



Certificado en ISO 9001:2000
Laboratorios acreditados por EMA



SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

“IMT, 20 años generando conocimientos y tecnologías para el desarrollo del transporte en México”

COORDINACIÓN DE INVENTARIOS EN UNA CADENA DE SUMINISTRO DEL SECTOR AUTOMOTRIZ A TRAVÉS DE ÉPOCAS COMUNES DE RESURTIDO, Y EL USO DE DIVERSOS MODOS DE TRANSPORTE

José Elías Jiménez Sánchez

Publicación Técnica No. 293
Sanfandila, Qro. 2006

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

**Coordinación de inventarios en una
cadena de suministro del sector
automotriz a través de épocas
comunes de resurtido, y el uso de
diversos modos de transporte**

Publicación Técnica No. 293
Sanfandila, Qro. 2006

Este trabajo fue realizado por los Doctores José Elías Jiménez Sánchez¹, Juan Gaytán Iniestra² y José Pedro García Sabater³, dentro del marco colaboración interinstitucional con la Universidad Autónoma del Estado de México, y la Universidad Politécnica de Valencia. Se agradecen los valiosos comentarios que hiciera el Dr. Guillermo Torres Vargas, Jefe de la División de Estudios Económicos y Sociales del Transporte de este Instituto Mexicano del Transporte, para la conformación definitiva de este documento. La edición final estuvo a cargo de Gabriela de Jesús Zea.

¹ Investigador titular del IMT, y catedrático de la Universidad Autónoma del Estado de México.

² Catedrático de la Universidad Autónoma del Estado de México.

³ Catedrático de la Universidad Politécnica de Valencia, España.

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

**Coordinación de inventarios en una
cadena de suministro del sector
automotriz a través de épocas
comunes de resurtido, y el uso de
diversos modos de transporte**

Publicación Técnica No. 293
Sanfandila, Qro. 2006

Este trabajo fue realizado por los Doctores José Elías Jiménez Sánchez¹, Juan Gaytán Iniestra² y José Pedro García Sabater³, dentro del marco colaboración interinstitucional con la Universidad Autónoma del Estado de México, y la Universidad Politécnica de Valencia. Se agradecen los valiosos comentarios que hiciera el Dr. Guillermo Torres Vargas, Jefe de la División de Estudios Económicos y Sociales del Transporte de este Instituto Mexicano del Transporte, para la conformación definitiva de este documento. La edición final estuvo a cargo de Gabriela de Jesús Zea.

¹ Investigador titular del IMT, y catedrático de la Universidad Autónoma del Estado de México.

² Catedrático de la Universidad Autónoma del Estado de México.

³ Catedrático de la Universidad Politécnica de Valencia, España.

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

**Coordinación de inventarios en una
cadena de suministro del sector
automotriz a través de épocas
comunes de resurtido, y el uso de
diversos modos de transporte**

Publicación Técnica No. 293
Sanfandila, Qro, 2006

Índice

Índice	i
Resumen	v
Abstract	vii
Resumen ejecutivo	ix
1. Introducción	1
1.1 Planteamiento general del problema	2
1.2 Preguntas de investigación	3
1.3 Objetivo general	4
1.4 Justificación	5
1.5 Alcance	5
1.6 Metodología	6
1.7 Esquema general del trabajo de investigación	8
2. Modelos de referencia para la coordinación de inventarios	11
2.1 Generalidades de los modelos de inventarios	12
2.2 Planteamiento general del problema de la coordinación de inventarios	13
2.3 Modelos de coordinación de inventarios	14
2.4 Modelos de coordinación de inventarios considerando las variables fundamentales del transporte	16
2.5 Modelos de referencia para la coordinación de inventarios	18
2.5.1 Modelo de Viswanathan y Piplani	19
2.5.2 Modelo de Chang y Tsai	22
2.5.3 Modelo de Reyes y Gaytán	25
2.5.4 Sinopsis de los modelos analizados	30
3. Planteamiento del problema y conceptos fundamentales del modelado	37
3.1 Exposición y planteamiento del problema de estudio	38
3.1.1 Visión general del problema	38
3.1.2 La cadena de suministro y la cadena de transporte	39
3.1.3 Los costos y las medidas de desempeño	40
3.2 La coordinación de los inventarios y el uso combinado del transporte en el contexto internacional	41
3.3 <i>Incoterm ExW - Ex Work</i> -en fábrica-	43
3.4 <i>Incoterm DDP (Delivery Duty Paid)</i> –en el local del cliente-	44
3.5 El concepto de eficiencia de la combinación modal	46
3.6 Planteamiento del problema desde el punto de vista multicriterio	48
4. Formulación de los modelos para la coordinación de inventarios utilizando la estrategia ECR	53
4.1 Modelo semántico	54
4.2 Formulación matemática de los modelos	56

4.2.1	Supuestos	56
4.2.2	Notación empleada en la formulación matemática	58
4.2.2.1	Parámetros del modelo	59
4.2.2.2	Variables de decisión	59
4.3	Formulación del problema sin coordinación	60
4.4	Formulación del problema coordinado en el contexto del <i>inconterm</i> ExW	62
4.5	Modelado de la coordinación “épocas comunes de resurtido” (ECR)	63
4.6	Formulación del problema coordinado en el contexto del <i>inconterm</i> DDP	65
4.7	Tipificación de los modelos propuestos	68
4.8	Reflexiones sobre los modelos propuestos	70
5.	Elección del método de solución, y diseño del esquema de modelado	73
5.1	Conceptos fundamentales	74
5.2	Soluciones no dominadas	76
5.3	Clasificación de métodos de solución de problemas multiobjetivo	77
5.3.1	Métodos que articulan “a priori” las preferencias	78
5.3.2	Métodos que articulan “a posteriori” las preferencias	78
5.3.3	Métodos interactivos o métodos de nivel de preferencia	79
5.4	Perfil del algoritmo general de los métodos de solución de MOLP	80
5.5	Selección del método de solución multiobjetivo	81
5.5.1	Criterios de selección	82
5.5.2	Elección del método	83
5.5.2.1	Método de los pesos (Zadeh, 1963)	85
5.5.2.2	Método de dirección de referencia MOILP (Vassilev y Narula, 1993)	86
5.6	Metodología para la solución de los modelos propuestos	89
5.7	Algunos comentarios sobre el método de solución	91
6.	Aplicación de los modelos propuestos a una empresa del sector de autopartes	93
6.1	Marco empírico	94
6.1.1	La empresa proveedora	94
6.1.1.1	Los productos	95
6.1.1.2	Autopartes para la suspensión: rótulas y estabilizadores	95
6.1.1.3	Autopartes para la suspensión: mazas	96
6.1.2	Servicios logísticos proporcionados por el “Operador Logístico, S. A.” (OLSA)	96
6.1.2.1	Características de los flujos de abasto	97
6.1.2.2	El proceso de adquisición del cliente (proveedor de primer nivel)	97

6.1.2.3	Flujos de abasto en el mercado internacional y doméstico	98
6.1.2.4	Términos del comercio internacional (<i>incoterms</i>)	99
6.1.3	Empresa cliente, bajo estudio	99
6.1.3.1	Productos seleccionados y demanda anual	100
6.1.3.2	Costos por ordenar y de almacenamiento	100
6.1.3.3	Costos y modos de transporte utilizados	102
6.1.3.4	Distancia y tiempo de entrega	103
6.1.3.5	Costo de inventario en tránsito	104
6.1.4	Parámetros de los modelos	105
6.2	Diseño de la experimentación	109
6.2.1	Descripción de los escenarios de evaluación	111
6.2.2	Medidas de desempeño para evaluar los beneficios de la estrategia ECR	113
6.3	Análisis operativo de los modelos y comparación de las fronteras Pareto	115
6.3.1	Análisis operativo del modelo y frontera Pareto. Escenario 0	115
6.3.2	Análisis operativo del modelo y frontera Pareto. Escenario 1	118
6.3.3	Análisis operativo del modelo y frontera Pareto. Escenario 2	121
6.3.4	Análisis operativo del modelo y frontera Pareto. Escenario 3	123
6.3.5	Análisis operativo del modelo y frontera Pareto. Escenario 4	125
6.3.6	Análisis operativo del modelo y frontera Pareto. Escenario 5	126
6.3.7	Análisis operativo del modelo y frontera Pareto. Escenario 6	128
6.4	Análisis de las soluciones no dominadas en torno a los beneficios logrados con la estrategia ECR	130
6.4.1	Alternativas no dominadas. Escenario 1	131
6.4.2	Alternativas no dominadas. Escenario 2	140
6.4.3	Alternativas no dominadas. Escenario 3	148
6.4.4	Alternativas no dominadas. Escenario 4	156
6.4.5	Alternativas no dominadas. Escenario 5	165
6.4.6	Alternativas no dominadas. Escenario 6	171
6.5	Uso combinado y costos del transporte por tipo de <i>incoterm</i>	176
6.6	Soluciones no dominadas creadas con el método interactivo de Vassilev y Narula	180
6.6.1	Operativa del método interactivo para encontrar soluciones no dominadas	180
6.6.2	Soluciones no dominadas reveladas con el método interactivo en el contexto del <i>incoterm</i> ExW	181
6.6.3	Soluciones no dominadas reveladas con el método interactivo en el contexto del <i>incoterm</i> DDP	182
6.7	Algunas reflexiones finales del uso de los modelos	183
7.	Conclusiones	187
7.1	Conclusiones sobre el problema de la coordinación de los inventarios	187
7.2	Conclusiones acerca de las preguntas de investigación o hipótesis	189

7.2.1	Pregunta de investigación 1	189
7.2.2	Pregunta de investigación 2	191
7.2.3	Pregunta de investigación 3	192
7.2.4	Pregunta de investigación 4	192
7.3	Implicaciones para la teoría	193
7.4	Implicaciones para las políticas y prácticas	194
7.5	Limitaciones	194
7.6	Líneas de investigación	195

Referencias

Resumen

En los últimos años ha crecido el interés en la administración eficiente de la cadena de suministro, y la coordinación de los diversos actores ha sido reconocida como una de las actividades principales. En particular, y con el propósito de optimizar los recursos, la coordinación cliente-proveedor puede lograrse aplicando diversas estrategias enfocadas a combinar las funciones logísticas más relevantes. En la literatura, se reconoce que la coordinación de la gestión de inventarios y el transporte es de vital importancia para reducir los costos logísticos, y mejorar el nivel de servicio. En esa dirección, este trabajo formula tres modelos de optimización bicriterio (costo y nivel de servicio de transporte) que considera simultáneamente la selección del modo de transporte, y define la política de inventario cuando la demanda es determinista y variable en el tiempo. Los modelos están basados en la estrategia de coordinación Épocas Comunes de Resurtido y consideran un sólo proveedor que abastece diferentes productos, por medio de tres modos de transporte (rápido, medio y lento) a un único cliente, en el contexto del comercio internacional, utilizando los incoterms ExW (ExWork) y DDP (Duty Delivery Paid). Para ilustrar la aplicabilidad del modelo, se considera un caso de estudio específico del sector mexicano del automóvil. En general, los modelos permiten observar la influencia del transporte en la toma de decisiones sobre el control y coordinación de los inventarios.

Abstract

In recent years, the interest in the efficient administration of the supply chain management has grown, and the coordination of the diverse actors has been recognized as one of the main activities. In particular, and for the purpose of optimizing the resources, the coordination supplier-client can be carried out applying diverse strategies focused to combine the most prominent logistic functions. Moreover, the literature recognizes that the coordination of the inventory and transport management is of vital importance to reduce the logistic costs and to improve the levels of service. In this sense, this work develops three bi-criteria optimization models (transport cost and level of service). The models consider simultaneously the selection of transportation mode and define the inventory policy, when the demand is deterministic and vary over time. Moreover, the models are based on the Common Replenishment Epochs strategy and consider a single supplier, who supplies different products using three different modes of transport (fast, average speed and slow) to a single client, in the international trade context, using the incoterms ExWork (ExW) and Duty Delivery Paid (DDP). To illustrate the applicability of the model, a specific case study is considered in the Mexican automotive sector. In general, the models permit to observe the influence of the transportation in decision taking process of the control and coordination of the inventories.

Resumen ejecutivo

En la actualidad, dada la dispersión geográfica de las empresas, es una costumbre que permitan a sus proveedores que los productos que fabrican le sean enviados haciendo uso de distintos modos de transporte para apoyar los diversos tiempos de respuesta que proporciona cada modo. Esta práctica la aplican diferentes empresas en México, aunque sin un análisis técnico y sólo basada en la urgencia del envío. Dicha situación ha llevado a plantear una serie de inconvenientes que merecen mayor atención.

Al respecto, en este documento se busca atender los inconvenientes que genera la falta de planeación a través de determinar políticas de inventarios coordinadas, que consideren explícitamente la selección del modo de transporte y su influencia para el caso del sector industrial mexicano, en particular del automotriz, que vende sus productos principalmente en Norteamérica y Europa, e incurre en tiempos de viaje significativos que necesitan contar con mecanismos eficientes que permitan sincronizar políticas conjuntas de inventarios y transporte, en virtud de que los costos por almacenamiento de mercancías suelen ser significativos.

Para atender esa problemática, en esta investigación se desarrollaron tres modelos matemáticos de optimización multicriterio: uno que simula la operación no coordinada del sistema de suministro e inventarios de un cliente y un proveedor (modelo *As Is*), y dos para el caso cuando se utiliza la estrategia de coordinación *épocas comunes de resurtido* (ECR) (modelos *To Be*), uno en el contexto de la negociación *Ex Work*; y otro en el ambiente *Duty Delivery Paid*.

Dichos modelos buscan minimizar el costo de la gestión coordinada de los inventarios, y maximizar el nivel de servicio del transporte aplicando la estrategia ECR, considerando una demanda determinista y variable en el tiempo. El planteamiento de los modelos coordinados parten de la idea de que en la estrategia ECR, el proveedor tiene pleno conocimiento de las operaciones de su cliente; por tanto, le permite planear su producción, períodos de entrega, y tamaño del lote que le produce un ahorro.

En ese sentido, se asume que existe un alto grado de cooperación y colaboración entre las partes. Sin embargo, la coordinación se logra sólo a través del descuento que el proveedor ofrece al cliente, quién evalúa sus beneficios a partir de verificar que el ahorro propiciado por dicho descuento sea superior al costo que le puede provocar el sobre/inventario por aceptar la estrategia ECR; ambos modelos coordinados, bajo la base de los *Incoterms ExW* y *DDP*, permiten descuentos sobre el precio de los productos; en particular, el modelo con base en el *Incoterm DDP*, también considera descuentos en la tarifa de transporte.

En términos generales este proyecto se conformó a partir de Jiménez (2005 y 2006a); en donde se expone el estado del arte de aquellos artículos que tratan el tema de la coordinación de inventarios, analizados en dos vertientes: a) modelos

de coordinación que consideran al transporte de manera implícita; y b) modelos de coordinación que consideran las variables fundamentales de transporte de manera explícita, lo que facilitó llevar a cabo un análisis sobre la exposición y planteamiento del problema, identificando los conceptos fundamentales a tener en cuenta en el planeamiento del modelado (capítulo 3), donde se desarrolla el concepto de eficiencia de la combinación modal (o nivel de servicio) que se utiliza en este trabajo; después, se lleva a cabo la formulación matemática de los modelos para la coordinación de inventarios aplicando la estrategia ECR (capítulo 4), definidos a partir de los modelos de referencia revisados en el capítulo 2.

Una vez formulados los modelos, se lleva a cabo un análisis de las técnicas de solución multicriterio (capítulo 5), del cual se deriva la elección del método, y sobre todo, el diseño metodológico de modelado que se aplica a una empresa mexicana del sector de las autopartes (capítulo 6). Los resultados, como se esperaba, ofrecen la oportunidad de realizar análisis profundos para la toma de decisiones a partir de la definición de las fronteras eficientes, e identificación de las soluciones no dominadas.

En definitiva, los modelos formulados buscan minimizar el costo de la gestión coordinada de los inventarios, y maximizar el nivel de servicio de transporte. Específicamente, determinan los siguientes tipos de costos para el proveedor: a) por procesar (*set up*) y atender las ordenes colocadas por el cliente; b) descuento por excedentes de inventario; y c) descuento en la tarifa de transporte. Para el cliente se evalúan los costos por: a) colocar las ordenes; b) almacenamiento de productos; c) inventario en tránsito; y d) costo de transporte. Al mismo tiempo, los modelos determinan: el tamaño óptimo conjunto de la orden; el período de abasto; el nivel de inventario por período; el tamaño óptimo de la orden por modo de transporte; el nivel de servicio de transporte; y además, ayudan a definir el tipo de negociación o *incoterm* más conveniente en el comercio internacional.

La aplicación de estos modelos y los resultados obtenidos permite observar implicaciones en la teoría, las prácticas y políticas de gestión. De manera especial, se corrobora la Tesis que motivó este proyecto de investigación, la cual establece que el transporte puede considerarse como elemento estratégico en la toma de decisiones en las empresas, y no sólo como una actividad funcional.

1 Introducción

El estudio de la gestión de inventarios es un campo del conocimiento que ha sido examinado de manera científica desde hace varias décadas. A partir de que Harris (1915) propuso el modelo de lote económico, muchos investigadores se han dado a la tarea por resolver múltiples problemas de inventarios. Inicialmente, el enfoque se orientó hacia la definición del tamaño del lote y el período de abastecimiento para lograr el costo mínimo. Sin embargo, con la ayuda de modelos más avanzados y estrategias innovadoras de gestión, investigadores y practicantes resuelven casos cada vez más complejos con un enfoque integral (Silver, *et al*, 1998).

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 una mayor visibilidad de la cadena de suministro, apoyando a la toma de decisiones coordinadas sobre el abastecimiento y control de los inventarios.

En los últimos años ha crecido el interés en la administración eficiente de la cadena de suministro; y la coordinación de los diversos actores se ha reconocido como una de las actividades principales. La coordinación se ha estudiado desde muy distintos puntos de vista. Según Thomas y Griffin (1996), la coordinación en la cadena de suministro puede llevarse a cabo a los niveles de decisión estratégico y táctico.

En el ámbito estratégico se 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. A nivel operacional se citan la coordinación proveedor – cliente; la coordinación producción – distribución; la coordinación inventarios - distribución (multieslabones, multietapas, diferentes topologías, problemas de ruteo e inventario).

En particular, la coordinación proveedor - cliente puede realizarse: 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 *épocas comunes de resurtido*; h) basada 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.

1.1 Planteamiento general del problema

Entre los aspectos que apoya la coordinación proveedor - cliente en la cadena de suministro se encuentran 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.

En la actualidad, dada la dispersión geográfica de las empresas, es una práctica común que permitan a sus proveedores que los productos que fabrican les sean enviados haciendo uso de distintos modos de transporte para apoyar los diversos tiempos de respuesta que proporciona cada modo. Por ejemplo, HP ensambla cajas MODO en su planta de Singapore, pero permite a sus centros de distribución localizados en Grenoble, Guadalajara, Roseville y Singapore elegir entre envíos por barco o avión (Beyer y Ward, 2000). Otros ejemplos de este tipo son frecuentes en las empresas maquiladoras instaladas en México, donde por razones de costos y tiempos de entrega, es adecuado el uso de diferentes modos de transporte para el abasto de sus proveedores localizados en EUA. La misma práctica la están aplicando diferentes compañías en México, aunque sin un análisis técnico y solo basada en la urgencia del envío. Esta situación ha llevado a plantear una serie de inconvenientes que merecen mayor atención.

La determinación de políticas de inventarios coordinadas que consideren explícitamente la selección del modo de transporte y su influencia, ha sido poco estudiada en la literatura. Para el caso del sector industrial mexicano, en particular el automotriz, que vende sus productos principalmente en Norteamérica y Europa, incurre en tiempos de viaje significativos que necesitan contar con mecanismos eficientes que permitan sincronizar políticas conjuntas de inventarios y transporte, en virtud de que los costos por almacenamiento de mercancías pueden representar cantidades importantes.

Simatupang y Sridharan (2002), reconocen que la sincronización de decisiones contribuye a una mejora en el desempeño global de la cadena, a la vez que demanda que los participantes compartan información, autoricen la participación de otros miembros en su toma de decisiones y alineen sus incentivos con las medidas de desempeño comunes, ya que es frecuente la presencia de conflictos entre las medidas individuales de los participantes. Una propuesta general de solución a dicha problemática, ha sido la adopción de la estrategia *épocas comunes de resurtido* (ECR) para la coordinación de inventarios, propuesta por Viswanathan y Piplani (2001).

Dentro de las decisiones sincronizadas que permiten dicha estrategia, está la integración de procesos en la cadena, que implica métricas de evaluación conjunta entre el abasto, el transporte y el servicio al cliente. En este sentido, surge la idea de considerar la posibilidad de combinar este tipo de estrategia con el uso de

diferentes modos de transporte para planificar el abasto y el control de los inventarios.

Adicionalmente, la exportación/importación de productos requiere que el proveedor y comprador acuerden el *incoterm* más conveniente; esta decisión influye en las políticas de inventarios, ya que los costos y tiempos de traslado se ven influenciados por quienes realicen el transporte y la importación/exportación. Un *incoterm* (***international commerce terms***) es un conjunto de acuerdos internacionales auspiciados por la *International Chamber of Commerce* (ICC) donde se dividen las responsabilidades y los costos, el cliente y el proveedor; además, reflejan el estado del arte de las prácticas del transporte internacional.

1.2 Preguntas de investigación

Hasta donde se sabe, el problema de coordinación del abastecimiento basado en *épocas comunes de resurtido* no ha sido estudiado para el caso de demanda dinámica, excepto por Gaytán y Pliego (2002), y Reyes y Gaytán (2003). El tema que se estudia tiene un parecido al problema *Joint Replenishment Problem* (JRP), donde los clientes realizan pedidos al proveedor en fechas específicas; sin embargo, no consideran los beneficios que proporciona al proveedor el saber cuándo serán realizados los pedidos de los clientes.

En cuanto a la coordinación basada en el uso de diversos modos de transporte, recientemente se han publicado trabajos en los que se diseñan políticas de inventarios considerando diversos modos de transporte y diversas estrategias de actualización de la demanda. Sethi y Sorger (1991); Gurnani y Tang (1999); y Gallego y Özer (2001), actualizan los pronósticos y analizan diferentes políticas óptimas. Los modelos de inventarios de Moinzadeh y Nahmias (1988); y Whittimore y Saunders (1977), tienen en cuenta costos por ordenar fijos y variables con dos modos de abasto (instantáneo y de un período).

Entre los autores que estudian modelos que consideran más de tres modos de transporte se encuentran Fakuda (1964); Zhang (1996); y Sethi, *et al.* (2005). Fakuda, parte de la suposición de que las ordenes ocurren un período sí y otro no. Bajo dicho supuesto, transforma el problema a uno de dos modos. Por su parte, Zhang (1996), retoma el trabajo de Fakuda y considera tres modos de entrega para determinar los niveles de inventario a través de un algoritmo heurístico. Sethi, *et al.* (2005), asume tres modos de transporte (rápido, mediano y lento) con una actualización de los pronósticos, demostrando la existencia de políticas óptimas para cada modo.

Las ideas anteriores presentan tres dificultades principales: a) no han sido probadas en situaciones que ocurren en la práctica; b) no integran la coordinación del abasto más allá del uso de modos de transporte sin tener en cuenta las ordenes en conjunto; y c) dejan fuera la práctica común usada en la industria donde se prevé el abasto para un horizonte de planeación finito predefinido. Por

tanto, es conveniente estudiar esas problemáticas, sobre todo con una óptica de las empresas localizadas en México.

Con especial énfasis en el estudio de la coordinación de los inventarios entre un cliente y un proveedor, considerando el suministro de productos a través de diversos modos de transporte en el contexto de los términos del comercio internacional ExW (*ExWork*) y DDP (*Duty Delivery Paid*), utilizando la estrategia de gestión *épocas comunes de resurtido* (ECR); y teniendo en cuenta una demanda dinámica con políticas de descuento en el precio de los productos y en las tarifas de transporte, en este trabajo se propone analizar los siguientes aspectos:

- ¿Bajo qué condiciones del costo total de la gestión de inventarios y nivel de servicio de transporte, deben los clientes y proveedores tomar la decisión de aceptar la estrategia de coordinación ECR?
- ¿Qué tan efectiva puede resultar la práctica de la coordinación de inventarios utilizando la estrategia ECR en una cadena de suministro, para ayudar al proveedor a negociar sobre la base de los términos del comercio internacional ExW y DDP?
- ¿Es posible reducir los costos en el sistema cliente-proveedor al permitir el abasto de productos haciendo uso de diversos modos de transporte, bajo la estrategia ECR?
- Al hacer uso de diversos modos y de la estrategia ECR, ¿es posible lograr beneficios en costo en el sistema cliente-proveedor considerando descuentos en el precio de los productos, y en las tarifas de transporte que considere los volúmenes transportados?

1.3 Objetivo general

Con la finalidad de responder a los cuestionamientos citados, la presente investigación tiene como objetivo general construir los modelos de optimización que describan el fenómeno de la coordinación del abastecimiento aplicando la estrategia ECR para la gestión de inventarios, considerando tres modos de transporte, y con mecanismos de descuentos en los productos y en las tarifas debido al volumen transportado, en el escenario del comercio internacional y bajo los términos de negociación (*incoterms*) ExW y DDP.

El objetivo general se refuerza a partir de que en un estudio previo (Jiménez y Hernández, 2002), se ha podido constatar que la mayor parte de la literatura que examina el tema de la gestión de la cadena de suministro no incluyen al transporte como una variable de decisión, sino que éste es considerado como una entidad implícita en el proceso de abasto. En general, el transporte es juzgado por muchos como un elemento de soporte, y como una actividad funcional. Sin embargo, en la práctica es uno de los factores que más llama la atención por dos cuestiones principales: a) representa un costo relevante en el gasto de las

empresas; y b) su bajo nivel de servicio, producto de su mala planeación, muchas veces afecta al nivel de servicio al cliente y al sistema de inventarios/producción. Por estos motivos, independientemente de que el transporte de productos entre proveedores y clientes tenga un carácter exógeno a sus sistemas de gestión, puede plantearse que es un factor con una fuerte influencia en la toma de decisiones estratégicas en la cadena de suministro. Para ser más precisos, la Tesis que fundamenta este trabajo de investigación considera que el transporte puede ser valorado como una actividad estratégica que afecta el desempeño de la cadena de suministro, y en especial al sistema de inventarios de las empresas.

