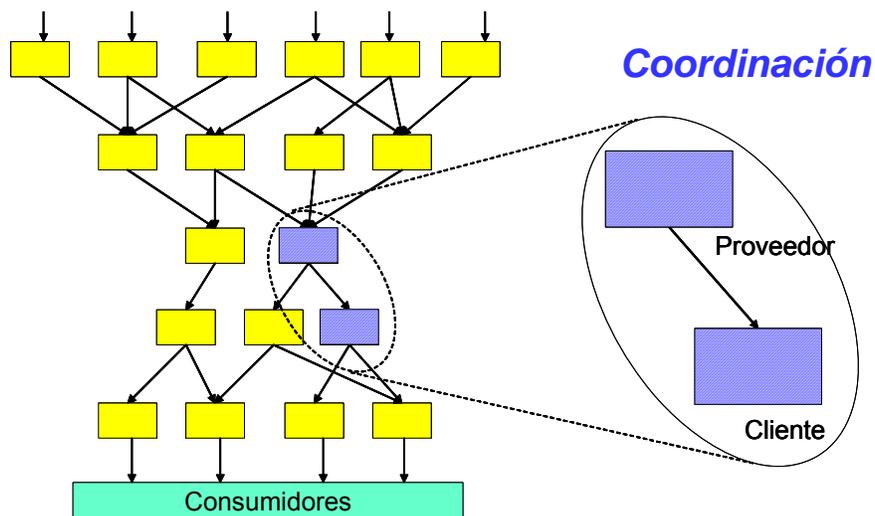


Figura 1.6
Segmento de estudio de la cadena de suministro

Por todo lo anterior, el problema podría ser más específico y encasillarlo en determinar entre el cliente y el proveedor ¿Dónde deben formarse los inventarios? La respuesta a esta interrogante, evidentemente no es sencilla puesto que obviamente ninguna empresa querrá cargar con los costos que ello representa, por tanto, el diseño de una estrategia de gestión entre las partes, se justifica plenamente.

1.5 Relevancia de la coordinación cliente-proveedor

La efectiva coordinación juega un papel muy importante en el éxito de la operación de modernos sistemas de inventarios. Si tal coordinación no existe, el proveedor y cliente actúan de manera independiente y toman decisiones que maximizan sus respectivos beneficios, o minimizan sus costos individuales. El resultado puede que no sea el óptimo si se considera a la cadena de suministro como un todo (Chan y Kingsman, 2005). Por lo anterior, la relevancia de la coordinación de inventarios en la cadena de suministro, reside en lograr resultados conjuntos que maximicen los beneficios de cada uno de los miembros de la cadena entera.

Entre los aspectos que apoya la coordinación proveedor-cliente en la cadena de suministro, se encuentran: el acortamiento de los tiempos de entrega; mayor confiabilidad de los envíos; reducción de costos (transporte, producción, ordenar); mejora en la programación de la producción y de los envíos; mayor rentabilidad de la cadena, etc.

Uno de los temas más discutidos es el relacionado con la coordinación de inventarios. Para ello, se ha desarrollado una cantidad importante de modelos enfocados a determinar el tamaño óptimo del lote de pedido y de producción, para el cliente y el proveedor, respectivamente.

En los últimos años, la justificación técnica y económica de los esquemas de coordinación de inventarios comienza abundar. El caso específico de una iniciativa "*justo a tiempo*" demostró que si se impone la política óptima del cliente (órdenes más frecuentes y pequeñas), el proveedor tendría un sobre costo de alrededor del 71% en relación con su política óptima. Para el caso en el que el proveedor impusiera su política óptima (suministrar órdenes grandes y pocos envíos), el cliente estaría 165% por arriba de su política óptima.

Desde el punto de vista del cliente y bajo su política óptima, el costo del sistema estaría 6.9% por arriba con respecto a la política óptima conjunta. Mientras que un enfoque basado en la política óptima individual del proveedor, los costos totales del sistema estarían por arriba del 68% de la política óptima conjunta (Pawlowski y Akbulut, 2002). Estas cifras evidencian que la implementación de una política de inventarios conjunta podría permitir la reducción de los costos totales del sistema.

Vale decir que la mayoría de los modelos de coordinación de inventarios se encuentran inmersos en la teoría de control de inventarios del tipo multieslabón, en el contexto del problema conocido como “tamaño de lote” (*Lot-Size Problem; LSP*). En el ámbito de la cadena de suministro (*enfoque interempresarial*), tal situación es evidente puesto que se busca resolver el problema de inventarios entre proveedores y clientes.

En general, los modelos de coordinación de inventarios buscan evaluar el impacto de las estrategias en el desempeño de la cadena de suministro, desde el punto de vista económico y de gestión. Por ejemplo, reducción de los costos por: procesar órdenes, almacenar, pérdidas de ventas, inventarios en tránsito; así como determinar el tamaño del lote, períodos de surtimiento y cantidades de descuento en el precio de los productos.

Los mecanismos encontrados para la coordinación de inventarios son diversos, y se han estudiado por un sinnúmero de investigadores que han desarrollado modelos matemáticos bajo condiciones y supuestos específicos.

Por todo lo anterior, se puede asumir que existe un desafío interesante en la gestión de la cadena de suministro para que se lleve a cabo el más alto nivel de coordinación e integración de las actividades logísticas, al interior de las unidades de negocios, y entre ellas, para alcanzar el mejor desempeño en el manejo y control de inventarios en la cadena entera que minimice el costo total de sistema (Lourenço, 2002).

Una revisión de la literatura disponible sobre las consideraciones hechas por los autores de los modelos relacionados con la coordinación de inventarios, se muestra en un capítulo más adelante.

2 Coordinación de inventarios en la cadena de suministro

En el capítulo anterior se ha ilustrado la importancia de la coordinación de inventarios en el contexto general de la gestión de la cadena de suministro, bajo el cual el presente trabajo se lleva a cabo. En dicho contexto, se identifican los problemas de gestión del sistema de inventarios y la relevancia de su coordinación entre clientes y proveedores. Ahora, en este capítulo es importante reconocer todos aquellos elementos que motivan dicha coordinación.

Por lo anterior, este capítulo inicia con la descripción del medio ambiente operativo de la coordinación cliente-proveedor. En un ambiente de competitividad internacional, se establece las bases del comercio mundial que dan origen a la formación de las cadenas de suministro y sus necesidades de coordinación. Después, enfatiza la relevancia de la coordinación entre clientes y proveedores en los modelos de empresa centralizados y descentralizados, en la que se identifican sus diferencias específicas.

Más tarde se destacan los mecanismos utilizados por los eslabones de la cadena para lograr la coordinación, que son aplicados en el desarrollo de estrategias diseñadas para el mejor desempeño colectivo y funcional, en todos los ámbitos de la cadena (por ejemplo: planeación, operación y ejecución) al largo, mediano y corto plazos.

2.1 Medio ambiente operativo de la coordinación cliente-proveedor

La transición hacia una economía global de mercado, ha provocado que las compañías enfoquen sus esfuerzos cada vez más a nichos de mayor valor agregado. En consecuencia, es más común comprar componentes de proveedores (Womack, *et al*, 1990), y concentrarse en el “núcleo” del negocio; es decir, ser más eficiente en éste y dejar que otros se hagan cargo de los procesos complementarios, asumiendo posiciones de proveedores estratégicos (Greco, 1997). De hecho, Jones y Kierzkowski (1990), establecen que una importante característica de la globalización del comercio, y en particular de las manufacturas, es el incremento en la fragmentación de la producción. Eugeni (1992), define esta

situación como una de las cuestiones que han dado origen a una mayor profundización en la división internacional del trabajo, concluyendo que el medio ambiente del comercio actual ha entrado en una nueva etapa de la división del trabajo, pero ahora a nivel interempresarial, es decir, entre clientes y proveedores.

Al respecto, Rodríguez (1999), señala que “...la división del trabajo ha sido la primera forma histórica de organizar el esfuerzo de un colectivo orientado a la consecución de ciertos objetivos comunes...”. Afirma que “...formulado en categorías sistémicas, dividir el trabajo permite reducir [la] complejidad asignando parcelas de problemas a unidades menores, a subsistemas especializados, pero al mismo tiempo incrementa la complejidad interna del sistema, entre otros motivos por crear conflictos entre las decisiones de dichas unidades...”. Pero aclara que “...esta complejidad, en problemas de comunicación y problemas de sincronización de decisiones y actividades parciales es el problema que debe reducirse mediante la coordinación de las decisiones-elementos del sistema que guían la co-operación dentro del todo organizado”.

En este sentido, diversos autores sostienen que el acelerado crecimiento del comercio internacional ha generado flujos de bienes que demandan altos niveles de coordinación entre diferentes países (Feenstra, 1998; Baldwin y Philippe, 1999; Meersman y Voorde, 2001; Feenstra y Gordon, 2001). Al mismo tiempo, se puede decir que grandes redes de transporte atienden dichos flujos.

Otros autores señalan que a partir del fenómeno de la globalización se dio inicio a nuevas formas de organización logística y de gestión de los flujos físicos, fortalecidas por el desarrollo tecnológico del transporte y las comunicaciones (Gallardo, 1996). No obstante esta situación, y a pesar de que Leiva (2004) reconoce que actualmente existe un fuerte incremento del uso de las tecnologías de la información en los procesos logísticos y de compras, que auguran un aumento en el desarrollo de nuevos negocios; asegura que la componente tecnológica es tal vez la menos problemática, pues advierte que los elementos claves para la sustentabilidad y eficacia de la integración son más bien aspectos relativos a políticas y acuerdos necesarios entre las organizaciones. Es decir, el fomento de las relaciones de colaboración que dan origen a la coordinación (Lynch, 2001).

Desde esta perspectiva, se podrá entonces aceptar que la globalización trajo consigo nuevos modelos de articulación logística de la producción, los cuales han permitido a las empresas avanzar hacia un cambio de su estructura de integración

vertical hacia una horizontal², reduciendo el grado de independencia de cada miembro del sistema (Alasoini, *et al*, 2001) pero propiciando a su vez el desarrollo de diversas estrategias de coordinación. Simichi-Levi, *et al*, (2000), aseguran que dichos esquemas de articulación logística y las estrategias de coordinación, exigen que todos los eslabones de la cadena operen sobre la misma base de un sistema homogéneo de producción y control.

Como consecuencia de este nuevo entorno económico, las empresas han desarrollado mecanismos de articulación conformando grandes cadenas logísticas de suministro con sus proveedores y clientes, con eslabones dispersos en ámbitos geográficos distintos, dando lugar a la conformación de redes locales y globales de producción operadas con sistemas logísticos sumamente desarrollados (Lowe y Wrigley, 1996; Parker, 1997; Meyer, 2000). Meersman y van de Voorde, (2001), reconocen la existencia de una tendencia creciente de la logística internacional hacia la gestión de la cadena de suministro y una competencia basada en el tiempo. Tal situación exige por un lado, mayor eficiencia e innovación logística, y por el otro un alto nivel de coordinación entre todas las etapas del proceso productivo (aprovisionamiento, producción, comercialización y distribución).

En palabras de Porter (1986) "...toda estrategia global se caracteriza por dos dimensiones o decisiones críticas estrechamente vinculadas: Coordinación y Configuración...". Por coordinación él identifica el grado y forma de interrelación de las diferentes actividades de la cadena de valor. Un mínimo grado de coordinación indica autonomía e independencia de las actividades en cada lugar, contradiciendo en parte la propia naturaleza de la empresa global. Por el contrario, un alto grado de coordinación será mayor cuanto más elevado sea el grado de globalización de la empresa.

La configuración, la refiere a la distribución geográfica de las distintas actividades que la empresa realiza por los diferentes países en los que ésta opera (o localización). Una empresa puede llegar a concentrar todas sus actividades productivas en un único lugar; en este caso, y aunque la compañía ofreciera sus productos a una multitud de naciones, no sería una auténtica producción internacional. Así, la clásica estrategia basada en la exportación ha consistido en localizar lo más posible la cadena de valor en el país de origen, dejando para el

² La integración vertical es una característica del modelo de producción fondista, y representa un medio de interiorizar riesgos posibles de mercado en fases diferentes de las cadenas de valor. La integración horizontal por su parte, busca el crecimiento ampliándose en nuevos sectores.

exterior únicamente actividades tales como ventas, distribución y servicio por su estrecha conexión con el consumidor.

Kjenstad (1998), señala que las compañías a fin de mantenerse competitivas están constantemente enfrentando desafíos para mejorar la calidad de su producto, reducir sus costos y el tiempo de ciclo en el mercado. Reconoce que “...tales desafíos no pueden ser superados con eficacia sólo por medio de realizar algunos cambios al interior de las unidades de negocio, ya que dependen de manera crítica de las relaciones e interdependencias existentes entre las diferentes entidades, tanto internas como externas a una corporación determinada...”.

De hecho, Porter (2000), establece que debe entenderse que “...la competitividad no es un fenómeno restringido a una empresa o a una industria, sino que es una cualidad de adaptación de las empresas...” (innovación logística). De esta forma, se ha detectado que una empresa responde a cambios en el entorno económico en función de la capacidad de transmisión de la información, estímulos y controles que posea a lo largo de toda la cadena a la que pertenezca. Como resultado, los beneficios de cualquier entidad de negocios en la cadena de suministro dependen directamente del desempeño de los otros (Kjenstad, 1998), y por supuesto de la buena disposición y habilidad para coordinarse. En este sentido, el alcance del concepto de competitividad parece estar orientado a la adecuación de la organización interna y de las transacciones externas.

Como respuesta a dicho cambio, y en el contexto de la logística empresarial, el impacto se ha centrado en tres tendencias de solución: *i)* integración de las actividades logísticas a través de las fronteras de las compañías, orientada a lograr la reducción de los costos logísticos y el tiempo de ciclo. Un factor necesario para lograr dicha integración es la estricta coordinación entre proveedores y clientes a partir de la estrecha cooperación interempresarial (Druker, 1998; Christopher, 1998a y 1998b); *ii)* creciente especialidad de las compañías. Desarrollo dinámico del proceso de tercerización (*outsourcing*); y *iii)* cambio e innovación. Desarrollo de sistemas de organización ágiles capaces de responder a cambios en la demanda de manera rápida y eficiente (Håkansson y Persson, 2004).

Por todo lo anterior, se puede concluir que la integración cliente-proveedor en el contexto de la cadena de suministro demanda novedosos sistemas de coordinación de los flujos físicos de mercancías como respuesta a la intensa

competitividad empresarial. Dichos flujos, atendidos por esquemas obsoletos de organización, afectan de manera directa la integración de las actividades y por supuesto a los costos logísticos, en especial a los de inventario y transporte, independientemente de que existan nuevos desarrollos tecnológicos. Tal escenario, por supuesto exige un alto desempeño y el impulso de novedosas estrategias de coordinación de producción y distribución entre clientes y proveedores.

2.2 Modelos de coordinación centralizada y descentralizada cliente-proveedor

Una cadena de suministro integrada verticalmente que gestiona el sistema de inventarios en su totalidad es ideal, sin embargo, ésta no puede ser posible por diversos motivos. Primero, los actores (vendedores, detallistas, distribuidores, etc) implicados en la cadena de suministro pueden pertenecer a entidades diferentes, y ser más persistentes en maximizar sus propios beneficios que los de la cadena entera (modelo descentralizado). Incluso, si la cadena pertenece a una sola entidad corporativa (modelo centralizado), la optimización de los inventarios podría ser algo complicado debido a la estructura de los incentivos en la organización. De ahí que, es necesario idear un mecanismo para aumentar la coordinación entre las entidades en la cadena de suministro (cliente-proveedor), no sólo para la entidad que toma la iniciativa, sino también para la cadena del suministro entera (Viswanathan y Piplani, 2000). En general, los mecanismos de coordinación son negociables entre las partes, o implícitamente inducidos por alguna de ellas para influir en el comportamiento de la otra (Toptal, 2003).

Según Brun y Portioli (2000), los modelos de coordinación más comunes funcionan bajo esquemas centralizados o descentralizados activados con *mecanismos de coordinación*, implícitos o explícitos³. Para Toptal (2003), los llamados *mecanismos de coordinación* son aplicados para lograr beneficios del tipo centralizado usando modelos descentralizados. Por ejemplo, en la coordinación cliente-proveedor es común llevar a cabo descuentos por volumen en el precio de los productos, aplicar promociones, establecer períodos de abasto comunes o una combinación de éstos.

³ Los mecanismos de coordinación implícitos consisten en la definición de un conjunto de reglas sociales que especifican de manera natural los cursos legales de acción para cada uno de los agentes; si alguna restricción del protocolo está correctamente diseñada, la acción permitida a los agentes resulta, por definición, en un comportamiento coherente, incluso sin la comunicación entre ellos. En el caso de la coordinación explícita, abiertamente los agentes discuten sobre quién hace qué, cómo, y cuándo; en consecuencia, los agentes tienen que comunicar sus intenciones, objetivos, resultados y estados de la naturaleza. El esfuerzo requerido para diseñar un conjunto completo de reglas sociales, preferentemente debe buscar ir hacia un esquema explícito: la coordinación es lograda vía la comunicación entre agentes.

En efecto, la coordinación y cooperación entre múltiples eslabones, bajo sistemas descentralizados de gestión, han ganado mucha atención en años recientes debido al énfasis creciente en la importancia de la gestión de la cadena de suministro entre clientes y proveedores (Verity, 1996).

Toptal (2003) señala que a diferencia de la gestión centralizada, que determina el valor del beneficio máximo esperado entre proveedores y clientes, por medio de la suma directa de sus beneficios individuales ($\pi^c = \pi_V^c + \pi_B^c$) y de sus restricciones técnicas y económicas, la gestión descentralizada es más compleja y el valor de los beneficios (π^d) se obtienen de manera secuencial. Más específicamente, el cómputo del valor del beneficio dependerá de quién domina el canal; si el cliente establece las condiciones de negociación, alcanzará primero su beneficio particular (π_B^d), y el proveedor lo hará después (π_V^d), y viceversa. Es decir, $\pi^d = \pi_B^d + \pi_V^d$. En este contexto Li, *et al.* (1996), señalan que el cliente asume una posición monopolística con respecto al proveedor, y podrá determinar el precio de compra, la cantidad a pedir de acuerdo con su tamaño de lote económico, la fecha de suministro, etc.

Por lo anterior, Brun y Portioli (2000) sostienen que los modelos de coordinación centralizados requieren de un sólo sitio para la toma de datos y decisiones; argumentan que la ventaja principal es la posibilidad de alcanzar el óptimo; sin embargo, reconocen que estos modelos dependen de un punto central, y funcionan mal en ambientes dinámicos; los modelos de coordinación descentralizada trabajan cuando los datos y la toma de decisiones son extendidos entre diferentes actores. Siendo raramente óptimos, dichos modelos son más robustos y aceptan la separación de la información y la autonomía de las decisiones. La alternativa de conservar autonomía en las decisiones impide diseñar un modelo de coordinación centralizado.

Toptal (2003), establece que el modelo centralizado maximiza los beneficios esperados del sistema, y por tanto, el valor de su función objetivo puede asumirse como una cota superior sobre los beneficios totales esperados del sistema descentralizado. Es decir $\pi^d \leq \pi^c$. En este sentido, el modelo centralizado puede ser utilizado como un punto de referencia, y la diferencia entre π^d y π^c ser considerada como un elemento para mejorar la solución descentralizada, tal como lo llevan a cabo en su investigación Golbasi y Wu (2002). Por lo anterior, Toptal (2003) llega a las siguientes observaciones, por demás interesantes:

- $\pi^d \leq \pi^c$: Los beneficios del modelo descentralizado son inferiores a los del modelo centralizado por lo que respecta a los beneficios del sistema
- $\pi_B^d \geq \pi_B^c$: Los beneficios esperados del cliente en el modelo descentralizado son más grandes, o al menos iguales que aquellos en la solución centralizada
- $\pi_V^c \geq \pi_V^d$: Los beneficios esperados del proveedor en el modelo centralizado son más grandes o al menos iguales como aquellos del modelo descentralizado
- $\pi_V^c - \pi_V^d \geq \pi_B^d - \pi_B^c$: El beneficio del proveedor en el modelo centralizado no es menor a las pérdidas del cliente en el modelo descentralizado

A partir de estas conclusiones, la cuarta observación es la idea clave de la coordinación entre cliente-proveedor (o actores) debido a que ésta sugiere que los beneficios de un actor en el modelo centralizado son más grandes que las pérdidas del otro. Así, los beneficios del proveedor, derivados del modelo centralizado, pueden ser utilizados para compensar las pérdidas relativas del cliente bajo este modelo, así como aumentar los beneficios del cliente bajo un modelo descentralizado. Esto requiere que este último sea coordinado de tal manera que obtenga el mismo resultado para las variables de decisión como el modelo centralizado, y establecer una manera adecuada para compartir los beneficios mutuamente.

En un sistema proveedor–cliente es común que la variable de decisión sea el tamaño de la orden. La teoría en este contexto señala que un proveedor, siempre buscará estimular al cliente para que éste aumente el tamaño de su orden (Chang y Hung, 2002); lo anterior se debe a que el tamaño económico de la orden del cliente en el modelo centralizado será siempre mayor al del modelo descentralizado, $Q^c \geq Q^d$ (Toptal, 2003).

2.3 Mecanismos de coordinación

Son diversos los mecanismos utilizados por las empresas para lograr la coordinación entre clientes y proveedores. Como los más relevantes destacan aquellos de carácter económico, para motivar de manera más “fácil” la adopción de estrategias específicas de coordinación. Desde luego, existen otros que también pueden emplearse como elementos facilitadores de la gestión y control de

los inventarios, pero en el ámbito de los acuerdos de colaboración empresarial. Algunos de los más importantes identificados a la fecha se describen a continuación.

Alineación de metas. Una manera de mejorar la coordinación en la cadena de suministro por medio de la alineación de metas e incentivos, se puede llevar a cabo fomentando la unificación de políticas en todas las áreas funcionales de la compañía y entre las empresas que forman la cadena. La clave es alinear los objetivos de las diferentes áreas o empresas participantes. Para asegurar lo anterior, es recomendable que todas las decisiones sobre las instalaciones, información, transporte e inventarios sean evaluadas con base en la rentabilidad, y no simplemente por el costo. Por ejemplo, la toma de decisiones del transporte basadas en criterios de nivel de servicio e impacto en la cadena de suministro, es mucho mejor que hacerlo sólo por su tarifa o costo.

Incentivos de coordinación. El establecimiento de precios especiales a partir del tamaño del lote en la negociación comercial, es uno de los conceptos más utilizados para alentar la coordinación. Un proveedor puede utilizar este mecanismo como elemento facilitador para determinar el tamaño del lote y los períodos de abastecimiento. Por ejemplo, ofertar una cantidad de descuento en función del tamaño del pedido, con el propósito de impactar favorablemente en los costos fijos asociados.

Mejoras en la exactitud de la información. Son varias las ventajas de compartir información con altos niveles de precisión. La primera y la más importante, es la reducción de la incertidumbre con un impacto positivo en la toma de decisiones coordinadas. Cuando las empresas en la cadena de suministro se esfuerzan por mejorar sus sistemas de información, su recompensa se refleja en una disminución de sus costos de transacción, debido a una mejora en la comunicación inter e intraempresarial.

Diseño de un sólo control de suministro. Actualmente es muy común que las empresas concedan a sus proveedores ciertas actividades o decisiones que en otros tiempos les competían. Por ejemplo, las actividades de planeación del abasto de materias primas o productos terminados por parte del proveedor, se han convertido en un mecanismo de gestión muy empleado por los clientes para reducir sus costos logísticos. El esquema más común está dirigido a reducir el nivel de inventario y sus correspondientes costos logísticos, el cual es puesto en marcha por medio del diseño de un sistema para compartir información, muchas

veces confidencial. Obviamente, la ejecución de este formulismo exige un alto nivel de coordinación para garantizar el abasto de acuerdo con las necesidades reales.

Mejora del desempeño operativo. Se refiere a la búsqueda de una reducción del tiempo de ciclo para el abasto por medio de mejores instrumentos de comunicación, o una adopción de mejores sistemas de producción (por ejemplo, manufactura flexible o celular). De hecho, una mejora en los procesos de generación de órdenes, en la operación del transporte y en la gestión de inventarios, permite reducir el tamaño del lote, y a su vez una disminución de sus costos asociados utilizando alguna estrategia de coordinación.

Compartir más información. Hasta cierto punto es un mecanismo lógico y natural para lograr una mejor coordinación en la cadena de suministro. Sin embargo, es importante destacar que la información valiosa no solo proviene de una situación actual, sino también del pasado. En general, algunas compañías potencian la coordinación de la gestión logística analizando los datos históricos de sus socios comerciales a fin de tomar decisiones adecuadas.

Descuento basado en el volumen. El cambio de la política de descuentos basada en el tamaño de lote hacia otra basada en los volúmenes de venta, es un mecanismo que pretende eliminar aumentos innecesarios del tamaño del lote. Así, los descuentos por volumen se aplican a todos aquellos pedidos realizados en un período específico (por ejemplo, un año) estabilizando el tamaño del lote y reduciendo la variabilidad de los pedidos.

Uso de sistemas multimodales de transporte. La combinación de los diferentes modos de transporte para trasladar mercancías es un mecanismo de coordinación, que puede permitir el abasto oportuno de los productos y la reducción del inventario. Evidentemente, la coordinación exige involucrar a las empresas de transporte y considerarlas como un elemento más de la cadena de suministro.

3 Estrategias de coordinación cliente-proveedor

En este capítulo se presentan brevemente las estrategias de coordinación más utilizadas en la praxis empresarial. De acuerdo con los alcances de este proyecto de investigación, el interés se centra en identificar aquellas estrategias empleadas por clientes y proveedores para coordinar sus actividades fundamentales de operación, dirigidas a resolver problemas de abasto y control de inventarios. En primer lugar, se hace un recuento de aquellas estrategias aplicadas en todos los ámbitos de la cadena de suministro; después, se describen y detallan las más empleadas en la coordinación de inventarios entre cliente y proveedor, las cuales dan un claro ejemplo de la modernidad de las relaciones comerciales del presente siglo.

3.1 Estrategias de coordinación de la cadena de suministro

Paralelamente al acelerado crecimiento de la competencia mundial, se ha incrementado el interés por la gestión de relaciones de largo plazo entre los socios comerciales, con el fin de lograr beneficios conjuntos. Para lograr lo anterior, las empresas desarrollan estrategias de coordinación con el propósito de coordinar sus actividades fundamentales. Thomas y Griffin (1996) clasifican dichas estrategias en tres niveles operativos principales: *i)* coordinación cliente-proveedor; *ii)* coordinación producción-distribución; y *iii)* coordinación distribución-inventarios. En términos generales se puede corroborar que cada uno de los tópicos de coordinación mencionados, han sido ampliamente explorados por investigadores y practicantes. Sin embargo, debido a que el campo de estudio evidentemente es muy extenso, ninguno de ellos está totalmente cubierto. De acuerdo con los alcances de este proyecto de investigación, el interés de esta sección se centra en identificar las estrategias de coordinación más comunes entre clientes y proveedores en el marco de la gestión de sus actividades fundamentales.

En principio, se puede definir una estrategia de coordinación como el plan de largo plazo que permite enfocar los esfuerzos y alinear los recursos de manera productiva de un conjunto de procesos de negocio, subordinados a la táctica

“Estado del arte de los modelos matemáticos para la coordinación de inventarios en la cadena de suministro”

operativa (modelo del negocio) adaptada a las características empresariales. En general, las estrategias más comunes utilizadas para el mejor desempeño de la cadena de suministro, son clasificadas por Fawcett y Magnan (2001) en dos grandes grupos: *i*) inversión de recursos (véase cuadro 3.1) y *ii*) coordinación (véase cuadro 3.2).

Cuadro 3.1
Estrategias en inversión de recursos

Variable	Combinados			Abasto			Manufactura			Logística		
	Medida	P	% 5-7	Medida	P	% 5-7	Medida	P	% 5-7	Medida	P	% 5-7
Estrategia de inversión en sistemas de información												
Inversiones en sistemas empresariales	4.90	9	65.20	4.55	19	53.10	4.74	11	63.40	5.33	4	77.00
Inversiones en sistemas de aplicación	4.81	13	63.70	4.58	18	54.20	4.68	13	61.80	5.12	8	7350
Uso de <i>Internet</i> par compartir información	4.65	16	58.40	4.55	20	56.70	4.42	18	53.30	4.97	12	64.70
Integrar aplicaciones de información	3.82	30	35.20	3.85	30	36.00	3.79	26	34.20	3.82	31	3570
Adecuar los sistemas para compartir información con los clientes	3.68	34	34.60	3.83	32	38.70	3.63	32	33.70	3.61	36	32.00
Adecuar los sistemas para compartir información con los proveedores	3.56	39	31.10	3.79	35	37.50	3.46	39	28.70	3.45	39	28.00
Sistemas de información para satisfacer las necesidades de la C. S.	3.25	41	22.80	3.31	41	21.80	3.27	41	24.60	3.18	41	21.70
Compartir información a través de la C. S.	3.06	42	17.80	3.10	42	16.20	2.96	42	14.40	3.14	42	22.20
Alianzas estratégicas												
Productos y servicios individuales (Customizing)	5.51	1	78.00	5.50	2	76.90	5.67	1	81.40	5.35	2	7580
Adaptación a las necesidades del cliente	5.49	2	81.20	5.51	1	82.90	5.61	2	82.50	5.35	3	78.40
Contados clientes clave	5.37	3	77.60	5.36	4	78.60	5.30	4	76.50	5.44	1	78.20
Confianza en el cliente, basada en las alianzas	4.86	11	66.60	4.93	10	70.20	4.92	8	72.30	4.73	15	57.90
Protección y evaluación de proveedores	4.84	12	64.20	5.10	6	71.70	4.67	14	56.90	4.80	14	65.20
Gestión de proveedores	4.65	17	57.70	4.98	8	65.20	4.60	15	64.20	4.41	19	52.00
Confianza en el proveedor, basada en las alianzas	4.37	20	49.60	4.72	13	61,40	4.28	19	49.50	4.15	22	39.80
Uso de contratos escritos en las alianzas	4.08	24	45.80	4.04	26	43,80	3.89	24	43.10	4.30	20	50.30
Compartir riesgos y ganancias “río arriba”	3.90	28	3570	4.27	22	49.40	3.63	31	2680	3.86	30	32.90
Creación de normas en las alianzas	3.69	33	31.50	3.81	33	33.30	3,48	38	25,10	3.79	32	36.30
Monitorear las normas de las alianzas	3.66	36	30.70	3.68	37	30.00	3.53	36	24.80	3.79	33	37.10
Compartir ganancias “río abajo”	3.57	38	28.30	3.79	34	35.40	3.39	40	24.10	3.55	37	26.40
Estrategia en recursos humanos												
Participación de los mandos medios	4.72	15	64.10	4,65	16	64.10	4.81	9	68.30	4,68	16	60,20
Participación de los empleados	4.12	23	45.30	4.11	25	45.50	4.18	22	45.10	4.06	25	45.40
Lealtad de la empresa hacia los empleados	3,58	37	26.80	3.57	39	28.20	3.69	29	29.70	3.49	38	22.80
Lealtad de los empleados hacia la empresa	3.42	40	22.60	3.54	40	25.60	3.49	37	24.10	3,26	40	18.80

Nota: Indican hasta qué punto usted está de acuerdo con las variables y cómo se relacionan con su cadena de suministro. (1= Fuertemente en desacuerdo; 7 =Fuertemente de acuerdo); C.S. = Cadena de suministro; P =Posición.

Fuente: Fawcett y Magnan (2001).

Por lo que respecta a los resultados de su estudio, y particularmente del análisis de las estrategias de “inversión de recursos”, señalan que para el mejor desempeño de la cadena de suministro, el desarrollo de “alianzas estratégicas” es una de las más socorridas por las empresas, ya que tres de sus “mejores prácticas” reciben las más altas calificaciones (véase cuadro 3.1). Lo anterior hace suponer que las compañías (al menos las de la muestra) tienen claro que las alianzas conducen a una mayor integración y colaboración de las relaciones mercantiles con beneficios mutuos, ya sea con el desarrollo conjunto de productos personalizados, identificación de clientes claves, compartir riesgos y ganancias, etc. Evidentemente, este tipo de estrategias no son prácticas aisladas y requieren del desarrollo paralelo de estrategias complementarias, basadas en el desempeño de los recursos humanos e inversiones en sistemas de información.

Por lo que se refiere a las estrategias de coordinación en la cadena de suministro, Fawcett y Magnan (2001), detectaron principalmente tres: *i)* alineamiento o estandarización; *ii)* medición; y *iii)* cambio en los procesos. La primera, se enfoca a una mejora imperativa de las relaciones entre cliente y proveedor, entre las que destacan la importancia de conocer las necesidades del cliente, la adecuada gestión de sus peticiones, y el conocimiento imperativo de la cadena de suministro. Ante estos resultados es evidente que la necesidad de fortalecer las relaciones de colaboración interempresarial, hoy por hoy son el instrumento principal que garantiza la coordinación de la función logística. Por supuesto, otras estrategias complementarias se encauzan a una mejora en los sistemas de evaluación de las actividades y reingeniería de los procesos (véase cuadro 3.2).

En efecto, el reciente enfoque de colaboración en las relaciones comerciales ha impulsado el desarrollo y evolución de las estrategias de coordinación de las actividades logísticas y la integración empresarial. Al respecto, la primera iniciativa creada para permitir la integración en la cadena de suministro viene desde 1992, cuando 14 asociaciones patrocinaron el grupo llamado *Efficiente Consumer Response Movement* (ECR-M), con el propósito de liderar una transformación sin precedentes de las prácticas de los negocios (Robins, 1994; Harris y Swatman, 1997).

A finales de 1992, el Movimiento ECR-M publicó un informe que sugería la práctica comercial óptima para la gestión de la cadena de suministro (Kurt Salmón Associates, 1993). En dicho informe se plantea que los beneficios de la cadena podrían lograrse por medio de cuatro estrategias principales: *i)* promociones eficientes; *ii)* resurtido eficiente; *iii)* desarrollo eficiente del producto; y

iv) reaprovisionamiento eficiente. Las tres primeras responden al predominio de aspectos de comercialización (*marketing*), mientras que la cuarta afecta esencialmente a la logística (Mejías, *et al*, 2001a). El reporte propuso la necesidad de “...desarrollar relaciones basadas en la confianza entre fabricantes y detallistas (incluidos los proveedores y clientes en general), para compartir información estratégica para optimizar todos los resultados en la cadena de suministro...” (Barratt y Oliveira, 2001).

Cuadro 3.2
Estrategias para lograr una mayor coordinación en la cadena de suministro

Variable	Combinados			Abasto			Manufactura			Logística		
	Medida	P	% 5-7	Medida	P	% 5-7	Medida	P	% 5-7	Medida	P	% 5-7
Estrategia de alineamiento o estandarización												
Entrada de solicitudes del cliente	5.26	4	74.40	5.41	3	80.10	5.24	5	74.70	5.16	6	69.20
Necesidades del cliente del cliente	5.25	5	73.80	5.29	5	72.30	5.35	3	77.70	5.12	9	71.00
Conocimiento imperativo de la cadena de suministro	438	19	48.30	4.64	17	55.10	4.26	20	65.40	427	21	44.60
Metas operativas internas consistentes	4.17	22	44.10	4.30	21	45.80	422	21	46.30	401	28	40.50
Objetivos estratégicos alineados	3.97	26	38.70	4.01	27	42.70	3.78	27	32.50	4.13	23	41.70
Políticas operativas comunes en la CS	3.83	29	36.00	3.84	31	34.20	3.63	33	27.60	4.03	26	45.70
Metas operativas consistentes en la CS	3.73	32	28.00	3.93	28	33.00	3.56	35	24.80	3.71	35	27.20
Estrategias de medición												
Mediciones orientadas al proceso	5.06	6	72.80	5.04	7	72.00	5.03	6	70.00	5.12	7	75.80
Mediciones orientadas a la CS	4.86	10	66.90	4.69	15	61.70	4.78	10	64.20	5.09	10	74.00
Mejoras a las mediciones de capacidad	4.72	14	62.70	4.71	14	62.00	4.54	16	57.20	4.91	13	68.90
Mediciones de desempeño del proveedor	4.60	18	56.90	4.94	9	65.50	4.44	17	53.10	4.47	18	53.50
Mediciones de rentabilidad del cliente	4.01	25	41.90	4.25	23	43.50	3.82	25	35.90	4.02	27	46.50
Mediciones internas consistentes	3.78	31	34.10	3.66	38	30.00	3.75	28	33.40	3.90	29	38.20
Estrategia de cambio en los procesos												
Coordinación interfuncional	4.93	7	68.60	4.73	12	61.20	5.02	7	67.90	5.02	11	75.30
Reingeniería de los procesos	4.90	8	64.80	4.74	11	59.30	4.72	12	59.50	522	5	74.90
Compartir los recursos de valor agregado	3.95	27	36.00	4.11	24	39.80	3.68	30	29.40	4.08	24	39.60
Desarrollo de proveedores	3.67	35	29.60	3.69	36	30.70	359	34	25.70	3.72	34	32.60

Nota: Indican hasta qué punto está de acuerdo con las variables, y cómo se relacionan con su cadena de suministro (1 = Fuertemente en desacuerdo; 7 = Fuertemente de acuerdo); CS = Cadena de suministro; P = Posición)

Fuente: Fawcett y Magnan (2001).

La estrategia *ECR-M* trajo muchos beneficios potenciales tanto a proveedores como a clientes en términos de mejoras en la eficiencia. Sobre todo, permitió la colaboración en la cadena de suministro. De esta manera, por compartir información la demanda se transformó en un agente conductor para entregar valor al cliente. Por lo anterior, una cantidad importante de iniciativas basadas en estrategias de colaboración han surgido a partir de la estrategia *ECR-M*.

Por ejemplo, Perona y Saccani (2002), establecen un marco conceptual que ilustra los mecanismos de gestión o estrategias más utilizadas por las empresas para la conformación de relaciones de colaboración entre proveedores-clientes. En su documento, tales estrategias las definen como “técnicas de integración” y las clasifica en tres grandes grupos: estratégicas, tecnológicas, y operativas. La mayoría de ellas buscando la coordinación de la gestión logística.

Por la parte estratégica, ha surgido la coordinación de la planeación estratégica, que involucra el desarrollo de planes de expansión de mercados y la coordinación del enfoque de los negocios (Merrilees y Seretny, 2000). Según Thomas y Griffin (1996), la coordinación en la cadena de suministro también incluye la decisión de abrir o cerrar plantas o centros de distribución; asignar equipo a instalaciones de producción; selección de la actividad a ser cedida a terceros (*outsourcing*); asignar la fabricación de un producto a una planta; diseñar conjuntamente un determinado producto, entre otras.

Por lo que se refiere a la estrategia tecnológica, se ha impulsado el rediseño conjunto de procesos, productos y de gestión de la cadena de suministro (Lee y Billington, 1992, Hewitt, 1994). Asimismo, se ha fomentado el desarrollo conjunto de nuevos productos con formalismos de co-diseño, ingeniería virtual e innovación tecnológica conjunta (Maggiore y Dominioni, 1999; Turnbull, *et al*, 1992; De Toni y Nassimbeni, 1997; Krause, 1998; Lazaric y Marengo, 1997).

Las estrategias relacionadas con la coordinación para la gestión de materiales destacan los métodos de certificación de la calidad (Manuali, 1997); el libre paso de proveedores (De Toni y Nassimbeni, 1997); adquisiciones dictaminadas (Reguzzoni y Saccani, 2000). Por su parte, en la coordinación de la producción y el control se recurre a las estrategias de órdenes globales, dimensionamiento conjunto de la capacidad de producción (Ferrozzi, *et al*, 1993); y colaboración en la planeación de pronóstico y suministro (Jonson, 1999; White, 2000).

Las estrategias más comunes para el diseño de la red de distribución son: la reconfiguración de la red de almacenes (Gosso, 1997); acortamiento del canal de comercialización (Stalk y Haut, 1990; Cozzi, 1998; Magretta, 1998); y la estrategia de localización (Bartmess y Cerny, 1992; Zenobi, 1998). Por último, las estrategias de gestión de la distribución involucran la coordinación de la planeación de los requerimientos de distribución entre compañías (Christopher, 1992; Novack, *et al*, 1993); sistemas de multiloteo (*multi-pick*) y multientregas

(*multi-drop*) (Caputo, *et al*, 1996), así como esquemas de gestión de transporte colaborativo (Browning y White, 2000; Cooke, 2000).

Cabe destacar que Esper y Williams (2003), reportan que una de las primeras extensiones del marco conceptual de las relaciones de colaboración en la cadena de suministro son las *relaciones de colaboración para la gestión del transporte* (Browning y White, 2000). Dicha estrategia tiene como meta desarrollar relaciones de colaboración entre proveedores, clientes, transportistas y proveedores de terceras partes logísticas, con el fin de mejorar el servicio, la eficiencia y los costos asociados con el proceso de entrega (Karolefski, 2001).

A nivel operativo, las estrategias se orientan a la coordinación proveedor-cliente, coordinación producción-distribución (Producción-VRP), y a la coordinación inventarios-distribución (multieslabones, multietapas, diferentes topologías, problemas de ruteo-inventario). En otras palabras, las estrategias operativas van desde la etapa de aprovisionamiento hasta la de distribución, pasando por el área de producción.

Entre las estrategias más comunes se encuentran aquellas con un enfoque en la coordinación de inventarios. Destacando el suministro ajustado (*Lean Replenishment*) que involucra técnicas como el “*justo a tiempo*”; entregas frecuentes (Isaac, 1985); programas de suministro continuo (Caputo, *et al*, 1986; Marien, 2001); inventario administrado por el vendedor (*Vendor Management Inventory, VMI*) (James, *et al*, 1997; Gutman, 1997; Marien, 2001); estrategias con épocas comunes de resurtido (*Common Replenishment Epochs, CRE*), entre otras. Para los efectos del presente trabajo de investigación, a continuación se describen brevemente algunas de las estrategias orientadas a la coordinación de inventarios y que son las más comúnmente empleadas en la actualidad.

3.2 Estrategias de coordinación para la gestión de inventarios

En general, las estrategias de coordinación se basan en la teoría de juegos, y de manera especial en el juego de Stackelberg. En ese contexto existe un líder del juego y seguidores. Su aplicación en la coordinación de la cadena de suministro supone que los socios comerciales adoptan alguna posición en particular, determinada generalmente por el poder de negociación, reflejada por algún

parámetro específico (por ejemplo, el precio de los productos que se comercializan, o por el diseño de la estrategia de gestión).

Durante el análisis del impacto de las estrategias mencionadas es común encontrar que los investigadores lleven a cabo sus estudios intercambiando el papel que desempeñan los actores logísticos; es decir, estipulan que el proveedor actúe como líder y los clientes como seguidores, o viceversa.

En términos generales, los estudios sobre la coordinación de inventarios plantean distintos escenarios en los que combinan diversos elementos de análisis. Los más comunes son: la demanda, que puede ser considerada como determinista (conocida) o estocástica; variable, o constante. El inventario puede analizarse bajo un entorno de revisión continua o periódica, y su coordinación establecerse desde la estructura más simple, la cual comprende un sólo proveedor con un único cliente, hasta múltiples proveedores con múltiples clientes; en este entretejido, los estudios pueden considerar un sólo producto o múltiples productos, con o sin faltantes o escasez permitida. Establecen horizontes de planeación finitos o infinitos. Los más complejos involucran parámetros relacionados con el tipo de transporte empleado, o elementos inflacionarios con carácter estocástico.

Las variantes anteriores se modelan utilizando el marco conceptual de las estrategias más comunes aplicadas para coordinar los inventarios. Con el propósito de ilustrar las características que distinguen a cada una de éstas, a continuación se lleva a cabo una breve descripción de las más usuales.

3.2.1 Estrategia de desarrollo conjunto de órdenes (DCO)

Este tipo de estrategia fue el primer intento por estabilizar los desequilibrios entre la oferta y la demanda. Su objetivo es muy claro y busca la uniformidad de los lotes de producción del proveedor (fabricante) y el tamaño de las órdenes del cliente. La táctica reside en que el eslabón de la cadena de suministro con mayor poder de negociación imponga su fuerza, a efecto de lograr el equilibrio. Fundamentalmente, este tipo de estrategia sigue el modelo clásico *EOQ*, el cual siempre es complementado con algún mecanismo de coordinación; siendo el más común, la compensación económica (descuento fijo en el precio).