1.4 Justificación

El estudio de nuevas prácticas para la administración de la cadena de suministro es una actividad muy intensa por parte de académicos y practicantes. Ante los nuevos retos que significa integrar los diversos actores para lograr mejor servicio al cliente y mayor competitividad, se han propuesto diversas estrategias para realizar algún tipo de coordinación entre ellos. Una manera de realizar la coordinación en la cadena de suministro, es apoyar las políticas de inventarios. En México la mayoría de las empresas creen que adquiriendo algún tipo de programa de cómputo tipo ERP (*Enterprise Resources Planning*), puede ser la respuesta a la problemática de inventarios (y otras de tipo administrativo). Sin embargo, en el contexto de los inventarios, tales sistemas no permiten resolver situaciones particulares; y por ser cerrados, no es posible mejorar los algoritmos que apoyen la toma de decisiones, además de ser muy caros.

La experiencia indica que hacer uso de sistemas de cómputo como el mencionado, pueden producir soluciones apenas razonables aunque muchas de ellas pueden ser mejoradas. Por otra parte, se ha demostrado que la estrategia de coordinación ECR es competitiva en costos para los miembros de la cadena. Al extender esos resultados a la coordinación basada en múltiples modos de transporte, se espera proporcionar soluciones a la problemática que enfrentan muchas empresas mexicanas que importan/exportan sus productos desde el extranjero, en especial de Europa y de Norteamérica.

1.5 Alcance

En términos generales, el alcance del presente trabajo de investigación se enfoca al proceso integrado del suministro y a la gestión de inventarios. El ámbito y aplicación de los modelos desarrollados se encuentran sobre la base de una empresa mexicana del sector de las autopartes, cuyas condiciones han permitido generar la idea principal de estudio. Para lograr el objetivo general, el modelado de la coordinación de los inventarios se ha limitado a representar la cadena de abastecimiento en su estructura básica, conformada por un proveedor que abastece diferentes productos a un cliente, utilizando diversos modos o cadenas de transporte en un horizonte de planeación finito. Los modelos diseñados para representar este esquema de gestión se desarrollan en el ámbito determinista,

bajo un enfoque multicriterio/multiobjetivo, en el contexto del comercio internacional. A partir de este ámbito de estudio, la estructura de los modelos se concreta a simular el abasto coordinado de productos en los términos del comercio internacional ExW y DDP, seleccionados a partir de que ambos *incoterms* representan el caso extremo de las diversas negociaciones comerciales en términos del lugar de entrega de las mercancías y responsabilidades de transporte por los agentes logísticos. Se prevé que pueden instrumentarse variaciones en el modelado para conocer el comportamiento del fenómeno bajo estudio, para el caso de los *incoterms* “intermedios”.

1.6 Metodología

De acuerdo con la técnica de la instrucción heurística que sustenta el modelo para la investigación científica de la gestión, que permite la toma de decisiones, predicción, explicación, y (o) comprensión de los fenómenos de la gestión de procesos (González, 2002), se ha desarrollado un marco metodológico de estudio, arropado por la estructura de investigación, que propone Pérez (1994), la cual se compone por los elementos de entrada; identificados como los valores de la gestión de procesos y la realidad dada por el entorno, que permiten el establecimiento de los paradigmas (estado del arte) para la elaboración de los métodos (propuesta), y su posterior aplicación práctica (aplicación). En este contexto, para dar respuesta a las preguntas de investigación, el desarrollo metodológico comienza con el reconocimiento del fenómeno en su esencia y sus causas, expuesto a través del planteamiento del problema y de la Tesis de estudio, reforzado por la revisión bibliográfica que da lugar al marco teórico y al estado del arte del tema de investigación.

A partir de los planteamientos identificados en el marco teórico conceptual y del estado del arte (Jiménez, 2005; 2006a; y capítulo 2 de este documento), se determinan las bases científico-metodológicas para desarrollar los modelos que buscan dar solución al planteamiento del problema, aprovechando la estructura de ciertos modelos de referencia (capítulo 3), y los fundamentos teóricos reportados en Jiménez (2006b), pensado en el contexto del sector automotriz (Jiménez, 2006c).

En virtud del desarrollo de los modelos, su validación práctica es necesaria, por lo que se propone identificar aquellas técnicas de solución (capítulo 5), que permitan la aplicación de los modelos y obtención de los resultados (capítulo 6), a partir de los cuales la deducción de las conclusiones permitirá examinar el desempeño de los modelos mismos; analizar con mayor profundidad la problemática; corroborar las preguntas de investigación; revisar las implicaciones para la teoría, las prácticas y las políticas de gestión; así como identificar las limitaciones y líneas futuras de investigación (capítulo 7). La figura 1.1, muestra el desarrollo metodológico antes descrito.

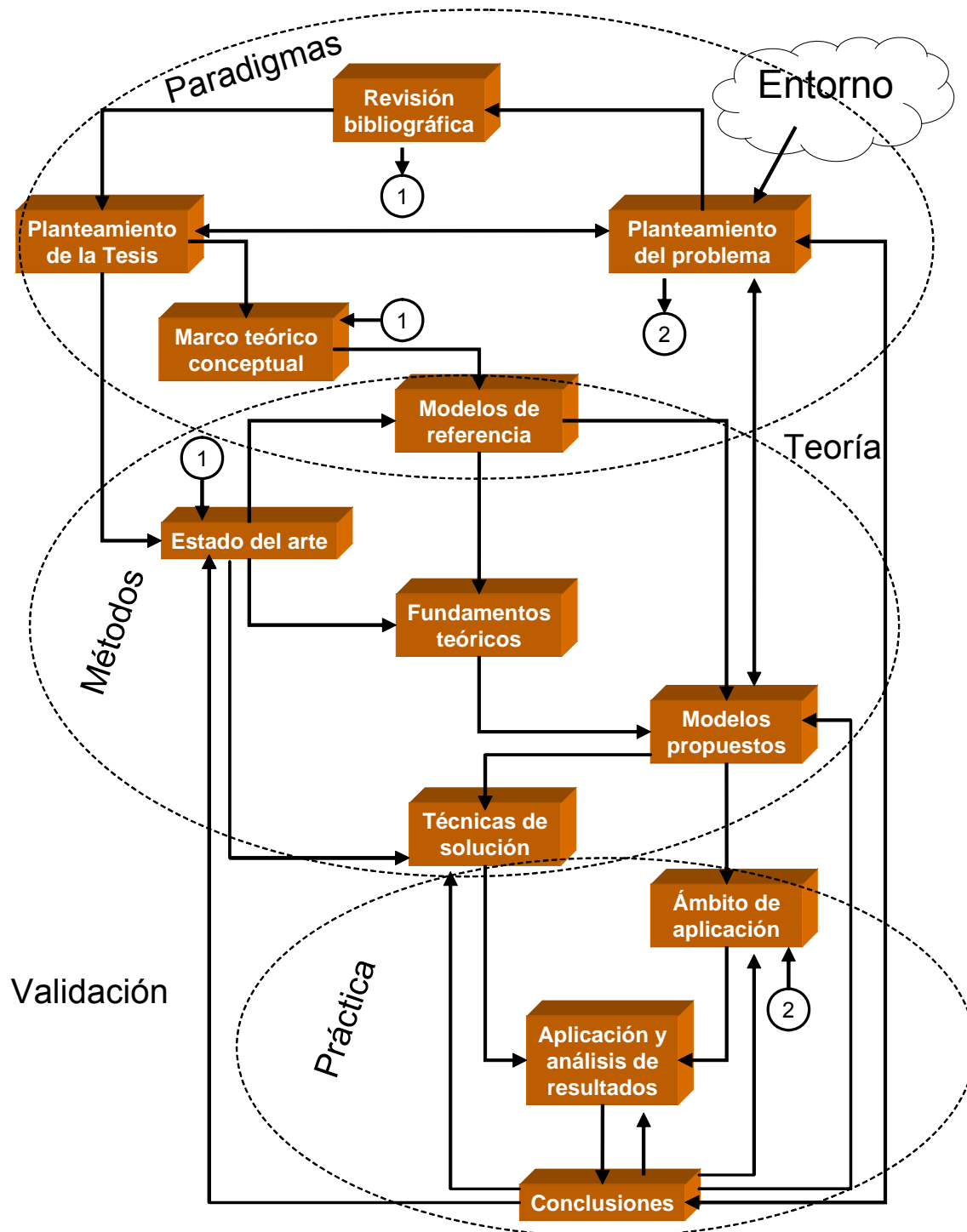


Figura 1.1
Marco metodológico para el desarrollo de la propuesta de investigación

1.7 Esquema general del trabajo de investigación

En términos generales, la estructura de este trabajo se encuentra organizada por los siguientes capítulos que lo constituyen:

El capítulo 1. **Introducción**, contiene los aspectos que puntualizan el campo del conocimiento del tema de estudio, e incluye el planteamiento general del problema de investigación; el objetivo principal; la justificación; el alcance; así como la presentación de la metodología empleada; en este apartado, se hace una breve descripción del contenido de cada uno de los capítulos.

Por lo que respecta al capítulo 2, **Modelos de referencia para la coordinación de inventarios**, éste se conformó a partir de Jiménez (2005) y (2006a); en particular, se encuentra orientado a establecer el planteamiento general del problema de la coordinación desde la perspectiva del cliente y del proveedor (política individual), así como del sistema (política conjunta); expone el estado del arte de aquellos artículos que tratan el tema de la coordinación de inventarios, clasificados de acuerdo con la estructura básica modelada de la cadena de suministro, analizados en dos vertientes: a) modelos de coordinación que consideran al transporte de manera implícita; y b) modelos de coordinación que consideran las variables fundamentales de transporte de manera explícita; en este sentido, se detallan tres modelos específicos los cuales sirvieron de referencia para conformar los modelos propuestos en esta investigación; al final, se exponen las conclusiones en torno al tratamiento que ha recibido el transporte por parte de los investigadores a nivel internacional, en la gestión de los inventarios.

El capítulo 3, **Planteamiento del problema y conceptos fundamentales del modelado**, presenta una visión general del problema objeto de estudio, y se lleva a cabo un análisis sobre la exposición y planteamiento del problema en el contexto del comercio internacional, del cual se detallan los *incoterms* ExW y DDP como marco general del modelado; después se desarrolla el concepto de eficiencia de la combinación modal (o nivel de servicio) que se utiliza en este trabajo; y al final se presenta un análisis del planteamiento del problema desde la óptica multicriterio, considerando los costos totales de la administración de inventarios y el nivel de servicio de transporte.

El capítulo 4, **Formulación de los modelos para la coordinación de inventarios utilizando la estrategia ECR**, incluye el desarrollo de los modelos matemáticos para la coordinación de los inventarios para el caso de una negociación con los *incoterms* ExW y DDP, definidos a partir de los modelos de referencia revisados en el capítulo anterior; al final, se presentan algunos comentarios concluyentes sobre la estructura y formulación de los mismos.

Por lo que respecta al capítulo 5, **Elección del método de solución de problemas multiobjetivo, y diseño del esquema de modelado**, contiene una serie de conceptos que ayudan a comprender los términos empleados en la

optimización multiobjetivo. Después, se expone la clasificación de los métodos más difundidos que dan solución a este tipo de problemas. Más tarde, se procede a hacer una descripción del procedimiento de selección de los métodos empleados para resolver el problema en estudio. Seguidamente, se presenta el diseño metodológico para llevar a cabo el proceso de modelado y generar las alternativas de solución analizadas en el capítulo siguiente. Al final, se agregan algunos comentarios sobre el método de solución diseñado.

Con relación al capítulo 6, **Aplicación de los modelos propuestos a una empresa del sector de las autopartes**, en primer lugar se establece el marco empírico que describe de manera general las características de la empresa de referencia, y de la cual se obtuvieron los parámetros requeridos por los modelos. Inmediatamente después, presenta una descripción del proceso de experimentación, diseñado para hacer la evaluación de las alternativas de solución encontradas con los modelos, para cada uno de los diferentes tipos de negociación del comercio internacional (ExW y DDP). Posteriormente, se alude a los resultados obtenidos con el método de Vassilev y Narula (1993) para cuando ninguna alternativa generada con el método de los pesos es satisfactoria para el tomador de decisiones. Al final se presentan las conclusiones derivadas de este análisis.

Por último, el capítulo 7, **Conclusiones**, se hace una reflexión sobre todos los aspectos relevantes de la investigación, de la aplicación de los modelos, y de los resultados alcanzados. Se describen las conclusiones sobre la problemática analizada acerca de las preguntas de investigación; implicaciones para la teoría; las prácticas y políticas de gestión; asimismo, se identifican las limitaciones y líneas futuras de investigación.

2 Modelos de referencia para la coordinación de inventarios

En Jiménez (2006b y 2006c), se ha ilustrado la importancia de la coordinación de las actividades logísticas en el contexto general de la cadena de suministro, y en particular del sector automotriz. En dicho contexto se identifican problemas y obstáculos de gestión de la cadena de suministro, describiéndose la relación intrínseca entre las diferentes actividades logísticas, en especial la administración de los inventarios y el transporte, destacándose la relevancia del abasto programado en el sector automotriz, como alternativa de suministro entre empresas localizadas a grandes distancias, y la necesidad de su coordinación. Ahora, se busca reconocer todos aquellos elementos que motivan dicha coordinación, y la manera en que ha sido abordada por investigadores a nivel internacional.

El objetivo de este capítulo, por tanto, va dirigido a identificar los modelos de referencia que permitan abordar el problema planteado en el capítulo 1, y tener los elementos de juicio para el desarrollo de los modelos propuestos. Para lograr lo anterior, se parte de un análisis previo (estado del arte), realizado sobre la literatura científica (Jiménez, 2005 y 2006a), de la cual se identificaron todos aquellos vacíos factibles de abordar y que complementan, pero sobre todo, fundamentan los modelos propuestos para el problema de la coordinación de inventarios.

Por todo lo anterior, el capítulo se estructuró en cinco apartados principales. El primero, describe el marco general de los modelos de inventarios; el segundo, se orienta a establecer el planteamiento general del problema de la coordinación de los inventarios que ha dado origen a una infinidad de trabajos de investigación desde la perspectiva del cliente y del proveedor (política individual), así como del sistema (política conjunta); el tercero y cuarto, exponen de manera breve el estado del arte de aquellos artículos que tratan el tema de la coordinación de inventarios, clasificados de acuerdo con la estructura básica modelada de la cadena de suministro, analizados en dos vertientes: a) modelos de coordinación que consideran al transporte de manera implícita; y b) modelos de coordinación que consideran las variables fundamentales de transporte de manera explícita. Al final de cada una de estas secciones se incluye un cuadro resumen de los modelos, de acuerdo con las características principales que los distinguen; en el apartado cinco se detallan los modelos de referencia para la coordinación de inventarios que se tuvieron en cuenta para conformar los modelos propuestos en esta investigación; al final, se expone una sinopsis de los modelos de referencia seleccionados.

Debido a la gran cantidad de artículos que tratan el tema, y por el interés que prevalece en esta investigación, en Jiménez (2005 y 2006a), 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 representa a este trabajo. Evidentemente, la estructura de este capítulo tiene el propósito de conocer ¿cuáles son los conceptos empleados por los investigadores que han estudiado el tema?, y al mismo tiempo, identificar ¿cuáles son las consideraciones y supuestos que tomaron en cuenta para la formulación de sus modelos?, en especial, de aquellos que consideran las variables fundamentales de transporte de manera explícita.

2.1 Generalidades de los modelos de inventarios

Los modelos matemáticos para el control de inventarios se emplean para determinar el reabastecimiento de productos y planificar la producción. De acuerdo con (Nahmias, 1999), el control de inventarios y la planeación de la producción, con frecuencia se consideran sinónimos. El objetivo principal de los modelos de inventarios busca satisfacer las necesidades de los clientes, considerando los diferentes comportamientos que experimenta la demanda, por ejemplo, constante o variable en el tiempo, determinista o aleatoria, predecible o impredecible (véase figura 2.1).

De ahí que los modelos de inventario puedan clasificarse 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, o que el valor de alguna variable se desconozca. Seleccionar una adecuada política de gestión de inventarios, puede incidir de manera significativa en los costos de una empresa.



Figura 2.1
Tipos de modelos de inventario

Un modelo de inventario se utiliza para establecer una política óptima para 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: 1) mantener cierta cantidad de mercancía en existencia durante un período fijo para minimizar los costos; y 2) lograr el mejor nivel de servicio al cliente.

El modelo básico que define esta situación se conoce como “*lote económico de la orden*” (*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 ilustra ampliamente en la literatura; por tanto, intencionalmente se omite su presentación en este trabajo. No obstante, puede mencionarse que dicho 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 han dado a 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 describe el planteamiento general del modelo.

2.2 Planteamiento general del problema de la coordinación de inventarios

Cuando los problemas de inventario del cliente y proveedor se atienden de manera independiente, bajo condiciones deterministas, 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 un modelo *ELS* del proveedor, puede ser 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 han sugerido 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 menor poder de negociación fuerce 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.

Generalmente, 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, se requiere establecer un mecanismo que permita al socio en desventaja verse también beneficiado. El mecanismo comúnmente 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 mediante un proceso de negociación entre clientes y proveedores.

2.3 Modelos de coordinación de inventarios

De acuerdo con Jiménez (2005), en años recientes ha surgido un número importante de estudios relacionados con la coordinación de inventarios entre clientes y proveedores. En general, dichos estudios se han llevado a cabo en distintos escenarios de análisis, bajo supuestos y contextos muy diversos. Comprenden desde las estructuras muy simples (cliente-proveedor) hasta aquellas más complejas (multieslabón) operadas con modernas estrategias. Dentro de las estructuras analizadas de la cadena de suministro, se han identificado las siguientes:

- a) Coordinación entre un proveedor y un cliente
- b) Coordinación entre un proveedor y múltiples clientes
- c) Coordinación entre múltiples proveedores y un cliente
- d) Coordinación entre un proveedor y múltiples clientes

En el cuadro 2.1 se muestra un resumen de las características más relevantes de algunos de los modelos de coordinación de inventarios revisados; organizados por orden cronológico.

En dicho cuadro se observa que la mayoría de los documentos mencionados tratan la demanda como un elemento constante, con algunas excepciones puntuales (por ejemplo, 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 aprecia poca variación, y solamente dos (Dong y Xu, 2002; y Robinson y Lawrence, 2004), atienden el problema desde el punto de vista multi-producto.

Por lo que respecta al horizonte de planeación, la mayoría de los primeros modelos de coordinación de inventarios (basados en el modelo de lote económico), se enfocan a atender el control de inventarios sin algún tipo de restricción en el tiempo, es decir, se utilizan de manera infinita en cada período.

Por lo que respecta a los modelos más recientes, puede observarse que éstos consideran la planeación finita como un elemento de análisis dinámico; es decir, 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. En el mismo contexto, 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 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.

Cuadro 2.1
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 proveedor 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 Zavarella	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 Ordenes; RE: Reaprovisionamiento Eficiente; CR: Reaprovisionamiento Continuo; VMI: Inventario Administrado por el Proveedor; ECR: Épocas Comunes de Resurtido; N. A: No aplica.

Fuente: Jiménez (2005).

De acuerdo con Jiménez (2005), los investigadores que tratan este importante tema de la coordinación de inventarios, llevan a cabo los estudios en diversos contextos de análisis, vertidos en estrategias de coordinación, planteadas a partir

de algún tipo de visión (proveedor, cliente o ambos), advirtiendo que las estrategias adoptadas para el control y gestión de inventarios no parecen seguir un patrón específico; pero en cambio, se informa que han surgido líneas de investigación que pueden ser ampliamente extendidas.

2.4 Modelos de coordinación de inventarios considerando las variables fundamentales del transporte

El estudio de la coordinación multieslabón cliente-proveedor ha logrado captar una significativa atención; sin embargo, la mayor parte de esta literatura no incluye explícitamente algún tipo de relación logística o de asociación con el transporte. Carter y Ferrin (1995), apuntan que la coordinación proveedor-cliente posiblemente no podrá optimizar sus beneficios sin involucrar a los transportistas. Por esta razón, de manera paulatina, en años recientes algunos investigadores han considerado ya las variables fundamentales del transporte en el estudio de la coordinación de inventarios.

De acuerdo con Jiménez (2006a), son pocos los artículos que tratan el tema de la coordinación de inventarios entre cliente-proveedor, que involucran aspectos relacionados con las variables fundamentales del transporte. Se reporta que los modelos se han desarrollado bajo dos tipos de estructura de cadena de suministro: a) una básica entre un proveedor y un cliente; y b) coordinación entre un proveedor y varios clientes; esta última en el contexto del diseño de la cadena de suministro (localización de plantas y almacenes). En el cuadro 2.2 se muestra el resumen de las características más relevantes de los modelos de coordinación de inventarios, que consideran las variables fundamentales del transporte.

En dicho cuadro se aprecia que los documentos reportados tratan la demanda como un elemento estocástico o determinista. En la mayoría de los casos, los modelos se desarrollan para el abasto de un producto. En este sentido, se observan dos casos que analizan para más de un producto la estrategia de coordinación directa de inventarios (van Eijs, 1994; y Reyes-Gaytán, 2002); otros dos, con un enfoque de diseño red y con coordinación implícita de inventarios, atienden también un problema multi-producto (Jayaraman, 1998 y Qu, *et al*, 1999).

Por lo que respecta a la estructura de la cadena de suministro analizada, se encontró que la estructura básica (cliente-proveedor), es el punto de referencia para la mayoría de los investigadores que estudian el tema de la coordinación de inventarios, considerando al transporte. Es de sumo interés observar que algunos autores incluyen al transportista como un miembro más de la cadena (Lei, *et al*, 2003; y Choi, *et al*, 2004). Derivando del contexto que presentan en sus investigaciones, en cierta forma puede decirse que es muy novedoso, ya que sus análisis reconocen fehacientemente el efecto que produce la coordinación del abasto entre cliente y proveedor, en los beneficios directos para el transportista.

Cuadro 2.2
Características principales de los modelos de coordinación de inventarios
considerando las variables fundamentales del transporte

Autor	Año	Demanda	Producto	Eslabones	Horizonte de planeación	Precio del producto	Modos	Variable de transporte clave	Control del canal
1 Constable y Whybark	1978	Aleatoria	Un producto	Un cliente Un proveedor	Infinito	Constante	Unimodal	Tiempo de transporte	Proveedor
2 Van Eijs	1994	Aleatoria	Multi-producto	Un cliente Un proveedor	Infinito	Constante	Unimodal	Tiempo de ciclo, esquema de consolidación	Proveedor
3 Jayaraman	1998	Determinista	Multi-producto	Varios proveedores Varios clientes	Infinito	Constante	Unimodal	Coste de transporte, tiempo de entrega	Proveedor
4 Qu, <i>et al.</i>	1999	Aleatoria	Multi-producto	Un proveedor Varios clientes	Infinito	Constante	Unimodal	Coste de transporte	Proveedor
5 Hoque y Goyal	2000	Determinista	Un producto	Un cliente Un proveedor	Infinito	Constante	Unimodal	Capacidad de transporte	Proveedor
7 Lei, <i>et al.</i>	2003	Determinista	Un producto	Un proveedor Un transportista Un cliente	Infinito	Variable	Unimodal	Tarifa y coste unitario de transporte	Ninguno
8 Toptal	2003	Determinista	Un producto	Un proveedor Un fabricante Un cliente	Finito	Constante	Unimodal	Costes de abasto (entrada) y entrega	Proveedor
9 Reyes y Gaytán	2003	Determinista y variable	Multi-producto	Un proveedor Un cliente	Finito	Variable	Dos modos	Coste de transporte, tiempo de entrega	Cliente
10 Choi, <i>et al.</i>	2004	Determinista	Un producto	Un proveedor Un transportista Un cliente	Infinito	Variable	Unimodal	Tarifa, coste unitario de transporte y nivel de ingresos	Ninguno
11 Zhao, <i>et al.</i>	2004	Determinista	Un producto	Un proveedor Un cliente	Infinito	Constante	Unimodal	Capacidad de transporte, tiempo de ciclo, costes fijos y variables	Proveedor
6 Sethi, <i>et al.</i>	2005	Aleatoria	Un producto	Un proveedor Un cliente	Finito	Constante	Tres modos	Nivel de servicio, tiempo de entrega	Proveedor
12 Eskigun, <i>et al.</i>	2005	Determinista	Un producto	Varios proveedores Varios clientes	Infinito	Constante	Unimodal	Tiempo de ciclo, selección del modo de transporte	Proveedor
13 Abad, PL y Aggarwal, V.	2005	Determinista	Un producto	Un proveedor Un cliente	Infinito	Constante	Unimodal	Capacidad y tarifa de transporte	Proveedor

Fuente: Jiménez (2006a).

Por lo que respecta al horizonte de planeación, la mayor parte de los modelos se enfoca a atender el control de inventarios sin algún tipo de restricción en el tiempo, es decir, se utilizan de manera infinita en cada período. Por su parte, sólo algunos modelos consideran la planeación finita para llevar sus análisis a una situación más dinámica, 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.

Al igual que los modelos de coordinación de inventarios detallados en la sección 2.3, una parte importante de los modelos revisados considera como parámetro (una constante) el precio de los productos o mercancías; para otras, este factor es un mecanismo utilizado para promover la coordinación; como tal, se considera 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.