3.2.2 Estrategia “Justo a Tiempo” (JIT: Just in Time)

Es la estrategia más popular y quizá una de las más empleadas en ciertos sectores industriales (por ejemplo, el automotriz). Su diseño se fundamenta en la mejora del flujo interno de las materias primas en las plantas de producción. Uno de los propósitos clave de la estrategia *JIT* es eliminar el exceso de inventario en todas las partes del proceso de producción, calculando el movimiento de los materiales en cada estación de trabajo para que éstos lleguen justo en el momento que se necesitan para la siguiente operación. Esta práctica minimiza los inventarios en todas partes del proceso de producción, ayudando a las empresas manufactureras a reducir los costos de almacenamiento y de obsolescencia, así como a mejorar el retorno de su activos. Tales ventajas han conducido a una amplia adopción de la estrategia *JIT* en todas las industrias que usan técnicas de producción repetitivas (Taylor, 2004).

Según Taylor (2004), el inventario en proceso (*WIP*) es el más fácil de reducir mediante la estrategia *JIT*. Sin embargo, por lo general es el más pequeño y de menor costo de los inventarios; en cambio, el inventario de materia prima y productos terminados requiere cambios en la forma en que los proveedores entregan y los clientes los reciben, respectivamente. Con la finalidad de reducir el nivel de inventario de materias primas, los fabricantes *JIT* trabajan con sus proveedores para cambiar de embarques grandes de materiales que van hacia los almacenes centrales, a embarque más pequeños y frecuentes que vayan directamente de los camiones al piso de fabricación.

3.2.3 Respuesta Rápida (QR: Quick Response)

En la actualidad, el intervalo entre la demanda de bienes de consumo y su abasto eficiente es mayor que en cualquier otro momento, y se amplía cuando los consumidores son menos previsibles. Una manera por revertir esta situación se está dando con el uso de técnicas y estrategias de gestión. Al respecto, la estrategia “Respuesta Rápida” (QR, *Quick-Response*) es un paradigma de gestión que permite al sistema de suministro reaccionar rápidamente a los cambios en la demanda (Lowson, *et al*, 1999); es decir, su enfoque va dirigido a reducir el tiempo de ciclo de la orden.

La estrategia QR proporciona la capacidad suficiente para hacer de la información de la demanda, un elemento director para la toma de decisiones hasta el último momento posible en el tiempo, buscando: *i)* asegurar que la oferta sea maximizada, y *ii)* que exista una reducción al mínimo de los tiempos de ciclo y los costos de inventario, aprovechando las ventajas competitivas otorgadas por la tecnología de la información. En especial, la estrategia hace hincapié en la flexibilidad y velocidad del producto a fin de cumplir con las demandas cambiantes de un mercado competitivo, volátil y dinámico (Christopher y Towill, 2001).

Básicamente, la estrategia se basa en compartir información entre los socios comerciales acerca de la oferta y la demanda de los productos, utilizando las tecnologías de la información (por ejemplo, Rastreo en Punto de Venta (PoS) o Intercambio Electrónico de Datos, EDI). Su operación consiste en actualizar constantemente las estimaciones de la demanda y el consumo en tiempo real, para luego colocar nuevas órdenes al menor costo.

El código de barras en las mercancías permite rastrear todos los componentes y bienes terminados en cualquier parte de la cadena de suministro (visibilidad de la cadena); y establecer lotes y órdenes de pequeño tamaño, que aseguran que el ritmo de la demanda se equilibre (Burgess, *et al*, 2001).

Además de representar una estrategia, QR comprende una estructura, cultura y un conjunto de procedimientos operativos dirigidos a empresas que se integran en una red coordinada por medio de la transferencia de información e intercambio de beneficios mutuos.

3.2.4 Estrategia de Reaprovisionamiento Eficiente (ER: *Efficient Replenishment*)

El reaprovisionamiento eficiente (ER) es un proceso que representa el esfuerzo conjunto de proveedores y clientes para reducir los costos por ordenar (McKinney y Clark, 1995). Dong (2001), señala que la adopción de ER incluye simplificar la negociación (reducción de costos de transacción); optimizar el tiempo de ciclo para colocar una orden; evaluación rápida de proveedores/clientes y su selección; automatizar el sistema de clasificación de proveedores/clientes, entre otros aspectos.

El reaprovisionamiento eficiente tiene como objetivo principal mejorar el proceso de satisfacción de la demanda (desde la generación del pedido hasta que la

mercancía es colocada en el línea, facturada y cobrada), aplicando soluciones para minimizar los costos totales en la cadena de suministros, bajo una perspectiva de colaboración entre fabricantes y distribuidores (Sierra, 2002). En general, se compone de las siguientes etapas operativas: a) reaprovisionamiento continuo; b) *cross docking*; c) reingeniería de la cadena de suministros; y d) reingeniería del proceso de pedidos (EDI).

El proceso de reaprovisionamiento eficiente adopta una política de gestión de inventarios administrados por el proveedor (Johnson, 2002), por medio de la sincronización de la entrega de productos en forma continua correlacionada con las necesidades del consumidor. Esto permite al proveedor cierta libertad para expedir el envío o de otra manera cambiar la política de abasto (proceso) mientras se cumpla el nivel de servicio del cliente. La figura 3.1 ilustra el proceso de abasto para el caso de un proveedor y un cliente.

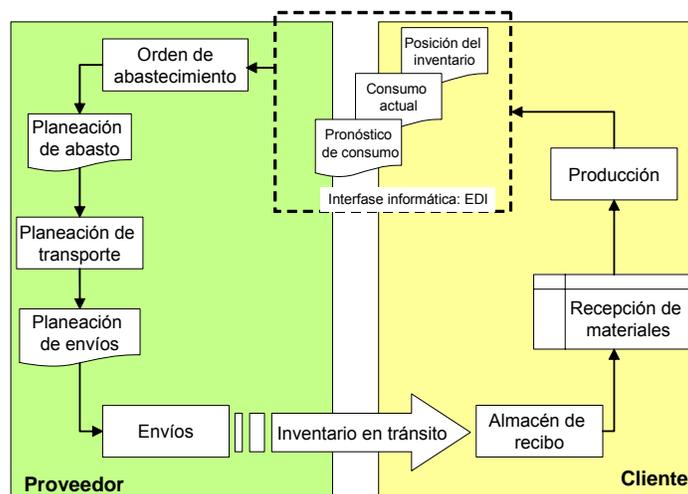


Figura 3.1

Proceso típico de reaprovisionamiento eficiente entre proveedor y cliente

Fuente: Johnson (2002).

Con dicha estrategia, los proveedores se ven en una mejor posición para acortar tiempos de ciclo, y administrar la componente de inventarios más apropiadamente. En resumen, tienen un mayor control del proceso de la logística de abasto. Según Fisher (1997), en industrias, tales como los bienes de consumo empacados, productos de la asistencia médica y electrónica con altos niveles de certidumbre en la demanda, este tipo de mecanismo se vuelve importante en la gestión de la cadena de suministro.

3.2.5 Reaprovisionamiento Continuo (CR: *Continuous Replenishment*)

Reaprovisionamiento Continuo es definido como "...la práctica asociada entre los diferentes miembros del canal logístico que modifican el procedimiento tradicional para la generación de órdenes, dirigida por el fabricante basado en la lógica del modelo EOQ (tamaño de lote económico), que introduce modelos de abasto administrados por él, apoyados en datos de la demanda actual y pronosticada..." (Cavalieri, *et al*, 2001).

Específicamente, es una extensión del anterior y su principal diferencia con la estrategia ER, es que en CR se establecen los acuerdos concretos sobre el nivel de los inventarios; el tiempo de entrega de las mercancías; propuestas de pedidos acordes con estacionalidades; nivel de la demanda; promociones; e incluso, recomendaciones sobre lo que tiene que comprar el cliente, trasladando la gestión del inventario directamente a los fabricantes. En concreto, la estrategia CR permite a los proveedores: *i*) eliminar costos por emisión de pedidos; *ii*) evitar envíos más frecuentes; y *iii*) ganar mayor rotación de inventarios. Aunque se traslada la administración de los inventarios, el abasto de los productos no se hace a consignación, como en el caso de la estrategia *Vendor Management Inventory*, que más adelante se describe.

En otras palabras, para los proveedores recibir información de los clientes (por ejemplo, distribuidores) en tiempo real, puede garantizar una producción más eficiente y una mejor y más rápida adaptación a cambios de la demanda, antes de llegar a niveles de escasez o de abastecimiento excesivo. De este modo, la estrategia CR otorga a los proveedores (fabricaciones) la posibilidad de mejorar su ventaja competitiva, gracias a una reducción de su nivel de inventario.

En general, Cavalieri, *et al*, (2001), reconocen que estos esquemas de coordinación se basan en el uso de tecnologías de la información; consideran que la inversión inicial en tecnología y recursos no deben ser una barrera para el desarrollo de este tipo de estrategias. Sin embargo, señalan que las dificultades pueden presentarse durante el establecimiento de las relaciones de colaboración, debido principalmente a la inercia organizacional derivada de la adversidad que presenta la cultural natural. En particular, para aquellos socios comerciales que operaran en los niveles inferiores en la cadena de suministro.

3.2.6 Planeación, Pronóstico y Reabastecimiento Colaborativo (CPFR: Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment)

Puede decirse también que esta estrategia constituye una extensión de las anteriores. Los fabricantes y distribuidores comparten un sistema de previsión de ventas. CPFR es un conjunto de prácticas de negocio nuevas o perfeccionadas, apoyadas en Internet y las tecnologías de la información. Reduce en forma drástica los inventarios globales por medio del desarrollo de técnicas de colaboración y por compartir información entre clientes y proveedores. Se basa en un conjunto de modelos respaldados por la tecnología y los procesos de negocio aplicados a las actividades de la cadena de suministro.

Todos los eslabones de la cadena introducen sus pronósticos y resultados en Internet. El software CPFR disponible analiza dichos datos y alerta a cada socio sobre situaciones excepcionales que puedan afectar el pronóstico, promoviendo la búsqueda de soluciones en colaboración. Su misión es compartir información de forma dinámica integrando los procesos de “oferta” y “demanda” (Digitala, 2005).

El cliente y el proveedor trabajan en colaboración para satisfacer la demanda del cliente final. El modelo CPFR se basa en el desempeño conjunto de las siguientes cuatro actividades (VICS, 2004):

- a) Planeación y estrategias (establecen las reglas de colaboración y determinan la mezcla de productos y los períodos de colocación).
- b) Gestión de la oferta y la demanda (pronostican la demanda del consumidor, así como los requerimientos de órdenes y envíos en un horizonte de planeación).
- c) Ejecución (colocan pedidos, preparan y entregan los embarques, recibo de productos e inventario sobre anaqueles de venta al público, registran transacciones de ventas y pagos realizados).
- d) Análisis (monitorean la planificación y las actividades de ejecución para condiciones excepcionales. Agregan los resultados y calculan los indicadores de medición claves. Ajustan proyectos para buscar resultados en un esquema

de mejora continua). Dicho modelo se complementa con una serie de tareas que realizan de manera individual y otras de manera conjunta.

Los beneficios más importantes de esta estrategia son: *i)* reducción de inventarios de los clientes y proveedores; *ii)* abastecimiento en función de las necesidades reales de la cadena de suministro; *iii)* identificación inmediata de cualquier discrepancia entre los pronósticos, los inventarios y las órdenes de compras; y *iv)* mejorar la satisfacción de los clientes (GMA, 2002).

3.2.7 Inventario Administrado por el Proveedor (VMI: Vendor Management Inventory)

La gestión de inventarios por parte del proveedor (*VMI*) es una iniciativa de la cadena de suministro. Aquí, el proveedor es autorizado a manejar los inventarios de acuerdo con las unidades de reserva convenidas en el almacén del cliente. Este tipo de estrategia es también conocida como “ventas a consignación”. En términos generales, se puede considerar como una extensión de la estrategia *CR*.

Zanoni y Zavanella (2003), consideran que una política de ventas a consignación, se basa en las siguientes tres reglas: *i)* el proveedor garantiza a su cliente un nivel mínimo (*s*) y máximo de inventario (*S*); *ii)* el inventario es ubicado cerca de la línea de producción del cliente; y *iii)* la posibilidad de utilizar el material diariamente de acuerdo con sus necesidades. El proveedor es pagado por esos materiales conforme a su contrato, hipotéticamente por arriba de la frecuencia diaria; así, la información relacionada con la tendencia del consumo es también actualizada, e inmediatamente transferida al proveedor.

Esencialmente el *VMI* es un arreglo en donde el propietario de los bienes (“*consignador*”) deposita sus productos en el sitio de su socio comercial (“*consignatario*”) para su uso o venta (Fagel, 1996). Típicamente, el programa involucra un proveedor que monitorea el nivel de inventario en el almacén del cliente, y asume la responsabilidad del mismo para lograr metas específicas, valiéndose para ello de avanzados sistemas de información (Copacino, 1993).

En definitiva, un proveedor *VMI* tiene la libertad de tomar las decisiones de reabastecimiento “*río abajo*” sobre las cantidades y tiempo de suministro en lugar del cliente (Çetinkaya y Yee, 2000). En palabras de Dong y Xu (2002), se afirma que existe evidencia de que el consignatario puede disfrutar de reducciones en los

costos de almacenamiento y algunos costos operativos, más los beneficios del flujo de efectivo.

De acuerdo con Zanoni y Zavanella (2003), en la estructura de costos de una política de consignación, el costo de inventario por unidad (h) está constituido por dos componentes principales: uno financiero h_{fin} , y otro de almacenaje h_{alm} . Bajo un acuerdo típico de suministro, el proveedor (V) no posee costos por inventario después de entregar los bienes al cliente (B); es decir, se encuentra en una situación donde $h_{fin}^V + h_{alm}^V \leq h_{fin}^B + h_{alm}^B$, principalmente por el componente financiero, el cual aumenta “río abajo” de la cadena de suministro. Por el contrario, en el contexto de la estrategia *VMI*, el consignador (proveedor) soporta los costos financieros correspondientes, mientras que el cliente los de almacenamiento (véase cuadro, 3.3).

Cuadro 3.3
Costos relevantes bajo acuerdo típico, y bajo una política de abasto a consignación

		Posición de los productos			
		Acuerdo típico		Abasto a consignación	
		Proveedor	Cliente	Proveedor	Cliente
Costos relevantes	Proveedor	$h_{fin}^V + h_{alm}^V$	0	$h_{fin}^V + h_{alm}^V$	h_{fin}^V
	Cliente	0	$h_{fin}^V + h_{alm}^V$	0	h_{alm}^B

Fuente: Adaptado de Zanoni y Zavanella (2003).

El proveedor, bajo este tipo de estrategia parece estar en desventaja, sin embargo, diversos autores señalan que probablemente obtenga oportunidades para mejorar su producción y hacer más eficiente su comercialización, por ejemplo, disponer de espacios para colocar otros productos; puede manejar un plan de producción más flexible para disminuir sus costos, y de manera directa buscar reducir su costo de inventario por unidad. Ciertamente, la estrategia *VMI* permite una evaluación sistemática de los beneficios, tanto de proveedores como de los clientes, facilitando automáticamente la coordinación de la cadena de suministro (Dong y Xu, 2002).

Dong y Xu (2002), concluyen que los beneficios al cliente siempre se mantendrán altos, mientras que los del proveedor estarán variando. Demuestran que en el corto plazo los montos totales del sistema se reducen. Añaden que bajo ciertas condiciones de costos entre clientes y proveedores, se podría reducir el precio de

adquisición así como los beneficios del proveedor. En el largo plazo, estiman que los beneficios del proveedor podrían aumentar más que en el corto plazo. Otros autores señalan que la volatilidad de la demanda no juega un papel importante en la determinación de ventajas probables; los negocios con volatilidad baja y alta demanda, se benefician más o menos igual (Waller, *et al*, 2001).

3.2.8 Estrategia “Gestión de la Disponibilidad por el Proveedor” (SMA: *Supplier Management Availability*)

Esta clase de estrategia es una extensión del *VMI*; se basa en un importante cambio de mentalidad. El *inventario* en el sitio “*río abajo*” no es la meta en sí mismo (por ejemplo, si el inventario en un nodo “*río abajo*” es un distribuidor, el inventario en sí actúa como facilitador de las ventas); el verdadero objetivo es la disponibilidad del producto *cuando y solamente cuando* se necesita en un sitio determinado. Algunas ideas para aumentar la flexibilidad del proveedor en este contexto son: uso de transportes rápidos; planeación de un excedente temporal de la capacidad del proveedor; planeación de producción temporal acelerada; posesión de algún inventario no comprometido en el sitio del proveedor. En palabras de Hausman (2003), dichas alternativas colocan al proveedor en una situación complicada pues deberá desarrollar algún esquema de selección (*trade off*) que le permita tomar una correcta decisión.

El cambio de mentalidad de “inventario” a “disponibilidad” permite al proveedor tener en cuenta diversas formas para atender la variación de la demanda; el resultado de ello es un inventario más bajo que el *VMI* “estándar”. Por ejemplo, puede ser más económico para el proveedor invertir en aumentar relativamente su capacidad para emplearse cuando sea necesario, en vez de mantener grandes cantidades de inventario en el sitio del cliente; o el proveedor decidirse pagar transportes más rápidos en caso que se requiera.

Sin estrategia alguna, el proveedor buscará suministrar pedidos según su óptimo local, sin considerar los datos de la demanda del cliente. Las falsas señales de la demanda y la ausencia de compartir información pueden activar el “*efecto látigo*”, y provocar un aumento artificial de la demanda, altos costos, e interrupciones.

Como ya se mencionó, en la estrategia *VMI* el proveedor tratará de actualizar el nivel de inventarios en el sitio del cliente en tiempo real, según los datos de consumo. Utilizan la información para anticipar las necesidades de suministro, y

optimizar su producción y distribución haciendo frente a esas necesidades; Sin embargo, en la estrategia *VMI* es común acordar niveles mínimos y máximos de inventario limitando sus acciones. Para muchos clientes, este escenario les da confianza de que nunca estarán por debajo de sus expectativas o niveles de comodidad. Con la estrategia de “*Gestión de la Disponibilidad por el Proveedor*” (*SMA*) se puede ir más allá, enfocándose en los inventarios y en la disponibilidad, eliminando los requerimientos mínimos y máximos de inventarios. Lo anterior, faculta al proveedor operar con niveles de inventarios más bajos, y cumplir con la disponibilidad de los productos (véase figura 3.2).

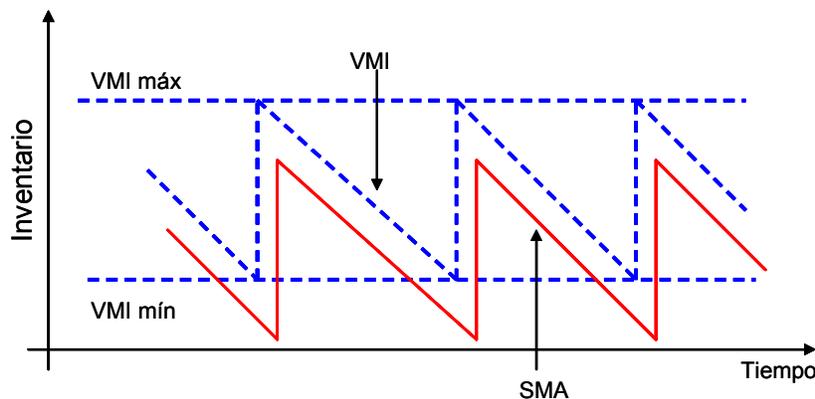


Figura 3.2
Estrategias VMI y SMA

Fuente: Hausman (2003).

De manera alternativa, los niveles de inventario mínimos y máximo bajo *SMA* pueden aceptarse, pero sin ser tan restrictivos como en la estrategia *VMI*.

3.2.9 Estrategia Épocas Comunes de Resurtido (*CRE: Common Replenishment Epochs*)

La estrategia Épocas Comunes de Resurtido (*ECR*) busca coordinar los inventarios de proveedores y clientes por medio de un descuento en los precios, y con el establecimiento de períodos específicos de abasto. El esquema original se basa en la existencia de un proveedor y múltiples clientes. El proveedor propone a sus clientes fijar períodos de surtimiento de acuerdo con su política óptima de resurtido, y con ello buscar aprovechar las economías de escala de la producción, de la gestión de pedidos (consolidación) y del transporte. A cambio, propone a los clientes un descuento en los precios por aceptar dicha estrategia, y con ello compensar los costos adicionales que le causara el sobre-inventario. Por lo tanto, el cliente que acepte dicha propuesta sólo podrá hacer pedidos dentro de los

períodos y cantidades que el proveedor le indique, sin embargo, deberá asegurar que los ahorros ofrecidos por el proveedor son más altos, o al menos iguales que los costos de operación que le genere la estrategia.

En términos generales, la coordinación por *Épocas Comunes de Resurtido* busca minimizar los costos totales de sistema (cliente-proveedor), y se caracteriza por los conceptos que se ilustran en la figura 3.3.

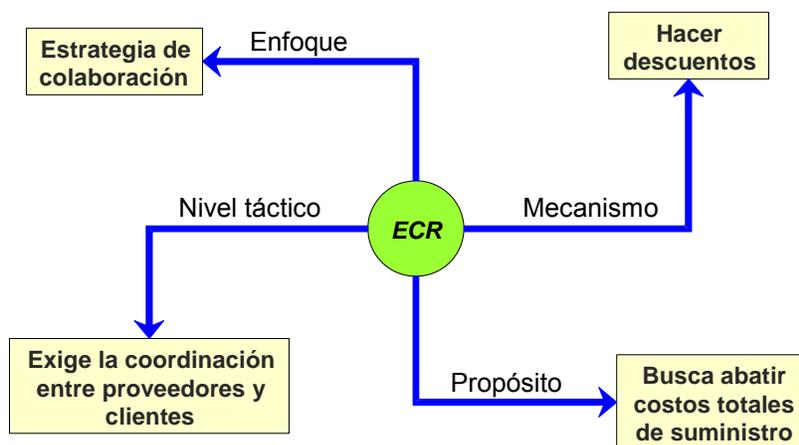


Figura 3.3
Características principales de la estrategia
“Épocas Comunes de Resurtido”

Fuente: elaboración propia

La estrategia *ECR* facilita adoptar nuevas prácticas en la gestión de la cadena de suministro; abordar nuevos retos de competitividad; integrar diversos actores de la cadena; apoyar las políticas de inventarios; y mitigar el mito de los sistemas JD Edwards, Sap, etc. También se ha demostrado que *ECR* es competitiva en costos.