Por lo que se refiere a los modos de transporte, en general los modelos no incluyen más de uno, es decir, atienden el problema unimodal. Solamente dos

artículos (Sethi, *et al*, 2005; y Reyes-Gaytán, 2003), involucran más de un modo de transporte. Por lo dicho en Sethi, *et al.* (2005), y a manera de conclusión, puede establecerse que la idea de tener en cuenta al transporte como un elemento vital para el control de los sistemas de inventario no es reciente; sin embargo, en la actualidad son muy pocos los estudios en el contexto de la coordinación de inventarios que se llevan a cabo, y mucho menos que consideren esquemas multimodales o la combinación de los diferentes modos de transporte para el envío de los productos.

Lo anterior puede deberse a la complejidad que implica el modelado de la combinación de las distintas posibilidad de transporte para más de dos modos. En ese mismo sentido, las variables fundamentales del transporte que más se han considerado en los modelos de coordinación de inventarios, son: el costo de transporte; tiempo de ciclo para la entrega de los productos; capacidad de transporte; tiempo en tránsito; velocidad de entrega (nivel de servicio); y con menor frecuencia, la elección del modo de transporte.

Finalmente, como ya fue indicado, los investigadores que tratan este importante tema de la coordinación de inventarios, en los que involucran las variables fundamentales del transporte son muy escasos. Los estudios se llevan a cabo en diversos contextos de análisis; algunos, vertidos en estrategias de coordinación planteadas a partir de algún tipo de visión (proveedor, cliente o ambos).

En general, puede establecerse que los estudios para el control y gestión de inventarios que incluyen las variables fundamentales del transporte, no parece seguir un patrón específico; en cambio, suele observarse que han surgido líneas de investigación que pueden ser ampliamente extendidas.

Algunos de estos modelos se presentan de manera detallada a continuación, con la intención de estudiar su estructura para el diseño de la propuesta que dé solución al planteamiento del problema.

2.5 Modelos de referencia para la coordinación de inventarios

En cierta forma, el objetivo de los modelos que tratan el tema de la coordinación de los inventarios busca el establecimiento de un programa de las cantidades de abastecimiento que satisfaga la demanda de los clientes a un costo mínimo; sin embargo, en el fondo, también se procura diseñar un sistema eficiente descentralizado que corresponda al nivel de interdependencia empresarial que exigen las cadenas de suministro modernas. Los modelos que tratan el tema de la coordinación de inventarios así lo demuestran.

En general, este tipo de modelos que podrían localizarse también en el contexto de los problemas de distribución y abasto, pueden llegar a ser tan complejos como aquellos que consideran el proceso de producción entero (suministro de materias

primas, proceso de fabricación y entrega de productos terminados), debido a las diferentes condiciones que tienen lugar (por ejemplo: demanda, estática o variable, determinista o estocástica; período de programación, finito o infinito; restricciones, capacidad limitada de producción o almacenaje); pero sobre todo, por la incorporación los factores cuantitativos y cualitativos del servicio de transporte a nivel local o internacional, etc.

Por tal motivo, de acuerdo con el repaso expuesto en la primera parte de este capítulo, y en Jiménez (2005 y 2006a) sobre los modelos para la gestión coordinada del sistema de inventarios, en donde se dedicó una atención especial a aquellos artículos que involucran aspectos relacionados con las variables fundamentales del transporte, se detectó que aún existen algunos “huecos” o temáticas que no han sido explorados en la literatura científica.

Tratando de explotar esa situación, se considera que el modelado de la coordinación de inventarios, involucrando de manera explícita al transporte en el proceso de abasto, es una oportunidad de estudio manifiesta a la luz de los artículos revisados. En este sentido, a continuación se describen de manera más detallada los trabajos de Viswanathan y Piplani (2001); Chang y Tsai (2002); y Reyes y Gaytán (2003), que presentan modelos relevantes para estudiar el tema de la coordinación en el contexto que se persigue, y que por tanto forman parte de la base teórica para formular los modelos propuestos en este trabajo.

2.5.1 Modelo de Viswanathan y Piplani

Viswanathan y Piplani (2001), aplicando la estrategia de coordinación de inventarios *épocas comunes de resurtido (ECR)*, también conocida como “*períodos de tiempo*”, realizaron un análisis sobre dos eslabones de la cadena considerando un proveedor que suministra un producto a varios clientes.

Como ya fue mencionado (Jiménez, 2005), la estrategia ECR consiste en que el proveedor controle el inventario del cliente, y establezca las cantidades y fechas de entrega. Debido a que dicho control puede provocar al cliente un costo adicional por aumento en su nivel de inventario en ciertos períodos, el proveedor plantea una oferta de descuento al cliente, sobre el precio de adquisición a fin de alentarle en aceptar la estrategia ECR, y solventar los costos extras que le provoque dicho sobre/inventario. Ciertamente, esta práctica reduce la flexibilidad del cliente, de ahí que se vea forzado a verificar que el descuento, efectivamente compense dicho incremento en sus costos.

Viswanathan y Piplani (2001), modelaron 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 del producto; 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 supusieron 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 toma decisiones individuales. De esta manera, la estrategia de un cliente i , que se basa en colocar órdenes en un intervalo de tiempo t_i^U correspondiente a su lote económico (EOQ), es determinado por:

$$t_i^U = \sqrt{(2D_i k_i) / h_i} / D_i = \sqrt{k_i / I_i} \quad (2.1)$$

Donde:

D_i representa la demanda anual; k_i el costo por ordenar; y h_i el costo de almacenamiento para el cliente i , para $i = 1, \dots, m$.

De la ecuación anterior, se deduce que $I_i = (1/2)D_i h_i$ representa el nivel de inventario del cliente i .

Por 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 I_i , y por generar órdenes de compra k_i cada intervalo de tiempo t_i^U , es decir:

$$g_i^U = (k_i / t_i^U) + I_i t_i^U = 2\sqrt{k_i I_i} \quad (2.2)$$

Por su parte, el proveedor dispone de un proceso de gestión para atender las órdenes de sus clientes, lo cual 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:

$$g_o^U = (A_s + \sum_i^m A_i) / t_i^C \quad (2.3)$$

Por la ausencia de coordinación, el proveedor no puede planear sus entregas y en cualquier momento recibir pedidos. Viswanathan y Piplani (2001), plantearon que

el proveedor compra producto a un vendedor externo, bajo una demanda de lote por lote. Bajo esta premisa, 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:

$$t_i^C = n_i T_0 \quad n_i \geq 1, \text{ entero} \quad (2.4)$$

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

$$g_i^C = (k_i/n_i T_0) + I_i n_i T_0 \quad (2.5)$$

Donde:

(g_i^C) es convexo con respecto a (n_i) .

Para un T_0 dado, g_i^C se minimiza dando n_i como el valor n_i^* (óptimo) que satisface:

$$n_i(n_i^* - 1) \leq k_i / (I_i T_0^2) \leq n_i^*(n_i^* + 1) \quad (2.6)$$

La expresión 2.6 se obtiene utilizando el resultado de $g_i^C(n_i^*)$, cuando no es mayor que $g_i^C(n_i^* - 1)$ ó $g_i^C(n_i^* + 1)$.

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

$$D_i Z \geq (k_i/n_i T_0) + I_i n_i T_0 - (1 - S) 2\sqrt{k_i I_i} \quad (2.7)$$

Es decir, el descuento total tiene que ser mayor o igual a los costos por ordenar y por 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, o sea:

$$g_o^C = A_s / T_0 + \sum_{i=1}^m \left(D_i Z + \left(A_i / n_i T_0 \right) \right) \quad (2.8)$$

Por lo anterior, para determinar T_0 y Z para el proveedor, el modelo se formula como:

$$(P) \quad \text{Min } g_o^c = A_s/T_0 + \sum_{i=1}^m \left(D_i Z + \left(A_i/n_i T_0 \right) \right) \quad (2.9)$$

$$\text{Sujeto a: } D_i Z \geq (k_i/n_i T_0) + I_i n_i T_0 - (1-S)2\sqrt{k_i I_i} \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (2.10)$$

$$T_0 \in X \quad (2.11)$$

$$n_i \geq 1 \text{ y entero } \forall i = 1, \dots, m \quad (2.12)$$

$$X \text{ es el conjunto de ECR's consideradas} \quad (2.13)$$

Para el caso cuando el descuento en el precio del producto fuese diferente, establecen que:

$$D_i Z = (k_i/n_i T_0) + I_i n_i T_0 - (1-S)2\sqrt{k_i I_i} \quad (2.14)$$

Debido a que el último término de 2.14 es una constante para un problema dado, el problema del proveedor (P1) se modifica de la siguiente manera:

$$(P1) \quad \text{Min } g_o^c = A_s/T_0 + \sum_{i=1}^m \left(((k_i + A_i)/n_i T_0) + I_i n_i T_0 \right) \quad (2.15)$$

$$\text{Sujeto a: } T_0 \in X \quad (2.16)$$

$$n_i \geq 1 \text{ y entero } i = 1, \dots, m \quad (2.17)$$

El problema P1 es una versión especial del bien conocido problema de resurtido conjunto (*JRP*, por sus siglas en inglés) con una restricción adicional (2.16). Los autores de este modelo reportan que Goyal (1974) y Viswanathan (1996), formularon algoritmos óptimos para resolver este problema.

Por lo que respecta a los problemas P y P1, señalan que la función objetivo de ambos necesitan no ser convexas con respecto a los elementos de X ; y que el T_0 óptimo se determina por medio de la evaluación de de las funciones objetivos 2.9 y 2.15, a través de una exhaustiva búsqueda para todos los valores de $x_j \in X$. Para un particular valor de $T_0 = x_j$, el n_i óptimo para cada cliente i puede determinarse por la ec. 2.6 para el problema P; y la ec. 2.18 para el problema P1.

$$n_i(n^* - 1) \leq (k_i + A_i)/(I_i T_0^2) \leq n^*(n^* + 1) \quad (2.18)$$

2.5.2 Modelo de Chang y Tsai

Chang y Tsai (2002), desarrollaron un modelo (siguiendo a Viswanathan y Piplani, 2001), con el cual buscan determinar la cantidad óptima a ordenar, 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 de producción completos o grandes para los clientes, circunstancia modelada por estos autores.

Por lo anterior, Chang y Tsai (2002) señalaron que los costos totales TC_i del cliente no sólo están conformados por los costos por ordenar k_i y de manutención de inventario h_i , sino también por los correspondientes al procesamiento de sus productos R_i (recibo), es decir:

$$TC_i = k_i \frac{D_i}{Q_i} + h_i \frac{Q_i}{2} + R_i \frac{D_i}{Q_i} \quad (2.19)$$

Minimizando el costo total y obteniendo $I_i = (1/2)D_i h_i$, la cantidad económica a ordenar Q_i^* y el período de abasto T_i para el cliente i , pueden expresarse mediante las ecuaciones 2.20 y 2.21:

$$Q_i^* = \sqrt{\frac{2D_i(k_i + R_i)}{h_i}} \quad (2.20)$$

$$T_i = \frac{Q_i}{D_i} = \sqrt{\frac{(k_i + R_i)}{I_i}} \quad (2.21)$$

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

$$G_{i0}^b = \frac{(k_i + R_i)}{T_i} + I_i T_i = 2\sqrt{I_i(k_i + R_i)} \quad (2.22)$$

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 representan la suma de $A_s + A_i + C_i$. Para satisfacer la demanda de los clientes, el costo total G_0^v para procesar órdenes y entregas se expresa de la siguiente manera:

$$G_0^v = \sum_{i=1}^n \frac{(A_s + A_i + C_i)}{T_i} \quad (2.23)$$

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 ofrece a los clientes.

Sin embargo, Chang y Tsai (2002), agregaron que el proveedor adoptará entregas por lotes completos o grandes para reducir los costos de manutención de

inventarios y aumentar la flexibilidad de su planta para cambiar las especificaciones de producción.

Después de establecer acuerdos entre el proveedor y los clientes, en el contexto de la estrategia ECR; el periodo de colocar un pedido T_i' o de abastecimiento T_i'' , y el costo total G_{ic}^b del cliente i (antes del descuento), se expresan en las ecuaciones 2.24 y 2.25, respectivamente.

$$T_i' = N_i T_0 \text{ ó } T_i'' = n_i T_0, \text{ donde } N_i, n_i \geq 1 \quad (2.24)$$

$$G_{ic}^b = \frac{k_i}{N_i T_0} + h_i \frac{D_i(n_i T_0)}{2} + \frac{R_i}{n_i T_0} = \frac{k_i}{x_i n_i T_0} + I_i n_i T_0 + \frac{R_i}{n_i T_0} \quad (2.25)$$

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:

$$Z_i = \frac{1}{D_i} \left\{ \frac{k_i}{x_i n_i T_0} + I_i n_i T_0 + \frac{R_i}{n_i T_0} - 2(1-S)\sqrt{I_i(k_i + R_i)} \right\} \quad (2.26)$$

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 aceptarán la estrategia ECR. En este caso, el precio total de descuento $D_i Z$ ganado por el cliente, debe satisfacer la siguiente desigualdad:

$$D_i Z \geq \frac{k_i}{x_i n_i T_0} + I_i n_i T_0 + \frac{R_i}{n_i T_0} - 2(1-S)\sqrt{I_i(k_i + R_i)} \quad (2.27)$$

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:

$$G_c^v = \frac{A_s}{T_0} + \sum_i \left(D_i Z + \frac{A_i}{N_i T_0} + \frac{C_i}{n_i T_0} \right) \quad (2.28)$$

Por su parte, los costos totales incurridos por los clientes, por concepto de inventarios, se calculan con la siguiente ecuación:

$$G_{ic}^b = \frac{k_i}{x_i n_i T_0} + I_i n_i T_0 + \frac{R_i}{n_i T_0} - D_{iz} \quad (2.29)$$

En esta investigación, Chang y Tsai (2002), buscaron minimizar los costos totales del proveedor por procesar ordenes y realizar las entregas; obtener el período óptimo de abastecimiento; el descuento en el precio de su producto; así como el período en que el cliente debe ordenar, y abastecerse. Todas las ecuaciones derivadas del desarrollo anterior, y que calculan dicho objetivos, se resumen en el

siguiente modelo:

$$\text{Min } G_c^v = \frac{A_s}{T_0} + \sum_i \left(D_i Z + \frac{A_i}{N_i T_0} + \frac{C_i}{n_i T_0} \right) \quad (2.30)$$

$$\text{Sujeto a: } D_i Z \geq \frac{k_i}{x_i n_i T_0} + I_i n_i T_0 + \frac{R_i}{n_i T_0} - 2(1-S)\sqrt{I_i(k_i + R_i)} \quad (2.31)$$

$$n_i(n_i + 1) \geq \frac{k_i + x_i R_i}{x_i I_i T_0^2} \geq n_i(n_i - 1) \quad (2.32)$$

$$N_i, n_i \geq 1, \text{ donde ambos son enteros positivos} \quad (2.33)$$

$$T_0 \in X, X = \left\{ \frac{1}{365}, \frac{a}{52} \right\}; \text{ en donde } a \text{ es un entero positivo} \quad (2.34)$$

2.5.3 Modelo de Reyes y Gaytán

Reyes y Gaytán (2003), desarrollaron un modelo para la coordinación de inventarios también en el contexto de la estrategia de *épocas comunes de resurtido*. El objetivo de dicho modelo busca establecer la coordinación entre dos entidades de la cadena de suministro para generar ahorros; incrementar la rentabilidad; y generar valor en los eslabones involucrados.

A diferencia de los modelos de Viswanathan y Piplani (2001) y Chang y Tsai (2002), Reyes y Gaytán (2003), propusieron cambios sustanciales en la condiciones del modelo. Por ejemplo, la demanda se considera determinista pero variable a lo largo de un horizonte finito de planeación. En el contexto de la estrategia *ECR*, el proveedor ofrece un descuento al cliente para compensar los incrementos en sus niveles de inventarios, pero ahora sobre el costo de su política óptima para cada producto. Establecen que el sistema de abastecimiento está compuesto por un proveedor que suministra una familia de productos a un cliente utilizando de manera explícita dos modos de transporte (uno lento y otro rápido). El precio de venta es el mismo para cada producto. Las variables de decisión consideradas por dichos autores son dos: la cantidad ordenada de cada producto transportada por los modos lento y rápido; y el descuento brindado al cliente por aceptar la estrategia *ECR*. Y como variable de control, el nivel de inventario final en cada período.

Aplicando la estrategia *ECR*, el proveedor conoce los costos y parámetros de la demanda de los diferentes productos del cliente, por lo que puede anticipar su reacción y tomar una decisión óptima acerca de las cantidades a enviar y de los modos de transporte que utilizará para mover los productos, de tal manera que minimice sus costos y los del cliente, que incluyen costos por ordenar, almacenar y transporte de los productos, así como los costos totales propios del sistema (cliente-proveedor).

La notación utilizada en la formulación del modelo es la siguiente:

g_n^i = costo total del cliente sin política *ECR*

$I_{i,t}$ = inventario final en el período t del producto i

k_i = costo fijo para el cliente por generar una orden del producto i

C_i^1 = costo por transportar una unidad por el modo de transporte rápido (\$/unidad)

C_i^2 = costo por transportar una unidad por el modo de transporte lento (\$/unidad)

$Q_{i,t}^1$ = cantidad del producto i transportado por el modo rápido (unidades/período) en el período t

$Q_{i,t}^2$ = cantidad del producto i transportado por el modo lento (unidades/período) en el período t

h_B = costo por mantener un artículo en el inventario del cliente durante un período, una unidad de \$ del artículo, dado en \$/(unidad-período), en el almacén del cliente

H_R = costo por mantener un artículo en inventario mientras es transportado por el modo rápido, dado en \$/(unidad-período)

H_L = costo por mantener un artículo en inventario mientras es transportado por el modo lento, dado en \$/(unidad-período)

Teniendo en cuenta los supuestos propuestos, y bajo una política sin coordinación, Reyes y Gaytán (2003), primeramente definen que el costo del proveedor g_0^n (sin estrategia *ECR*) está compuesto por un costo fijo A_s por procesar un conjunto de órdenes (siempre y cuando el cliente haya pedido uno o más productos), más un costo fijo A_i por procesar cada orden del cliente de cada producto $i = 1, \dots, n$, durante un período específicos; esto es:

$$g_0^n = \sum_{t=1}^T A_s y_t + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_i r_{i,t} \quad (2.35)$$

Donde: y_t y $r_{i,t}$ son variables binarias $\{0, 1\}$

Posteriormente, determinan el costo del cliente sin la estrategia *ECR*. Los supuestos establecen que el cliente experimenta una demanda determinista, y dinámica para cada uno de los productos de la familia durante un horizonte finito de T períodos. Incurrir en costos por mantener inventario de cada producto y por generar una orden de compra. Los tiempos de entrega de cada uno de los modos de transporte son conocidos, y múltiplos de mes. No se permiten faltantes; el

inventario al inicio y al final del horizonte de planeación es cero. Sin estrategia ECR, cada cliente coloca órdenes en los períodos y en las cantidades de acuerdo con su política óptima, con la ayuda de algún método exacto, como el de Wagner y Whitin (1958).

El costo por mantener los productos en inventario es el mismo para todos los casos, solamente difiere por el lugar donde se encuentra; por ejemplo, si está en el almacén del cliente, o en cualquiera de los modos de transporte durante su traslado (inventario temporal). El costo por concepto de transporte es el mismo para todos los productos, y difiere para cada uno de los modos (lento o rápido).

A partir de estas consideraciones, Reyes y Gaytán (2003), formularon el siguiente modelo que determina los costos totales g_i^n en los que incurre el cliente en el contexto no coordinado:

$$\text{Min } g_i^n = \sum_{t=1}^T k_i r_{i,t} + \sum_{t=1}^T C_i^1 Q_{i,t}^1 + \sum_{t=1}^T C_i^2 Q_{i,t}^2 + \sum_{t=1}^T h_B I_{i,t} + \sum_{t=1}^T H_R Q_{i,t}^1 + \sum_{t=1}^T H_L Q_{i,t}^2 \quad (2.36)$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$I_{i,t} = I_{i,t-1} + Q_{i,t}^1 + Q_{i,t}^2 - D_{i,t} \quad \forall i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T \quad (2.37)$$

$$Q_{i,t}^1 + Q_{i,t}^2 \leq N_i r_{i,t} \quad \text{con } N_i = \sum_{t=1}^T D_{i,t} \quad \forall i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T \quad (2.38)$$

$$\frac{Q_{i,t}^1}{Q_{i,t}^1 + Q_{i,t}^2} = p \quad \text{con } 0 < p < 1, \quad \forall i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T \quad (2.39)$$

$$I_{i,0}, I_{i,T} = 0 \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (2.40)$$

$$I_{i,t}, Q_{i,t}^1, Q_{i,t}^2 \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T \quad (2.41)$$

$$r_{i,t} \in \{0,1\} \quad \forall i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T \quad (2.42)$$

Un modelo equivalente al anterior (más fácil de resolver) se obtiene haciendo $Q_{i,t}^1 = p q_{i,t}$ y $Q_{i,t}^2 = (1-p) q_{i,t}$; p y $q_{i,t}$, que representan la proporción de carga que el tomador de decisiones determina enviar por cada modo, quedando el modelo de la siguiente manera:

$$\text{Min } g_i^n = \sum_{t=1}^T k_i r_{i,t} + \sum_{t=1}^T (q_{i,t} (p(C^1 + H_R)(1-p)(C^2 + H_L))) + \sum_{t=1}^T h_B I_{i,t} \quad (2.43)$$

$$\text{Sujeto a: } I_{i,t} = I_{i,t-1} + q_{i,t} - D_{i,t} \quad \forall i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T \quad (2.44)$$

$$q_{i,t} \leq N_i r_{i,t} \quad \text{con } N_i = \sum_{t=1}^T D_{i,t} \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (2.45)$$

$$I_{i,0}, I_{i,T_0} = 0 \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (2.46)$$

$$I_{i,t}, Q_{i,t}^1, Q_{i,t}^2 \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T \quad (2.47)$$

$$r_{i,t} \in \{0,1\} \quad \forall i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T \quad (2.48)$$

La restricción 2.44, balance de inventarios, explica que la cantidad de inventario al final del período actual $I_{i,t}$, es igual al inventario final del período inmediato anterior $I_{i,t-1}$, más la cantidad pedida por el proveedor en el período actual $Q_{i,t}^1 + Q_{i,t}^2$, menos la demanda experimentada por el cliente $D_{i,t}$. La siguiente restricción (2.45) asegura que el cliente incurrirá en el costo individual de cada artículo por ordenarlo, siempre y cuando los pida al proveedor $r_{i,t}$. La condición 2.46, establece que el inventario de cada cliente será cero al inicio y fin del horizonte de planeación. Las restricciones 2.47 y 2.48 definen el tipo de variables empleadas en el modelo, y sus posibles valores.

El modelo coordinado con estrategia ECR

Con la estrategia *ECR* adoptada, el proveedor incurre en tres costos fijos: a) A_S por procesar un conjunto de órdenes del cliente; b) A_i individual por incluir el producto i en la orden; y c) el descuento que hace al cliente para compensar el aumento en sus costos por incrementar su nivel de inventario al aceptar la política de coordinación *ECR*.

Conoce del cliente: la demanda de cada producto; los costos por ordenar, y mantener inventario; por tanto, puede determinar el tiempo base T_0 particular, que representa el múltiplo de los períodos en los cuales cada cliente debe ordenar para minimizar sus costos. Como consecuencia, tiene la posibilidad de determinar el descuento mínimo sobre el precio de los productos, para cuando el cliente acepte la política *ECR*. En este caso, el cliente obtiene un descuento Z_i para cada producto i sobre el precio de cada uno para compensar el incremento de los costos de producto i por recurrir a dicha política, el cual se refleja en un ahorro $S\%$ sobre el costo total con respecto de no usar la coordinación *ECR*. En tal caso, se determinan las cantidades a enviar en cada modo de transporte, de tal manera que los costos sean mínimos.

Por lo anterior, el modelo de optimización lineal entero a continuación, determina el costo total g_0^c para el proveedor cuando se aplica la estrategia *ECR*, durante el horizonte finito de T períodos, del cual se deriva también el costo total g_i^c de cada producto i al usar dicha política.

$$\text{Min } g_0^c = \sum_{t=1}^T A_S y_t + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_i r_{i,t} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T D_{i,t} v Z_i \quad (2.49)$$

Sujeto a:

$$\sum_{t=1}^T D_{i,t} v Z_i = \left[\left(\sum_{t=1}^T k_i r_{i,t} + \sum_{t=1}^T (q_{i,t} (p(C^1 + H_R)(1-p)(C^2 + H_L))) + \sum_{t=1}^T h_B I_{i,t} \right) - g_i^n (1-S) \right] \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (2.50)$$

$$I_{i,t} = I_{i,t-1} + q_{i,t} - D_{i,t} \quad \forall i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T \quad (2.51)$$

$$I_{i,0}, I_{i,T_0} = 0 \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (2.52)$$

$$q_{i,t} \leq N_i r_{i,t} \quad \text{con} \quad N_i = \sum_{t=1}^T D_{i,t} \quad \forall i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T \quad (2.53)$$

$$r_{i,t} = 0 \quad \forall i = 1, \dots, n; \quad t \neq \Omega_0 \quad (2.54)$$

$$\text{siendo } \alpha = \left\lfloor \frac{T-1}{T_0} \right\rfloor$$

$$\sum_{t=1}^T r_{i,t} \leq M_1 y_t \quad \text{con} \quad M_1 = n; \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (2.55)$$

$$r_{i,t}, y_t \in \{0,1\} \quad \forall i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T \quad (2.56)$$

$$Z_i \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (2.57)$$

$$I_{i,t}, q_{i,t} \geq 0, \text{ entero} \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (2.58)$$

$$T_0 \in \Omega_0 \quad \text{donde } \Omega_0 = \{x/2 \leq x \leq T, \text{entero}\} \quad (2.59)$$

$$Q_{i,t}^1 + Q_{i,t}^2 = \frac{Q_{i,t}^1}{p} \quad \forall i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T \quad (2.60)$$

De este modelo, destaca que la restricción 2.50 garantiza el descuento Z_i aplicado a cada uno de los productos; compensa con un ahorro del $S\%$ sobre el costo de no usar una estrategia ECR, debido al incremento por tener más inventario y/o generar más órdenes de compra al no pedir con base en su política óptima individual.