En particular, la estrategia *ECR* es la que interesa en este trabajo de investigación, por tanto, se trata con mayor profundidad más adelante a través del análisis de la literatura disponible donde es utilizada.

4 Modelos de coordinación de inventarios

En este capítulo se presenta una revisión del estado del arte de los modelos desarrollados en la coordinación de inventarios entre cliente-proveedor. En un principio, se hace una descripción de los tipos de modelos que han sido desarrollados y las principales características que los distinguen. Posteriormente, por su estructura básica de análisis, se incluyen los modelos más representativos que han sido desarrollados por investigadores de reconocido prestigio internacional.

Debido a la gran cantidad de artículos que tratan el tema, y por el interés que prevalece en esta investigación, se decidió discriminar los artículos que abordan la coordinación con un enfoque estocástico; es decir, únicamente se reportan artículos del ámbito determinista, con alguna excepción por el aporte directo que le representa a este trabajo. Cabe señalar que los modelos que interesan más a esta investigación se muestran de manera más detallada. Al final, se presenta un cuadro resumen de los modelos de acuerdo con las características principales que los distinguen.

4.1 Generalidades

En general, los modelos matemáticos para el control de inventarios se emplean en forma indistinta para describir el reabastecimiento con un proveedor externo o producción interna. Esto significa que desde el punto vista del modelo, el control de inventarios y la planeación de la producción son con frecuencia sinónimos (Nahmias, 1999). Su principal objetivo está orientado a satisfacer las necesidades de los clientes, y su principal diferencia es que la demanda puede ser constante o variable en el tiempo, determinista o aleatoria, predecible o impredecible. De esta manera, por el tipo de demanda que se analiza, los modelos de inventarios se pueden clasificar tal y como se muestra en la figura 4.1.

Regularmente los modelos de inventario se clasifican de acuerdo a si se conoce o no la demanda en un período determinado, llamándose en este caso deterministas; y estocásticos cuando se trabaja con cantidades posibles. Seleccionar una adecuada política de gestión de inventarios, puede incidir de manera significativa en los costos de una empresa.

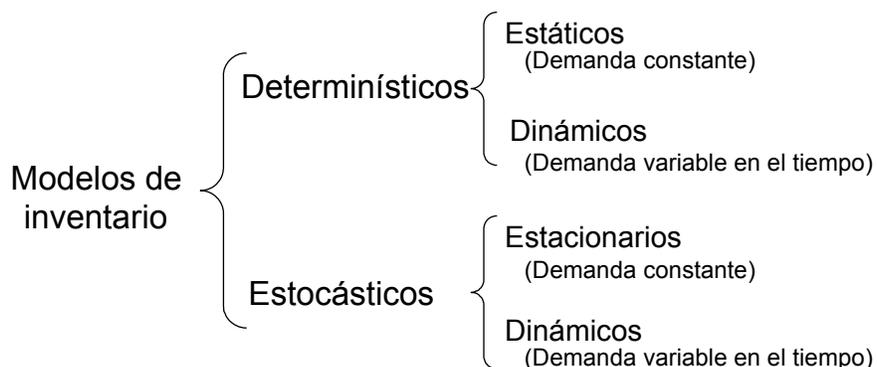


Figura 4.1
Tipos de modelos de inventario

Un modelo de inventario se utiliza para establecer una política óptima a fin de que, de manera sencilla, se pueda determinar cuándo efectuar un pedido (o proceso de fabricación) y el tamaño del lote por adquirir o fabricar. Lo anterior tiene dos objetivos bastante claros: *i*) mantener cierta cantidad de mercancía en existencia durante un período fijo para minimizar los costos; y *ii*) lograr el mejor nivel de servicio al cliente.

El modelo básico que define esta situación se conoce como “Cantidad Económica de Pedido” (*Economic Order Quantity, EOQ*, por sus siglas en inglés). Dicho modelo ha sido ampliamente utilizado y extendido por muchos investigadores. Las primeras extensiones consideran descuentos por volúmenes de compra; cambio del precio de los productos en el tiempo; restricciones de capacidad de producción; tasa de producción infinita, ente otros.

El desarrollo matemático de este tipo de modelos se encuentra ampliamente ilustrado en la literatura, y por lo tanto, intencionalmente se omite su presentación en este trabajo. No obstante, se puede mencionar que este modelo se ha tomado como base por muchos investigadores para desarrollar políticas de gestión de inventarios desde el punto de vista de la coordinación. De hecho, los trabajos realizados en torno a dicho tema se les ha dado por llamar “*El problema del tamaño de lote*” (*Lot-Size Problem; LSP*, por sus siglas en inglés). Precisamente, utilizando el modelo clásico *EOQ*, en la sección a continuación se presenta el planteamiento general de algunos de los modelos de coordinación de inventarios que han surgido.

4.2 Planteamiento general del problema de coordinación de inventarios

Cuando los problemas de inventario del cliente y proveedor son tratados de manera independiente bajo condiciones deterministas, es bien conocido que los modelos utilizados para ordenar (*EOQ: Economic Order Quantity*) o para producir/entregar (*ELS: Economic Lot Size*) ofrecen una solución óptima. Sin embargo, una política basada en un modelo *EOQ* generalmente no es aceptable por el proveedor; en contraparte, una política de producción y períodos de entrega basada en el modelo *ELS* del proveedor, es inaceptable por el cliente.

La coordinación entre la política de cantidades y períodos para colocar una orden y su entrega (producción) es un problema que en años recientes ha recibido bastante atención. Bajo diferentes supuestos y condiciones, algunos autores sugieren diversos modelos para determinar el tamaño de lote conjunto (*JELS: Joint Economic Lot Size*) con el objetivo de minimizar los costos relevantes de ambas partes (proveedores y clientes).

Los modelos construidos han demostrado que una coordinación o integración de la política de inventario es más deseable que políticas individuales óptimas de los socios comerciales. No obstante, es requisito que el socio comercial con mayor poder de negociación force su *EOQ* o *ELS* sobre el otro. De otra manera no existirá un incentivo para que ambos socios pongan en marcha, una política de cooperación. Esencialmente el socio con mayor poder de negociación siempre estará en desventaja al adoptar una solución conjunta. Sin embargo, sus pérdidas estarán más que compensadas por las ganancias del otro socio. En tal virtud, es necesaria la instauración de un mecanismo que permita al socio en desventaja, verse también beneficiado. El mecanismo más común y que es empleado por diversos autores, ha sido el relacionado con el precio de los productos, tratado como una variable de decisión. Por lo anterior, el pedido y las cantidades entregadas se determinan por medio de un proceso de negociación entre clientes y proveedores.

4.2.1 Política individual del cliente

Considerando el caso más simple, se asume que existe un proveedor que abastece un producto a un sólo cliente que presenta una demanda (D) determinista y constante; no se permiten faltantes y las entregas son inmediatas (es decir, que el tiempo de ciclo es cero); bajo un horizonte de tiempo infinito se ha establecido que el cliente que determina de manera individual el tamaño de su orden (Q_B), incurre en los costos totales relevantes (TRC_B) definidos por la siguiente expresión:

$$TRC_B(Q_B) = \frac{AD}{Q_B} + \frac{Q_B}{2} \cdot H_B \quad (4.1)$$

En donde, los costos por ordenar (A) y de almacenamiento H_B afectan al costo total.

El objetivo del cliente es minimizar sus costos totales relevantes por período. Para ello, el cliente coloca su pedido en el momento que el nivel de inventario se reduce a cero. Por lo tanto, el tamaño de lote a ordenar y su costo total relevante por período, están definidos por:

$$Q_B^* = \sqrt{\frac{2AD}{H_B}} ; \quad TRC_B(Q_B^*) = \sqrt{2ADH_B} \quad (4.2)$$

4.2.2 Política individual del proveedor⁴

El proveedor (fabricante) elabora el producto a una tasa de producción P en lotes de tamaño Q_v , e incurre en un costo fijo por cada lote fabricado. Se asume que la tasa de producción (P) es mayor que la demanda (D). Para definir una política de producción y entrega, el proveedor tiene que considerar si es o no permitida la fabricación en sub-lotes (*lot streaming*). En caso de que sea permitida, se asume una corrida de producción ininterrumpida, y los envíos pueden realizarse antes de que el lote sea terminado por completo. Sin embargo, algunos proveedores no

⁴ Basado en Sucky, 2002.

pueden cambiar su producción en un sistema de este tipo debido a regulaciones, falta de equipo para la manipulación de materiales, o por requerimientos de producción. Por lo tanto, el lote entero debe terminarse antes de realizar algún envío. A este caso se le denomina, política de abasto “*lote por lote*”.

Debe decirse que existen costos asociados con el procesamiento de pedidos. Así, los costos fijos de producción que incluyen los de entrega asociados con cada uno de los envíos, por ejemplo, de inspección, empaque, manejo y de envíos de la producción.

El objetivo del proveedor es minimizar sus costos totales relevantes por período, los cuales comprenden los costos fijos de producción y de inventario. Banerjee (1986), demuestra que los costos promedio de inventario con una política lote por lote se determinan mediante:

$$\text{Inventario promedio} = \frac{Q_v}{2} \cdot \frac{D}{P} \quad (4.3)$$

Los costos relevantes por período $TRC_v(Q_v)$ para cualquier tamaño del lote (Q_v), están determinados por:

$$TRC_v(Q_v) = \frac{S \cdot D}{Q_v} + \frac{Q_v}{2} \cdot \frac{D}{P} \cdot H_v \quad (4.4)$$

Donde:

P = Tasa de producción del proveedor [unidades/período]

S = Costo fijo de fabricación del proveedor por corrida de producción y costo de manipulación y costo de manutención, y procesamiento por envío de la producción total al cliente [\$]

H_v = Costo de inventario del proveedor [\$/unidad por período]

Q_v = Tamaño de lote del proveedor [unidades]

Por su parte, el tamaño de lote de producción/entrega (ELS) y el costo relevante mínimo por período del proveedor, se determinan por:

$$Q_v^* = \sqrt{\frac{2 \cdot S \cdot P}{H_v}} ; \quad TRC_v(Q_v^*) = D \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot S \cdot H}{P}} \quad (4.5)$$

4.2.3 Política conjunta de coordinación cliente-proveedor

Si un proveedor sigue una producción lote por lote, el tamaño de lote corresponde a la cantidad entregada. Para el cliente, la cantidad ordenada corresponde a la cantidad entregada. Así, una solución conjunta del tamaño de lote corresponde a la cantidad ordenada ($Q_B = Q_V$). La solución *JELS* conduce a ciclos de inventario como los que se muestran en la figura 4.2.

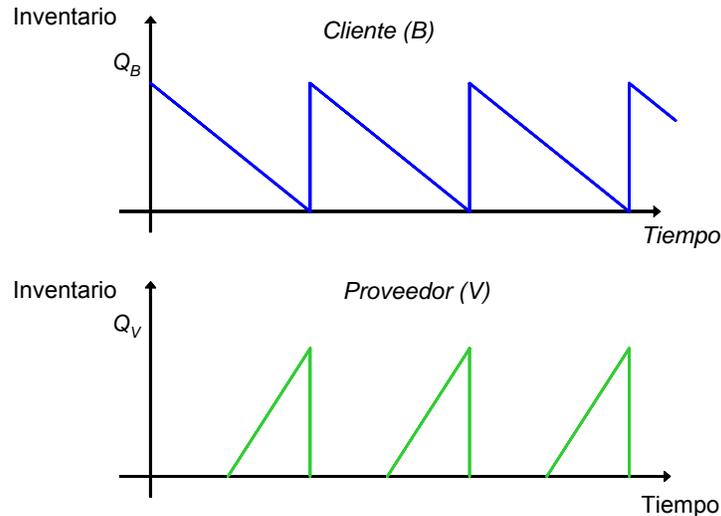


Figura 4.2
Ciclo del inventario conjunto cliente-proveedor

Fuente: Sucky (2002)

Banerjee (1986), sugiere un modelo de lote económico conjunto (*JELS*), el cual tiene como objetivo minimizar el costo total relevante para ambos socios comerciales (cliente-proveedor), determinado a partir de los costos totales óptimos individuales como:

$$TRC_J(Q_J) = (A + S) \cdot \frac{D}{Q_J} + \frac{Q_J}{2} \cdot \left(H_B + \frac{D}{P} \cdot H_V \right) \quad (4.6)$$

Con base en que el tamaño de lote conjunto sea igual al individual ($Q_J = Q_B = Q_V$).

Por su parte, la cantidad de lote económico conjunto (Q_J^*) y los costos totales relevantes mínimos ($TRC_J(Q_J^*)$) por período para el sistema (cliente-proveedor), están determinados por:

$$Q_J^* = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot (S + A)}{H_B \cdot \frac{D}{P} \cdot H_V}} ; \quad TRC_J(Q_J^*) = \sqrt{2 \cdot D \cdot (A + S) \cdot \left(H_B + \frac{D}{P} H_V \right)} \quad (4.7)$$

Para el caso más común ($Q_B \neq Q_V$), el tamaño conjunto de la orden está situado en el intervalo de la solución individual $Q_J^* \in [Q_B^*, Q_V^*]$. La figura 4.3 muestra las funciones de costo de ambos socios comerciales y la función de los costos conjuntos relevantes en el caso de $Q_B \neq Q_V$.

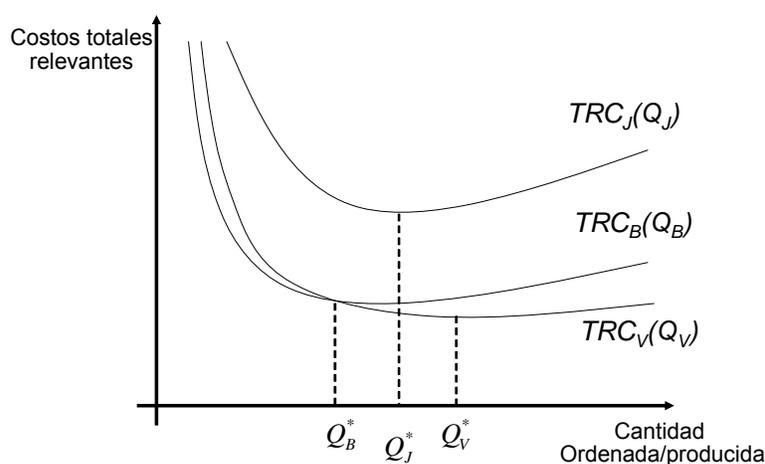


Figura 4.3
Funciones de costo

Fuente: Banerjee (1986).

Para cualquier política conjunta $Q_J^* \in [Q_B^*, Q_V^*]$, el costo total relevante del cliente se define como:

$$TRC_B(Q_J) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{Q_B^*}{Q_J} + \frac{Q_J}{Q_B^*} \right) \cdot TRC_B(Q_B^*) \quad (4.8)$$

Y el costo total relevante para el proveedor, se determina como:

$$TRC_V(Q_J) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{Q_V^*}{Q_J} + \frac{Q_J}{Q_V^*} \right) \cdot TRC_V(Q_V^*) \quad (4.9)$$

con:

$$\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{Q_B^*}{Q_J} + \frac{Q_J}{Q_B^*} \right) > 1, \quad \forall Q_J, Q_B^* > 0; Q_J \neq Q_B^* \quad (4.10)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{Q_V^*}{Q_J} + \frac{Q_J}{Q_V^*} \right) > 1, \quad \forall Q_J, Q_V^* > 0; Q_J \neq Q_V^* \quad (4.11)$$

Si el cliente y el proveedor se conducen individual y razonablemente, seleccionarán su política óptima Q_B^* y Q_V^* . Sin embargo, en el caso de que $Q_B \neq Q_V$ la política conjunta $Q_J = Q_B = Q_V$, sólo puede lograrse de una negociación entre las partes. Si el cliente tiene la mejor posición de negociación sobre el proveedor, entonces no existiría una iniciativa de su parte para activar alguna política conjunta, es decir, $Q_J^* \in]Q_B^*, Q_V^*]$. Esencialmente la relación (4.11) muestra que el cliente va estar en desventaja si acepta la solución conjunta; esto es, aumenta el tamaño de su pedido y por lo tanto, sus costos.

Como ya se dijo, cualquier política conjunta lleva al proveedor a obtener menores costos totales individualmente. Por lo tanto, para que el cliente acepte alguna clase de política conjunta, el proveedor le deberá ofrecer un incentivo (por ejemplo, monetario) como compensación. Asumiendo que la información que comparten los socios comerciales es completa y verídica, es fácil demostrar que la política óptima conjunta (Q_J^*), bajo un acuerdo de compensación monetaria de magnitud $z = TRC_B(Q_J^*) - TRC_B(Q_B^*)$, puede ser consecuencia de las negociaciones comerciales.

Una revisión de la literatura que trata sobre los modelos relacionados con la coordinación de inventarios se presenta a continuación, clasificada de acuerdo con la estructura básica de la cadena de suministro.

4.3 Estructuras básicas de los modelos de coordinación de inventarios

En los últimos años ha surgido un gran número de estudios relacionados con la coordinación de inventarios entre clientes y proveedores. Los autores respectivos han colocado a los problemas de inventario en distintos escenarios de análisis, bajo supuestos y contextos muy diversos. Abarcan desde las estructuras más simples (cliente-proveedor) hasta las más complejas (multieslabón), operadas con estrategias modernas e interesantes. En esta sección se describen brevemente algunos de los documentos más recientes que estudian la coordinación de inventarios, clasificados por la estructura de su análisis. Es importante reconocer que el caso de múltiples clientes o proveedores, representa una generalización del problema básico (un cliente-un proveedor) dentro del contexto de la teoría multieslabón de los inventarios.

4.3.1 Coordinación entre un proveedor y un cliente

En 1976, Goyal sugirió uno de los primeros modelos conocidos como *JELS* (*Joint Economic Lot Size*), el cual determina de manera conjunta el tamaño de lote económico del proveedor (Q_V) y del cliente (Q_B), con el objeto de minimizar los costos totales relevantes de ambos y del sistema, mismos que se calculan mediante la siguiente expresión:

$$JELS = \frac{Dk_B}{Q_B} + \frac{h_B Q_B}{2} + \frac{k_V D}{nQ_B} + \frac{h_V (n-1)Q_B}{2} \quad (4.12)$$

Donde k_B y k_V son los costos fijos de resurtido del cliente y del proveedor; h_B y h_V son los costos de mantenimiento de inventario en costo/unidad/tiempo, respectivamente. Los dos primeros términos de dicha expresión representan los costos totales del proveedor por unidad de tiempo, y los dos últimos términos son los costos totales del vendedor por unidad de tiempo.

Monahan (1984), estudia el problema de un proveedor y un cliente utilizando el modelo de cantidad económica de pedido (*EOQ*). Para efectos prácticos establece que en cada período, el tamaño del lote de abastecimiento del proveedor es igual a la cantidad ordenada por el cliente. Con base en este

planteamiento Monahan (1984), propuso un modelo de descuento por volumen en el cual demostró que el proveedor podría aumentar sus ganancias motivando al cliente comprar una cantidad mayor a cambio de un descuento en el precio.

En este sentido, y ofreciendo un descuento para compensar el aumento en los costos de manutención de inventarios, este autor establece que el proveedor puede incentivar al cliente para que aumente la cantidad de pedido en un factor $K^* = \sqrt{1 + S_V / S_B}$, en donde, S_V y S_B son los costos por ordenar del proveedor y del cliente, respectivamente. Nótese que dicha expresión es independiente de los costos de manutención de inventarios. Esto implica que, sin tener en cuenta los valores de los costos fijos, K^* es siempre mayor de uno. De ahí que el proveedor, siempre estará animando a su cliente en que aumente el tamaño de su orden.

Lee y Rosenblatt (1986), desarrollaron un algoritmo para determinar simultáneamente el factor k que aumenta la cantidad óptima a ordenar, y la cantidad de resurtido del proveedor. El objetivo es maximizar el descuento en el precio por la cantidad de abasto de un producto a un cliente. Cuando el cliente usa una política *EOQ*, y los costos de ordenar y de almacenamiento son conocidos, cierta cantidad de pedido puede lograrse a través de un apropiado programa de descuentos del precio por volumen. Estos autores extendieron el trabajo de Monahan (1984), requiriendo un mínimo de beneficios marginales, y permitiendo al proveedor comprar cualquier volumen más allá que lote por lote.

Más tarde, el modelo fue generalizado por Banerjee (1986), desarrollando un modelo bajo el supuesto de que los costos de preparación de la producción se incurren todo el tiempo que es colocada una orden. Él demostró que el tamaño del lote óptimo (Q_j^*) para producir u ordenar, se puede obtener con la expresión indicada en la sección 4.2.3.

En Goyal (1988); y Goyal y Gupta (1989), el modelo anterior es ampliado, relajando el supuesto de lote por lote. A la vez, argumentan que el tamaño del lote económico de producción es un múltiplo del tamaño del lote del cliente. Por lo tanto, para un entero múltiple n , el tamaño del lote económico del pedido del cliente es calculado por:

$$Q^* = \left(\frac{2D \left(S_1 + \frac{S_2}{n} \right)}{r \left(C_Q - C_V + nC_V \left(1 + \frac{D}{P} \right) \right)} \right)^{1/2} \quad (4.13)$$

Donde el valor de n debe satisfacer la siguiente igualdad:

$$n^*(n^* + 1) \geq \frac{S_2(C_Q - C_V)}{S_1 C_V \left(1 + \frac{D}{P} \right)} \geq n(n^* - 1) \quad (4.14)$$

Por su parte, los costos totales del sistema se determinan con:

$$JTRC(n) = \left[2Dr \left(A + \frac{S}{n} \right) \left(C_Q - C_V + nC_V \left(1 + \frac{D}{P} \right) \right) \right]^{1/2} \quad (4.15)$$

Donde

$JTRC$ = Costos totales relevantes (*Joint Total Relevant Cost*)

D = Demanda anual del producto

P = Tasa anual de producción del proveedor

C_V = Costo unitario de producción del producto

C_Q = Costos de adquisición pagados por el cliente

A = Costos por ordenar del cliente

S = Costo fijo de preparación del proveedor

r = Costos de mantenimiento de producto por dólar invertido por almacenar

Q = Tamaño del lote de producción del proveedor (o cantidad solicitada por el cliente)

Utilizando las estrategias de Resurtido Eficiente (*ER*) y Resurtido Continuo, (*CR*), Yan, *et al.* (2001), llevaron a cabo un estudio con el objeto de conocer el impacto de dichas dos estrategias en la gestión de inventarios entre un cliente y un proveedor. En su trabajo formularon un modelo basado en la teoría de juegos de una cadena de suministro. Considerando para ello dos estructuras de modelación en el contexto de la teoría de juegos de Stackelberg: *i*) el cliente actúa como el líder, y los proveedores asumen el papel de los seguidores; y *ii*) el lado opuesto, cuando un proveedor dominante representa al líder y los clientes actúan como los seguidores.

A partir de estos planteamientos, obtuvieron resultados analíticos sobre el impacto de ambas estrategias (*ER* y *CR*) considerando los siguientes cuatro casos: 1) cuando el cliente, solamente reduce sus costos por ordenar (*ER*), y el proveedor es incapaz de implantar un programa eficaz *ER* y reducir sus costos de ordenar; 2) cuando el cliente adopta *CR*, pero el proveedor es incapaz de reducir sus costos por ordenar; 3) cuando ambos (proveedor y cliente) ponen en práctica *ER* reduciendo sus costos por ordenar; y 4) cuando un proveedor y el cliente conjuntamente ponen en práctica un programa *ER* (cadena de suministro coordinada).

Uno de los resultados principales que arrojó este estudio es que cuando el cliente es el líder, ambos se benefician si el proveedor es capaz de reducir con éxito su costo por ordenar. Además, si un proveedor es incapaz de bajar su costo por ordenar, entonces un programa *CR* puesto en práctica por el cliente reducirá, tanto los beneficios del proveedor como los del cliente. En cuanto a las estructuras de la cadena de suministro, el cliente y el proveedor se beneficiarán con mayor probabilidad de la estrategia *ER* cuando el proveedor domina la relación. Finalmente, una coordinación de la estrategia *ER* aumenta los beneficios sin condiciones para ambas partes. Desde la perspectiva gerencial, la conclusión principal es que el cliente y el proveedor deben trabajar juntos para poner en práctica estrategias *ER* o *CR* de manera conjunta, para aprovechar los beneficios.

En ese mismo contexto, Dong y Xu (2002), desarrollan un modelo bajo un escenario donde el cliente juega el papel de líder y especifica las cantidades ordenadas de acuerdo con sus características de costo, anteponiendo el precio contratado de compra. El proveedor no tiene alternativa y debe aceptar el precio. El planteamiento parece ser muy agresivo, y en realidad lo es. Por lo tanto, bajo la estrategia de coordinación de inventarios administrados por el vendedor (*VMI*), el modelo evalúa el efecto que existe sobre los proveedores y clientes en el corto y largo plazos.

Así, en un ambiente de coordinación de inventarios con la estrategia *VMI*, se establece que el cliente no manejará grandes sistemas de inventarios, dejando esto exclusivamente al proveedor para que él defina los niveles de inventario, tamaño del pedido, tiempo de entrega, etc. Como resultado de lo anterior, el proveedor asumirá los costos combinados de procesamiento de órdenes ($s_S + s_B$) y de almacenamiento ($h_S + h_B$) de ambos socios comerciales; de ahí que, la

función de beneficios del proveedor, en términos de su volumen (y), se expresa como:

$$\Pi_S^c = w_c y - c(y) - [2(s_S + s_B)(h_S + h_B)y]^{1/2} \quad (4.16)$$

Donde w_c representa el nuevo precio al que el cliente recurre para inducir al proveedor a manejar su sistema de inventarios. Es decir, representa el precio contratado de adquisición bajo la estrategia *VMI*. Nótese que el subíndice c se utiliza para indexar las variables de decisión (por ejemplo, precio de compra, cantidades, etc), mientras que el superíndice c indexa los beneficios en la estrategia *VMI*.

Con base en lo anterior, la función de beneficio de los clientes se reduce a:

$$\Pi_B^c = p(y)y - w_c y \quad (4.17)$$

Como es evidente, con la política de coordinación de inventarios *VMI*, el cliente no administra su sistema de inventarios; y por lo tanto, su costo en este rubro no resulta significativo en su función de beneficios.

Bajo este esquema de administración de inventarios, Dong y Xu (2002), dedujeron que el proveedor alcanzará su beneficio máximo, siempre y cuando la relación entre el precio de venta y las cantidades adquiridas (y) cumpla la siguiente condición:

$$w_c = c'(y_c) + \frac{1}{2} \left(\frac{2(h_B + h_S)(s_B + s_S)}{y_c} \right)^{1/2} \quad (4.18)$$

De igual modo, la cantidad óptima de compra y_c^* se logrará en los términos que se cumpla la siguiente condición:

$$p'(y_c^*)y_c^* + p(y_c^*) - c'(y_c^*) - c''(y_c^*)y_c^* - \frac{1}{4} \left(\frac{2(h_B + h_S)(s_B + s_S)}{y_c^*} \right)^{1/2} = 0 \quad (4.19)$$

o

$$p'(y_c^*)y_c^* + p(y_c^*) - c'(y_c^*) - c''(y_c^*)y_c^* - \frac{1}{4} (w_c^* - c'(y_c^*)) = 0 \quad (4.20)$$

El precio de adquisición óptimo (w_c^*) y el precio de venta final del producto (p_c^*), pueden calcularse respectivamente basándose en (y_c^*).

Desde un punto de vista global, la suma de las funciones de beneficio del proveedor y el cliente permite evaluar los beneficios totales del sistema, expresado como:

$$\Pi_B + \Pi_S = p(y)y - c(y) - \left(\frac{s_B y}{Q_B} + \frac{h_B}{2} Q_B \right) - \left(\frac{s_S y}{Q_S} + \frac{h_S}{2} Q_S \right) \quad (4.21)$$

Basado en lo anterior, Dong y Xu (2002), establecen que la eficiencia de la coordinación y su efectividad en la gestión de la cadena de suministro pueden evaluarse por medio de la diferencia entre las funciones de beneficio, con y sin estrategia *VMI*, es decir:

$$[\Pi_B^C(y) + \Pi_S^C(y)] - [\Pi_B(y) + \Pi_S(y)] = \left(\frac{h_B s_B y}{2} \right)^{1/2} \left[\left(1 + \frac{s_S}{s_B} \right)^{1/2} - \left(1 + \frac{h_S}{h_B} \right)^{1/2} \right]^2 \geq 0 \quad (4.22)$$

El resultado anterior indica que mientras exista algún desajuste entre la proporción de los costos de adquisición y almacenamiento del proveedor y el cliente ($s_S / s_B \gg h_S / h_B$), los beneficios totales del sistema van a mejorar con la estrategia *VMI*. Esto es verdadero a pesar de que el beneficio del proveedor sea creciente o no con una estrategia *VMI*.

Por otro lado, Dong y Xu (2002), reconocen que la coordinación es un estado ideal para la gestión de la cadena de suministro. Y que ésta puede lograrse si el beneficio conjunto ($\Pi_B + \Pi_S$) es maximizado; al mismo tiempo, establecen que durante el cambio de un programa de inventario a una coordinación plena, la cantidad adquirida (y) se mantiene constante en el corto plazo, y Q_B puede ser ajustada por ambas partes (proveedores y clientes) hacia Q_B^J (denótese una situación óptima de los beneficios conjuntos con el superíndice J), deduciendo que los beneficios conjuntos pueden ser maximizados cuando:

$$Q_B^J = Q_B^C = [2(s_S + s_B)y / (h_S + h_B)]^{1/2} \quad (4.23)$$

Señalan que lo anterior lleva a que los beneficios conjuntos sean mayores o iguales a la suma de los beneficios individuales, es decir:

$$\Pi_B^C(y) + \Pi_S^C(y) = \Pi_B^J(y) + \Pi_S^J(y) \geq \Pi_B(y) + \Pi_S(y) \quad (4.24)$$

En este sentido, las contribuciones de Hill (1997 y 1999), se enfocan a minimizar el costo total del sistema proveedor-cliente; el supuesto básico es que el vendedor conoce la demanda del cliente y la frecuencia de pedido. En consecuencia, el modelo se aplica en esquemas donde existe cooperación entre las partes, independientemente de que éstas pertenezcan o no a la misma compañía. El modelo de Hill considera los costos en los que se incurre en el proceso de entrega, por lo que el problema del número óptimo de entregas es discutido ampliamente. Este autor señala que tanto el proveedor como el cliente incurren en costos de mantenimiento de inventarios, dependiendo de las diferentes tasas y el tiempo en que los materiales se almacenan. Por lo tanto, afirma que el tamaño de lote económico bajo estas consideraciones está determinado por:

$$q^* = \left[\left((A_1 + nA_2) \frac{D}{n} \right) / \left(h_1 \left(\frac{D}{P} + \frac{(P-D)n}{2P} \right) + \frac{h_2 - h_1}{2} \right) \right]^{1/2} \quad (4.25)$$

En donde, A_1 es el costo fijo incurrido por el proveedor por producir un lote; A_2 el costo en que incurre el cliente por realizar un pedido; h_1 y h_2 los costos en que incurren el proveedor y el cliente por almacenar un producto por un período de tiempo; P es la tasa de producción; D es la tasa de demanda observada por el cliente; n es el número de operaciones de transporte (envíos) por lote producido; q el tamaño de lote transportado por entrega, para el cual el tamaño de lote es producido ($Q = nq$). Este modelo asume que $P > D$ y $h_2 > h_1$.

En este contexto, Braglia y Zavanella (2003), elaboraron un modelo generalizado para el caso de ventas a consignación, o estrategia *VMI*. Como en Hill (1997), asumen que el proveedor produce por lotes, y por lo cual incurre en costos fijos de preparación de acuerdo al tamaño del lote. Incluyen los costos de procesamiento de envíos, alguno de los cuales se llevan a cabo durante la corrida de producción. De esta manera, el cliente y el proveedor están sujetos a costos fijos por emitir órdenes y enviar los pedidos (C_e^B, C_s^V), asumiendo que son independientes de la cantidad (q) que será transferida. Ambas partes convergen en costos por

manutención de inventarios (C_m^V, C_m^B), aunque a diferentes tasas, las cuales aumentan conforme el tiempo de almacenamiento crece.

Por lo anterior, Braglia y Zavanella (2003), establecen que el costo promedio del proveedor por año está compuesto por dos factores: costos fijos de preparación $C_s^V = A_1(D/nq)$, y los costos de manutención de inventarios $C_m^V = h_1(qD/2P)$. Por su parte, los costos del cliente, son definidos por: $C_e^B = A_2(D/q)$ y $C_m^B = h_2/2[nq - (n-1)(q/P)D]$.

Siendo los costos totales para el sistema:

$$C = (A_1 + nA_2) \frac{D}{nq} + h_2 \left(\frac{Dq}{P} + nq \frac{P-D}{2P} \right) - (h_2 - h_1) \left(\frac{qD}{2P} \right) \quad (4.26)$$

Mientras que la cantidad óptima está determinada por:

$$q^* = \left(\frac{(A_1 + nA_2) \frac{D}{n}}{h_2 \left(\frac{Dq}{P} + nq \frac{P-D}{2P} \right) + (h_2 - h_1) \left(\frac{D}{2P} \right)} \right)^{1/2} \quad (4.27)$$

Como respuesta al caso anterior, Lu (1995), desarrolla un modelo cuyo objetivo primordial es minimizar el costo total anual del proveedor, determinando el máximo costo total que el cliente podría estar dispuesto a incurrir. Su argumento principal se basa en la dificultad del proveedor por conocer o estimar los costos de almacenamiento y de procesamiento de órdenes del cliente, a menos que éste último quiera revelar los valores reales.

Otros autores han estudiado el problema de coordinación del tamaño de lote económico considerando restricciones de capacidad. Por ejemplo, Robinson y Lawrence (2004), formulan un problema entero mixto y un procedimiento de solución utilizando el método de relajación lagrangeana para una familia de productos con demanda dinámica y determinista. El modelo define los períodos de resurtido que minimizan los costos de abasto, inventario y escasez o faltantes para esa familia de productos en un horizonte finito de tiempo. En general, este tipo de trabajo se apoya en las consideraciones hechas por Silver (1979), las cuales señalan que si una familia de productos comparte un mismo proveedor,

modo de transporte o instalaciones de producción, pueden enfrentar limitaciones en los recursos.

En general, estos primeros modelos demostraron que bajo el escenario de un sólo proveedor que abastece un producto a un sólo cliente, la política coordinada de inventario es más deseable que la política individual óptima. En general, los resultados de los modelos, normalmente determinan que el tamaño de lote económico conjunto reduce el costo del proveedor, pero aumenta los del cliente. Sin embargo, el supuesto base es que existe un equilibrio perfecto del poder de negociación entre el cliente y el proveedor, y que llevan a cabo esfuerzos por lograr acuerdos. Estos autores, generalmente comparan los resultados obtenidos de una política conjunta contra los conseguidos al aplicar políticas independientes.

Por lo anterior, se ha puesto más atención al estudio de los mecanismos que permiten compartir las ventajas de la coordinación. En este sentido, los estudios se han orientado al desarrollo de modelos que consideran mejores precios o descuentos por volumen para animar al cliente a comprar lotes más grandes de producción. Dichos mecanismos han fomentado a su vez, la modelación de diversas estrategias de coordinación y cooperación. De hecho, los modelos revisados se han extendido también al caso multieslabón, es decir, multiprovedores y multivalentes. Algunos de estos modelos se revisan en la sección a continuación.

4.3.2 Coordinación entre un proveedor y múltiples clientes

Banerjee y Banerjee (1994), desarrollaron un modelo analítico para el control coordinado del inventario de un producto entre un proveedor y múltiples clientes. Consideran la demanda estocástica y tiempos de ciclo de abasto comunes. Enfocan su atención al uso de la tecnología para el intercambio electrónico de datos (EDI), bajo el cual argumentan que EDI hace factible vincular en tiempo real múltiples clientes con el proveedor, permitiendo a este último supervisar el patrón de consumo de los clientes. En consecuencia, no es necesario que los clientes coloquen pedidos, ya que el proveedor puede enviar el material necesario de acuerdo con el sistema de decisión establecido. La investigación asume que todas las partes involucradas convienen envíos de producto de acuerdo con las cantidades preestablecidas en un intervalo común a todos los clientes, característica específica de la estrategia *VMI*. El problema principal de esta

estrategia es que el proveedor asume toda la responsabilidad de las decisiones relacionadas con el inventario de los clientes.

Woo, *et al.* (2001) formula un modelo integrado de inventario donde considera un solo proveedor que adquiere y procesa su materia prima para entregar productos terminados a múltiples clientes en un ciclo común. El proveedor y todos los clientes buscan reducir la inversión en costos por ordenar (por ejemplo, estableciendo un control de inventarios basado en un sistema de intercambio electrónico de datos) para reducir el costo total conjunto. Este modelo extiende el trabajo de Banerjee y Banerjee (1994), pero el proveedor toma las decisiones de abasto para optimizar el costo total del sistema.

Klastorin, *et al.* (2002), analizan la coordinación entre una empresa que abastece un producto a múltiples clientes enfrentando una demanda estática en un sistema de distribución/inventario multieslabón. Los autores proponen una estrategia de coordinación basada en una política de descuentos. Un fabricante terceriza la fabricación de un repuesto a un productor de equipo original (*OEM*, por sus siglas en inglés); es decir, el fabricante suministra el producto a un conjunto $J = \{1, \dots, N\}$ de detallistas. Los detallistas resurten sus inventarios del fabricante que, por su parte, surte su inventario del tercero (*OEM*) en intervalos de orden predefinidos. Asumen que la demanda en los detallistas es constante en el tiempo y que éstos incurren en un costo de inventario promedio.

Con la finalidad de aumentar sus ganancias, el fabricante ofrece un descuento de precios a cualquier detallista que coloque una orden y que coincida con el inicio del ciclo de fabricación. Suponen que el fabricante ofrece dicha estrategia para evitar mantener unidades en inventario (es decir, realizar una operación de “*cross docked*”). De esta manera, los detallistas que coloquen órdenes en cualquier otro momento del ciclo de fabricación pagarían el precio normal de catálogo por unidad.

Los objetivos de este estudio se centraron en desarrollar una metodología eficiente para encontrar el descuento óptimo, y describir las condiciones que deben existir para que un fabricante ofrezca dicho descuento. Asimismo, los autores se enfocaron a investigar la magnitud de los ahorros (o ganancias) que podría acumular un fabricante que ofrece tal descuento, e identificar las condiciones (incluso el número y las características de los detallistas) cuando dicho esquema es beneficioso para todos los participantes de la cadena de suministro.

Chan y Kingsman (2003), llevaron a cabo una propuesta muy interesante sobre la coordinación de un proveedor con respecto a varios clientes. Buscan reducir el nivel del inventario por medio de la sincronización de los ciclos de pedido y de producción. La sincronización se logra por medio del diseño de un programa de los días de pedido de los clientes, coordinado con el ciclo de producción del proveedor. Con ello establecen que para lograr el menor costo conjunto entre el proveedor y sus clientes, no hay necesidad de acuerdos sobre descuentos en el precio y cantidades específicas a pedir. Sin embargo, afirman que todos los clientes deben aceptar una regularidad en realizar pedidos en múltiplos enteros de un período base. La desventaja de esta estrategia en la vida real, radica en que no todo el tiempo los socios en la cadena podrán respetar sus tiempos debido a las fluctuaciones reales de la demanda, y por lo tanto, no asegura del todo lograr siempre el costo mínimo del sistema.

Viswanathan y Piplani (2001), proponen una estrategia de coordinación de inventario por medio del uso de la estrategia “Épocas Comunes de Resurtido” (*ECR*), también conocida como “períodos de tiempo”. El análisis lo llevan a dos eslabones en la cadena, considerando el suministro de un producto de un proveedor a varios clientes. Como ya se ha mencionado, la estrategia consiste en que el proveedor realiza una oferta de descuento sobre el precio de adquisición para alentar al cliente a aceptar la estrategia *ECR*, la cual consiste en que el proveedor controle el inventario del cliente, y establezca las cantidades y fechas de entrega. Ciertamente, esta práctica reduce la flexibilidad del cliente, de ahí que se vea un poco forzado a verificar que el descuento efectivamente compense el incremento en los costos de su inventario.

Viswanathan y Piplani (2001), modelan la estrategia en torno a la teoría de juego de Stackelberg, en donde el proveedor actúa como líder del juego y los clientes como seguidores. De esta manera, el proveedor toma la iniciativa y establece un descuento Z_i en el precio de los productos, y propone el período de surtimiento T_0 y el intervalo de tiempo t_i^C para cada cliente i . El seguidor, en este caso los clientes, actúan de acuerdo con la iniciativa del proveedor y toman su propia decisión revisando su política de inventario, aceptando o no el descuento y la estrategia “Épocas Comunes de Resurtido”. Los autores suponen que los parámetros de costo y demanda de los clientes son conocidos plenamente por el proveedor, con lo cual puede tomar una decisión óptima y anticipar la reacción de los clientes. Consideran determinista y estable (estática) la demanda (D).

En términos generales, el planteamiento del modelo, parte de un entorno con políticas de inventario independientes; es decir, cada uno de los actores logísticos tomará decisiones individualistas. De esta manera, la estrategia de un cliente i se basa en colocar órdenes en un intervalo de tiempo t_i^U , correspondiente a su tamaño económico de lote (EOQ).

$$t_i^U = \sqrt{(2D_i K_i) / h} / D = \sqrt{K_i / H_i} \quad (4.28)$$

con K_i = costo por ordenar; y h_i = costo de almacenamiento, para $i = 1 \dots m$. Nótese que, $H_i = (1/2)D_i h_i$

Por lo tanto, las órdenes de resurtido pueden llegar en cada momento y tienen que ser atendidas inmediatamente. Evidentemente, esta política minimiza el costo total g_i^U del cliente por mantener un nivel de inventario (H_i), y por generar órdenes de compra (K_i) cada intervalo de tiempo t_i^U , es decir:

$$g_i^U = (K_i / t_i^U) + H_i t_i^U = 2\sqrt{K_i H_i} \quad (4.29)$$

Por su parte, el proveedor dispone de un proceso de gestión para atender las órdenes de sus clientes, y ello le representa un costo fijo A_s por atender un conjunto de éstas, y otro costo fijo A_i por atender la orden de cada cliente. De hecho, el proveedor podría incurrir incluso en un costo $A_s + A_i$ para cada intervalo. Para un conjunto de clientes, el proveedor incurre en un costo total g_o^U por intervalo, calculado por:

$$g_o^U = (A_s + \sum_i^m A_i) / t_i^C \quad (4.30)$$

Por la ausencia de coordinación, el proveedor no puede planear sus entregas y en cualquier momento puede recibir pedidos. Viswanathan y Piplani (2001), suponen que el proveedor compra producto a un vendedor externo, bajo una demanda de lote por lote. Bajo este supuesto, el proveedor no guarda inventario alguno y ordena la cantidad requerida cuando recibe una orden de algún cliente.

Bajo un entorno coordinado, el proveedor establece los intervalos t_i^C de generación de órdenes para cada cliente i , el cual se asume que sea un entero múltiple n_i del período T_0 , es decir:

$$t_i^C = n_i T_0 \quad n_i \geq 1, \text{ entero} \quad (4.31)$$

Por lo tanto, el costo mínimo del inventario del cliente que acepta la estrategia ECR será:

$$g_i^C = (K_i/n_i T_0) + H_i n_i T_0 \quad (4.32)$$

Como se indicó en un principio, el cliente aceptará la estrategia ECR sólo si el descuento ofrecido es lo suficientemente grande como para compensar el incremento en los costos de inventario, y mejor aún si provee algún ahorro de $S\%$ sobre el costo inicial. Por tanto, el descuento total $D_i Z$ debe satisfacer la siguiente condición:

$$D_i Z \geq (K_i/n_i T_0) + H_i n_i T_0 - (1-S)2\sqrt{K_i H_i} \quad (4.33)$$

Es decir, el descuento total debe ser mayor o igual a los costos por ordenar y mantener inventario, menos el ahorro potencial del costo incurrido sin coordinación.