El análisis numérico del modelo se lleva a cabo con base en los ahorros obtenidos por el proveedor quién vende una familia de productos ($n = 10$), y un cliente quien los compra, a través de un horizonte de planeación finito de 12 períodos ($T = 12$).

El número de escenarios o problemas diferentes que se configuran para ser analizados, es de 64; correspondientes al número de combinaciones posibles surgidas de variar en cuatro valores diferentes, los siguientes parámetros del modelo ECR: a) A_s = costo fijo para el proveedor por procesar un conjunto de ordenes; b) A_i = costo fijo para el proveedor por procesar cada orden en particular de cada producto i ; c) $D_{i,t}$ = demanda del producto i en el período t . Los costos de mantener inventario se dejaron fijos, tanto en el inventario del cliente como en el inventario en tránsito de cada uno de los modos, así como los costos de transporte.

Dentro de los hallazgos más relevantes encontraron que de los 64 escenarios que analizaron, 48 (75% de los casos) produjeron ahorros tanto para el proveedor como para el sistema. Es importante recordar que en estado coordinado, el ahorro para el cliente es de 10%. En dichos términos se establece que la estrategia ECR funciona para una demanda dinámica en el tiempo, pero también se podría interpretar que este resultado indica que no en todos los casos es aplicable dicha estrategia.

A partir de los resultados obtenidos del experimento predescrito, Reyes y Gaytán (2003), concluyen que independientemente del tipo de escenario, a medida que aumenta el costo A_i , el ahorro para el proveedor incrementa, pero cuando el costo de A_s aumenta, el ahorro para el proveedor se reduce, a pesar de la diferencia en la magnitud del ahorro, no es significativa.

Afirman que en los escenarios donde la demanda presenta la menor variabilidad, el ahorro tiende a estabilizarse a medida en que el costo menor de A_i se hace más pequeño; mientras que en los escenarios de demanda altamente variable, el ahorro tiene una clara tendencia decreciente a medida de que A_i se hace más reducido. De manera más específica, determinaron que entre los diferentes factores que variaron en sus experimentos, encontraron que el tipo demanda y su variabilidad está directamente relacionada con la magnitud de los ahorros obtenidos.

2.5.4 Sinopsis de los modelos analizados

El estudio y revisión de los tres modelos descritos en la sección anterior, permite identificar una serie de elementos sobre los cuales es factible su extensión. La operatividad de dichos modelos se encuentra circunscrita al contexto de la estrategia *épocas comunes de resurtido (ECR)*, donde el cliente acepta la propuesta de colocar órdenes en tiempos equidistantes a cambio de un descuento en el precio de los productos.

En caso de que algunos clientes emplean este tipo de prácticas, y se están abasteciendo en periodos fijos, evidentemente aceptarán la estrategia sin mayor problema dado la ventaja del descuento. Si fuese lo contrario, y estuviesen colocando sus órdenes en cualquier momento (más conveniente para ellos), es posible que se resistan a aceptar la estrategia ECR. En todo caso, puede existir algún otro proveedor más flexible en los períodos de entrega o abasto, y poner en riesgo la preferencia del cliente; sin embargo, los clientes tendrían en cuenta una posible adecuación de la compensación de sus incentivos, tales como un descuento en el precio de sus insumos.

El uso de este sencillo y elegante mecanismo de coordinación fue propuesto por Viswanathan y Piplani (2001), con la intención de consolidar órdenes de surtido de diversos clientes, y economizar los costos de su procesamiento y abasto, tanto

para el cliente como para el proveedor. En términos generales, el trabajo planteado por los autores muestra cómo un proveedor puede instrumentar la estrategia ECR a partir de calcular el descuento en el precio del producto, y de establecer el período óptimo de abastecimiento. El objetivo final de su modelo busca minimizar los costos totales individuales, así como los del sistema en su conjunto (cliente- proveedor).

Con la finalidad de conocer el nivel de simplificación del problema y los límites de la operatividad del modelo, a continuación se presentan los supuestos considerados en los modelos de referencia: no sin antes reconocer que la definición de los supuestos merecen una especial atención, ya que es una de las fases más importante del proceso de formulación de los modelos analíticos porque revelan las características que los distinguen.

Para el caso del modelo de Viswanathan y Piplani (2001), se establecen los siguientes supuestos:

1. Simulan una estructura de dos eslabones en la cadena de suministro, compuesta por un proveedor que abastece un producto a varios clientes.
2. Consideran que todos los clientes participan en el esquema de coordinación.
3. Asumen que la demanda se comporta de manera estable (constante) y determinista (conocida).
4. Para que funcione la estrategia ECR, el proveedor debe conocer los parámetros de costo del cliente a fin de anticipar las predicciones de venta, y establecer el descuento que ofrecerá.
5. Los clientes deben ordenar en múltiplos de tiempo especificados por el proveedor.
6. Señalan que el costo del proveedor por procesar órdenes está compuesto por el costo de atender el conjunto de órdenes de los clientes, más la suma de los costos por procesar (*set up*) cada una de las órdenes específicas de los clientes, en el contexto no coordinado.
7. Convienen que el descuento del precio del producto será idéntico para cada uno de los clientes.
8. Uno de los supuestos más fuertes que establecen estos autores es el hecho de que el proveedor sigue una política de “*lote por lote*” en su sistema de suministro; es decir, se abastece de insumos por medio de su proveedor, sí y sólo sí, recibe una orden del cliente; esto con la finalidad de evitar incurrir en costos por manutención de inventarios. Sus argumentos se basan en que esto simplifica el problema (limita el alcance); les permite demostrar los beneficios de la estrategia ECR; y sobre todo, que este supuesto tiene sentido cuando se instrumenta dicha estrategia.

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, habiéndose encontrado 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 27y 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.

Por su parte Chang y Tsai (2002), extendieron el trabajo de Viswanathan y Piplani (2001), presentando un desarrollo muy similar con algunas pequeñas diferencias, pero muy relevantes por los resultados alcanzados. Ambos modelos se desarrollan con base en el modelo EOQ, motivo por el cual consideran a la demanda como estacionaria. De entrada, las dos diferencias más importantes consideradas por Chang y Tsai (2002), son:

- a) El costo total del cliente no sólo está conformado por los costos por ordenar y de manutención de inventario, sino también por los costos del procesamiento del abasto (recibo de los productos).
- b) A los costos del proveedor por atender el conjunto de órdenes y por procesar cada orden (*set up*), se agrega el costo de entrega de los productos al cliente (transporte de los productos).

Por lo que respecta a los supuestos que consideran, prácticamente son los mismos con algunas variantes, tales como:

1. Asumen que el proveedor buscará colocar completo su lote de producción en la orden del cliente.
2. A diferencia de Viswanathan y Piplani (2001), en este caso si se indica que no se permite escasez o faltantes.
3. Debido a que consideran los costos por procesar, el recibo de las órdenes (cliente) y el proceso de envío (proveedor), establecen que los períodos de suministro del proveedor deben satisfacer la siguiente condición: $T_0 \in X$, tal que:

$$X = \left\{ \frac{1}{365}, \frac{a}{52} \right\}, \text{ donde } a \text{ es un entero positivo}$$

4. Por otro lado, asumen que cada orden entregada al cliente es el lote completo, y la condición que debe cumplir está dada por: $n_i T_0 = (N_i / x_i) T_0$. Donde: $n_i =$ es un entero positivo, y establece que el período de suministro para el cliente; i es $n_i T_0$; y $N_i =$ es un entero positivo que establece que el periodo para colocar una orden del cliente i es $N_i T_0$. Y finalmente, que x_i es un entero positivo, determinado como $x_i = (N_i / n_i)$.

La experimentación y aplicación del modelo se llevó a cabo para el caso de cinco clientes y un proveedor, fijando también una tasa de descuento del 10%. Entre los resultados más relevantes del modelo modificado 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 alcanza ahorros de alrededor del 14%.
- d) Si los costos A_s se mantienen constantes y A_i aumenta, el resultado es que se producirá más ahorros para el proveedor y el sistema. Los costos ahorrados por el proveedor y el sistema se incrementarán gradualmente a medida que A_i mantenga un valor específico y A_s se incremente.

Con relación a sus conclusiones más importantes, Chang y Tsai (2002), destacan que a diferencia del modelo de Viswanathan y Piplani (2001), que sólo beneficia a los clientes y que en pocos casos se presentan beneficios para ambos eslabones en la cadena, su modelo permite ahorros significativos en costos de manera simultánea en todos los casos estudiados, tanto para el proveedor como para el cliente.

El análisis del modelo de Chang y Tsai (2002), permite observar ciertas diferencias que pueden ser identificadas como los primeros intentos por extender el modelo de Viswanathan y Piplani (2001) en un contexto más abierto, y de interrelación empresarial. La consideración explícita de los costos de abasto/transporte, en los que incurre el proveedor, y los costos de recibo o procesamiento de órdenes por

parte del cliente así lo manifiestan.

Por lo que se refiere al modelo de Reyes y Gaytán (2003), puede observarse que su formulación considera supuestos muy diferentes en comparación de los trabajos de Viswanathan y Piplani (2001); y Chang y Tsai (2002). El uso de un algoritmo como el de Wagner y Whitin (1958), les permite diseñar el modelo en un contexto dinámico con demanda variable en el tiempo, tal como en muchos casos de la vida real se presenta. En la función de costos del cliente, además de los costos por manutención de inventarios y por ordenar, se agregan los costos de transporte y de inventario, restando el descuento que le aplica el proveedor cuando acepta la estrategia ECR.

En los tres modelos analizados se lleva a cabo un análisis numérico en los que se determinan los ahorros obtenidos por el proveedor, el cliente y el sistema (cliente-proveedor), al usar la estrategia ECR en lugar de la no coordinada.

Para realizar el estudio comparativo de ambos enfoques, Reyes y Gaytán (2003), diseñan diversos problemas de prueba que consideraron variantes a los parámetros asociados con la estrategia ECR, tales como: el costo por procesar ordenes de compra y tipo de demanda que experimentan los clientes; conservando fijos los costos por mantener inventario en almacén y en tránsito, así como los costos de transporte. Cabe señalar que este modelo, aunque ya incluye la participación de dos modos diferentes de transporte en lo que se refiere a la cantidad de carga movida por cada uno en el proceso de abasto, en dicha consideración la proporción se determina previamente, fijándose como un parámetro y no como una variable de decisión.

Por otro lado, el hecho de tener en cuenta de manera explícita los modos de transporte dedujeron que la estrategia ECR puede funcionar favorablemente, no sólo en una cadena de suministro que cuente con un tipo de demanda variable en el tiempo, sino también donde los participantes de la cadena se encuentren en diferentes ubicaciones geográficas, y sea oportuno optimizar la utilización de los modos de transporte existentes, necesarios para llevar a cabo el flujo de materiales desde el proveedor hasta el cliente.

Muchas son las deducciones a las que llegan Reyes y Gaytán (2003), a partir del modelado de los casos empleados, en el cual demuestran cómo influye el valor de los parámetros modificados (A_s , A_i y $D_{i,t}$), en el resultado de la estrategia ECR. Genéricamente hablando, su experimentación permite identificar las condiciones bajo las cuales existen mayores o menores posibilidades de que la estrategia ECR ofrezca beneficios. Quizá, lo más interesante es que proporcionan las bases para orientar a los socios comerciales en la cadena de suministro, dónde y cuánto deben rectificar sus costos (o modificar sus actividades), con el propósito de hacer crecer sus utilidades. Por supuesto, esto último es una de las grandes ventajas al formular matemáticamente los problemas de gestión.

Con el propósito observar de manera simplificada el enfoque y las cualidades que distinguen a los modelos de referencia analizados, en el cuadro 2.3 se presenta un resumen de sus características más relevantes.

Cuadro 2.3
Resumen de las características de los modelos de referencia

Características	Autores		
	Viswanathan y Piplani	Chang y Tsai	Reyes y Gaytán
Año	2001	2002	2003
Demanda	Determinista y constante	Determinista y constante	Determinista y variable
Producto	Un producto	Un producto	Multi-producto
Eslabones	Un proveedor y varios clientes	Un proveedor y varios clientes	Un proveedor y un cliente
Horizonte de planeación	Infinito	Infinito	Finito
Precio del producto	Variable por descuento	Variable por descuento	Único para todos Variable por descuento
Estrategia	ECR	ECR	ECR
Control del canal	Cliente	Cliente	Cliente
Transporte de los productos	Implícito en la formulación del modelo	Implícito en la formulación del modelo	Explícito predefinido (dos modos)
Enfoques de modelado	Programación lineal entera	Programación lineal entera	Programación lineal entera
Función objetivo	Minimizar costos	Minimizar costos	Minimizar costos
Objetivos a optimizar por el proveedor	<ol style="list-style-type: none"> 1) Costo por procesar cada orden colocada (<i>set up</i>) 2) Costo por atender un conjunto de órdenes 3) Costo del descuento aplicado al producto 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Costo por procesar cada orden colocada (<i>set up</i>) 2) Costo por atender un conjunto de órdenes 3) Costo del descuento aplicado al producto 4) Costos por enviar la orden (transporte) 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Costo por procesar cada orden colocada (<i>set up</i>) 2) Costo por atender un conjunto de órdenes 3) Costo del descuento aplicado al producto
Objetivos a optimizar por el (o los) cliente(s)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Costo por ordenar 2) Costo de almacenamiento 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Costo por ordenar 2) Costo de almacenamiento 3) Costos de recibo de la orden 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Costo por ordenar 2) Costo de almacenamiento 3) Costo de inventario en tránsito 4) Costo de transporte
Variables de decisión	<ol style="list-style-type: none"> 1) Cantidad óptima de la orden 2) Determinación del período de suministro 3) Cálculo del descuento aplicado en los productos 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Cantidad óptima de la orden 2) Determinación del período de suministro 3) Cálculo del descuento aplicado en los productos 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Cantidad óptima de la orden 2) Determinación del período de suministro 3) Nivel de inventario por período 4) Cálculo del descuento aplicado en los productos 5) Cantidad transportada por modo de transporte (*)

Nota (*): Este modelo calcula la cantidad de carga transportada por modo, a partir de un reparto predefinido.

Coordinación de inventarios en una cadena de suministro del sector automotriz a través de épocas comunes de resurtido, y el uso de diversos modos de transporte

3 Planteamiento del problema y conceptos fundamentales del modelado

Una de las corrientes de investigación más importantes en la cadena de suministro es la coordinación entre clientes y proveedores para acordar la cantidad a ordenar/producir (o el programa de abasto), así como el precio de compra de los productos (Mishra, 2004). A partir de investigaciones realizadas se ha concluido que la administración eficiente de la cadena de suministro requiere un enfoque integrado de los diferentes actores que la componen (Lambert y Gardner, 1996). Como parte de este enfoque, la colaboración se reconoce como una de las nuevas estrategias para lograr ventajas competitivas a través de la coordinación (Dyer y Singh, 1998).

Trabajar muy cercanamente entre proveedores y clientes, atendiendo la demanda y la oferta permite lograr beneficios para toda la cadena en su conjunto (Fisher, 1997). En particular, la reducción de los costos y la mejora de los niveles de servicio pueden obtenerse coordinando a los socios comerciales (cliente-proveedor) a través de la definición conjunta de las políticas de inventario y transporte (Tyworth, 1992).

En la actualidad, dada la dispersión geográfica de las empresas, es una práctica común que permitan a sus proveedores que los productos que fabrican les sean enviados, haciendo uso de distintos modos de transporte para apoyar los diversos tiempos de respuesta que proporciona cada modo. Dicha práctica la están aplicando diferentes empresas en México, aunque sin un análisis técnico y sólo basada en la urgencia del envío. La determinación de políticas de inventarios coordinadas que consideren explícitamente la selección del modo de transporte y su influencia, ha sido poco estudiada en la literatura. Para el caso del sector industrial mexicano, en particular el automotriz, que vende sus productos principalmente en Norteamérica y Europa, incurre en tiempos de viaje significativos que necesitan contar con mecanismos eficientes para permitir sincronizar políticas conjuntas de inventarios y transporte, en virtud de que los costos por almacenamiento de mercancías pueden representar cantidades importantes

Por lo anterior, en este capítulo se presenta a nivel de detalle el planteamiento del problema, así como el desarrollo y las consideraciones hechas para la formulación de los modelos que buscan fundamentar la interrelación de los criterios identificados en el contexto de negociación ExW y DDP.

La estructura de este capítulo, por tanto, se conforma de seis apartados principales. En el primero, se presenta una visión general del problema objeto de estudio; mientras que en el segundo, tercero y cuarto se lleva a cabo un análisis sobre la exposición y planteamiento del problema en el contexto del comercio internacional, del cual se detallan los *incoterms* ExW y DDP como marco general

del modelado; el quinto destaca el concepto de eficiencia de la combinación modal (o nivel de servicio) que se utiliza en este trabajo; al final se presenta un análisis del planteamiento del problema desde la óptica multicriterio, considerando los costos totales de la administración de inventarios y el nivel de servicio de transporte.

3.1 Exposición y planteamiento del problema de estudio

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, sino que debe buscarse a través de la gestión explícita de los procesos de negocios.

A pesar de la importancia y relevancia de las relaciones de colaboración, y las necesidades de coordinación, una investigación realizada de manera paralela al presente trabajo (Jiménez, 2004), pone de manifiesto que en México este tipo de prácticas logísticas no ha logrado desarrollarse del todo, pues reporta que los empresarios no se encuentran 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 y el desarrollo de interrelaciones más formales. Como resultado de esta situación, de acuerdo con datos del Gobierno mexicano, los costos logísticos a nivel global equivalen al 15% de su Producto Interno Bruto. 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 esta cifra, 40% se consigna al transporte, y 60% a inventarios y almacenaje. Estiman que parte de esta problemática se debe a la falta de una mejor coordinación entre clientes y proveedores (Ortega, 2004).

Por tal motivo, esta sección tiene como objetivo principal describir de manera pormenorizada el planteamiento del problema de investigación relacionado con la coordinación de los inventarios entre un cliente y un proveedor, considerando el suministro de productos a través de diversos modos de transporte en el contexto del comercio internacional, mediante la estrategia de gestión ECR con demanda dinámica, y políticas de descuento en el precio de los productos y en las tarifas de transporte.

3.1.1 Visión general del problema

La globalización y la dispersión geográfica de los miembros de la cadena de suministro obligan a las empresas a realizar grandes esfuerzos para la colaboración, con miras a mejorar su ventaja competitiva (Dyer y Singh, 1998; Simatupang y Sridhan, 2002). El trabajo conjunto y la colaboración han permitido

a las empresas obtener mejores retornos de la inversión y mejorar la administración de los inventarios (Walter, *et al*, 2000). Por ejemplo, en el sector de tiendas departamentales, el modelo CPFR (Parks, 2001) propicia que empresas como Wal-Mart y sus proveedores obtengan beneficios al realizar pronósticos conjuntos, planes de abasto y planeación realizados en forma colaborativa. Sin embargo, no hay una única estrategia o modelo de coordinación que haya mostrado su aplicabilidad en todos los sectores productivos.

Para el caso de sectores industriales como el automotriz, que tiene gran cantidad de SKU's (*Stock Keeping Unit*),¹ y gran abundancia de empresas abastecedoras, la aplicabilidad de modelos como el CPFR es limitada, ya que los proveedores se encuentran en diversas partes del mundo, y los tiempos de abastecimiento son grandes, por lo que un resurtido frecuente en muchos casos no es viable.

El hecho es que en diversos sectores industriales se presentan casos en que los componentes se abastecen por empresas que se encuentran en sitios alejados entre sí, formando grandes redes de suministro alrededor del mundo. Los envíos de estos componentes, entre plantas de producción y centros de distribución, o consumo (por ejemplo, ensamble), se efectúan a través de los modos de transporte disponibles (o cadenas de transporte) a los que están asociados diferentes costos y tiempos de recorrido.

Ante esto, el tomador de decisiones constantemente se enfrenta al problema de diseñar una estrategia de gestión de inventarios para compensar los costos de la cadena de suministro, buscando altos niveles de servicio. Dicho de otra manera, el problema se centra en que los gerentes quieren garantizar un alto nivel de disponibilidad de los componentes (nivel de servicio) y minimizar el nivel de inventario, sólo desde el punto de vista del costo.

3.1.2 La cadena de suministro y la cadena de transporte

Como ya se mencionó, muchos de los componentes se ensamblan (o consumen) en sitios muy distantes de su lugar de fabricación, y generalmente se abastecen por proveedores que realizan funciones de tercerización. El tiempo de ciclo para el suministro de los componentes en estos casos es muy variado, y puede llegar a ser tan grande que afecte la rentabilidad de las compañías que participan en el proceso (ya sea cliente o proveedor). El diseño de una cadena de suministro debe tener en cuenta esta consideración, y con mucho mayor razón si el tiempo que lleva el ensamblaje tiene una duración muy corta y cuando se dispone de la capacidad necesaria.

Una planta de ensamble (o almacén) puede estar situada en el mismo complejo industrial de su proveedor y no requerir un tiempo de ciclo mayor, o tener que elegir entre diferentes modos o cadenas de transporte. Sin embargo, el problema

¹ Es un término común que significa: "identificador numérico único", que se utiliza para referirse a un producto específico en el inventario o en un catálogo.

de un proveedor externo podría ser el de escoger entre el avión o el barco, y tener que determinar el tiempo de ciclo que cumpla con sus expectativas de abasto.

El transporte por avión podría requerir una semana; mientras que el barco, comprender varias veces el tiempo del primero; claro está, dependiendo de la distancia entre el origen y el destino de los productos, así como de la logística que se instrumente. En tal caso, el tipo de envío por uno u otro modo incluye los tiempos de carga y descarga, así como los tiempos correspondientes con las conexiones terrestres (que forman parte de las cadenas de transporte). Esto trae como consecuencia que se presenten transbordos de las mercancías en puertos y aeropuertos, o centros de almacenamiento (o, terminales de carga), los cuales afectan de manera importante el tiempo de ciclo en el suministro de los componentes.

3.1.3 Los costos y las medidas de desempeño

Los tipos de costos asociados con la operación de la cadena de suministro, y en particular con el sistema de inventarios, son los costos por emitir y procesar órdenes (*set up*) por mantenimiento de productos en almacenes y en tránsito (que bien pueden incluir: costos por obsolescencia o depreciación), así como los de transporte.

Debido a que el inventario en la cadena de suministro es financiado, los costos de almacenamiento se aplican al inventario en cualquier localización, o durante el tránsito de los productos entre dos eslabones de la cadena. El cargo financiero es proporcional al costo de mantenimiento de inventarios, y se expresa como un porcentaje del costo de los materiales por año.

Si un producto final no se vende antes de que termine su ciclo de vida, la pérdida de ingresos puede ser substancial. Algunos productos en este caso, sólo podrán ser vendidos como “saldos”; otros, deberán desmantelarse y vendidos por partes, o en el peor de los casos, amortizados (Beyer y Ward, 2000). Para estos autores, los componentes de un objeto final son menos vulnerables a la obsolescencia debido a que se utilizan en productos subsecuentes. Por ejemplo, en la industria de la computación, un disco duro normalmente se utiliza en múltiples productos finales dentro de su línea de producción (por ejemplo, ordenadores de diferentes modelos), haciendo que su ciclo de vida sea mucho más grande que el de algún otro en particular. En la industria del automóvil existen muchos ejemplos donde los componentes se diseñan a partir de este enfoque.

Cuando un producto final se vuelve obsoleto, en ocasiones una pequeña fracción de los costos de los materiales se recupera. Un hecho irrefutable es que el costo de un componente es mucho menor debido a que éste puede utilizarse en otros productos.

El precio de los componentes necesarios para la fabricación de productos finales, generalmente declina rápidamente durante el curso de su ciclo de vida. Por lo tanto, un artículo terminado en inventario (por ejemplo, de una semana a otra), podría haberse fabricado a un precio más bajo una semana después. Esta diferencia de precios, conocida como costo de depreciación, se aplica a cada unidad de inventario en cada período y ubicación de almacenamiento, convirtiéndose en un factor importante en el diseño de la política de suministros.

Por lo anterior, la política de suministro se convierte en un factor clave del desempeño de la cadena de suministro. Ciertamente, el tamaño del pedido determinará los costos por atender y procesar las órdenes (*set up*). En la medida que se establezca una política óptima de pedidos, los costos por mantenimiento de inventarios podrán ser minimizados también, tanto para el cliente como para el proveedor.

Los costos de transporte incluyen: la tarifa; seguros; costos de carga y descarga; y pago de derechos arancelarios (impuestos) en el caso de importaciones/exportaciones. Los costos por barco, generalmente se cotizan por contenedor embarcado; mientras, el de avión se cobra por paleta o tarima (*pallet*) con base en el peso y las dimensiones. Beyer y Ward (2000), señalan que las tarifas marítimas representan la quinta parte de las aéreas. La combinación con modos terrestres (por ejemplo, camión y ferrocarril), dan origen a diferentes combinaciones de costos totales por concepto de transporte.

En términos generales el desempeño de la cadena de suministro, actualmente se mide por la disponibilidad de productos en anaquel para su consumo; el porcentaje de órdenes cumplidas por unidad de tiempo, y los costos totales en los que se incurre. Hasta el momento, en el suministro de componentes (o productos finales) no se incluye la evaluación del servicio de transporte como medida de desempeño.

3.2 La coordinación de los inventarios y el uso combinado del transporte en el contexto internacional

Dentro de la decisión de abasto, un elemento crítico es la definición de políticas de inventario conjuntas que consideren explícitamente los largos tiempos de transporte, asociados a productos que se obtienen de proveedores localizados en otros continentes. La definición de estas políticas conjuntas requiere de establecer métricas comunes para proveedor, comprador, y transportista; el intercambio de información entre participantes; así como ceder al proveedor la decisión de cuándo es más conveniente surtir el producto, en qué cantidades y cómo transportarlo (combinación modal). Algunas de las ventajas de la coordinación de inventarios, para el caso de un cliente que adquiere diversos artículos de un mismo proveedor (equivalente a varios clientes con un proveedor

común), son: ahorros en costos unitarios de compra; ahorro en los costos unitarios de transporte; y ahorro en los costos por ordenar (Silver, *et al*, 1998).