Para el proveedor el costo relevante, bajo la estrategia ECR está compuesto por los costos por procesar las órdenes, más el costo del precio del descuento; es decir:

$$g_o^C = A_s/T_0 + \sum_{i=1}^m \left(D_i Z + \left(A_i/n_i T_0 \right) \right) \quad (4.34)$$

Por lo anterior, el modelo para determinar T_0 y Z para el proveedor es formulado como:

$$\text{Minimizar } g_o^C = A_s/T_0 + \sum_{i=1}^m \left(D_i Z + \left(A_i/n_i T_0 \right) \right) \quad (4.35)$$

$$\text{Sujeto a: } D_i Z \geq (K_i/n_i T_0) + H_i n_i T_0 - (1-S)2\sqrt{K_i H_i} \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (4.36)$$

$$T_0 \in X \quad (4.37)$$

$$n_i \geq 1 \text{ y entero } \quad \forall i=1, \dots, m \quad (4.38)$$

$$X \text{ es el conjunto de ECR's consideradas} \quad (4.39)$$

Para demostrar los beneficios de la estrategia *ECR*, Viswanathan y Piplani (2001), aplicaron el modelo a diez clientes, estableciendo un umbral del 10% de ahorro, encontrando los siguientes resultados más importantes:

- a) Los ahorros para el proveedor son negativos para bajos valores de costos por procesar órdenes. Señalan que la coordinación de abasto por medio de *ECR* es sensible cuando dichos costos son más grandes que el valor del umbral dado.
- b) Para altos valores de costos por procesamiento de órdenes, los ahorros del proveedor fueron del 27 y 35% para el sistema, respectivamente.
- c) Cuando los costos por procesar órdenes A_i de un cliente específico son altos, los costos comunes de procesamiento A_s no influyen en el porcentaje de los ahorrados en costos del proveedor o el sistema.
- d) Los ahorros del proveedor como del sistema, tienden a incrementarse con la estrategia *ECR*, cuando los costos de procesamiento A_s y A_i son grandes.

Piplani y Viswanathan (2004), extendieron su modelo de coordinación de inventarios de la estrategia *ECR*, anterior pero ahora con múltiples épocas comunes de resurtido (*MCRE*, por sus siglas en inglés). Consideran un sólo proveedor que abastece un producto a múltiples clientes, donde el proveedor especifica dos alternativas de épocas comunes de suministro. Los clientes se surten bajo un esquema similar al modelo anterior, pero tienen la libertad de seleccionar una de las dos alternativas. Los autores demuestran que los beneficios del proveedor bajo la estrategia *MCRE* puede mejorar considerablemente los beneficios del proveedor comparado con los obtenidos en el modelo original.

Chang y Tsai (2002), desarrollaron un modelo (siguiendo a Viswanathan y Piplani, 2001), con el cual buscan determinar el tamaño de orden óptimo y los mejores períodos de abasto que minimicen los costos totales del proveedor por el procesamiento de órdenes y de transporte, sujeto a maximizar los costos con los cuales los clientes estarían dispuestos a incurrir. Afirman que en situaciones reales es muy común que el proveedor persiga entregas por lotes para los clientes, circunstancia que es modelada por estos autores.

Por lo anterior, Chang y Tsai (2002), señalan que los costos totales (TC_i) del cliente no solo están conformados por los costos por ordenar (K_i) y de mantenimiento de inventario (h_i), sino también los costos por el procesamiento del abasto (R_i , recibo), es decir:

$$TC_i = K_i \frac{D_i}{Q_i} + h_i \frac{Q_i}{2} + R_i \frac{D_i}{Q_i} \quad (4.40)$$

Minimizando el costo total, y obteniendo $H_i = (1/2)D_i h_i$, el tamaño de lote económico óptimo (Q_i^*) y el período de abasto (T_i) para el cliente i pueden expresarse mediante las ecuaciones (4.41) y (4.42):

$$Q_i^* = \sqrt{\frac{2D_i(K_i + R_i)}{h_i}} \quad (4.41)$$

$$T_i = \frac{Q_i}{D_i} = \sqrt{\frac{(K_i + R_i)}{H_i}} \quad (4.42)$$

Por lo tanto, considerando que cada cliente puede tomar sus propias decisiones, el costo total de inventario (G_{i0}^b) para el cliente i se simplifica como:

$$G_{i0}^b = \frac{(K_i + R_i)}{T_i} + H_i T_i = 2\sqrt{H_i(K_i + R_i)} \quad (4.43)$$

Cuando el proveedor acepta los pedidos de los clientes, se incurre en los costos de procesamiento de pedidos y de transporte para la entrega. Dichos costos para el cliente i son ($A_s + A_i + C_i$). Para satisfacer la demanda de los clientes, el costo total G_0^v para procesar órdenes y entregas se expresa de la siguiente manera:

$$G_0^v = \sum_{i=1}^n \frac{(A_s + A_i + C_i)}{T_i} \quad (4.44)$$

Bajo el mismo contexto de la estrategia *ECR*, el proveedor conoce el descuento mínimo (Z_i) que puede ser aceptable por los clientes; establece las épocas comunes de resurtido T_0 , y determina la tasa de compensación $S\%$ que puede ofrecer a los clientes. Sin embargo, Chang y Tsai (2002), agregan que el proveedor adoptará entregas por lotes para reducir los costos de mantenimiento de

inventarios, y aumentar la flexibilidad de su planta para cambiar las especificaciones de producción. Bajo la estrategia *ECR*, los clientes pueden abastecerse en el momento de las entregas del proveedor. El período (T_i') para ordenar y el período (T_i'') de abastecimiento del cliente i , después de alcanzar acuerdos con los miembros de la cadena de suministro, así como los costos totales (G_{ic}^b) - antes del descuento, son expresadas por las ecuaciones (4.45), (4.46) y (4.47), respectivamente.

$$T_i' = N_i T_0 \quad (4.45)$$

$$T_i'' = n_i T_0, \text{ donde } N_i, n_i \geq 1 \quad (4.46)$$

$$G_{ic}^b = \frac{K_i}{N_i T_0} + h_i \frac{D_i(n_i T_0)}{2} + \frac{R_i}{n_i T_0} = \frac{K_i}{x_i n_i T_0} + H_i n_i T_0 + \frac{R_i}{n_i T_0} \quad (4.47)$$

El proveedor propone un período fijo de abasto, y llega a un acuerdo con los clientes sobre el descuento en el precio del producto, el cual se expresa como:

$$Z_i = \frac{1}{D_i} \left\{ \frac{K_i}{x_i n_i T_0} + H_i n_i T_0 + \frac{R_i}{n_i T_0} - 2(1-S)\sqrt{H_i(K_i + R_i)} \right\} \quad (4.48)$$

Sea el precio final de descuento $Z = \text{Max}\{Z_i\}$. Si el precio total de descuento es más alto que el incremento en los costos de inventario, los clientes aceptaran la estrategia *ECR*. En este caso, el precio total de descuento $D_i Z$ ganado por el cliente debe satisfacer la siguiente desigualdad:

$$D_i Z \geq \frac{K_i}{x_i n_i T_0} + H_i n_i T_0 + \frac{R_i}{n_i T_0} - 2(1-S)\sqrt{H_i(K_i + R_i)} \quad (4.49)$$

Bajo una política de coordinación, el costo total G_c^v incurrido por los proveedores, debido al procesamiento de órdenes y entregas, se expresa como:

$$G_c^v = \frac{A_i}{T_0} + \sum_i \left(D_i Z + \frac{A_i}{N_i T_0} + \frac{C_i}{n_i T_0} \right) \quad (4.50)$$

Por su parte, los costos totales por concepto de inventarios, incurridos por los clientes son expresados de la siguiente manera:

$$G_{ic}^b = \frac{K_i}{x_i n_i T_0} + H_i n_i T_0 + \frac{R_i}{n_i T_0} - D_{iz} \quad (4.51)$$

Entre los resultados más relevantes obtenidos a la modificación del modelo de Viswanathan y Piplani (2001), se detectaron los siguientes aspectos:

- a) Comparando los resultados con el caso analizado por Viswanathan y Piplani (2001), los ahorros para el proveedor son mayores, en un promedio de tres veces mejor que los del cliente. Es decir, la situación se invierte. Sin embargo, bajo las condiciones propuestas por Chang y Tsai (2002) y adoptando la estrategia *ECR*, los ahorros para el sistema son mejores.
- b) El período de abasto del proveedor se reduce con un incremento en los costos de almacenamiento.
- c) Los ahorros con la estrategia *ECR*, el sistema puede alcanzar ahorros de alrededor del 14%.
- d) Si los costos A_s se mantienen constantes y A_i aumenta, el resultado es que se producirán más ahorros para el proveedor y el sistema. Los costos ahorrados por el proveedor y el sistema se incrementarán gradualmente a medida que si A_i mantiene un valor específico y A_s se incrementa.

Gaytán y Pliego (2002) extendieron el trabajo Viswanathan y Piplani (2001). Su investigación proporciona un modelo de optimización para representar el problema en un esquema de coordinación de inventarios *ECR*. Consideran como principales variables de decisión: el número base de períodos entre surtidos, y el descuento en el precio de los productos que debe dar el proveedor a cada cliente. Se propone un método heurístico alternativo a la solución exacta que se obtiene al resolver el modelo.

A diferencia de los dos trabajos anteriores, Gaytán y Pliego (2002) consideran que los clientes experimentan una demanda determinista y dinámica. El problema resultante se ubica dentro de los llamados *lot sizing problem*; es decir, se determina el tamaño del lote en un entorno con demanda dinámica, pero restringido a realizar el abasto en períodos fijos, y a lograr un ahorro $S\%$ sobre el costo óptimo de la política no coordinada de los clientes. Es decir, cada cliente demanda una cantidad conocida y variable de un mismo tipo de producto, durante

un horizontes finito de T períodos. El tamaño de lote económico de los clientes se calcula utilizando el método de Wagner y Whitin (1958). Para estructurar el modelo, se definen las siguientes variables y parámetros:

Notación del problema:

Para cada cliente $i \in \{1, \dots, m\}$, y para cada período $t = \{1, \dots, T\}$ definen lo siguiente:

Parámetros del modelo:

$m =$ Número de clientes

$T =$ Número de períodos de horizonte de tiempo

$K_i =$ Costo para el cliente i por ordenar

$r_i =$ Costo para el cliente i por mantener en inventario durante un período, una cantidad de \$ de artículo, dado en $\$/(\$/\text{períodos})$

$D_{it} =$ Demanda del cliente i en el período t , en unidades/período

$v =$ Costo unitario del proveedor, dado en $\$/\text{unidad}$

$A_s =$ Costo fijo para el proveedor, por procesar un conjunto de órdenes

$A_i =$ Costo fijo para el proveedor, por procesar una orden del cliente i

$T_0 =$ Número base de de períodos entre surtidos, tal que $T_0 \in \Omega$

$\Omega =$ Conjunto de valores posibles para el número base de períodos entre resurtidos T_0 tal que $\Omega = \{x/2 \leq x \leq T, x \text{ entero}\}$

$S =$ Ahorro para cada cliente sobre el costo total de no usar la coordinación ECR en $\$/\$$

$N_i, M_1, M_2 =$ constantes positivas elegidas adecuadamente

Variables de decisión:

$I_{it} =$ Inventario del cliente i al final del período t , dado en unidades/período

$Q_{it} =$ Cantidad ordenada por el cliente i para ser surtida al inicio del período t , dada en unidades/período

$I_{i0} =$ Inventario inicial del cliente i

$$Y_{it} = \begin{cases} 1 & \text{si } Q_{it} \geq 0 \\ 0 & \text{si } Q_{it} = 0 \end{cases}$$

$$X_t = \begin{cases} 1 & \text{si } \sum_{i=1}^m Y_{it} > 0 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Z_i = Descuento dado por el proveedor al cliente i , para compensar el incremento en el costo por usar la estrategia *ECR*, y además proporcionar un ahorro igual al S % sobre el costo total sin coordinación

El modelo considera un proveedor que abastece un producto a m clientes. En ausencia de una política coordinada, los autores establecen que el costo total g_i^n mínimo del cliente, también está compuesto por los costos por ordenar y de almacenamiento durante un horizonte finito de T períodos, determinado por el método de Wagner y Whitin (1958) siguiente:

$$\text{Min } g_i^n = \sum_{t=1}^T [K_i Y_{it} + I_{it} v r_i] \quad \forall i = 1, \dots, m. \quad (4.52)$$

$$\text{Sujeto a: } I_t = I_{t-1} + Q_{it} - D_{it} \quad \forall i = 1, \dots, m; t = 1, \dots, T. \quad (4.53)$$

$$Q_{it} = N_i Y_{it} \text{ con, } N_i = \sum_{t=1}^T D_{it} \quad \forall i = 1, \dots, m; t = 1, \dots, T. \quad (4.54)$$

$$I_{i0} = 0 \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (4.55)$$

$$I_{it}, Q_{it} \geq 0 \text{ entero} \quad \forall i = 1, \dots, m; t = 1, \dots, T. \quad (4.56)$$

$$Y_{it} \in \{0, 1\} \quad \forall i = 1, \dots, m; t = 1, \dots, T. \quad (4.57)$$

Por su parte, el proveedor incurre en un costo total g_0^n , determinado por:

$$g_0^n = \sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^T (A_s X_t + A_i Y_{it}) \quad (4.58)$$

Bajo la aceptación de la política de coordinación *ECR*, los autores suponen que todos los clientes colocan una orden en el primer período, a partir del cual, el cliente i deberá realizar sus pedidos solamente cada cierto múltiplo de T_0 , es decir:

$$\{1, 1+T_0 + 2T_0, \dots, 1+\alpha T_0\} \text{ con } \alpha = \left\lceil \frac{T-1}{T_0} \right\rceil \text{ para } i = 1, \dots, m \quad (4.59)$$

de tal forma que se minimicen los costos totales de sistema.

De esta manera, el costo mínimo total para el proveedor, utilizando la estrategia (*ECR*) durante el horizonte finito de T_0 períodos, está dado por el siguiente modelo de optimización lineal entera:

$$\text{Min } g_o^c = \sum_{t=1}^T (A_s X_t) + \sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^T (D_{it} v Z_i + A_i Y_{it}) \quad (4.60)$$

Sujeto a:

$$\sum_{t=1}^T D_{it} v Z_i = \left[\sum_{t=1}^T (K_i Y_{it} + I_{it} v r_i) - g_i^n (1 - S) \right] \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (4.61)$$

$$I_t = I_{t-1} + Q_{it} - D_{it} \quad \forall i = 1, \dots, m; \quad t = 1, \dots, T \quad (4.62)$$

$$Q_{it} \leq N_i Y_{it} \quad \text{con } N_i = \sum_{t=1}^T D_{it}, \quad \forall i = 1, \dots, m; \quad t = 1, \dots, T \quad (4.63)$$

$$I_{i0} = 0 \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (4.64)$$

$$Y_{it} = 0 \quad \forall i = 1, \dots, m; \quad (4.65)$$

$$t \neq \{1, 1 + T_0 + 2T_0, \dots, 1 + \alpha T_0\} \quad \text{con } \alpha = \left[\frac{T-1}{T_0} \right]$$

$$\sum_{i=1}^m Y_{it} \leq M_1 X_t \quad \text{con } M_1 = m; \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (4.66)$$

$$I_{it}, Q_{it} \geq 0 \quad \text{entero}, \quad \forall i = 1, \dots, m; \quad t = 1, \dots, T \quad (4.67)$$

$$Y_{it}, X_t \in \{0, 1\} \quad \forall i = 1, \dots, m; \quad t = 1, \dots, T \quad (4.68)$$

$$Z_i \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (4.69)$$

$$T_0 \in \Omega \quad \text{donde } \Omega \text{ está formado por elementos del conjunto} \quad (4.70)$$

$$\Omega = \{x/2 \leq x \leq T, x \text{ entero}\}$$

La restricción (4.61) garantiza que el descuento Z_i recibido por cada uno de los clientes, compense con un ahorro del $S\%$ sobre el costo g_i^n , el incremento por tener más inventario o generar más órdenes de compra al no pedir con base en su política óptima individual. La expresión (4.62) garantiza el equilibrio de inventarios. Las restricciones (4.63) aseguran que los clientes incurrirán en el costo por ordenar solamente cuando ordenen una o más unidades del producto. Las restricciones (4.64) establecen los inventarios a cero al inicio del período de planeación. La expresión (4.65) garantiza que no se generen órdenes de compra en períodos que no son múltiplos de T_0 . Las desigualdades (4.66) aseguran que si en cierto período se realiza al menos un pedido, el proveedor incurre en un costo fijo A_s por procesar un conjunto de órdenes. Las condiciones (4.67, 4.68, 4.69) especifican los tipos de variables del modelo. La condición (4.70) asegura

que los valores de T_0 corresponden a un conjunto de unidades predefinido por el proveedor.

Aceptando la estrategia *ECR* el cliente incurre en un costo g_0^c , definido por:

$$g_0^c = \sum_{i=1}^T [K_i Y_{it} + I_{it} v r_i - D_{it} v Z_i] \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (4.71)$$

El modelo de Gaytán y Pliego (2002), permite evaluar de manera exacta la estrategia *ECR* en un contexto de demanda variable (dinámica) con paquetes de cómputo comerciales; sin embargo, debido a que un aumento en la cantidad de clientes m y períodos de análisis T , el número de variables ($3mT + m + 2T - 1$) y restricciones ($3mT + m + T + 1$) aumenta de forma cuadrática en m y T , dichos autores ofrecen la oportunidad de modelar escenarios más complejos por medio de un método heurístico alternativo a la solución exacta del modelo, el cual proporciona soluciones desviadas 1.68% del óptimo. Los beneficios combinados por realizar la coordinación llegan hasta el 39%.

Mishra (2004a) extendió el modelo de Viswanathan y Piplani (2001), considerando una política selectiva de descuento. Utilizando la estrategia de épocas comunes de resurtido (*ECR*) permite que algunos clientes puedan participar en el esquema coordinado; mientras que otros continúan ordenando, como hasta ahora lo han hecho, denominando esta situación como “descuento selectivo” (*SD*). Denotan el cliente no coordinado como (*ND*); es decir, que no implica algún descuento. Obsérvese que *SD* incluye a *ND* e *ID*, que representan los proveedores incluidos en la estrategia *ECR*. Dichos autores observaron que *SD* decrece los costos totales del proveedor en muchos escenarios comparando a *ND* e *ID*. Adicionalmente, permitieron un precio general P y un costo por procesar una orden $A_s \neq A_{s_i}$ (Viswanathan y Piplani asumen $P = 1$ y $A_s = A_{s_i}$).

El proveedor selecciona un *ECR*, $T_0 \in X$. Cuando el cliente i cambia del modelo *EOQ* para ordenar $n_i \geq 1$ de la *ECR*, su costo es la suma por ordenar y de almacenamiento. El cliente acepta el descuento d y participa en el esquema de coordinación si la reducción en el costo de compra resulta menor en $S\%$ de ahorros. El ahorro S puede ser personalizado para cada cliente sin agregar esfuerzo en el modelado.

Antes de la coordinación, el cliente i sigue un modelo EOQ, el intervalo de ordenar es t_i^U y los costos de almacenar es g_i^U , y los costos totales T_i^U están dados por:

$$t_i^U = (1/D_i) \times (\sqrt{2K_i D_i / h_i P}) = \sqrt{2K_i / h_i P D_i},$$

$$g_i^U = (K_i / t_i^U) + (1/2) h_i P D_i t_i^U = \sqrt{2K_i h_i P D_i} \text{ y } T_i^U = P D_i + g_i^U.$$

El proveedor incurre en un costo por ordenar y entregar de $A_i + A_{S_i}$ para el cliente i logrando un costo total de g_i^U dado por: $g_i^U = \sum_{i=1}^m (A_i + A_{S_i}) / t_i^U$.

Después de la coordinación, sea C el conjunto de clientes que aceptan el descuento y usan ECR para colocar pedidos; C puede ser conjunto nulo. El intervalo de ordenar para el cliente $i \in C$ es $t_i^C = n_i T_0$; y la suma de los costos por ordenar y de almacenamiento g_i^C ; y los costos totales T_i^C están dados por $g_i^C = (K_i / n_i T_0) + (1/2) h_i P D_i n_i T_0$ y $T_i^C = (1-d) P D_i + g_i^C$.

Debido a que g_i^C es convexa con respecto a n_i , se obtiene el mínimo $g_i^C(n_i)$, seleccionando el óptimo n_i , denotado por n_i^* tal que $g_i^C(n_i^*)$ es más pequeño que $g_i^C(n_i^* - 1)$ y $g_i^C(n_i^* + 1)$, para satisfacer $n_i^*(n_i^* - 1) \leq 2K_i / h_i P D_i T_0^2 \leq n_i^*(n_i^* + 1)$, donde $n_i^* = \left\lfloor (1/2) \left(-1 + \sqrt{1 + (8K_i / h_i P D_i T_0^2)} \right) \right\rfloor$, donde $\lfloor x \rfloor$ es el entero más grande $\leq x$. Para un T_0 dado, el descuento aceptable para el cliente i , ρ_i , puede estar dado por:

$$\rho_i = \frac{K_i}{P D_i} \left(\frac{1}{n_i T_0} - \frac{(1-S)}{t_i^U} \right) + \frac{1}{2} h_i (n_i T_0 - (1-S) t_i^U) \quad (4.72)$$

Donde (4.72) divide el descuento buscado por el cliente dentro de dos componentes para compensar los costos por ordenar y de almacenamiento. El cliente i no aceptará la coordinación si el descuento $d < \rho_i$. Donde C está vacío, dando $\rho_i = 0$. Sea \bar{C} el conjunto de clientes que no aceptaron el descuento, y continúan colocando órdenes normalmente. Mishra (2004a), notó que para T_0 , S , h y P , el descuento observado por el cliente es una función no lineal de K_i / D_i . El problema de minimización del proveedor para determinar T_0 , d y C , está dado por:

$$\text{Min } g_S^C = \frac{A_S}{T_0} + \sum_{i \in C} \left(dPD_i + \frac{A_i}{n_i T_0} \right) + \sum_{j \in \bar{C}} \frac{(A_j + A_{Sj})}{t_j^U} \quad (4.72)$$

Sujeto a: $T_0 \in X$, $d \geq \rho_i$, $i \in C$, y
 $n_i \geq 1$, y entero; $i \in C$.

Para un T_0 dado, se determina d que minimiza g_S^C utilizando la propiedad ofrecida por el proveedor que nunca va ser cero, o estar vinculado por alguno de los m clientes. Como fue observado por Viswanathan y Piplani (2001), la función objetivo antes vista necesita no ser convexa en los valores de T_0 . Para un T_0 dado, Mishra (2004a), encontró que la función objetivo es no convexa para diferentes valores de $d = \rho_i$, $i = 1, 2, \dots, m$. Con base en esto, el autor sugiere llevar a cabo una búsqueda exhaustiva sobre T_0 y ρ_i , $i = 1, 2, \dots, m$ con el siguiente algoritmo:

Para $x \in X$ y $T_0 = x$

Determinar el descuento ρ_i , $i = 1, 2, \dots, m$ desde (4.72)

Para $d = \rho_i$, $i = 1, 2, \dots, m$, determinar la función objetivo g_S^C de (4.73)

Seleccionar el par T_0 y d que minimiza la función objetivo, g_S^C

Entre sus principales resultados, este autor señala que es factible minimizar el costo del proveedor seleccionando el descuento y el ECR; si es necesario, algunos clientes pueden, ser excluidos. En muchas situaciones prácticas, tiene sentido coordinarse solo con algunos clientes; para este autor, eso podría ser benéfico debido a que un proveedor puede segmentar a sus clientes y ofrecer diferentes tipos de estrategias ECR.

4.3.3 Coordinación entre múltiples proveedores y un cliente

Lau y Lau (1994), formularon un modelo de toma decisiones y un procedimiento de solución que define la política de pedido de menor costo, para el caso de una empresa (cliente) que se abastece un producto por medio de dos proveedores (1 y 2), los cuales ofrecen precios, niveles de calidad y ciclos de entrega diferentes, utilizando un sistema de revisión continua para determinar el tamaño de lote óptimo (Q^*), el punto de reorden (R^*) y la proporción óptima que debe ser

ordenada al proveedor 2, (r_2^*). El sistema de inventario acepta retrasos en las entregas; la demanda se especifica como determinista y constante, mientras que el tiempo de ciclo se considera estocástico con distribución de probabilidad conocida.

El modelo de decisión de estos autores se compone de dos partes: la primera, utiliza el modelo clásico ligeramente modificado de Hadley-Whitin de revisión continua (Q, R) para determinar la política óptima de pedido (es decir, Q^* y R^*) cuando es requerido el proveedor 1 (o el proveedor 2). En la segunda parte, se extiende el modelo de costos de Hadley-Whitin, para determinar la política óptima cuando ambos proveedores son requeridos (es decir: Q^* , R^* y r_2^*). Más específicamente, los autores desarrollan una expresión de costo total como una función del tamaño del pedido, del punto de reorden y la fracción de la cantidad ordenada al proveedor 2.

A partir de los análisis de estas tres políticas analizadas (empresa abastecida sólo por proveedor 1, o sólo por el 2; o cuando ambos abastecen a la empresa) identifican la de menor costo. Los resultados de su ejercicio numérico muestran que si alguno o ambos proveedores son requeridos, la proporción óptima de reparto de la orden depende de la combinación particular del costo del producto y de los parámetros de la demanda (por ejemplo, costo por almacenaje por unidad, costo de mantenimiento por unidad por año, desviación estándar del tiempo de ciclo, etc). En general, el procedimiento diseñado por estos autores, fácilmente puede identificar la política óptima de alguna combinación dada de los parámetros.

Kim, *et al.* (2002), consideran una cadena de suministro formada por varios proveedores que abastecen a un fabricante de materia prima y/o componentes para producir diferentes tipos de productos. Los autores formulan y resuelven un modelo matemático para encontrar las cantidades de materias primas y/o partes que debe ordenarse a cada proveedor, considerando los límites de capacidad de los proveedores y del fabricante.

4.3.4 Coordinación entre más de dos eslabones de la cadena de suministro

De manera breve, Johnson y Pyke (1999), reportan que existen algunos modelos de gestión de inventario que pueden identificar los ahorros potenciales, por el sólo hecho de compartir información con los socios comerciales (ver, Lee y Nahmias, 1993). Sin embargo, afirman también que modelos más complejos son necesarios

para coordinar múltiples empresas ubicadas en diferentes sitios. En este sentido, señalan que no hace mucho tiempo la teoría de inventarios multieslabón captó la atención por parte de los investigadores en el área de la gestión de la cadena de suministro. No obstante, reconocen que dichos modelos están limitados para ejercer una mejor gestión de la cadena entera, ya que desafortunadamente confrontan problemas con múltiples empresas; cada uno con su propio sistema para la toma de decisiones y con sus objetivos específicos. Para atender esta situación, trabajos como los desarrollados por Silver, *et al.* (1998), y Graves, *et al.* (1993), ya tratan el tema desde un punto vista más integral. Davis (1993) y Fisher, *et al.* (1994), se orientan a la gestión de inventarios y pronóstico. Otros autores han construido modelos con un enfoque sobre la coordinación de inventarios con más de un eslabón, como son los que se describen a continuación.

Munson y Rosenblatt (2001), sugieren un mecanismo por medio del cual una compañía puede coordinar sus funciones de adquisición y producción. Crean un plan integrado que determina el tamaño de la orden y del lote de producción a través de tres miembros de la cadena. Específicamente, el modelo determina el tamaño del lote para obtener un descuento de su proveedor y ofrecer uno diferente a sus clientes. Busca coordinar los inventarios en una cadena de suministro de tres eslabones (un proveedor, un fabricante, y un detallista), y explorar los beneficios por utilizar una política de descuentos en los precios para reducir los costos totales, en ambos lados de la cadena. Demuestran que los descuentos aplicados en ambos lados de la cadena permiten una reducción más significativa de los costos, que para el caso de concentrarse únicamente en los eslabones inferiores “*río abajo*” (clientes).

Mishra (2004b), extendió el trabajo anterior para buscar compartir ingresos entre los miembros de la cadena. Demuestra cómo tres miembros de la cadena de suministro pueden coordinarse para aumentar los beneficios del canal con decisiones de precio y tamaño del pedido. Desarrolla expresiones matemáticas para los siguientes mecanismos de coordinación: precios, descuento por volúmenes, compartiendo ingresos, y la combinación entre ellos. Consideraron la demanda constante, con el objetivo de minimizar el costo.

Khouja (2003), formuló un modelo de gestión de inventarios para tres eslabones de una cadena de suministro no secuencial (un proveedor, múltiples fabricantes, y múltiples detallistas). Diseñó los modelos correspondientes para evaluar tres mecanismos de coordinación de inventarios, bajo la estrategia justo a tiempo. Determina los costos totales y el tiempo de ciclo de resurtido para cada uno de los

miembros de la cadena. El mecanismo más simple que utiliza es igualando el tiempo de ciclo de todas las empresas en la cadena de suministro. El segundo, se refiere a que el tiempo de ciclo en cada eslabón en la cadena es un entero múltiplo del tiempo de ciclo del eslabón adyacente “*río abajo*”. El tercero, se refiere a que el tiempo de ciclo de cada empresa es un múltiplo de una potencia entera de base dos del tiempo de ciclo básico. Para cada mecanismo de coordinación, el autor determina de manera secuencial, un modelo que calcula el costo total anual del inventario para cada empresa ubicada en cada eslabón, los cuales derivan en el tiempo de ciclo óptimo. Las variables principales que intervienen en la formulación de dichos modelos son: demanda anual, tasa de producción anual, costos por ordenar, y costos por almacenaje.

4.4 Características principales de los modelos de coordinación de inventarios

En el cuadro 4.1 se muestra un resumen de las características más relevantes de los modelos de coordinación de inventarios con demanda determinista. En dicho cuadro se aprecia que la mayoría de los documentos mencionados tratan la demanda como un elemento constante; con algunas excepciones puntuales (Gaytán y Pliego, 2002; y Robinson y Lawrence, 2004). Del mismo modo, en lo que se refiere al número de productos o artículos que se intercambian en las relaciones comerciales entre los eslabones de la cadena de suministro, se observa poca variación; y sólo dos (Dong y Xu, 2002; y Robinson y Lawrence, 2004) atienden el problema desde el punto de vista multiproducto.

Por lo que respecta al horizonte de planeación, la mayor parte de los primeros modelos de coordinación de inventarios (basados en el modelo *EOQ*) se enfocan a atender el control de inventarios sin algún tipo de restricción en el tiempo, es decir, son utilizados de manera infinita en cada período. Por su parte, modelos más recientes consideran la planeación finita como un elemento de análisis con un enfoque dinámico, o sea, plantean un número N de períodos fijos para llevar a cabo el análisis del comportamiento de los inventarios en el tiempo, con énfasis en la toma de decisiones estratégicas.

Cuadro 4.1
Características principales de los modelos de coordinación de inventarios

Autor	Año	Demanda	Producto	Eslabones	Horizonte de planeación	Precio del producto	Estrategia	Control del canal
1 Goyal, S.K.	1976	Determinista Constante	Un producto	Un proveedor Un cliente	Infinito	Constante	DCO	Proveedor
2 Monahan	1984	Determinista Constante	Un producto	Un proveedor Un cliente	Infinito	Constante	DCO	Proveedor
3 Banerjee, A.	1986	Determinista Constante	Un producto	Un proveedor Un cliente	Infinito	Constante	DCO	N. A.
4 Lee y Rosenbantt	1986	Determinista Constante	Un producto	Un proveedor Un cliente	Infinito	Constante	DCO	Proveedor
5 Goyal, S. K.	1988	Determinista Constante	Un producto	Un proveedor Un cliente	Infinito	Constante	DCO	N. A.
6 Goyal y Gupta	1988	Determinista Constante	Un producto	Un proveedor Un cliente	Infinito	Variable	DCO	Proveedor
7 Lau y Lau	1994	Determinista Constante	Un producto	Dos proveedores Un cliente	Infinito	Constante	DCO	N. A.
8 Hill, R M.	1999	Determinista Constante	Un producto	Un fabricante Un cliente	Finito	Constante	DCO	N. A.
9 Dong, <i>et. Al.</i>	2001	Determinista Constante	Un producto	Un proveedor Un cliente	Finito	Constante	ER y CR	Cliente o Proveedor
10 Munson y Rosenblatt	2001	Determinista Constante	Un producto	Un proveedor Un fabricante Un distribuidor	Finito	Variable	Descuento en precio	Fabricante
11 Viswanathan y Piplani	2001	Determinista Constante	Un producto	Un proveedor Varios clientes	Infinito	Variable	ECR	Cliente
12 Dong y Xu	2002	Determinista Constante	Multi-producto	Un proveedor Un cliente	Finito Infinito	Variable	VMI	Cliente
13 Klastorin, <i>et. al.</i>	2002	Determinista Constante	Un producto	Un fabricante Un distribuidor	Infinito	Variable	Justo a tiempo	Proveedor
14 Kim, <i>et. al.</i>	2002	Estocástica Impredecible	Un producto	Un fabricante Un proveedor	Finito	Constante	DCO	Fabricante
15 Chang y Tsai	2002	Determinista Constante	Un producto	Un proveedor Varios clientes	Infinito	Variable	ECR	Cliente
16 Gaytán y Pliego	2002	Determinista Dinámica	Un producto	Un proveedor Varios clientes	Finito	Variable	ECR	Cliente
17 Braglia y Zavanella	2003	Determinista Estocástica Constante	Un producto	Un proveedor Un cliente	Finito	Constante	VMI	Cliente
18 Khouja, Moutaz	2003	Determinista Constante	Un producto	Un proveedor Varios fabricantes Varios distribuidores	Finito	Constante	Justo a tiempo	Cliente
19 Chan y Kingsman	2003	Determinista Dinámica	Un producto	Un proveedor Varios clientes	Finito	Constante	Justo a tiempo	N. A.
20 Chan, Chi Kim	2003	Determinista Constante	Un producto	Un proveedor Varios clientes	Finito	Constante	DCO	N. A.
21 Mishra, Ajay K.	2004a	Determinista Constante	Un producto	Un proveedor Varios clientes	Infinito	Variable	Descuento en precio	Fabricante
22 Mishra, Ajay K.	2004b	Determinista Constante	Un producto	Un fabricante Un distribuidor Un detallista	Finito	Variable	Descuento en precio	Fabricante
23 Robinson y Lawrence	2004	Determinista Dinámica	Multi-producto	Un fabricante Un distribuidor Varios clientes	Finito	Constante	Justo a tiempo	N. A.
24 Piplani y Viswanathan	2004	Determinista Constante	Un producto	Un proveedor Varios clientes	Finito	Variable	ECR	Proveedor

Nota: DCO: Desarrollo Conjunto de Órdenes; RE: Reaprovisionamiento Eficiente; CR: Reaprovisionamiento Continuo; VMI: Inventario Administrado por el Proveedor; ECR: Épocas Comunes de Resurtido; N.A. No aplica.

En este mismo sentido, una parte importante de publicaciones revisadas considera el valor del precio de los productos o mercancías como un parámetro (una constante); para otras, este factor es un mecanismo utilizado para lograr la

coordinación, y como tal es considerado como una variable a determinar, ya sea para el caso de aplicar una política de descuentos por volumen o para inducir a aceptar ciertas condiciones operativas de abastecimiento.

Finalmente, como se indujo en el capítulo 3, los investigadores que tratan este importante tema de la coordinación de inventarios llevan a cabo estudios en diversos contextos de análisis, vertidos en estrategias de coordinación planteadas a partir de algún tipo de visión (proveedor, cliente o ambos). En general, se puede establecer que las estrategias adoptadas para el control y gestión de inventarios, no parecen seguir un patrón específico; en cambio, es factible observar que han surgido líneas de investigación que pueden ser ampliamente extendidas.

Conclusiones y líneas de futuro

El tema del control y gestión de inventarios, durante décadas ha sido uno de los temas de mayor interés para practicantes e investigadores, y sin duda, hoy en día es un tópico de gran trascendencia. Por mucho tiempo, la importancia principal de los inventarios se sustentó bajo la tesis de disponer de los insumos necesarios para mantener en operación las líneas de producción, o para responder con grandes volúmenes de inventario, a los requerimientos de los clientes por parte de las empresas. De acuerdo con el nuevo orden mundial, la gestión de inventarios ha dejado de ser una actividad funcional, para convertirse en un elemento estratégico de competitividad.

En efecto, las condiciones actuales de competitividad han obligado a las empresas a buscar nuevos modelos de gestión que les permitan ser más eficientes en sus diversas áreas de gestión, en particular en sus sistemas de abasto y de administración de inventarios. En tal virtud, y de acuerdo con la documentación revisada para la conformación de este documento de trabajo, se pudo detectar que los sistemas de inventarios subyacen en diversos contextos de coordinación operados con modernas estrategias de gestión.

Lo anterior parece ser un hecho ampliamente reconocido. Gran cantidad de investigadores ha desarrollado una infinidad de modelos matemáticos de gestión de inventarios bajo muy diversos escenarios de análisis. En términos generales, los primeros modelos buscaron mejorar la administración de inventarios con un gran énfasis para establecer la política más apropiada, y la reducción individual de los costos logísticos. Modelos más recientes buscan los mismos objetivos, pero de manera colectiva o conjunta; es decir, buscan que los beneficios entre los socios comerciales se den al mismo nivel y tiempo en el contexto de la cadena de suministro. En esta situación se encuentran los modelos de coordinación de inventarios entre clientes y proveedores, diseñados para determinar el tamaño de lote económico conjunto y la política de pedido/entrega.

Los modelos de coordinación de inventarios están siendo ampliamente estudiados bajo diversos entornos de gestión. Por ejemplo, desde el modelo más simple de un sólo proveedor con un sólo cliente, hasta múltiples proveedores con múltiples clientes. Evidentemente, cada uno de estos tipos de modelos obedece a condiciones específicas del entorno de las empresas, o cadenas de suministro específicas. Establecer que alguno de ellos es el más apropiado para cualquier

caso, se estaría hablando de una falacia, pues debe reconocerse que no existen problemas de inventario iguales. Por supuesto, de ninguna manera significa que dichos modelos no puedan ser adaptados a problemas similares dada su naturaleza genérica.

Algunas de las conclusiones relevantes que se pueden establecer en torno a la revisión bibliográfica reportada en el capítulo 4, se mencionan a continuación:

1. De acuerdo con la hipótesis establecida se pudo comprobar que la mayor parte de los modelos desarrollados están orientados a dar solución a problemas con demanda determinista y constante. Pocos son los estudios que analizan la demanda en un escenario dinámico (variable en el tiempo). Además, la mayoría de los autores modelan el abastecimiento de un sólo producto.
2. Por las características de cada modelo o situación analizada en los distintos escenarios, se puede corroborar que existe una enorme posibilidad de combinar los factores más relevantes de los modelos indagados. Ello significa que aún existe una variabilidad de problemas que pueden ser estudiados; entre ellos el planteamiento formulado en la hipótesis establecida.
3. Llama la atención que la mayor parte de las estrategias identificadas involucran el precio de los productos; de hecho, algunos autores establecen que es un mecanismo necesario para lograr la coordinación. Sin embargo, ello no implica descartar otros mecanismos que también pueden ser ayudas importantes en la conformación de un esquema más completo de coordinación.
4. Sobre las técnicas de solución empleadas, algunos autores diseñan programas especiales de cómputo para hacer simulaciones con los modelos construidos a fin de dar solución a su problemática específica; en particular, para aquellos modelos con un horizonte de planeación infinita; otros, emplean técnicas de optimización. En este contexto, los problemas que modelan se clasifican como *NP-hard*, por lo que proponen algoritmos heurísticos como una alternativa de solución.
5. Todos los documentos revisados demuestran que la coordinación de inventarios es preferible a la gestión individual. Sin embargo, en términos generales se deduce que en el corto plazo los beneficios, siempre son mucho más altos para el cliente que para el proveedor. En largo plazo, los

proveedores logran alcanzar mayores beneficios. Algunos autores plantean que su modelo encuentra una solución con beneficios equilibrados, pero solo bajo ciertas condiciones de estudio, por ejemplo, el número de clientes que se abastece.

6. La estrategia “Épocas Comunes de Resurtido” puede resultar una buena alternativa de adaptación al planteamiento original del problema. La posibilidad de formular un modelo que permita construir un programa de abastecimiento representa una salida práctica.
7. En general, se puede establecer que el objetivo de este trabajo se ha podido cumplir, toda vez que se ha identificado una serie de vacíos que pueden estudiarse en el marco de la coordinación de inventarios. De hecho, algunas de las líneas de futuro que pueden ser abordadas, se mencionan a continuación.

Líneas de Futuro

1. Las diferentes estrategias de coordinación identificadas se pueden asumir como el argumento general de las líneas de futuro. Por ejemplo, continuar con el estudio de problemas en el contexto de las estrategias “Inventario Administrado por el Proveedor” (*VMI*), “Épocas Comunes de Resurtido” (*ECR*); u otra que se adapte a algún problema específico. Esta opción suele ser una buena alternativa de estudio.
2. Desde un punto de vista genérico, algunos planteamientos de investigación identificados durante la revisión de la literatura, son los siguientes: *i)* evaluar el impacto de dos o más proveedores en el abastecimiento de productos (cabe señalar que son pocos los artículos que así lo consideran); *ii)* para los mismos modelos desarrollados, evaluar el efecto para una demanda dinámica, y en su caso, estocástica; *iii)* extender los modelos para el abasto multiproducto; *iv)* otros autores, recomiendan incluir distintos mecanismos de coordinación, entre los que se encuentran diferentes políticas de descuentos en los precios de los productos.

Referencias

1. (Alasoini, *et al*, 2001) Alasoini, Tuomo, Dhondt, Steven, Oehlke, Paul, Roma, Giuseppe, Rua, Aura, De Sá. Ayres (2001). "Challenges of Work Organization Development in the Knowledge-Based Economy". Presented to DG Employment & Social Affairs by the European Work Organization Network EWON Prepared & Edited by Tuomo Alasoini Contributors. September.
2. (Baganha y Cohen, 1998) Baganha, M.P. y Cohen M. (1998). "The Stabilizing Effect of Inventory in Supply Chains, Operations Research; vol. 46, num. 3, pp. S72-S73.
3. (Baldwin y Philippe, 1999) Baldwin, Richard y Philippe, Martín (1999). "Two Waves of Globalization: Superficial Similarities, Fundamentals Differences". Working Paper N° 6904; Cambridge, Massachusetts, Oficina Nacional de Investigaciones Económicas (NBER).
4. (Banerjee, 1986) Banerjee, A. (1986). "A Joint Economic Lot Size Model for Purchaser and Vendor". Decision Sciences; vol. 17, pp 292-311.
5. (Banerjee y Banerjee, 1994) Banerjee, A. y Banerjee, S. (1994). "A Coordinated Order-Up-to Inventory Control Policy for a Single Supplier and Multiple Buyers Using Electronic Data Interchange". International Journal of Production Economics; vol. 35, pp. 85-91.
6. (Barratt y Oliveira, 2001) Barratt, Mark y Oliveira, Alexander (2001). "Supply Chain Collaboration: Exploring the Early Initiatives". Part one. Supply Chain Practice; vol. 3, num. 4.
7. (Browning y White, 2000) Browning, Beau, y White, A. (2000). "Collaborative Transportation Management". Logility Inc. White paper. Disponible en: <http://www.idii.com/wp/ctm.pdf>.
8. (Brun y Portioli, 2000) Brun, Alessandro y Portioli-Staudacher, Alberto (2000). "Negotiation-Driven Supply Chain Co-ordination for Small and Medium Enterprises". Proceedings of the ECAI 2000 Workshop 13 en "Agent Technologies and Their Application Scenarios in Logistics", edited by I. J. Timm, *et. al*.