La determinación de políticas de inventarios coordinadas, que consideren explícitamente la selección del modo de transporte, ha sido poco estudiada en la literatura a pesar de su importancia intrínseca. Para el caso del sector industrial mexicano, que adquiere/vende productos, principalmente de Norteamérica y Europa, los tiempos de viaje son significativos; por tanto, hace necesario contar con mecanismos eficientes que permitan definir las políticas conjuntas de inventarios y de selección de los modos de transporte, en virtud de que los costos por almacenamiento y tránsito de las mercancías pueden representar cantidades importantes. Adicionalmente, la importación/exportación de productos requiere que el proveedor y comprador acuerden el *incoterm* más conveniente, ya que su decisión influye en las políticas de inventarios debido a que los costos y tiempos de traslado se ven influenciados por quienes realicen el transporte y la importación/exportación.

En particular, el problema de la coordinación de los inventarios reside en que las empresas tratan de optimizar individualmente sus beneficios, muchas veces en perjuicio de su cliente o proveedor. Diseñan políticas de inventario, por ejemplo, sin considerar la capacidad de respuesta de su contraparte comercial o algún otro tipo de factor, como es el caso de la operación del transporte o tipo de negociación en el comercio internacional, creando un clima de incertidumbre que, de manera inmediata se refleja en altos costos logísticos para ambas partes.

Es común que la planeación de la producción, o colocación de órdenes (y sus envíos), se base en metas individuales y con un enfoque simplista basado sólo en el costo. Así, cuando el nivel de inventarios programado llega a estar por debajo de la meta programada, generalmente se coloca una orden urgente que deberá transportarse por el modo más rápido. En este caso, los gerentes de logística invariablemente escogerán el avión como modo de transporte; sólo cuando se tiene excedentes en los inventarios, por desaciertos en los pronósticos, utilizarán el marítimo. Como consecuencia de esta operación, podría suceder que la mayoría de los envíos se lleven a cabo por avión; y como resultado, la empresa obtendría el peor costo; eso sí, posiblemente con el mejor nivel de servicio de transporte.

En tal virtud, debido a la lejanía entre las empresas, la coordinación de inventarios puede verse más favorecida con el uso de más de un criterio de decisión (en este caso, costo total logístico y nivel de servicio de transporte). Así, el marco teórico sobre el uso de transporte (Benomyong y Beresford, 2001), reconoce que una combinación planificada de los modos de transporte puede arrojar menores costos, si se tiene en cuenta sus características operativas (por ejemplo, velocidad de entrega) y los diferentes niveles de servicio que ofrecen desde el punto de vista de sistema.

Por este motivo, de manera especial y de interés particular, se considera evaluar el efecto y el uso de diferentes modos de transporte en el proceso de abasto, por considerar que este elemento es uno de los factores que mayor influencia tiene sobre los costos totales en la gestión conjunta de los inventarios. Esto último lleva a proponer que el uso combinado de los modos de transporte puede evaluarse en términos de su operatividad y de sus atributos de servicio. En este trabajo, por ejemplo, se asume que la velocidad de entrega es uno de los factores principales del nivel de servicio; por tanto, se definen tres diferentes modos de transporte identificados como: rápido, medio y lento.

Adicionalmente a lo anterior, debido a que el intercambio comercial se lleva a cabo en un contexto internacional, constantemente las empresas se enfrentan a la disyuntiva de decidir los términos de comercialización más convenientes en la negociación (*incoterms*). Según sea el caso, se asume que los costos y niveles de servicio de transporte contratados, ya sea por el cliente o por el proveedor, tienen diferentes impactos en el desempeño de la cadena de suministro.

A continuación se detalla la operatividad de los *incoterms* ExW y DDP, con el propósito de tener una idea del efecto que presupone cierto tipo de negociación en el comercio internacional en el precio final de los productos. Cabe mencionar que dichos *incoterms* representan los casos extremos de las responsabilidades de negociación que adquieren el cliente y el proveedor.

3.3 *Incoterm ExW - Ex Work -en fábrica-*

El proveedor cumple su obligación una vez que pone la mercancía a disposición del comprador en su propio establecimiento o en otro lugar acordado (fábrica, taller, almacén, etc.), no siendo, por tanto, responsable de la carga de la mercancía en el vehículo proporcionado por el cliente, ni tampoco tiene obligación alguna en lo referente a seguros, transporte o despachos y trámites aduaneros de la mercancía. Este término define la menor obligación del proveedor, debiendo el cliente asumir todos los costos y riesgos relacionados con la recepción de la mercancía en el local del proveedor (véase figura 3.2). Es el único *incoterm* en el que el proveedor no despacha la aduana de exportación.

Existe la posibilidad de contratar una modalidad de ExW-Cargado, en la que el proveedor entrega la mercancía ya instalada en el camión, o medio de transporte proporcionado por el comprador. Este *incoterm* no se usa cuando el comprador no puede llevar a cabo las formalidades de exportación, ni directa ni indirectamente.



Figura 3.2
Incoterm ExW – Ex Work -

3.4 Incoterm DDP (Delivery Duty Paid) – en el local del cliente -

Representa la obligación máxima del proveedor. Éste cumple su obligación de entrega cuando ubica la mercancía en el punto de destino acordado a disposición del comprador, ya despachada de aduana de exportación e importación, y con todos los gastos pagados. El proveedor corre con los gastos y el riesgo hasta el momento de la entrega (véase figura 3.3).

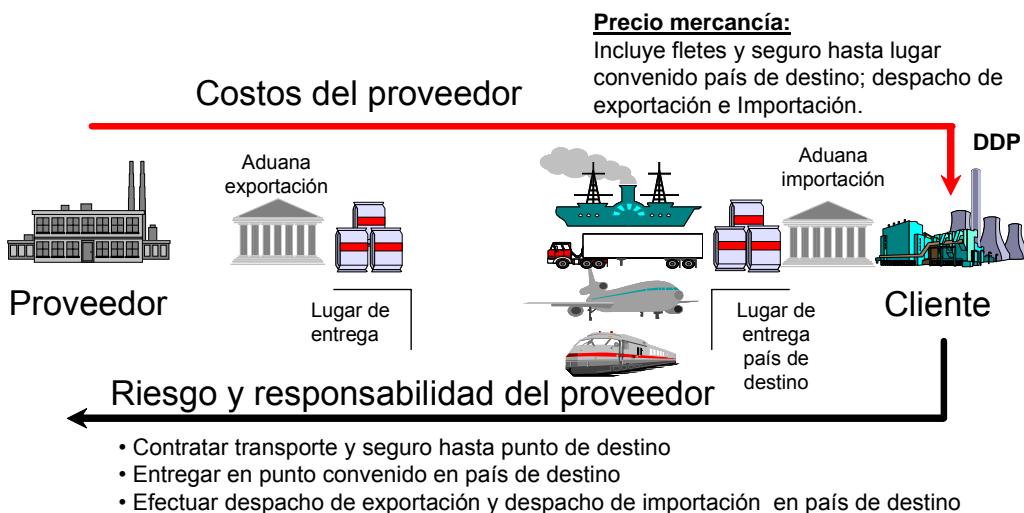


Figura 3.3
Incoterm DDP (Delivery Duty Paid)

Este término no se utiliza si el proveedor no puede, ni directa ni indirectamente, obtener la licencia de importación. En tal caso, se utilizará con independencia del medio de transporte elegido. Existe la posibilidad de excluir, mediante convenio expreso e indicándolo así en el *incoterm*, determinados conceptos de los gastos a realizar por el vendedor, dejando en este caso de ser pagados por él, pasando a ser abonados por el cliente.

Debido a que ambos *incoterms* representan el caso extremo de las diversas negociaciones comerciales en términos del lugar de entrega de las mercancías, que incluyen decisiones de transporte, así como los costos y responsabilidad de los agentes logísticos (cliente y proveedor), se prevé que pequeñas variaciones pueden implementarse en el modelado para efecto de conocer el comportamiento del fenómeno bajo estudio para el caso de los *incoterms* “intermedios” señalados en la figura 3.4.

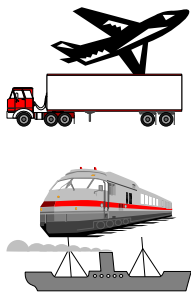
Cualquier modo de transporte, incluido el multimodal 	EXW	<i>Ex Works</i>	En fábrica (...lugar convenido)
	FCA	<i>Free Carrier</i>	Libre transportista (...lugar convenido)
	CPT	<i>Carriage Paid To</i>	Transporte pagado hasta (...lugar de destino convenido)
	CIP	<i>Carriage and Insurance Paid To</i>	Transporte y seguro pagados hasta (...lugar de destino convenido)
	DAF	<i>Delivered at Frontier</i>	Entregada en frontera (lugar convenido)
	DDU	<i>Delivered Duty Unpaid</i>	Entregada derechos no pagados (...lugar de destino convenido)
	DDP	<i>Delivered Duty Paid</i>	Entregada derechos pagados (...lugar de destino convenido)

Figura 3.4
Otros *incoterms* que pueden modelarse

Todos los costos incurridos en el proceso de transporte de las mercancías en el contexto internacional presuponen un efecto infalible en el precio final del producto, el cual influye de manera decisiva en la operatividad del esquema diseñado para la coordinación de inventarios. En definitiva, las actividades de traslado de la carga desde el punto de compra hasta el punto de consumo (o uso), agregan al producto ciertos costos logísticos que implican un análisis para la toma de decisiones. A manera de ejemplo, en la figura 3.5 se muestra el cambio que experimenta el precio de un producto según el tipo de *incoterm*.

En dicho gráfico se observa que la diferencia del precio de un producto en la planta del proveedor hasta que se pone en venta, es de 3.23 unidades monetarias (incluida la utilidad). Bajo un ambiente de negociación del *incoterm* ExW, el precio del producto para el cliente es 30 céntimos más, los cuales cubren el costo por colocar el producto por parte del proveedor, en el transporte designado por el cliente. Para el caso del *incoterm* DDP, el precio al cliente sufre un incremento de 3.08 unidades monetarias, las cuales cubren todos los gastos erogados por el proveedor por llevar el producto hasta el almacén del cliente.

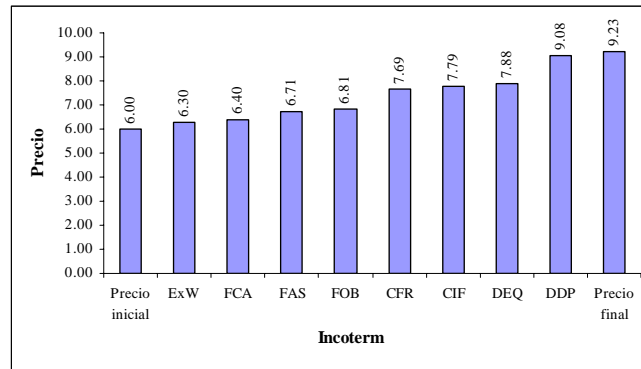


Figura 3.5
Ejemplo del cambio en el precio de un producto según el tipo de *incoterm*

Fuente: Córdoba (2001).

3.5 El concepto de eficiencia de la combinación modal

Cuando se habla del nivel de eficiencia ofrecido por cada modo de transporte, desde el punto de vista del usuario, se hace referencia en cierta forma a la impedancia percibida por el tomador de decisiones, la cual involucra variables como: tiempo de espera; tiempo en tránsito (vinculado con la velocidad y estado de los vehículos); confiabilidad; frecuencia; tarifas; pérdidas y daños; servicios adicionales (empaquete, documentación, seguimiento de la carga, acuerdos); etc. Algunos autores establecen que la tarifa (o costo de transporte sin utilidad, para el proveedor) es un reflejo de los atributos del servicio (Claramunt, *et al*, 1996; Duma, 1999).

La impedancia del transporte es un factor relacionado con la selección del tipo de transporte. Así, las diferentes alternativas para transportar mercancía conforman un conjunto de opciones con características exclusivas, y con atributos especiales que suscriben distintos niveles de impedancia, a la que se le llamará también *nivel de servicio*. Por su parte, el tamaño del embarque en cada modo se especifica como una función de los atributos del modo, de la mercancía y del mercado (Claramunt, *et al*, 1996). Desde el punto de vista operativo, se observa la existencia de una relación recíproca entre estos dos elementos del sistema de inventario.

En la práctica, los atributos mencionados se tienen en cuenta para medir la eficiencia del servicio de transporte; sin embargo, destaca la dificultad de medir la confiabilidad que el tomador de decisiones otorga a cada modo en particular, la cual se reconoce que tienen gran influencia en el juicio de la elección del modo de transporte.

Por otro lado, se denota que la distancia no sea un factor de decisión, ya que éste es un rasgo básico de la tarea de transporte que tiene que ser realizado de

cualquier manera; es decir, no es un factor cuestionable, y generalmente actúa sin ninguna corrección (Duma, 1999). Este autor establece que el trabajo necesario W_{mk} que desarrolla un modo de transporte m en el tramo k está definido por la cantidad Q_{imt} de producto i a través del modo de transporte m en el periodo t , multiplicado por el desplazamiento entre dos sitios (origen-destino, entre terminales, etcétera) que se encuentran a una distancia d_k , o sea:

$$W_{mk} = Q_{imt} \times d_k \quad (3.1)$$

Debido a que el tiempo en tránsito t_{1k} en el tramo k de la ruta, no está representado directamente con el trabajo de transporte, y dado que es una característica básica muy importante del servicio que actúa como un factor de resistencia al movimiento (impedancia), el desempeño de trabajo de transporte en tránsito D_{TRA} puede representarse como:

$$D_{TRA} = \frac{1}{\text{tiempo}} \text{Trabajo} = \frac{1}{t_{1k}} W_{mk} \quad (3.2)$$

En donde:

$$D_{TRA} = \frac{1}{t_{1k}} (Q_{imt} \times d_k) = Q_{imt} \times V \quad (3.3)$$

Por tanto, la decisión sobre la cantidad Q_{imt} de producto i que se envía por el modo de transporte m , está afectada por la velocidad de desplazamiento V de las mercancías por dicho modo; representando V un elemento del nivel de servicio cuantificable en términos de la rapidez con que se efectúa el trabajo de transporte.

Sin embargo, el procesamiento o manipulación de las mercancías en los sitios de trasbordo o transferencia, pueden causar un crecimiento de trabajo sin cubrir distancia alguna, tal y como se observa en la figura 3.6. En ese sentido, se demuestra que el trabajo realizado, no está únicamente en función lineal de la distancia.

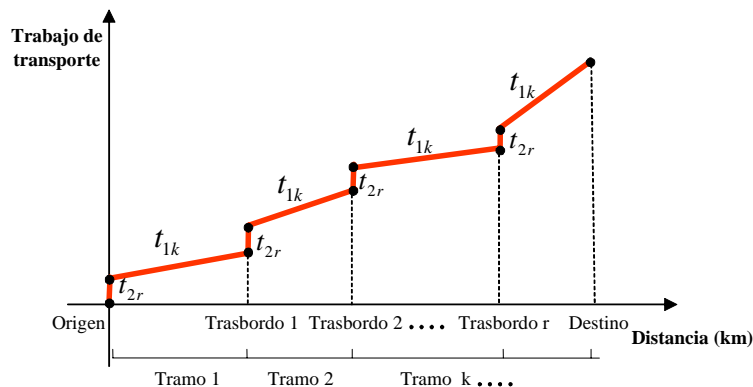


Figura 3.6
Función del trabajo de transporte

Fuente: Duma (1999).

En resumen, el desempeño del trabajo de transporte en sitios de trasbordo o transferencia D_{TRF} , es un factor adicional que debe considerarse, medido por el tiempo empleado t_{2r} en procesar la cantidad Q_{imt} de producto i , que se mueve por el modo de transporte m en el período t en la terminal de trasbordo r , definido como:

$$D_{TRF} = (1/t_{2r}) \cdot Q_{imt} \quad (3.4)$$

Por lo anterior, el nivel de servicio del transporte φ_m del modo m de transporte para mover la cantidad Q_{imt} de producto i , está en función directa con la distancia d_k , e inversamente proporcional al tiempo total de desplazamiento agregado, compuesto por el tiempo en tránsito en el tramo k y el tiempo de procesamiento de la carga en el sitio de trasbordo r , es decir:

$$\varphi_m = \frac{d_k}{t_{1k} + t_{2r}} \quad (3.5)$$

De esta manera, se deriva la atracción relativa de cada modo de transporte, y calibra la decisión del tomador de decisiones a la resistencia por seleccionar un modo de transporte.

3.6 Planteamiento del problema desde el punto de vista multicriterio

Los procesos de toma de decisiones se han visto analizados tradicionalmente con base en la definición de una función objetivo encargada de explicar el grado de deseabilidad que tiene cada alternativa para el tomador de decisiones, y aquella opción que da el valor óptimo para dicha función se selecciona como la solución óptima. Sin embargo, se ha reconocido que dicho enfoque presenta un marco teórico con importantes debilidades, pues es rara la actividad en la que el ser humano no tenga que tomar decisiones con múltiples criterios en conflicto, y no a uno sólo.

En la vida real, raramente se toman decisiones atendiendo a un único criterio, siendo más común intentar satisfacer varios objetivos diferentes, a la vez que normalmente se encuentran en conflicto. Así por ejemplo, determinar la política de abasto más conveniente es un objetivo común de las empresas para alcanzar una mayor eficiencia en la cadena de suministro. Entendiendo por eficiencia: cumplir con la demanda de los clientes, sin demoras y al menor costo. Hasta ahora, dicha política se ha limitado a la gestión de inventarios, bajo un enfoque poco flexible canalizado hacia la determinación del tamaño del lote óptimo utilizando como único criterio, el costo.

Para cumplir con este criterio, es común que los productos se muevan por los modos de transporte más económicos (“baratos”). Sin embargo, este enfoque continuamente se ve limitado debido a que el transporte utilizado resulta ser el menos eficiente, lento y de baja confiabilidad, es decir, con el peor nivel de servicio o tiempo de entrega; en consecuencia, se torna muy ineficiente.

Por otro lado, debido a las estrategias vigentes de gestión de inventarios, así como a los sistemas de producción y ensamble de productos finales, actualmente se están exigiendo entregas a tiempo, cantidades suficientes y altos niveles de servicio que requieren de un esquema que responda a dichas demandas. Una respuesta extrema para satisfacer los tiempos de entrega sería la de disponer de grandes inventarios en un almacén, o abastecer únicamente con modos de transporte rápidos (por ejemplo, avión); evidentemente, tal propuesta podría resultar un tanto irracional para casos habituales dado el costo específico que ello representa.

Cabe señalar que a pesar de que en la literatura científica paulatinamente se ha venido estudiado el tema de la gestión de inventarios y el transporte en forma conjunta (véase capítulo 4), el tiempo de entrega no ha sido considerado de manera explícita por los autores que han trabajado el tema; generalmente, dicho planteamiento es atendido y modificado en términos de costos. Ante este tipo de circunstancias, la consideración explícita de un nuevo enfoque es más que evidente, transformándose en un requisito insoslayable de la competitividad. En este sentido, el modelado multicriterio aporta la flexibilidad suficiente para lograr analizar el efecto de la toma de decisiones simultáneas sobre la política de inventarios y la elección del modo de transporte, desde un punto de vista del nivel de servicio como sistema, y no sólo operativo (por ejemplo, número de entregas puntuales). Para ser más específicos, el nivel de servicio en este contexto, se asume como el grado de impedancia que un centro de decisión experimenta para tomar la decisión por el uso de uno u otro modo (o cadena) de transporte.

En cierta forma, la impedancia de un modo de transporte, simplemente refleja el grado de resistencia que un tomador de decisiones percibe por seleccionar un modo en particular, en función de los atributos cuantitativos (tiempo en tránsito, tiempo de espera; tarifas; daños o pérdidas; etc.) y cualitativos (confiabilidad; seguridad; servicios conexos; etc.).

A diferencia del enfoque basado en un sólo criterio, el uso de un enfoque multicriterio permite obtener un cúmulo de posibles soluciones, de las cuales habrá que seleccionar aquella que cumpla con las expectativas de los tomadores de decisiones. En tal virtud, el estudio específico de los costos totales², derivados

² El concepto de costo total es uno de los instrumentos más importantes en la gestión de la cadena de suministro, y su propósito es crear un flujo eficiente de materiales por medio de la definición de un balance óptimo entre nivel de servicio y bajos costos logísticos. Los principales costos involucrados en el proceso logístico son: almacenaje, procesamiento de órdenes e información, cantidades producidas u ordenadas, inventario y transporte.

de la política de abasto, y el uso combinado de diferentes modos de transporte reflejado en el nivel de servicio desde un punto vista sistémico se convierte en una alternativa digna de análisis.

En la figura 3.7 se presenta un esquema hipotético sobre la interrelación de ambos criterios y su impacto sobre los costos del cliente. En el eje de las abscisas se indica el nivel de servicio del transporte (impedancia), mientras que en el eje de las ordenadas se indican los costos del proceso de suministro. Para efecto del análisis se asumen la siguientes simplificaciones: a) se considera que $N_{S_1} = N_{S_3}$ y $N_{S_2} = N_{S_4}$; y b) los diferentes tipos de costos (máximos y mínimos) se han colocado al mismo nivel, pero bien pueden ser distintos para un caso real.

En el cuadrante I se analizan los criterios de estudio; es decir, la curva que muestra el intercambio (*tradeoff*) entre el costo total de la gestión del sistema de inventarios *versus* nivel de servicio del transporte. En el cuadrante II, se analiza el costo en el que incurre el cliente por colocar órdenes. La curva en el cuadrante III, muestra el desarrollo de los costos por almacenar productos en el local del cliente, mientras que en el IV, se representan los correspondientes al inventario en tránsito.

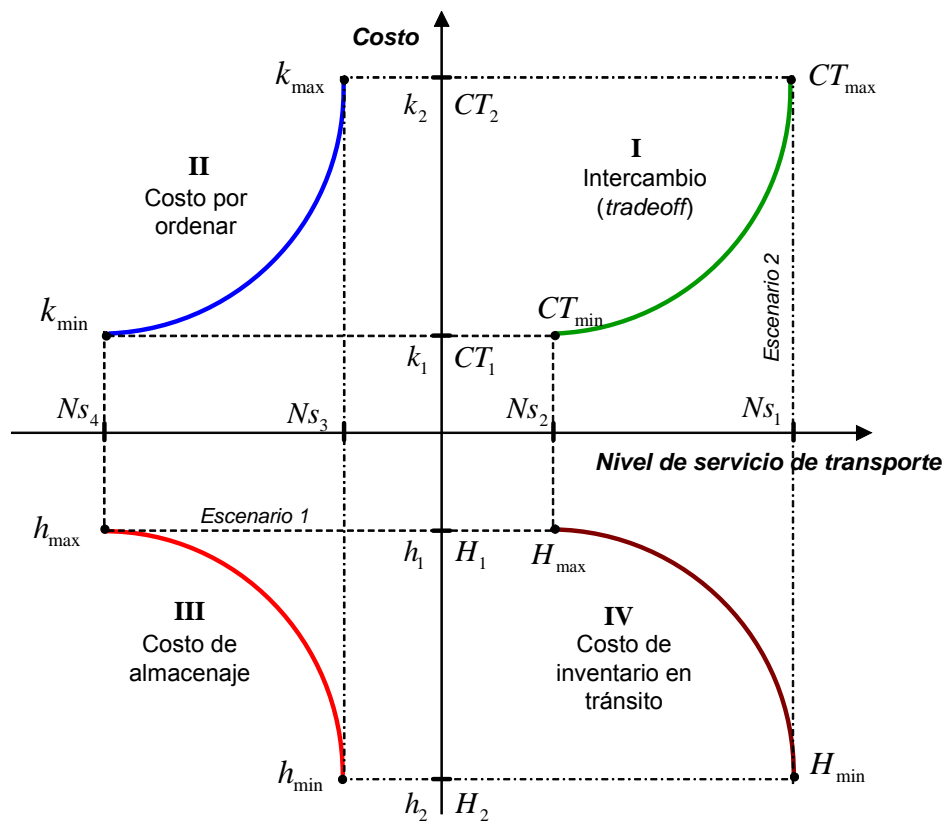


Figura 3.7
Esquema de interrelación de los criterios costo y nivel de servicio del transporte y su impacto en los costos relevantes del cliente

En un primer escenario, un cliente puede lograr el costo total mínimo CT_1 con el uso del modo de transporte más lento y barato (por ejemplo, barco) para mover sus productos que adquiere, planificando períodos de abasto más largos. Sin embargo, por las condiciones de operación de este modo de transporte (baja frecuencia de servicio, grandes volúmenes de carga, y tiempos de entrega muy grandes), obtendrá el peor nivel de servicio N_{s_2} ; como consecuencia, esta decisión le generará un alto costo de inventario en tránsito H_1 , y se verá en la necesidad de mantener ciertas cantidades de inventario en almacén, que se reflejará en un mayor costo h_1 por este concepto; esto último, con la intención de solventar los riesgos que conlleva este tipo de modo de transporte N_{s_4} . Ciertamente, el cliente puede lograr un menor costo por colocar un menor número de órdenes k_1 . El proveedor en este caso, se verá beneficiado por el envío de lotes grandes, reduciendo su costo fijo por procesar un menor número de pedidos del cliente.

Con el uso de modos de transporte más rápidos (por ejemplo, avión), en un segundo escenario las consecuencias serían “contrarias” al caso anterior: el cliente podría lograr el máximo nivel de servicio N_{s_1} , principalmente al mejorar sustancialmente el tiempo de entrega con modos de transporte más rápidos, pero con el mayor (peor) costo de transporte CT_1 , derivado de tarifas más elevadas y porque coloca órdenes más frecuentes y pequeñas a un costo k_2 , con un nivel de servicio N_{s_3} . Con ello, podría lograrse el costo mínimo de productos en almacén h_2 , y de inventario en tránsito H_2 debido a la velocidad de entrega con este modo de transporte. Para el cliente, este esquema le genera la ventaja de pedir su lote económico óptimo, lo cual podría implicar mayores costos fijos al proveedor por concepto de un aumento en el número de órdenes procesadas.

De esta manera, el problema reside en buscar el menor costo total en la gestión de inventarios, lo que implica necesariamente establecer ciertas condiciones logísticas y de coordinación, que permitan al mismo tiempo maximizar el desempeño del servicio de transporte. Como es evidente, se observa claramente la necesidad de compensar (*trade off*) un objetivo a favor del otro - costo *versus* nivel de servicio de transporte-. La búsqueda de un menor costo en la gestión de los inventarios implica determinar el sacrificio de nivel de servicio de transporte que se estaría dispuesto a incurrir; y viceversa.

Es relevante destacar que cuando existen múltiples criterios que compiten entre sí, y que son importantes, no existe una solución única la cual simultáneamente optimice todos los objetivos. El resultado se convierte en un conjunto de soluciones óptimas con una variación gradual de los valores de los objetivos. Por fortuna existen muchas otras soluciones compromiso que pueden facilitar la toma de decisiones (en la figura 3.7, son soluciones todos los puntos que forman la curva en el cuadrante I). Al respecto, clientes y proveedores podrán definir su posición sobre los criterios ya mencionados. En otras palabras, el tomador de

decisiones tendrá la oportunidad de evaluar su función de utilidad a partir de la preferencia que otorgue a uno u otro criterio. Conferir mayor importancia al nivel de servicio de transporte implica que sacrificará cierto costo por su decisión.

Por lo anterior, y para el caso específico de esta investigación, puede concretarse que la gestión de inventarios posee una orientación multicriterio en donde no sólo está enfocada a optimizar el tamaño del lote de abastecimiento, sino también a la combinación más apropiada de los modos de transporte que ofrezcan el mayor nivel de servicio al menor costo.

4 Formulación de los modelos para la coordinación de inventarios utilizando la estrategia ECR

La utilidad práctica del empleo de un modelo puede tener efecto, tanto en el incremento de la productividad como en el ahorro en costos, o incluso en la mejora de las decisiones que hay que tomar en el ámbito de la empresa. Sin embargo, no debe perderse de vista que el diseño específico de algún modelo en particular, sólo intenta ofrecer una perspectiva de un hecho o fenómeno del mundo real, que en ningún caso sustituirá, pero sí reforzará el buen juicio y punto de vista del tomador de decisiones. En la práctica, el uso de modelos matemáticos para la solución de los diferentes problemas que se presentan en la gestión de la cadena de suministro, se ha convertido en una herramienta muy poderosa en la actualidad.

Por lo antes dicho, el objetivo primordial de este capítulo es presentar el desarrollo de la propuesta para modelar la coordinación de inventarios multiproducto entre un cliente y un proveedor, evaluando de manera explícita la influencia de diferentes modos de transporte en el ámbito del comercio internacional. Los modelos aquí presentados se formulan en el contexto de la programación matemática multicriterio/multiobjetivo, cuya virtud principal es el de poder generar un abanico de soluciones para ayudar a la toma de decisiones. El concepto multicriterio se acepta en el trabajo porque se considera que en la vida real es rara la actividad en la que el ser humano no tenga que dar respuestas que atienden múltiples criterios, y no sólo uno. En la praxis empresarial, sobre todo, raramente se toma una decisión atendiendo exclusivamente un criterio; en general, se intenta satisfacer a la vez diversos objetivos, que normalmente entran en conflicto. Por tal motivo, la justificación de utilizar métodos multicriterio para la planificación del abastecimiento de los productos, obedece simplemente a tratar de cumplir con los diversos objetivos que se plantean las empresas que conforman las cadenas de suministro.

En general, los modelos se desarrollan en el contexto de la estrategia *épocas comunes de resurtido* (ECR) (Viswanathan y Piplani, 2001), considerando un proveedor de n productos; tres modos de transporte (identificados como: rápido, medio y lento); y un cliente. Se propone atender los criterios de costo total en la gestión de inventarios, y el nivel de servicio del transporte para determinar simultáneamente los niveles de productos a adquirir, y el modo de transporte más adecuado en cada período, cuando la demanda es determinista y dinámica, para dos diferentes tipos de *incoterms* (ExW y DDP) del comercio internacional.

A partir de la metodología diseñada en el capítulo 1, los elementos identificados en el marco teórico conceptual de la coordinación de la cadena de suministro (Jiménez, 2005, 2006a, 2006b, y 2006c), sintetizados el capítulo 2 de este

documento, se han podido determinar las bases científico-metodológicas para desarrollar los modelos que buscan dar solución al planteamiento del problema (capítulo 1), pensado en el contexto del sector automotriz (véase figura 4.1).

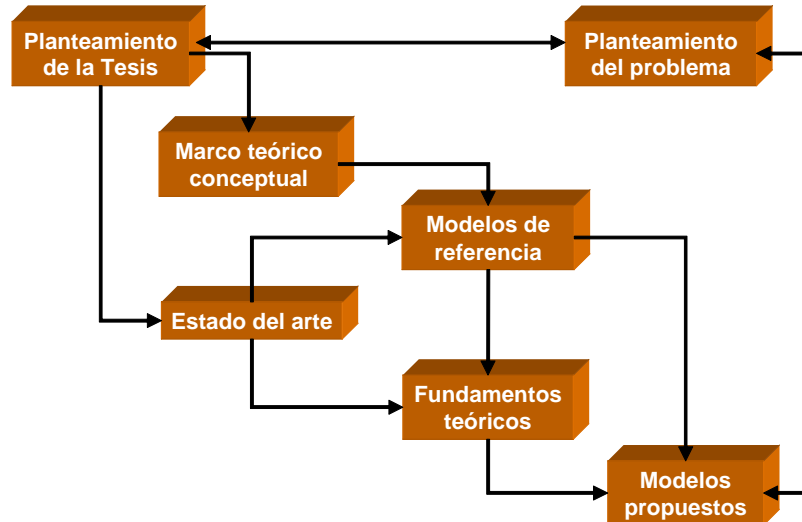


Figura 4.1
Marco metodológico para el desarrollo de la propuesta

Los modelos presentados para la coordinación de inventario extienden el desarrollado por Reyes y Gaytán (2003), pero ahora considerando de manera explícita el nivel de servicio de transporte para la elección del modo, considerado como un criterio adicional, para facilitar la toma de decisiones coordinadas de las cantidades a ordenar, los períodos de entrega y el modo de transporte a utilizar. Este nuevo planteamiento conforma los modelos de optimización multicriterio, los cuales tienen en cuenta dos objetivos fundamentales. El primero, relacionado con la minimización del costo total de suministro, que incluye tanto los de inventario, como los de transporte. El segundo, relacionado con la maximización del nivel de servicio que ofrece cada modo de transporte, y el que se usa para el traslado de los productos.

El desarrollo y exposición de este capítulo, prácticamente se enfoca a la formulación matemática de los modelos, la cual abarca el modelo semántico y el modelo matemático para los *incoterms* ExW y DDP; se extraen las características más relevante y se comparan contra los modelos de referencia (capítulo 2); al final, se presentan algunas reflexiones en torno a la modelación realizada.

4.1 Modelo semántico

El estudio por segmentos o descomposición de la cadena de suministro es una buena alternativa para definir políticas adecuadas de coordinación. Por esta razón, para el modelado de la coordinación de los inventarios, se representa la cadena de abastecimiento en su estructura básica conformada por un proveedor que abastece diferentes productos a un cliente, utilizando diversos modos o

cadena de transporte en un horizonte de planeación finito. El objetivo es determinar el tamaño del lote (Q_{im}) óptimo por cada modo de transporte, que minimice el costo total y maximice el nivel de servicio (véase figura 4.2).

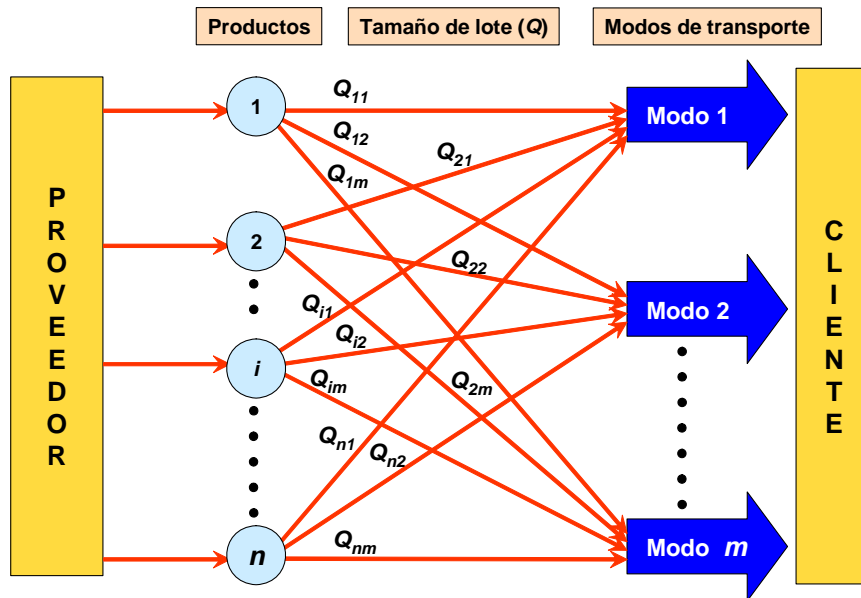


Figura 4.2
Modelo semántico: estructura básica de la cadena de suministro modelada para un período t dado

Dentro de los mecanismos de coordinación de inventarios existen estrategias basadas en los tiempos de resurtido, otras orientadas a cantidades y recientemente se han propuesto políticas híbridas (Centinkaya, *et al*, 2006). En este trabajo se implementa una estrategia de coordinación basada en tiempo, llamada *épocas comunes de resurtido* (ECR) (Viswanathan y Piplani, 2001). En el contexto de dicha estrategia, el problema busca abastecer n productos en períodos fijos de planeación, y lograr ahorros ($S\%$) sobre el costo óptimo de la política no coordinada del cliente. Se enfatiza que el proveedor incurre en un costo fijo por atender cada orden del cliente, y en un costo por abastecer cada producto que se incluye en el pedido. Debido a que el proveedor conoce los costos y los parámetros de la demanda de su cliente, puede anticipar su reacción y tomar una decisión óptima.

Al definir la estrategia se evalúa la conveniencia de surtir los productos, bajo los *incoterms*: EXW (*Ex Works*) y DDP (*Delivery Duty Paid*), y se elige el modo de transporte para los bienes. Como medidas de desempeño se consideran los costos totales (inventarios en almacén y en tránsito, fletes y costo de resurtido), y el nivel de servicio.³

³ Cabe recordar que el incoterm *Ex Work* establece la entrega de mercancías en la fábrica del proveedor (EXW, por sus siglas en inglés), mientras que el segundo contempla la entrega de los productos con derechos pagados en la planta del cliente, denominado *Delivered Duty Paid* (DDP, por sus siglas en inglés).

El modelo considera como principales variables de decisión el número base de períodos entre resurtidos, y el descuento que debe dar el proveedor al cliente, el cual asegura que al pedir éste en períodos específicos, se compense el costo extra por usar la política *ECR*; e inclusive se proporcione un descuento adicional sobre la política no coordinada. Así como descuentos de las tarifas de transporte de acuerdo con las cantidades de producto, definidas por la política de inventario (nivel de inventario y cantidad óptima de la orden). Permitiendo además, ayudar a la toma de decisiones sobre el nivel de servicio de transporte y del tipo de negociación del comercio internacional.

Para el caso del proveedor, se busca que el modelo minimice los costos por: a) procesar cada orden colocada por el cliente (*set up*); b) por atender el conjunto de órdenes de los n productos solicitados por el cliente; c) asumir el descuento aplicado al producto; iv) asumir el descuento aplicado al transporte; y d) maximizar el nivel de servicio del transporte. Estos dos últimos para el caso del *incoterm DDP*. Para el caso del cliente, se busca que el modelo minimice los costos por: a) colocar órdenes; b) almacenar productos; c) inventario en tránsito; d) de transporte; y e) maximizar el nivel de servicio del transporte; estos dos último para el caso del *incoterm ExW*.

A partir del planteamiento del problema para la coordinación de inventarios cliente-proveedor en el contexto descrito, surgen nuevos cuestionamientos de gran importancia que complementan a las preguntas de investigación y que se tendrán que responder; por ejemplo, ¿cuál deberá ser la política de inventario y de transporte?, es decir, ¿cuándo y cuántas ordenes debe colocar el cliente durante el horizonte de planeación que minimicen los costos conjuntos?; ¿cuál es el tamaño de la orden por tipo de producto en cada período?, ¿qué modo de transporte debe usarse para enviar sus productos, de tal forma que cumpla con el mínimo costo y los tiempos de entrega?; ¿qué cantidad y qué tipo de producto debe enviarse por cada una de las combinaciones modales de transporte posibles?, ¿el descuento en las tarifas de transporte y en el precio del producto podría ser un mecanismo de coordinación de inventarios y de modos de transporte para que el cliente o el proveedor tomen la decisión de coordinarse?; y ¿qué tipo de *incoterm* habrán de emplear las empresas a fin de mantener un equilibrio en los costos totales de ambas partes?

4.2 Formulación matemática de los modelos

A partir del modelo semántico y los cuestionamientos expresados, se presentan en esta sección los supuestos y el desarrollo detallado de la formulación matemática del problema multicriterio para la coordinación de inventarios.

4.2.1 Supuestos

El modelado de los *incoterms* (*EXW* y *DDP*) involucrados en el análisis, tiene en cuenta los siguientes supuestos generales:

Para el cliente:

- Experimenta una demanda determinista y dinámica. El cliente demanda una cantidad conocida variable de diferentes productos, durante un horizonte finito de T periodos.
- Incurrir en costos por mantener inventario y por generar cada orden de compra.
- Debido a que la demanda es determinista, los tiempos de entrega (*lead times*) de los productos están en función del modo de transporte empleado, definiéndose el esquema de planeación mostrado en la figura 4.3, en la cual se establece que los pedidos que se colocan al inicio del periodo t , pueden ser entregados al término de este periodo (t); al final del segundo ($t+1$), y tercer periodo ($t+2$); haciendo uso de los modos de transporte rápido, medio y lento, respectivamente.

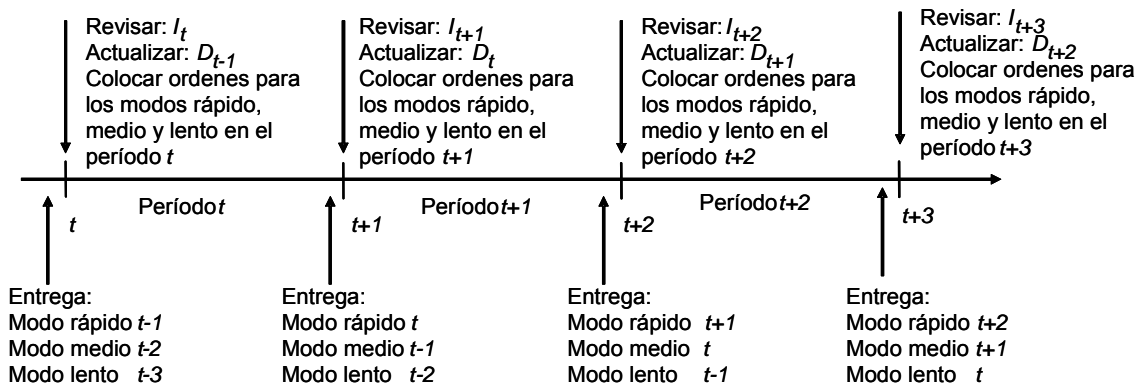


Figura 4.3

Tiempo de ciclo y decisiones de ordenar

Fuente: adaptado de Sethi, *et al.* (2005).

Otra manera de ver este plan especifica que los pedidos que llegan en el periodo actual t , se colocan en $t - m$ periodos antes (véase figura 4.4).

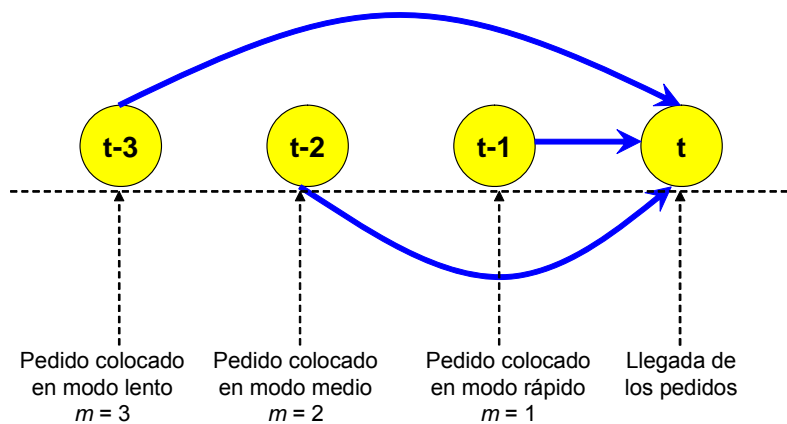


Figura 4.4

Pedidos colocados en $t - m$ periodos antes

- El cliente ordena la cantidad Q_{im} del producto i al inicio del período t , a través del modo m , $\forall i = 1, \dots, n; m = 1, \dots, M; t = 1, \dots, T(m)$.
- El inventario sobrante al final del período t del periodo del producto i , está dado por I_{it} , $\forall i = 1, \dots, n; t = 1, \dots, T(m)$.
- No se permiten faltantes; y el inventario al inicio y al final del horizonte de planeación es cero.

Sin coordinación *ECR*, el cliente coloca órdenes en los períodos y en las cantidades de acuerdo con su política óptima, con la ayuda de algún método exacto, como el de Wagner y Whitin (1958).

Para el proveedor

- Vende varios productos al cliente.
- Sin coordinación *ECR*, el proveedor incurre en un costo fijo total ($A_S + A_i$) por procesar cada orden del cliente A_S , y A_i si el producto i está incluido. Con coordinación, incurre en un costo A_i por cada orden procesada del producto i ; más un costo A_S por procesar un conjunto de órdenes, cada T_0 períodos (siempre y cuando el cliente haya hecho un pedido).
- Conoce la demanda de cada cliente, sus costos por ordenar y por mantener inventario; por tanto, puede determinar para un tiempo base T_0 en particular, los períodos en los que el cliente debe ordenar para minimizar sus costos. Como consecuencia, cuenta con la posibilidad de determinar el descuento mínimo z_{1i} sobre el precio de los productos v_i , para que cada cliente acepte la estrategia *ECR*.
- De igual manera, para el caso de una estrategia de comercialización del tipo DDP el proveedor cuenta con la posibilidad de distribuir los volúmenes de productos por diferentes modos de transporte. Ello le permite negociar mejores tarifas de transporte y ofrecer un descuento adicional z_{2m} sobre el costo del transporte. Para el caso del *incoterm ExWork*, lo anterior no es factible debido a que el cliente cubre cabalmente el costo total de transporte, y corresponde a éste llevar a cabo las negociaciones específicas.
- Por lo anterior, en el contexto del *incoterm* DDP y debido al ahorro en los costos de inventario y de transporte, al proveedor le permite compensar al cliente el incremento de los costos por usar la política *ECR*, por medio de un ahorro de $S_1\%$ sobre el costo total del inventario y un ahorro adicional de $S_2\%$ sobre el costo de transporte si no usara la coordinación *ECR*, y además decidiera el cliente negociar sobre la base de éste *incoterm*.

4.2.2 Notación empleada en la formulación matemática

Para el cliente y cada período $t \in \{1, \dots, T(m)\}$, se define lo siguiente:

4.2.2.1 Parámetros del modelo

- n = número de productos
- M = total de número de modos de transporte
- m = modo de transporte (o cadena de transporte)
- $T(m)$ = número de períodos del horizonte de tiempo, en función del modo de transporte (m). Para $m = 1, t = 1, \dots, T$; $m = 2, t = 1, \dots, T - 1$; $m = 3, t = 1, \dots, T - 2$
- k_{imt} = costo que incurre el cliente por ordenar el producto i por el modo m , en el período t
- h_i = costo del cliente por mantener inventario durante un período, una unidad de \$ del producto i [dado en, \$/(\$/período)]
- H_{im} = costo del cliente por mantener inventario en tránsito por el modo de transporte m , una unidad de \$ del producto i [dado en, \$/(unidad/período)]
- D_{it} = demanda del cliente del producto i en el período t [en unidades/período]
- v_i = costo unitario del producto i [dado en, \$/unidad]
- A_s = costo fijo para el proveedor por procesar una orden del cliente
- A_i = costo fijo para el proveedor por procesar una orden del producto i
- T_0 = número base de períodos entre resurtidos, tal que $T_0 \in \Omega$
- Ω = conjunto de valores posibles para el número base de períodos entre resurtidos T_0 , tal que $\Omega = \{x | 2 \leq x \leq T(m), x \text{ entero}\}$
- τ_m = tarifa de transporte del modo m , independiente del volumen
- S_1 = ahorro para el cliente sobre el costo total de no usar la coordinación ECR [dado en %]
- S_2 = ahorro en la tarifa de transporte para el cliente sobre el costo total de no usar la coordinación ECR, y negociar sobre la base del *incoterm DDP* [dado en %]
- R_{imt} = constante positiva elegida adecuadamente
- φ_m = denota el factor de impedancia o desempeño de modo de transporte m que percibe el tomador de decisiones, definido por la rapidez con que se realiza el trabajo de trasladar mercancías entre el origen y su destino final (incluye el tiempo en terminales intermodales de carga)

4.2.2.2 Variables de decisión

- I_{it} = inventario del producto i al final del período t [dado en, unidades/período]

Q_{imt} = cantidad ordenada por el cliente del producto i para ser surtida por el modo m al inicio del período t , $\forall i = 1, \dots, n; m = 1, \dots, M; t = 1, \dots, T(m)$ [dada en, unidades/período]

z_{1i} = descuento dado por el proveedor al cliente, para compensar el incremento en el costo por usar la estrategia ECR sobre el producto i , y además proporcionar un ahorro igual a $S_1\%$ sobre el costo total sin coordinación

z_{2m} = descuento adicional por lograr una mejor negociación de las tarifa de transporte (τ_m) para el total de mercancías que se mueven por el modo de transporte m , y además proporcionar un ahorro igual a $S_2\%$ sobre el costo total de transporte sin coordinación en el contexto del *incoterm* DDP

$$Y_{imt} = \begin{cases} 1, & \text{si } Q_{imt} > 0 \text{ para } t = 1, \dots, T(m) \\ 0, & \text{de otra manera} \end{cases}$$

4.3 Formulación del problema sin coordinación

Para llevar a cabo el modelado del problema y su evaluación se ha estimado conveniente desarrollar un primer modelo que permita determinar los valores de los criterios involucrados para el caso de que no exista una política coordinada de los inventarios.

Esto es, en ausencia de una política coordinada, el cliente adquiere sus productos de acuerdo con su política óptima individual, determinado por el modelo bicriterio no coordinado (MMNC), siguiente:

(MMNC)

$$\text{Min } g_{li}^{nC} = \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T k_{im} Y_{imt} + \sum_{t=1}^T h_i I_{it} + \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T H_{im} Q_{imt} + \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \tau_m Q_{imt} \quad (4.1)$$

$$\text{Max } g_{li}^{ef} = \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \varphi_m Q_{imt} \quad i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T(m) \quad (4.2)$$

Sujeto a:

$$I_{it} = I_{i,t-1} + \sum_{m=1}^M Q_{im,t-m+1} - D_{it} \quad i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T(m) \quad (4.3)$$

$$Q_{imt} \leq R_{imt} Y_{imt} \quad \text{con } R_{imt} = \sum_{t=1}^T D_{it} \quad i = 1, \dots, n; \quad m = 1, \dots, M; \quad t = 1, \dots, T(m) \quad (4.4)$$

$$I_{i,0} = 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (4.5)$$

$$Y_{imt} \in \{0, 1\} \quad i = 1, \dots, n; \quad m = 1, \dots, M; \quad t = 1, \dots, T(m) \quad (4.6)$$

$$I_{it}, Q_{imt} \geq 0 \quad \text{entero} \quad i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T(m) \quad (4.7)$$

A partir de este modelo, se deriva el costo fijo del cliente por ordenar el producto i , por el modo m en el período t .

$$g_i^{pnC} = \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T k_{imt} Y_{imt} + \sum_{t=1}^T h_i I_{it} \quad i = 1, \dots, n \quad (4.8)$$

Y su costo de transporte por mover el producto i , por el modo m

$$g_{2m}^{nC} = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T \tau_m Q_{imt} \quad m = 1, \dots, M \quad (4.9)$$

El modelo se encuentra inmerso en el contexto de los llamados modelos multicriterio (multiobjetivo), y busca minimizar los costos totales del cliente g_{li}^{nC} , y a la vez maximizar la eficiencia g_{li}^{ef} combinada de diversos modos de transporte para cubrir las expectativas de su demanda. Así, el primer criterio (ec. 4.1), relacionado con la minimización del costo total de inventario y transporte, involucra el costo por ordenar; el costo por almacenar los productos; el costo del inventario en tránsito por modo de transporte; y el costo mismo de transporte (tarifa). Cabe señalar que el costo por comprar se asume como aquel que permanece constante a lo largo del período de estudio, y que no cambia para el caso de un ambiente coordinado. El segundo criterio (ecuación 4.2) está relacionado con la eficiencia del transporte, y trata de motivar el uso del modo más adecuado para el traslado de los productos, de acuerdo con su nivel de desempeño o grado de impedancia percibido por el tomador de decisiones.