-
9. (Burgess, *et al*, 2001) Burgess, Incola, George, Tracey y Lawson, Robert (2001). “A Taxonomy of Operational Strategies and their Application in Fast Moving Consumer Goods Sectors”. Strategic Operations Management Centre School of Management, University of East Anglia Norwich, NR4 7TJ United Kingdom). Manufacturing Information Systems Proceedings of The Fourth SMESME International Conference.
 10. (Cardona, *et al*, 2001) Cardona, H. C. David; Cataño P. J. Eduardo; Correa E. Alexander; y Peña Z. G. Elena (2001). “Análisis de un sistema de inventarios en una PYME de confección”. II Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas.
 11. (Cavaliere, *et al*, 2001) Cavaliere, Sergio, Cesarotti, Vittorio, Gras, Simona, y Spandri, Anna (2001) “Coordinated Planning Models for Managing Spare Parts Inventory in after sales Service”. Work Paper. Dipartimento di Ingegneria, Università di Bergamo, Viale G. Marconi, Dalmine (BG), Italy.
 12. (Çetinkaya y Yee, 2000) Çetinkaya, Sila y Yee, Cheng (2000). “Stock Replenishment and Shipment Scheduling for Vendor-Managed Inventory Systems”. Management Science © 2000 INFORMS; vol. 46, num. 2, pp. 217–232, February.
 13. (Chan y Kingsman, 2003) Chan, C. K., y Kingsman, B. G. (2003). Co-ordination in a Single-Vendor Multi-Buyer Supply Chain by Synchronizing Ordering and Production Cycles. Working Paper, Department of Applied Mathematics. The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong.
 14. (Chang y Tsai, 2002) Chang, Wen-Jen y Chich-Hung Tsai (2002). “A Two-Echelon Inventory Model for Single-Vender and Multi-Buyer System Through Common Replenishment Epochs”. International Journal of The Computer, The Internet and Management; vol. 10, num. 3, pp. 48- 61.
 15. (Christopher y Towill, 2000) Christopher, M. y Towill, D., (2000). "An Integrated Model for the Design of Agile Supply Chains". Logistics Research Network Conference, Cardiff, September.
 16. (Christopher, 1992) Christopher, Martin (1992). “Logistics and Supply Chain Management: Strategies for Reducing Costs and Improving Service”. Pitman, London.
 17. (Christopher, 1998) Christopher, Martin (1998). “VMI: Very Mixed Impact?”. Logistics Management Distribution Report; vol. 37, num. 12 pp. 51.

-
18. (Christopher y Towill, 2001) Christopher, Martin y Towill, Denis R (2001). "Developing Market Specific Supply Chain Strategies". Work Paper, CHRISAPP.MC.
19. (Christopher,1998a) Christopher, Martin, (1998a). "Relationships and Alliances: Embracing the Era Network Competition". Estrategia Supply Chain Management; ed. John Gattorna, Gower Press.
20. (Christopher, 1998b) Christopher, Martin, (1998b). "Logistics and Supply Chain Management. Strategics for Reducing Cost and Improving Service". London: Financial Times & Pitman Publishing.
21. (Davis, 1993) Davis, T. (1993). "Effective Supply Chain Management". Sloan Management Review (Summer); pp. 35-46.
22. (Delgado y Marín, 2000) Delgado, Joaquín y Marín, Fernando (2000). "Evolución en los sistemas de gestión empresarial. Del MRP al ERP". Economía Industrial; No. 331/2000/I.
23. (Dong y Xu, 2002) Dong, Yan y Xu, Kefeg (2002). "A Supply Chain Model of Vendor Managed Inventory". Transportation Research Part E; vol. 38, pp. 75-95.
24. (Empresa Digitala, 2005) Empresa Digitala (2005). "CPFR (Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment). www. empresadigitala.net. Ficha 3.15
25. (Esper y Williams, 2003) Esper, Terry y Williams, Lisa R. (2003). "The Value of Collaborative Transportation Management (CTM): Its Relationships to CPFR and Information Technology". Transportation Journal; vol 42; num. 4. pp. 55-65.
26. (Eugeni, 1992) Eugeni, S. Joan (1992). "Comentarios a la división espacial del trabajo y de la producción" Scripta Vetera, Reproducido de Minus. No. 1, p. 9-25; Versión ampliada (Original: 07-1991). Página web: <http://www.ub.es/geocrit/sv-28.htm>.
27. (Feenstra, 1998) Feenstra, Robert C. (1998). "Integration of Trade and Disintegration of Production in the Global Economy". Journal of Economic Perspectives; vol. 12.
28. (Fawcett y Magnan, 2001) Fawcett, Stanley E. y Gregory M. Magnan (2001). "Achieving World-Class Supply Chain Alignment: Benefits, Barriers, and Bridges". Center for Advanced Purchasing Studies (CAPS); Arizona State University Research Park.

-
29. (Feenstra y Gordon, 2001) Feenstra, Robert C. y Gordon H. Hanson (2001). “Global Production Sharing and Rising Inequality: A Survey of Trade and Wages”. Working Paper, N° 8372, Cambridge, Massachusetts, Oficina Nacional de Investigaciones Económicas (NBER). Disponible en: <http://www.nber.org/papers/w8372>.
30. (Fisher, *et al*, 1994) Fisher, M. L., Hammond, J. H., Obermeyer, W. R., y Raman, A. (1994). “Making Supply Meet Demand in an Uncertain World”. *Harvard Business Review*; vol. 72(3) pp. 83-93, May-June.
31. (Gallardo, 1996) Gallardo, Velásquez, Anahi (1996). “Innovación tecnológica y nuevas formas de organización”. Conferencia dictada por Mariella Berra, investigadora de la Universidad de Turín Italia. Editada en *Gestión y Estrategia*. Edición Internet. Disponible en: <http://www.azc.uam.mx/publicaciones/gestion/num9/doc8.htm>.
32. (Ganeshan y Harrison, 1995) Ganeshan, Ram y Harrison, Terry. P. (1995). “An Introduction to Supply Chain Management”. Department of Management Science and Information Systems, Penn State University, USA. Disponible en: http://lcm.csa.iisc.ernet.in/scm/supply_chain_intro.html.
33. (Gaytán y Pliego, 2002) Gaytán, J. y Pliego, B. (2002). “Vendor - Multibuyers Coordination through Common Replenishment Epochs under Dynamic Demand”. *INFORMS*, San Jose, California, USA, pp. 17-20.
34. (Giannoccaro y Pontrandolfo, 2002) Giannoccaro, Ilaria y Pontrandolfo, Pierpaolo (2002). “Inventory Management in Supply Chains: A Reinforcement Learning Approach”. *International Journal Production Economics*; vol. 78 pp. 153-161.
35. (GMA, 2002) GMA (2002). “CPFR Baseline Study —Manufacturer Profile”. KJR Consulting For the Collaborative Planning, Forecasting & Replenishment Task Force Logistics. Committee Grocery Manufacturers of America (GMA).
36. (Golbasi y Wu, 2002) Golbasi, Hakan y Wu, S. David (2002). “Lead-Time Coordination Between Marketing and Operations in an Internal Market” Manufacturing Logistics Institute, Department of Industrial and Systems Engineering, P.C. Rossin College of Engineering, Lehigh University.
37. (Goyal, 1988) Goyal, S. K. (1988). “A Joint Economic-Lot-size Model for Purchaser and Vendor: A Comment”. *Decision Sciences*; vol. 19, pp. 236-241.

-
38. (Goyal y Gupta, 1988) Goyal, S. K. y Gupta, Y. P. (1988). "Integrated Inventory Models: the Buyer-vendor Coordination". *European Journal of Operations Research*, vol. 41, pp. 261-269.
39. (Goyal, 1976) Goyal, S. K. (1976). "An Integrated Inventory Model for a Single Supplier-single Customer Problem". *International Journal of Production Research*; vol. 15(1), pp. 107-111.
40. (Graves, *et al*, 1993) Graves, S, Rinnooy Kan, A. y Zipkin, P. (Eds.). (1993). "Logistics of Production and Inventory". (vol. 4). Amsterdam: Elsevier (North-Holland).
41. (Greco, 1997) Greco, J. (1997) "Outsourcing: The New Partnership". *Journal of Business Strategy*; vol. 18, pp. 48-54.
42. (Guranani, 2001) Guranani, S. K. (2001). "A Study of Quantity Discount Pricing Models with Different Ordering Structures: Order Coordination, Order Consolidation, and Multi-tier Ordering Hierarchy". *International Journal of Production Economics*; vol. 72(3), pp. 203-225.
43. (Håkansson y Persson, 2004) Håkansson, Håkan y Persson, Göran (2004). "Supply Chain Management: The Logic of Supply Chains and Networks". *The International Journal of Logistics Management*. vol 15, num. 1.
44. (Harris y Swatman, 1997) Harris, John K. y Swatman, Paula M. C. (1997). "Efficient Consumer Response (ECR): a Survey of the Australian Grocery Industry". *ACIS'97 — 8th Australasian Conference on Information Systems, Adelaide*; pp. 137-148.
45. (Hausman, 2003) Hausman, Warren H. (2003). "Supplier Managed Availability" *Supply Chain Online*. Disponible en: <http://www.supplychainonline.com>.
46. (Hewitt, 1994) Hewitt, F. (1994). "Supply Chain Redesign". *The International Journal of Logistics Management*; vol. 5(2), p. 9.
47. (Hill, 1997) Hill, R M. (1997). "The Single-vendor Single-buyer Integrated Production-inventory Model with a Generalized Policy". *European Journal of Operational Research*; vol. 97, pp. 493-499.
48. (Hill, 1999) Hill, R M. (1999). "The Optimal Production and Shipment Policy for a Single-vendor Single-buyer Integrated Production-inventory Problem". *International Journal of Production Research*; vol. 37, pp. 2463-2475.

49. (Hopp, 2004) Hopp, Wallace J. (2004). “Supply Chain Science”. En impresión: McGraw-Hill, New York, USA. Disponible en <http://users.iems.nwu.edu/~hopp/book/Supply%20Chain%20Science.pdf>.
50. (Jiménez, 2004) Jiménez, S. Elías (2004). “Los factores críticos de éxito de la cadena de suministro”. Instituto Mexicano del Transporte; Publicación Técnica No. 237.
51. (Johnson y Pyke, 1999) Johnson, M. Eric y Pyke (1999). “Supply Chain Management”. The Tuck School of Business, Dartmouth College, Hanover, NH 03755. 603 (646) 2136.
52. (Jones y Kierzkowski, 1996) Jones, R.W. y H. Kierzkowski (1996) “Globalization and the Consequences of Internacional Fragmentation”. Mimeo.
53. (Khouja, 2003) Khouja, Moutaz (2003). “Optimizing Inventory Decisions in a Multi-stage Multi-customer Supply Chain”. PERGAMON, Transportation Research. Part E, pp. 193-208.
54. (Kim, *et al*, 2002) Kim, B., Leung, J.M.Y, Park, K. T; Zhang, G, Lee, S. (2002). “Configuring a Manufacturing Firm’s Supply Network with Multiple Suppliers”. IIE Transactions; vol. 34 (8), pp. 663-677.
55. (Kjenstad, 1998) Kjenstad, Dan (1998). “Coordinated Supply Chain Sheduling”. Dr. Ing. Thesis/Ph.D. Dissertation. Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Department of Production and Quality Engineering (IPK), Oslo.
56. (Klastorin, *et al*, 2002) Klastorin, T. D, Moinzadeh, Kamran y Son, Joong (2002). “Coordinating Orders in Supply Chains Through Price Discounts”. Working paper. Disponible en <http://faculty.washington.edu/kamran/TimingDiscPaper.pdf>.
57. (Kurt Salmon Associates, 1993) Kurt Salmon Associates (1993). “Efficient Consumer Response: Evaluating Consumer Value in the Grocery Industry”. Food Marketing Institute, Washington, DC.
58. (Lambert, *et al*, 1998) Lambert, D. M., Stock, J. R., & Ellram, L. M. (1998). “Fundamentals of Logistics Management: Abridged Edition”. New York, McGraw-Hill.
59. (Lau y Lau, 1994) Lau, Hon-Shiang y Lau, Amy Hing-Ling (1994). "Coordinating Two Suppliers with of Offsetting Lead Time and Price Performance", Journal of Operations Management; vol. 11, pp. 327-337.

60. (Lee y Billington, 1992) Lee, Hau L. y Billington, Corey (1992). "Managing Supply Chain Inventory: Pitfalls and Opportunities". Sloan Management Review. Spring.
61. (Lee y Nahmias, 1993) Lee, H. L., y Nahmias, S. (1993). "Single-Product, Single-Location Models". In S. Graves, A. Rinnooy Kan, y P. Zipkin (Eds). "Logistics of Production and Inventory". (vol. 4, pp. Chapter 1). Amsterdam: Elsevier (North).
62. (Lee y Rosenblatt, 1986) Lee, H. L., y Rosenblatt, M. J. (1986). "A Generalized Quantity Discount Pricing Model to Increase Supplier's Profits". Management Science; vol. 32, pp. 1177-1185.
63. (Lourenço, 2002) Lourenço, Helena R. (2002) "Supply Chain Management: An Opportunity for Metaheuristics". Grupo de Recerca en Logística Empresarial DEE, Universitat Pompeu Fabra R. Trias Fargas 25-27 08005 Barcelona, Spain.
64. (Lowson, *et al*, 1999) Lowson, Robert, King, Russell, y Hunter, Alan (1999). "Quick Response: Managing the Supply Chain to Meet Consumer Demand". John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 0-471-98833-2; p. 304, September.
65. (Lu, 1995) Lu, L. (1995). "A One Vendor Multi-buyer Integrated Inventory Model". European Journal Operational Research; vol. 81 (2), pp. 312-322.
66. (Lynch, 2001) Lynch, Kevin (2001). "Collaborative Logistics Networks - Breaking Traditional Performance Barriers for Shippers and Carriers". Nistevo Corporation. Disponible en http://www.idii.com/wp/col_logistics.pdf.
67. (Maersman y Voorde, 2001) Maersman, Hilden y Van de Voorde, Edy (2001). "International Logistics: A continuous Search for Competitiveness". Editado por A. M. Brewer, *et al*, en "Handbook of Logistics and Supply Chain Management". Elsevier Science Ltd. p. 61-77.
68. (Merrilees y Seretny, 2000) Merrilees, Bill, y Seretny, Marek (2000). "Strategic Marketing by Change Agents in Poland: The Case of Domestic Marketing Consulting Firms". En Haley, George T. (Ed.) "Marketing Intelligence and Planning". Strategic Marketing in Emerging Markets; vol. 18, Issue 5, pp. 247-255.
69. (Mishra, 2004a) Mishra, Ajay K (2004a). "Selective Discount for Supplier-buyer Coordination Using Common Replenishment Epochs". European Journal of Operational Research; vol. 153, pp. 751-756.

70. (Mishra, 2004b) Mishra, Ajay K. (2004b). “Channel Coordination in a Three-level Supply Chain: Quantity Discounts, Franchise Fees, Volume Discounts, and Revenue Sharing”. School of Management, State University of New York, Binghamton, NY 13902, U.S.A.
71. (Monahan, 1984) Monahan, J. P. (1984). "A Quantity Discount Pricing Model to Increase Vendor's Profits", *Management Science*; vol. 30, pp. 720-726.
72. (Munson y Rosenblatt, 2001) Munson, Charles L. y Rosenblatt, Meir J, (2001). “Coordinating a Three-level Supply Chain with Quantity Discounts”. *IIE Transactions Publisher*, Issue: vol 33, num. 5, pp. 371–384.
73. (Nahmias, 1999) Nahmias, Steven (1999). “Análisis de la producción y las operaciones”. CECSA, México.
74. (Ortega, 2004) Ortega, Reyna Isabel (2004). “México, en desventaja por los altos costos logísticos”. *Nota periodística en el Economista.com.mx*; 23 de Septiembre.
75. (Parker, 1997) Parker, A. (1997). “The Internationalization of Retailing and Retailers: the Case of the Republic of Ireland, Dublín”. *Centre For Retail Studies*.
76. (Pawlowski y Akbulut, 2002) Pawlowski, S. Kelle, P. y Akbulut, A. (2002) “The Influence of Quantitative and Organizational Factors on the Cooperation in Supply Chain”. *ISDS Department, Louisiana State University, Baton Rouge, LA 70803, USA*.
77. (Perona y Sacconi, 2002) Perona, Marco y Sacconi, Nicola (2002). “Integration Techniques and Tools to Manage Customer-supplier Relationships: an Empirical Research in the Italian Industry of Household Appliances”. *University of Brescia, Department of Mechanical Engineering, Via Branze 38, 25123 Brescia, Italy*.
78. (Piplani y Viswanathan, 2004) Piplani, Rajesh y Viswanathan, S. (2004). “Supply Chain Inventory Co-ordination through Multiple, Common Replenishment Epochs and Selective Discount”. *International Journal of Logistics*, Publisher: Taylor & Francis; vol. 7, num. 2, pp 109-118, June.
79. (Porter, 1986) Porter, Michel E. (1986). "Competition in Global Industries". *Harvard Business School Press*.
80. (Robins, 1994) Robins G. (1994). “Sailing into ECR’s Uncharted Waters”. *Sotres, New York*; vol. 76, num. 10. pp. 43-44.

-
81. (Robinson y Lawrence, 2004) Robinson Jr. E. Powell y Lawrence, F. Barry (2004). "Coordinated Capacitated Lot-Size Problem with Dynamic Demand: A Lagrangian Heuristic". *Decision Science*; vol. 35, num. 1, pp. 25-53.
82. (Rodríguez, 1999) Rodríguez, de Rivera José (1999). "La Coordinación, Dimensión esencial del Organizar". Dpto. Ciencias Empresariales, Universidad de Alcalá. Disponible en: http://www2.uah.es/estudios_de_organizacion/temas_organizacion/org_praxis/coordinacion.htm
83. (Silver, 1979) Silver, E. A. (1979). "Coordinated Replenishment of Item Under Time-varying Demand: Dynamic Programming Formulation". *Naval Research Logistics Quarterly*; vol. 26(1), pp. 141-151.
84. (Simichi, *et al*, 2000) Simichi-Levi, David, Kaminski, Philip, y Simichi-Levi, Edith (2000). "Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies and Case Studies". McGraw-Hill International.
85. (Sucky, 2002) Sucky, Eric (2002). "A Single Buyer-Single Supplier Bargaining Problem with Asymmetric Information. Theoretical Approach and Software Implementation". IEEE. Computer, Society. Department of Supply Chain Management, Goethe-University, Mertonstr. 17, 60054 Frankfurt, Germany.
86. (Taylor, 2004) Taylor, David A. (2004). "Supply Chains: A Manager's Guide" Publisher: Addison Wesley Professional, ISBN: 0-201-84463-X 384 pp.
87. (Tersine, 1988) Tersine, R. J. (1988). "Principles of Inventory and Materials Management". New York: North-Holland (3rd ed).
88. (Thomas y Griffin, 1996) Thomas, Douglas J. y Griffin, Paul M. (1996). "Coordinated Supply Chain Management". *European Journal of Operational Research*; vol. 94, pp. 1-15.
89. (Tomé, 2005) Tomé, Raúl (2005). "La gestión eficiente de inventarios". Servicio y Tecnología: Consultoría en Alta Dirección.
90. (Toptal, 2003) Toptal, Ayşgöl (2003). "Generalized Models and Benchmarks for Channel Coordination". Dissertation, Texas A&M University, Doctor of Philosophy.
91. (van Ryzin, 2001) van Ryzin, Garrett J. (2001). "Analyzing Inventory Cost and Service in Supply Chains". Columbia Business School.

-
92. (Vergin, 1998) Vergin, R. C. (1998). “An Examination of Inventory Turnover in the Fortune 500 industrial companies”. *Production and Inventory Management Journal*; vol. 39 (1), pp. 51-56.
93. (Verity, 1996) Verity, J. (1996) “Clearing the Cobwebs from the Stockroom”, *Business Week*, October 21 p. 140.
94. (VICS, 2004) VICS (2004). “CPFR: An Overview of the Model”. Voluntary Interindustry Commerce Standards. Association CPFR is a Registered Trademark of VICS. http://www.vics.org/committees/cpfr/CPFR_Overview_US-A4.pdf.
95. (Viswanathan y Piplani, 2001) Viswanathan, S. y Piplani, Rajesh (2001). "Coordinating Supply Chain Inventories Through Common Replenishment Epochs". *European Journal of Operational Research*; vol. 129, pp. 277-286.
96. (Yan, *et al*, 2001) Yan, Dong, Martin, Dresner and Venkatesh, Shankar (2001). “The Impact of Efficient Replenishment and Continuous Replenishment on Supply Chain Outcomes”. Paper Work. Carlson School of Management, University of Minnesota, Minneapolis.
97. (Wagner y Whitin, 1958) Wagner H. M. y Whitin T. M. (1958).”A Dynamic Version of the Economic Lot-sizing Model”. *Management Science*; vol. 5, pp. 89-96.
98. (Waller, *et al*, 2001) Waller, M., Johnson, M. E. y Davis, T. (1999). “Vendor-Managed Inventory in the Retail Supply Chain”. *Journal of Business Logistics*, Council of Logistics Management; vol. 20(1), pp 183-204. Reprinted with permission of Journal of Business Logistics. Disponible en www.edm1.com/vmi_retail_sc.pdf.
99. (Waters, 2001) Waters, Donald (2001). “Inventory Management”. En Brewer, *et. al*. (Eds). “Handbook of Logistics and Supply Chain Management”. Pergamon, Elsevier Science, Ltd.
100. (White, 1988) White, J. A. (1988). “Material Handling in Integrated Manufacturing Systems”; in *Design and Analysis of Integrated Manufacturing Systems*, W. D. Compton; Ed. National Academy Press: Washington, D.C; pp. 46-59.
101. (Womack, *et al*, 1990) Womack, James P., Daniel T. Jones, y Daniel Roos (1990). “The Machine That Changed the World”. Rawson Associates. ISBN 0-89256-350-8.

102. (Woo, *et al*, 2001) Woo, Y.Y., Hsu, S. L., & Wu, S. (2001). An Integrated Inventory Model for a Single Vendor and Multiple Buyers with Ordering Cost Reduction. *International Journal of Production Economics*; vol. 73, pp. 203-215.
103. (Zanoni y Zavanella, 2003) Zanoni, Simone y Zavanella, Lucio (2003). "A Strategy for Vendor Managed Inventory: Analytical Approach and Performance Evaluation". Università Degli Studi di Brescia - Facoltà di Ingegneria, Dipartimento di Ingegneria, Brescia. Italy.



‡ **Certificación ISO 9001:2000 según documento No 03-007-MX, vigente hasta el 24 de octubre de 2006 (www.imt.mx)**

§ **Laboratorios acreditados por EMA para los ensayos descritos en los documentos MM-054-010/03 y C-045-003/03, vigentes hasta el 9 de abril de 2007 (www.imt.mx)**

CIUDAD DE MÉXICO

Av Patriotismo 683
Col San Juan Mixcoac
03730, México, D F
tel (55) 5598-5610
fax (55) 5598 64 57

SANFANDILA

km 12+000, Carretera
Querétaro-Galindo
76700, Sanfandila, Qro
tel (442) 216-9777
fax (442) 216-9671

www.imt.mx
publicaciones@imt.mx