La restricción 4.3 constituye una ecuación de balance de inventarios, la cual explica que la cantidad de inventario al final del período actual es igual al inventario final del período inmediato anterior, más la cantidad abastecida por el proveedor, utilizando diferentes modos de transporte en el período actual, menos la demanda experimentada por el cliente. La condición 4.4 asegura que el cliente incurrirá en un costo al ordenar únicamente cuando pidan el producto i por el modo m en el período t . La 4.5 inicializa los inventarios a cero al comienzo del horizonte de planeación. Las restricciones 4.6 y 4.7 especifican los tipos de variables.

Sin usar la política ECR, el proveedor incurre en un costo A_s por procesar cada orden de su cliente, y en un costo A_i si el producto i se incluye en la orden. De esta manera, el costo por procesar todas las órdenes de compra del cliente y de los n productos durante un horizonte de T períodos, se calculan con:

$$g_0^{nC} = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_s X_{it} + \sum_{t=1}^T A_i Y_{imt} \quad (4.10)$$

Siendo los valores de las variables X_{it} correspondientes con la solución del modelo MMNC. En tal virtud:

$$X_{it} = \begin{cases} 1, & \text{si } \sum_{m=1}^M Y_{imt} > 0 \quad \text{para } t = 1, \dots, T(m) \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (4.11)$$

$M_1, M_2 =$ constantes positivas elegidas adecuadamente

4.4 Formulación del problema coordinado en el contexto del *inconterm* ExW

Considerando ahora que el cliente y el proveedor asumen la estrategia *ECR* para coordinar sus inventarios, el cliente, en este caso, sólo podrá realiza sus pedidos al proveedor en múltiplos del período base. Sin embargo, si no le conviene, el cliente queda en libertad de no colocar el pedido en algún período. Asumiendo que la demanda del primer período es positiva para el cliente, a partir de dicho período podrá realizar sus pedidos de compra solamente cada cierto múltiplo de T_0 de tal forma que se minimicen los costos totales del sistema. Formalmente los pedidos del cliente pueden ocurrir en los períodos:

$$\{1, 1+T_0, 1+2T_0, \dots, 1+\alpha T_0\} \quad \text{siendo } \alpha = \left\lfloor \frac{T(m)-1}{T_0} \right\rfloor \quad (4.12)$$

Bajo el contexto del *incoterm* ExWork, el mínimo costo total para el proveedor utilizando la estrategia *ECR* y el máximo valor de la eficiencia global de transporte, durante el horizonte finito de T períodos, está dado por el siguiente modelo bicriterio de optimización lineal entera:

(MMC-ExW)

$$\text{Min } g_0^{\text{CoExW}} = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_s X_{it} + \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T A_i Y_{imt} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T D_{it} v_i z_{li} \quad (4.13)$$

$$\text{Max } g_0^{\text{efExW}} = \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \varphi_m Q_{imt} \quad (4.14)$$

Sujeto a:

$$\sum_{t=1}^T D_{it} v_i z_{li} = \left[\left(\sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T k_{imt} Y_{imt} + \sum_{t=1}^T h_i I_{it} \right) - g_i^{\text{pmc}} (1 - S_i) \right] \quad i = 1, \dots, n \quad (4.15)$$

$$I_{it} = I_{i,t-1} + \sum_{m=1}^M Q_{im,t-m+1} - D_{it} \quad i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T(m) \quad (4.16)$$

$$Q_{imt} \leq R_{imt} Y_{imt} \quad \text{con } R_{imt} = \sum_{t=1}^T D_{it} \quad i = 1, \dots, n; \quad m = 1, \dots, M; \quad t = 1, \dots, T(m) \quad (4.17)$$

$$I_{i,0} = 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (4.18)$$

$$Y_{imt} = 0 \quad i = 1, \dots, n; \quad t \neq \{1, 1+T_0, 1+2T_0, \dots, 1+\alpha T_0\} \quad (4.19)$$

$$\text{siendo } \alpha = \left\lfloor \frac{T(m)-1}{T_0} \right\rfloor; \quad m = 1, \dots, M; \quad t = 1, \dots, T(m)$$

$$\sum_{m=1}^M Y_{imt} \leq M_1 X_{it} \quad \text{con } M_1 = n \quad i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T(m) \quad (4.20)$$

$$Y_{imt}, X_{it} \in \{0, 1\} \quad i = 1, \dots, n; \quad m = 1, \dots, M; \quad t = 1, \dots, T(m) \quad (4.21)$$

$$I_{it}, Q_{imt} \geq 0 \text{ entero} \quad i = 1, \dots, n; \quad m = 1, \dots, M; \quad t = 1, \dots, T(m) \quad (4.22)$$

$$z_{ii} \geq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (4.23)$$

$$T_0 \in \Omega \quad \text{donde } \Omega \text{ está formado por los elementos del conjunto:} \\ \{x \mid 2 \leq x \leq T(m), \text{ entero}\} \quad (4.24)$$

La función 4.13 representa el costo mínimo del proveedor, el cual incurre por atender el pedido del cliente y de los productos, en particular los solicitados por éste, así como los costos que debe absorber por compensar el hecho de que el cliente aceptó la estrategia ECR. Por su parte, la función 4.14 representa la eficiencia global de transporte por el uso combinado de diferentes modos.

La restricción 4.15 garantiza que el descuento z_{ii} aplicado a cada uno de los productos compensa con un ahorro $S_1\%$ sobre el costo g_i^{pnC} , el incremento por tener más inventario y/o generar más ordenes de compra al no pedir con base en su política individual. La 4.16 constituye una ecuación de balance de inventarios. La restricción 4.17 asegura que el cliente incurrirá en un costo por ordenar solamente cuando pide una o más unidades del producto i . La 4.18 inicializa los inventarios a cero al inicio del período de planeación. La condición 4.19 garantiza que no se generen ordenes de compra en períodos que no sean múltiplos de T_0 . La 4.20 asegura 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 restricciones 4.21, 4.22, 4.23 y 4.24 indican el tipo de variables del modelo. La 4.28 asegura que los valores de T_0 corresponde a un conjunto de unidades predefinido por el proveedor.

4.5 Modelado de la coordinación “épocas comunes de resurtido” (ECR)

Una manera de modelar la condición 4.20 es introduciendo una variable binaria P_{T_0} , tal que:

$$P_{T_0} = \begin{cases} 0 & \text{si } Y_{imt} = 0 \text{ para } t \neq \{1, 1+T_0, 1+2T_0, \dots, 1+\alpha T_0\} \text{ siendo } \alpha = \left\lfloor \frac{T(m)-1}{T_0} \right\rfloor \\ 1 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (4.25)$$

$$i = 1, \dots, n; \quad m = 1, \dots, M; \quad t = 1, \dots, T(m); \quad T_0 \in \Omega$$

Para lograr la 4.23 debe cumplirse la siguiente expresión:

$$\sum_{k=2}^{T_0} Y_{imk} + \sum_{k=T_0+2}^{2T_0} Y_{imk} + \sum_{k=2T_0+2}^{3T_0} Y_{imk} + \dots + \sum_{k=rT_0+2}^w Y_{imk} \leq P_{T_0} M_2 \quad i = 1, \dots, n; m = 1, \dots, M; T_0 \in \Omega \quad (4.26)$$

$$\text{con } M_2 = T - 1, \quad r = \left\lfloor \frac{T(m) - 2}{T_0} \right\rfloor, \quad w = \min \{(r + 1)T_0, T(m)\}$$

$$\sum_{T_0 \in \Omega} P_{T_0} = (H - 1) \quad \text{en donde } H \text{ es igual al número de elementos de } \Omega \quad (4.27)$$

$$P_{T_0} \in \{0, 1\} \quad T_0 \in \Omega \quad (4.28)$$

Para resolver el modelo anterior, las restricciones 4.26, 4.27 y 4.28 se utilizan en lugar de la restricción 4.19. Es importante señalar que de la restricción 4.27 puede deducirse que el valor de T_0 , que el modelo de las ecuaciones 4.13 a 4.28 arroje como el óptimo, será aquel para el cual $P_{T_0} = 0$.

El modelo completo, ya modificado, queda como se presenta a continuación:

(MMC-ExW-1)⁴

$$\text{Min } g_0^{\text{CoExW}} = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_s X_{it} + \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T A_i Y_{imt} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T D_{it} v_i z_{1i} \quad (4.13)$$

$$\text{Max } g_0^{\text{efExW}} = \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \varphi_m Q_{imt} \quad (4.14)$$

Sujeto a:

$$\sum_{t=1}^T D_{it} v_i z_{1i} = \left[\left(\sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T k_{imt} Y_{imt} + \sum_{t=1}^T h_i I_{it} \right) - g_i^{\text{pnC}} (1 - S_1) \right] \quad i = 1, \dots, n \quad (4.15)$$

$$I_{it} = I_{i,t-1} + \sum_{m=1}^M Q_{im,t-m+1} - D_{it} \quad i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T(m) \quad (4.16)$$

$$Q_{imt} \leq R_{imt} Y_{imt} \quad \text{con } R_{imt} = \sum_{t=1}^T D_{it} \quad i = 1, \dots, n; \quad m = 1, \dots, M; \quad t = 1, \dots, T(m) \quad (4.17)$$

$$I_{i,0} = 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (4.18)$$

$$\sum_{k=2}^{T_0} Y_{imk} + \sum_{k=T_0+2}^{2T_0} Y_{imk} + \sum_{k=2T_0+2}^{3T_0} Y_{imk} + \dots + \sum_{k=rT_0+2}^w Y_{imk} \leq P_{T_0} M_2 \quad i = 1, \dots, n; \quad m = 1, \dots, M; \quad T_0 \in \Omega \quad (4.26)$$

$$\text{con } M_2 = T - 1, \quad r = \left\lfloor \frac{T(m) - 2}{T_0} \right\rfloor, \quad w = \min \{(r + 1)T_0, T(m)\}$$

⁴ Por respetar el número original en la formulación de la ecuación, la secuencia aparece discontinua en este problema modificado.

$$\sum_{T_0 \in \Omega} P_{T_0} = (H - 1) \quad \text{en donde } H, \text{ es igual al número de elementos de } \Omega \quad (4.27)$$

$$P_{T_0} \in \{0, 1\} \quad T_0 \in \Omega \quad (4.28)$$

$$\sum_{m=1}^M Y_{imt} \leq M_1 X_{it} \quad \text{con } M_1 = n \quad i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T(m) \quad (4.20)$$

$$Y_{imt}, X_{it} \in \{0, 1\} \quad i = 1, \dots, n; \quad m = 1, \dots, M; \quad t = 1, \dots, T(m) \quad (4.21)$$

$$I_{it}, Q_{imt} \geq 0 \quad \text{entero} \quad i = 1, \dots, n; \quad m = 1, \dots, M; \quad t = 1, \dots, T(m) \quad (4.22)$$

$$z_{1i} \geq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (4.23)$$

$$T_0 \in \Omega \quad \text{donde } \Omega \text{ está formado por los elementos del conjunto:} \\ \{x \mid 2 \leq x \leq T(m), \text{ entero}\} \quad (4.24)$$

El costo g_1^{CoExW} del cliente utilizando la estrategia ECR, se obtiene a partir de la solución del modelo 4.13-4.28, usando la siguiente expresión:

$$g_1^{CoExW} = \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T k_{imt} Y_{imt} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T h_i I_{it} - \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T D_{it} v_i z_{1i} + \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T H_{im} Q_{imt} + \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \tau_m Q_{imt}$$

$$g_1^{CoExW} = \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T [k_{imt} Y_{imt} + H_{im} Q_{imt} + \tau_m Q_{imt}] + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T [h_i I_{it} - D_{it} v_i z_{1i}] \quad (4.29)$$

4.6 Formulación del problema coordinado en el contexto del *incoterm* DDP

Bajo el contexto del *incoterm* DDP, el mínimo costo total para el proveedor utilizando la estrategia ECR durante el horizonte finito de T periodos, el modelo bicriterio de optimización lineal entera conlleva las siguientes principales modificaciones:

(MMC-DDP)

$$\text{Min } g_0^{CoDDP} = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_s X_{it} + \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T A_i Y_{imt} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T D_{it} v_i z_{1i} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T D_{it} \tau_m z_{2m} + \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \tau_m Q_{imt} \quad (4.30)$$

$$\text{Max } g_0^{efDDP} = \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \varphi_m Q_{imt} \quad (4.31)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T D_{it} \tau_m z_{2m} = \left[\sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \tau_m Q_{imt} - g_{2m}^{nC} (1 - S_2) \right] \quad i = 1, \dots, n \quad (4.32)$$

$$z_{2m} \geq 0 \quad m = 1, \dots, M \quad (4.33)$$

En donde la función 4.30 [que modifica a la 4.13] representa el costo mínimo del proveedor, quien además de absorber los costos ya señalados en el escenario ExW, incluye el costo que debe asumir por proporcionar un descuento al cliente por concepto de transporte $S_2\%$. Para ser más específicos, es importante recordar que en el contexto DDP el proveedor se hace cargo de entregar las mercancías en la planta del cliente, incluyendo generalmente este costo en el precio del producto, situación que no ocurre en el contexto ExW. De esta manera, en el escenario DDP el proveedor posee cierto control sobre el transporte de las mercancías generándose la posibilidad de otorgar un descuento adicional por este concepto z_{2m} .

Por lo anterior, la restricción 4.32 surge como un imperativo para garantizar el descuento sobre los costos incurridos sin coordinación g_{2im}^{nC} por los productos transportados por el modo m , como parte de una mejor negociación de las tarifas por efecto de los volúmenes de carga, y una mayor coordinación de los envíos.

El modelo completo para la coordinación de inventarios en el contexto del *incoterm* DDP queda de la siguiente manera (véase, ⁵):

(MMC-DDP-1)

$$\text{Min } g_0^{CoDDP} = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_S X_{it} + \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T A_i Y_{imt} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T D_{it} v_i z_{1i} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T D_{it} \tau_m z_{2m} + \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \tau_m Q_{imt} \quad (4.30)$$

$$\text{Max } g_0^{efDDP} = \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \varphi_m Q_{imt} \quad (4.31)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T D_{it} \tau_m z_{2m} = \left[\sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \tau_m Q_{imt} - g_{2m}^{nC} (1 - S_2) \right] \quad i = 1, \dots, n \quad (4.32)$$

$$\sum_{t=1}^T D_{it} v_i z_{1i} = \left[\left(\sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T k_{imt} Y_{imt} + \sum_{t=1}^T h_i I_{it} \right) - g_i^{pnC} (1 - S_1) \right] \quad i = 1, \dots, n \quad (4.15)$$

$$I_{it} = I_{i,t-1} + \sum_{m=1}^M Q_{im,t-m+1} - D_{it} \quad i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T(m) \quad (4.16)$$

$$Q_{imt} \leq R_{imt} Y_{imt} \quad \text{con } R_{imt} = \sum_{t=1}^T D_{it} \quad i = 1, \dots, n; \quad m = 1, \dots, M; \quad t = 1, \dots, T(m) \quad (4.17)$$

$$I_{i,0} = 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (4.18)$$

$$\sum_{k=2}^{T_0} Y_{ink} + \sum_{k=T_0+2}^{2T_0} Y_{ink} + \sum_{k=2T_0+2}^{3T_0} Y_{ink} + \dots + \sum_{k=rT_0+2}^w Y_{ink} \leq P_{T_0} M_2 \quad (4.26)$$

$$i = 1, \dots, n; \quad m = 1, \dots, M; \quad T_0 \in \Omega$$

⁵ Debido a que se está respetando el número original de la formulación de las ecuaciones, la secuencia aparece discontinua en este problema modificado.

$$\text{con } M_2 = T - 1, \quad r = \left\lfloor \frac{T(m) - 2}{T_0} \right\rfloor, \quad w = \min \{(r + 1)T_0, T(m)\}$$

$$\sum_{T_0 \in \Omega} P_{T_0} = (H - 1) \text{ en donde } H \text{ es igual al número de elementos de } \Omega \quad (4.27)$$

$$P_{T_0} \in \{0, 1\} \quad T_0 \in \Omega \quad (4.28)$$

$$\sum_{m=1}^M Y_{imt} \leq M_1 X_{it} \quad \text{con } M_1 = n \quad i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T(m) \quad (4.20)$$

$$Y_{imt}, X_{it} \in \{0, 1\} \quad i = 1, \dots, n; \quad m = 1, \dots, M; \quad t = 1, \dots, T(m) \quad (4.21)$$

$$I_{it}, Q_{imt} \geq 0 \text{ entero} \quad i = 1, \dots, n; \quad m = 1, \dots, M; \quad t = 1, \dots, T(m) \quad (4.22)$$

$$z_{1i} \geq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (4.23)$$

$$T_0 \in \Omega \quad \text{donde } \Omega \text{ está formado por elementos del conjunto:} \\ \{x \mid 2 \leq x \leq T(m), \text{ entero}\} \quad (4.24)$$

$$z_{2m} \geq 0 \quad m = 1, \dots, M \quad (4.33)$$

Por lo anterior, a partir de la sustitución de estas modificaciones en el modelo *MMC-ExW* [ecuaciones 4.13 a 4.28], el costo g_1^{CoDDP} del cliente (utilizando la estrategia *ECR*) se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$g_1^{CoDDP} = \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T k_{imt} Y_{imt} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T h_i I_{it} - \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T D_{it} v_i z_{1i} - \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T D_{it} \tau_m z_{2m} + \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T H_{im} Q_{imt} \\ g_1^{CoDDP} = \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T [k_{imt} Y_{imt} + H_{im} Q_{imt} - D_{it} \tau_m z_{2m}] + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T [h_i I_{it} - D_{it} v_i z_{1i}] \quad (4.34)$$

El modelado de los *incoterms* denominados como “intermedios”, pueden ser también simulados con la identificación proporcional del lugar acordado donde se lleve a cabo el traslado de los costos de transporte entre el cliente y el proveedor. Para el modelo no coordinado (*MMNC*), el costo total de sistema se determina por la suma de los costos del proveedor y el cliente de la siguiente manera:

$$CT_S^{nC} = \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T k_{imt} Y_{imt} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T h_i I_{it} + \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T H_{im} Q_{imt} + \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \tau_m Q_{imt} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_S X_{it} + \sum_{i=1}^n A_i Y_{imt} \quad (4.35)$$

Para cada función de desempeño de transporte: g_{1i}^{ef}

Para el modelo coordinado (*MMC-ExW*) en el escenario del *incoterm* *ExW*, el costo total de sistema se determina por la suma de los costos del proveedor y el cliente, de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 CT_S^{CoExW} &= \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_S X_{it} + \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T A_i Y_{imt} + \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T k_{imt} Y_{imt} \\
 &\quad + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T h_i I_{it} + \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T H_{im} Q_{imt} + \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \tau_m Q_{imt} \\
 CT_S^{CoeXw} &= \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T [A_S X_{it} + h_i I_{it}] + \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T [A_i Y_{imt} + k_{imt} Y_{imt} + H_{im} Q_{imt} + \tau_m Q_{imt}] \quad (4.36)
 \end{aligned}$$

Para cada función de desempeño de transporte: g_0^{efExW}

Para el modelo coordinado (MMC-DDP) en el escenario del *incoterm* DDP, el costo total de sistema se determina por la suma de los costos del proveedor y el cliente, de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 CT_S^{CoDDP} &= \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_S X_{it} + \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T A_i Y_{imt} + \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T k_{imt} Y_{imt} \\
 &\quad + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T h_i I_{it} + \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T H_{im} Q_{imt} + \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \tau_m Q_{imt} \\
 CT_S^{CoDDP} &= \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T [A_S X_{it} + h_i I_{it}] + \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T [A_i Y_{imt} + k_{imt} Y_{imt} + H_{im} Q_{imt} + \tau_m Q_{imt}] \quad (4.37)
 \end{aligned}$$

Para cada función de desempeño de transporte: g_0^{efDDP}

4.7 Tipificación de los modelos propuestos

Por el hecho de que los modelos buscan minimizar el costo total por la gestión de inventarios y maximizar el nivel de servicio de transporte, en primer lugar puede decirse que se encuentran inmersos en un esquema multicriterio, formulado como un problema de programación matemática entera. En términos generales, ambos criterios son incompatibles y se encuentran en conflicto, provocando que el tomador de decisiones se enfrente con problemas de selección de las alternativas asociadas a dichos criterios. El planteamiento de ambos criterios da lugar a dos funciones de valor de carácter lineal, y por tanto, convexas (véase, Bazaraa y Jarvis, 1990).

El dominio de las variables de los modelos propuestos, básicamente se encuentran circunscritos a valores enteros, y debe cumplirse con un conjunto de restricciones lineales. Los datos del modelo son deterministas, y su temporalidad es dinámica.

Al incrementarse el número de funciones de valor, la cantidad de productos n , el número de períodos T y el número de modos de transporte m , la complejidad del modelo crece en forma cuadrática de la siguiente forma: para el modelo ExW, el número de variables es igual a $2nT+n+4nmT-3$, y el número de restricciones $3n+2nT+nmT+5nm+1$; para el modelo DDP, $2nT+n+4nmT-3+m$ y $3n+2nT+nmT+5nm+1+m$, respectivamente. En consecuencia, el tiempo que necesita para resolver el problema de optimización aumenta considerablemente al tener un mayor número de variables y restricciones involucradas; además los modelos de programación entera multiobjetivo, son mucho más complejos para resolver que los problemas continuos. El cuadro 4.1 resume las características más relevantes.

Cuadro 4.1
Características de los modelos propuestos

Supuestos						
Demanda	Producto	Eslabones	Horizonte de planeación	Precio del producto	Estrategia	Control del canal
Determinista y variable	Multi-producto	Un proveedor y un cliente	Finito	Individual y variable	ECR	Cliente
Modelado						
Factor transporte	Enfoque del modelado	Función objetivo				
Explícito como variable de decisión (tres modos)	Programación lineal entera multiojetivo	Objetivo 1 Minimizar costos		Objetivo 2 Maximizar nivel de servicio		
Objetivos a optimizar por el proveedor			Objetivos a optimizar por el cliente			
1) Costo por procesar cada orden colocada (<i>set up</i>)			1) Costo por ordenar			
2) Costo por atender el conjunto de n productos			2) Costo de almacenamiento			
3) Costo del descuento aplicado a cada producto			3) Costo de inventario en tránsito			
4) Costo del descuento aplicado al transporte utilizado			4) Costo de transporte			
5) Maximizar el nivel de servicio del transporte (<i>incoterm</i> DDP)			5) Maximizar el nivel de servicio del transporte (<i>incoterm</i> ExW)			
6) Costo total del sistema						
Variables de decisión						
1) Calcular la cantidad óptima de la orden			6) Determinación del nivel de servicio de transporte			
2) Determinación del período de suministro			7) Cálculo del descuento aplicado a las tarifas de transporte			
3) Nivel de inventario por período			8) Definición del tipo de negociación o <i>incoterm</i>			
4) Cálculo del descuento aplicado en los productos						
5) Cantidad óptima de la orden por modo de transporte						

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, los tres modelos formulados buscan minimizar el costo de la gestión no coordinada y coordinada de los inventarios, y maximizar el nivel de servicio de transporte combinado en el ámbito del comercio internacional, utilizando la estrategia de *épocas comunes de resurtido*.

Los modelos determinan: a) el costo mínimo de la gestión coordinada de los inventarios; b) el tamaño óptimo de la orden (pedido); c) el período de abastecimiento; d) seleccionan el modo de transporte; e) definen el nivel de servicio de transporte; f) ayudan a definir el tipo de negociación o *incoterm*; g) calculan el descuento en el precio de los productos, y en las tarifas de transporte; mismos que funcionan como mecanismos para motivar la coordinación. La formulación matemática también permite conocer el costo total del sistema (cliente-proveedor) para el caso coordinado, como no coordinado.

4.8 Reflexiones sobre los modelos propuestos

Como pudo observarse en el capítulo 2, existe una cantidad relativamente importante de modelos orientados a la coordinación de inventarios. En términos generales, el objetivo se enfoca a la reducción de los costos totales y al establecimiento de una política de inventarios. A diferencia de esos modelos, los desarrollados en este capítulo proponen el estudio de dicho tema pero considerando de manera explícita diferentes modos de transporte; el impacto de su nivel de servicio en el proceso del abastecimiento, y en la definición de una política de inventario, utilizando como mecanismo adicional un descuento en las tarifas del transporte en el contexto internacional.

Justamente, el cuadro 4.2 permite ver las diferencias entre los modelos de referencia y los desarrollados en este capítulo. En dicho cuadro se puede apreciar que es muy significativo el hecho de que los modelos propuestos reportan un mayor número de variables de decisión, a partir de la consideración explícita de dos criterios u objetivos en diferentes escenarios del comercio internacional, logrando una mayor visibilidad de la cadena de suministro, la cual permite al cliente y proveedor el cumplimiento de un mayor número de objetivos individuales.

En términos generales, puede establecerse que la coordinación de inventarios no ha sido estudiada desde la óptica de este trabajo de investigación. Es decir, a partir de la perspectiva multicriterio se puede afirmar que la coordinación de inventarios es novedosa, debido a que la decisión de coordinarse para este caso, no se basa en un sólo criterio (costo), como lo hace la mayoría de los trabajos que tratan el tema, sino que permite tener en cuenta algún otro criterio de gestión (en este caso, nivel de servicio de transporte). Esto hace que el tema sea relevante debido a la complejidad que representa la toma de decisiones sobre la combinación de factores cuantitativos y cualitativos, desde un punto de vista multicriterio.

Cuadro 4.2
Comparación de las características de los modelos de referencia
y los modelos propuestos

Características	Autores			
	Viswanathan y Piplani	Chang y Tsai	Reyes y Gaytán	Modelos propuestos
Año	2001	2002	2003	2006
Demanda	Determinista y constante	Determinista y constante	Determinista y variable	Determinista y variable
Producto	Un producto	Un producto	Multi-producto	Multi-producto
Eslabones	Un proveedor y varios clientes	Un proveedor y varios clientes	Un proveedor y un cliente	Un proveedor y un cliente
Horizonte de planeación	Infinito	Infinito	Finito	Finito
Precio del producto	Variable por descuento	Variable por descuento	Único para todos Variable por descuento	Diferente para cada producto Variable por descuento
Estrategia	ECR	ECR	ECR	ECR
Control del canal	Cliente	Cliente	Cliente	Cliente
Transporte de los productos	Implícito en la formulación del modelo	Implícito en la formulación del modelo	Explícito predefinido	Explícito por calcular
Modos de transporte	No especificado	No especificado	Dos modos	Tres modos
Enfoques de modelado	Programación lineal entera	Programación lineal entera	Programación lineal entera	Programación lineal entera multiobjetivo
Función objetivo	Minimizar costos	Minimizar costos	Minimizar costos	1) Minimizar costos 2) Maximizar nivel de servicio de transporte
Objetivos individuales a optimizar por el proveedor	1) Costo por procesar cada orden colocada (<i>set up</i>) 2) Costo por atender un conjunto de órdenes 3) Costo del descuento aplicado al producto	1) Costo por procesar cada orden colocada (<i>set up</i>) 2) Costo por atender un conjunto de órdenes 3) Costo del descuento aplicado al producto 4) Costos por enviar la orden (transporte)	1) Costo por procesar cada orden colocada (<i>set up</i>) 2) Costo por atender un conjunto de órdenes 3) Costo del descuento aplicado al producto	1) Costo por procesar cada orden colocada (<i>set up</i>) 2) Costo por atender el conjunto de n productos 3) Costo de descuento aplicado a cada producto 4) Costo del descuento aplicado al transporte utilizado 5) Maximizar el nivel de servicio del transporte (<i>incoterm</i> DDP)
Objetivos individuales a optimizar por el (o los) cliente(s)	1) Costo por ordenar 2) Costo de almacenamiento	1) Costo por ordenar 2) Costo de almacenamiento 3) Costos de recibo de la orden	1) Costo por ordenar 2) Costo de almacenamiento 3) Costo de inventario en tránsito 4) Costo de transporte	1) Costo por ordenar 2) Costo de almacenamiento 3) Costo de inventario en tránsito 4) Costo de transporte 5) Maximizar el nivel de servicio de transporte (<i>incoterm</i> ExW)
Variables de decisión	1) Cantidad óptima de la orden 2) Determinación del período de suministro 3) Cálculo del descuento aplicado en los productos	1) Cantidad óptima de la orden 2) Determinación del período de suministro 3) Cálculo del descuento aplicado en los productos	1) Cantidad óptima de la orden 2) Determinación del período de suministro 3) Nivel de inventario por período 4) Cálculo del descuento aplicado en los productos 5) Cantidad óptima por modo de transporte (*)	1) Calcular la cantidad óptima de la orden 2) Determinación del período de suministro 3) Nivel de inventario por período 4) Cálculo del descuento aplicado en los productos 5) Cantidad óptima de la orden por modo de transporte 6) Determinación del nivel de servicio de transporte 7) Cálculo del descuento aplicado a las tarifas de transporte 8) Definición del tipo de negociación o <i>incoterm</i>

Nota (*): Este modelo calcula la cantidad de carga transportada por modo a partir de un reparto predefinido.

Teniendo en cuenta las consideraciones señaladas, así como los modelos de referencia, el objetivo de este capítulo se ha cumplido, toda vez que se han desarrollado los modelos multicriterio que involucran los conceptos vertidos en el planteamiento del problema, soportados por sólidas teorías.

Durante el desarrollo de dichos modelos, en términos generales puede establecerse que ha habido dos puntos fundamentales que dieron origen a los mismos:

El primero es el hecho de utilizar el modelado multicriterio, el cual permitirá generar un conjunto de soluciones para la toma de decisiones, y no sólo una como lo hace el concepto tradicional de optimización. El segundo tiene en cuenta que el diseño de los modelos se ha pensado para que el tomador de decisiones tenga una participación más activa en el proceso de solución.

Por esto último, debido a la necesidad de evaluar las preferencias del tomador de decisiones sobre los criterios propuestos, o simplemente evaluar el efecto del cambio de alguno de los parámetros, es indispensable el uso de un método de solución que permita al modelo ser eficiente, eficaz y flexible. Por este motivo, el método de solución requerido para atender esta cuestión, se presenta en el capítulo siguiente.

Antes, cabe señalar que debido al ámbito del problema propuesto, puede clasificarse como un problema de determinación del tamaño del lote con demanda dinámica, en el contexto de los modelos conocidos comúnmente como *Lot Sizing Problem* (Sucky, 2002). También, es preciso puntualizar que en el fondo, estos modelos llevan implícita la promoción de nuevas prácticas logísticas, y la motivación para desarrollar nuevas estrategias de interrelación empresarial, que den apertura a la integración de los procesos por medio de la coordinación.

Por tanto, al mismo tiempo de plantear modelos que resuelvan la política de inventarios a través de la coordinación, se busca dar solución a otro tipo de problemas de la cadena de suministro, como son: la toma de decisiones racionales, oportunas y seguras para el establecimiento de políticas conjuntas para la administración de inventarios, y selección del modo de transporte; organizacionales en términos de una mejora de las interrelaciones empresariales, fomento de mecanismos y formas de coordinación; en el contexto económico, las empresas pueden alcanzar el equilibrio de las partes, reduciendo el nivel de incertidumbre implementando estrategias comunes, entre otros problemas de gestión.

5 Elección del método de solución, y diseño del esquema de modelado

Como se ha mencionado, es común que el tomador de decisiones se enfrente a problemas de selección de alternativas asociadas a criterios incompatibles, y muchas veces en conflicto. Sin temor a lo contrario, puede decirse que la gran mayoría de los casos del mundo real son problemas con múltiples criterios u objetivos, que no hacen fácil la tarea de inclinarse por alguna solución. Por ejemplo, para determinar el plan más adecuado en el sistema de producción, los criterios más comunes son: la tasa de fabricación, calidad y el costo de las operaciones, mismos que se encuentran muy a menudo en conflicto. Según Korhonen (1998), la toma de decisiones con múltiples criterios se refiere a resolver problemas de decisión y planeación, involucrando múltiples criterios u objetivos. Para este autor, “resolver”, significa que el Tomador de Decisiones (en adelante, TD) seleccionará una alternativa de entre un conjunto, de manera irrevocable. Teniendo en cuenta que para este tipo de problemas no existe solución única, la elección, por tanto, no resulta sencilla.

Para el caso concreto de los modelos propuestos en esta investigación, los diferentes intercambios (*trade-off*) entre el costo total por la gestión de inventarios, y el nivel de servicio de transporte para el traslado de productos, dan origen a múltiples soluciones que requieren un método que ayude al tomador de decisiones a seleccionar alguna alternativa “razonable”⁶ que permita definir simultáneamente la política de inventario y de transporte.

Ante estas circunstancias, y específicamente para los modelos propuestos en esta investigación, el cuestionamiento que se busca responder en esta etapa, consiste en definir ¿cómo ayudar al TD a encontrar la *mejor* solución de un conjunto de alternativas “razonables”, cuando éstas son evaluadas utilizando los dos criterios mencionados? Para responder esta pregunta, se han revisado los métodos de solución más divulgados en la literatura científica que resuelven problemas del tipo multicriterio/multiobjetivo.

Por tanto, el objetivo específico de este capítulo es seleccionar, y en su caso delinear un método (o más de uno) que se adapte(n) a las características y supuestos de los modelos propuestos para definir la política de inventarios, pensando de antemano que el tomador de decisiones pueda intervenir de manera directa en la elección de la solución final.

Para logra lo anterior, en este capítulo primeramente se presenta una serie de conceptos que ayudan a comprender los términos empleados en la optimización multiobjetivo basados en Steuer (1986); Korhonen (1998); Miettinen (1999); Steuer (2000); y Deb (2001). Después, se expone la clasificación de los métodos más

⁶ En problemas multicriterio la palabra “razonable” es entendida como “eficiente” o “no dominado”, tal y como se definirá más adelante.

difundidos que dan solución a este tipo de problemas. Más tarde, con la ayuda del proceso de selección de Sen y Yang (1998) y el de Miettinen (1999), se hace una descripción del procedimiento de selección de los métodos empleados para resolver el problema en estudio. Seguidamente, se presenta el diseño metodológico para llevar a cabo el proceso de modelado, y generar las alternativas de solución analizadas en un capítulo más adelante. Al final, se incluyen las conclusiones derivadas del estudio y elección del método multiobjetivo. No obstante la elección realizada, en palabras de Kaisa Miettinen (1999), se reconoce que existe una gran variedad de métodos para optimización multiobjetivo, y según esta autora, en general ninguno es superior a otro. Cabe señalar que este capítulo resume el presentado en Jiménez (2006b), el cual profundiza de manera detallada cada una de las técnicas que aquí sólo se mencionan.

5.1 Conceptos fundamentales

La programación multiobjetivo se concentra en definir soluciones del problema que satisfagan un conjunto de restricciones, y acercarse a los mejores valores de cada uno de los objetivos que intervienen. En términos matemáticos, el problema se expresa como sigue:

$$\text{Vector maximizar/minimizar } F(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)\} \quad (5.1)$$

$$\text{Sujeto a: } g_j(x) \leq 0 \quad \forall j = 1, \dots, M \quad (5.2)$$

Donde x es un vector de n variables de decisión; y $f_i(x), i = 1, \dots, k$ son los criterios u objetivos que son *maximizados/minimizados* al mismo tiempo.

Sea $S = \{x \mid g_j(x) \leq 0, \forall j = 1, \dots, M\}$ el espacio de las decisiones, $S \subset \mathfrak{R}^n$.

Sea $Z = \{Z \mid F(x) = z, \forall x \in S\}$ el espacio de los objetivos o criterios, $Z \subset \mathfrak{R}^k$.

Para cada solución x en el espacio de las variables de decisión, existe un punto en el espacio de los objetivos denotado por $F(x) = z = (z_1, z_2, \dots, z_k)^T$. El mapeo tiene lugar entre el vector solución n -dimensional y un vector de objetivos k -dimensional. La figura 5.1 ilustra estos dos espacios y el mapeo entre ellos.

El conjunto Z es de especial interés. Muchas consideraciones en programación multiobjetivo son hechas. El conjunto Z puede ser convexo/no convexo; limitado/ilimitado; conocido o desconocido; con un número finito o infinito de alternativas; etc. Cuando Z consiste en un número finito de alternativas, las cuales son explícitamente conocidas al inicio del proceso de solución, se tiene una importante clase de problemas, llamados “problemas multicriterio discretos”. Cuando Z sea infinito o no contable, se conocen como “problemas de diseño múltiples criterios, o problemas de múltiples criterios continuos”. En general, estos

tipos de problemas están definidos por medio de la formulación de modelos matemáticos.

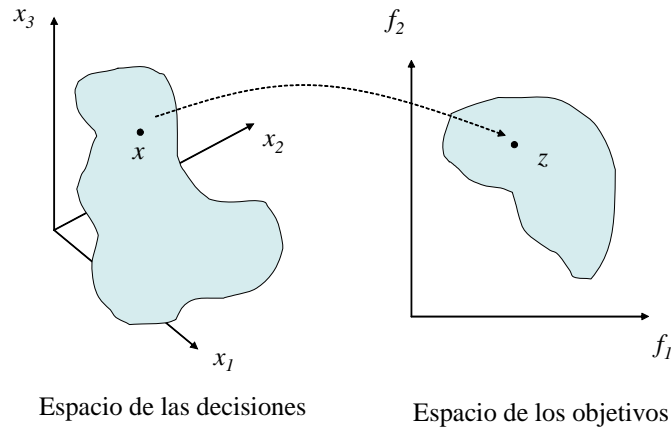


Figura 5.1

Representación del espacio de las decisiones y de los objetivos

Fuente: Deb (2001).

Un problema de programación multiobjetivo (MOP, por sus siglas en inglés) casi nunca tiene solución única. Conceptualmente, este tipo de programas puede considerarse como una técnica que maximiza el valor de la función de utilidad; es decir:

$$\text{Max } v(z) \quad (5.3)$$

$$\text{Sujeto a: } z \in Z \quad (5.4)$$

Donde v es una función de valor real, la cual es estrictamente creciente en el espacio de los criterios y definida al menos en la región factible Z . La función v especifica la estructura de las preferencias del TD sobre la región factible. Sin embargo, el supuesto clave en la programación multiobjetivo es que v generalmente se desconoce. Si la función v se considera explícita (conocida), el problema se considera dentro de la Teoría de la Utilidad Múltiples Atributos, y puede resolverse sin la intervención del tomador de decisiones. Este tipo de problemas no son considerados como problemas de decisión con múltiples criterios (MCDM; *Multiple Criteria Decision Making*); por el contrario, si la función v está implícita (se asume que existe pero que se desconoce), o ningún supuesto es hecho a cerca del valor de la función, el sistema se clasifica como MCDM o MOP (*Multiple Objective Programs*).

Las soluciones de un problema de programación multiobjetivo son todas aquellas que pueden llamarse soluciones de algún valor de la función $v: Z \rightarrow \mathfrak{R}$. Dichas soluciones se llaman eficientes o no dominadas, dependiendo del espacio dónde las alternativas son consideradas. El primero se utiliza en el espacio de las variables de decisión; mientras que el segundo, en el espacio de los criterios u objetivos. Para algunos, esto último es indiferente.

En términos generales, y a pesar de que se reconoce que los términos objetivo y criterio son dos vocablos con sentidos específicos; en el contexto de los problemas múltiples criterios u objetivos, normalmente se asume el mismo significado.

5.2 Soluciones no dominadas

En principio, los problemas multiobjetivos son muy diferentes de los problemas monoobjetivo. En el caso de un solo objetivo se intenta obtener la mejor solución, la cual supera a todas las otras alternativas. En el caso de múltiples objetivos no existe una solución que sea mejor con respecto a todos los objetivos debido a la incompatibilidad y conflictos entre ellos. Una solución puede ser mejor en uno de sus objetivos, pero peor en los otros. Sin embargo, usualmente existe un conjunto de soluciones para el caso de múltiples objetivos, las cuales no pueden simplemente compararse entre sí. Dichas soluciones, llamadas *no dominadas* u óptimas de Pareto, permiten observar que la mejora en cualquier función objetivo se refleje en al menos uno de los otros objetivos. Para un punto no dominado en el espacio de los criterios, su punto imagen en el espacio de las decisiones S se llama: eficiente o no inferior. Un punto es eficiente sí y sólo sí su imagen en Z es no dominado.

Definición 1. Dado que $z^1, z^2 \in R^k$ son vectores de criterios (k), puede decirse que el vector z^1 *domina al* z^2 , sí y sólo sí, $z^1 \geq z^2$ y $z^1 \neq z^2$. Por ejemplo, $z_i^1 \geq z_i^2$ para toda i y $z_i^1 > z_i^2$ para al menos una i .

Estrictamente z^1 *domina a* z^2 , si ningún componente del vector z^1 es menor que su correspondiente componente en z^2 , y al menos un componente de z^1 es más grande que su correspondiente componente en z^2 .

Definición 2. Dado que $z^1, z^2 \in R^k$ son vectores de criterios, puede decirse que el vector z^1 *domina fuertemente al* vector z^2 , sí y sólo sí, $z_i^1 > z_i^2$. Es decir, que $z_i^1 > z_i^2$ para todos los componentes i .

Si z^1 *domina fuertemente al* vector z^2 , cada uno de los componentes de z^1 es más grande que su correspondiente componente en z^2 .

En la figura 5.2 se observan cinco opciones con diferentes valores en la función objetivo; en donde, la función $f_1(z)$ se maximiza, y $f_2(z)$ se minimiza. Debido a que ambos criterios u objetivos son importantes, se complica determinar cuál solución es mejor con respecto a los dos objetivos. De acuerdo con las definiciones mencionadas, es factible establecer cuál de las soluciones es mejor entre cada par de alternativas en términos de ambos objetivos. Por ejemplo, si las

soluciones z_1 y z_2 se comparan, se observa que z_1 es mejor que la solución z_2 en ambas funciones. En tal virtud, se satisfacen las condiciones de dominancia ya señaladas. Por este motivo, puede decirse que la solución z_1 domina la solución z_2 .

Tomando otra instancia de comparación, por ejemplo, z_1 y z_5 ; en esta nueva comparación puede observarse que la solución z_5 es mejor que la solución z_1 en el primero de los objetivos, y no es peor (de hecho es igual) en el segundo objetivo. De esta manera, nuevamente se advierte que ambas condiciones se vuelven a cumplir; por tanto, puede establecerse que la solución z_5 domina a la solución z_1 . Por lo anterior, es evidente que si la solución z_1 domina a la solución z_2 , la solución z_5 también domina a la solución z_2 .

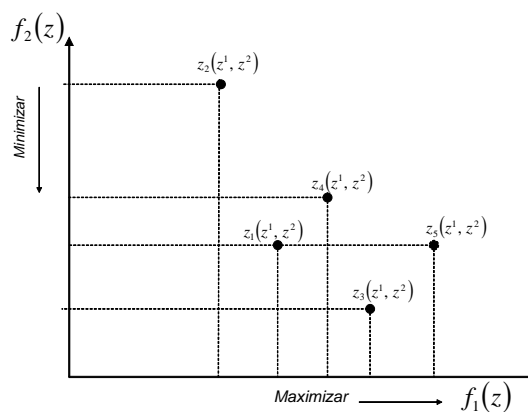


Figura 5.2
Una población de cinco soluciones

Fuente: Deb (2001).

Debido a que el concepto de dominancia permite comparar soluciones con múltiples objetivos, cabe señalar que muchos métodos usan el concepto de dominancia para buscar *soluciones no dominadas*.

5.3 Clasificación de métodos de solución de problemas multiobjetivo

En términos generales, la literatura que trata el tema de los métodos de solución de problemas multiobjetivo mantiene la misma postura sobre la forma en que son clasificados. El principal criterio se basa por el momento en que el tomador de decisiones proporciona la información acerca de sus preferencias. Miettinen (1999) afirma que los juicios del TD permiten formar arreglos que varían en forma y fondo, derivados de su habilidad. La clasificación típica de este tipo de métodos es la siguiente: a) métodos que articulan *a priori* las preferencias; b) métodos que no utilizan información articulada de las preferencias de los TD -Métodos sin preferencia *a posteriori*; y c) métodos que articulan progresivamente las

preferencias del TD, mejor conocidos como “métodos interactivos” o “métodos de nivel de preferencia”.

5.3.1 Métodos que articulan “*a priori*” las preferencias

Margos y Despotis (2003), los definen como métodos donde interviene el tomador de decisiones. Korhonen (1998), establece que se distinguen por asumir que existe una función de valor v estable, pero que no se intenta evaluarla de manera explícita. El TD responde preguntas específicas, utilizadas para guiar el proceso de solución hacia un “óptimo” o “más preferido”; en cada interacción, el TD proporciona las “tasas de intercambio” (*trade-off*) entre los objetivos de forma local. Dentro de las técnicas más relevantes destacan las siguientes:

- ✓ Método de la función de valor (utilidad)
- ✓ Método de orden lexicográfico
- ✓ Programación por metas (Charnes y Cooper, 1961)
- ✓ Programación por metas lexicográficas
- ✓ Método de los intercambios de valor, y las tasas marginales de sustitución (SWT, *Surrogate Worth Trade-off*)

Por el tipo de modelos propuestos, y las necesidades planteadas al inicio de este capítulo, después de una revisión detallada en Jiménez (2006b), se dio por hecho que ninguno de los métodos mencionados pueden ser utilizados para resolver el problema planteado. La imposibilidad específica de establecer algún tipo de prioridad o metas sobre las funciones de valor, resulta difícil de alcanzar toda vez que no se tiene la más mínima idea de la región de factibilidad. Lo anterior, básicamente se debe a la gran cantidad de diferentes productos que abastece el proveedor a su cliente y los diversos modos de transporte que se utilizan, haciendo prácticamente imposible conocer el rango de solución de manera aproximada. Por otro lado, debido a la estructura que presentan estos métodos, se observa que no son los más apropiados para ser aplicados en decisiones de intercambio (*trade-off*) de las funciones objetivo. Esto último descarta la aceptación directa de esta clase de métodos al modelo propuesto, ya que se pretende que el TD tenga una mayor participación en la definición de la solución final.

5.3.2 Métodos que articulan “*a posteriori*” las preferencias

Margos y Despotis (2003), los definen también como los métodos de simulación hipotética del TD. Es decir, no tienen en cuenta la opinión del tomador de decisiones. Una vez que se resuelve el problema, las soluciones se presentan al TD, de las cuales puede aceptar una, o relajar la solución. Por esto último, también son conocidos como métodos de generación de soluciones (Caballero, *et al*, 2003).

Esta clase de métodos, realmente son los que menos se difunden en la literatura científica no obstante que son la base de otras más complejas; y destacan tres de ellos:

- ✓ Método de los pesos (Zadeh, 1963)
- ✓ Método de las restricciones
- ✓ Método del criterio global (Zeleny, 1973)

En la práctica, los métodos sin información *a posteriori* son incapaces de llegar a una solución final de un problema de decisión de tamaño mediano, ya que genera un conjunto de soluciones muy amplio entre las que el decisor le resulta muy difícil elegir. Generalmente se utilizan en una primera fase de contacto para permitir al decisor y analista conocer más a fondo el problema; por tanto, necesitan de otras técnicas para resolverse.

5.3.3 Métodos interactivos, o métodos de nivel de preferencia

Son técnicas que requieren una definición progresiva de las preferencias por parte del tomador de decisiones. Korhonen (1998) señala que son métodos donde no se asume la existencia de una función de valor v estable, ni implícita o explícita. Atendiendo a su forma de operar, Stewart (1992) los clasifica de acuerdo a cómo son modeladas las preferencias del decisor, ya sea considerando funciones de valor o niveles de aspiración. Las funciones de valor trabajan por medio de la medición del intercambio (*trade-off*) que el centro de decisión otorga a cada alternativa; por su parte, los niveles de aspiración del TD, generalmente localizados sobre la región factible, son proyectados vía la minimización de la llamada función escalable de logro.

Para Steuer (1986), el futuro de la programación multiobjetivos es su aplicación interactiva. Afirma que en procedimientos interactivos, la exploración se conduce sobre la región de factibilidad de las alternativas de una solución óptima o satisfactoria cercana al óptimo. Sostiene que la retroalimentación entre el hombre y el modelo permite al tomador de decisiones aprender más sobre su problema. Continúa diciendo que el decisor podrá apreciar mejor el rango total de posibilidades en su región factible, y comparar los objetivos uno contra otro. Esta orientación, permite al tomador de decisiones identificar las mejores soluciones y reconocer una solución final de acuerdo con sus expectativas.

De entrada, puede decirse que dichos comentarios parecen encajar muy bien al objetivo que se persigue en la elección de un método que resuelve los modelos propuestos en esta investigación. Los procedimientos interactivos se caracterizan por etapas de toma de decisiones alternadas con fases de cómputo. Generalmente se establece un patrón y una acumulación de repeticiones de los pasos que forman un ciclo. Específicamente, llevan a cabo el cálculo para definir qué es lo mejor (procesar datos o ejecutar algoritmos), y permiten al decisor definir sus preferencias (obtiene los mejores a partir de juicios basados en nueva información).

En cada una de las interacciones se genera una, o un grupo de soluciones que se analizan. Como resultado de dicho análisis, el tomador de decisiones ingresa información para el procedimiento de solución. Algunos de los métodos más destacados de este tipo son:

- ✓ Método STEP o STEM (Benayoun, de Montgolfier, Tergny y Larichev, 1971)
- ✓ Método de Geoffrion (GDF) (Geoffrion-Dyer-Feinberg, 1972)
- ✓ Método Z-W (Zionts-Wallenius, 1976)
- ✓ Método SEMOPS (*Sequential Multiobjective Problem Solving*)
- ✓ Método de intercambio del valor de las sustituciones (ISWT) (Chankong y Haimes, 1978 y 1983)
- ✓ Método interactivo de Thebycheff (Steuer y Choo, 1983)
- ✓ Método de Dirección de Referencia para problemas de programación múltiples objetivos lineal entero (MOILP). (Vassilev y Narula, 1993)
- ✓ Método NIMBUS (*Nondifferentiable Interactive Multiobjective Bundle-based Optimization System*)

5.4 Perfil del algoritmo general de los métodos de solución de MOLP

El estudio general de los métodos que resuelven problemas de programación lineal multiobjetivo (MOLP, por sus siglas en inglés), permite observar diferentes maneras de abordar el tema; entre las que destacan: el uso de diversas metodologías para resolverlos; el planteamiento de los supuestos que dan cabida a los problemas del mundo real, identificando los parámetros e información necesaria que da causa a la aplicación de los métodos; todo ello, con el propósito de buscar resolver los problemas multiobjetivo con mayor precisión y fácil aplicación.

En general, los métodos que resuelven los problemas multiobjetivo llevan a cabo la exploración o análisis alrededor de la región factible para identificar el conjunto de soluciones no dominadas. Específicamente, los procedimientos se caracterizan por aquellos que requieren información del TD *a priori*, de manera “interactiva” y *a posteriori*. Para el primer y tercer caso, el TD tiene una intervención parcial durante el proceso del ejercicio. Para el caso de los métodos interactivos, el TD tiene una participación mucho más activa, que incluso orienta el curso de los resultados.

En efecto, los métodos interactivos se caracterizan por fases en la toma de decisiones que se alternan con fases de cómputo. Este patrón se establece repetidamente hasta su terminación. En cada interacción, una solución o grupo de soluciones se generan para proceder a sus análisis. Como resultado de dicho análisis, el TD proporciona información actualizada acerca de sus preferencias al procedimiento de solución en forma de valores, conocidos como “parámetros de control” (por ejemplo, preferencia con pesos; vectores de niveles de aspiración; vectores λ con intervalos de pesos; vectores con componentes para ser

crecientes/ decrecientes o fijos, etc.), definidos de acuerdo con el procedimiento utilizado.

A partir de una revisión específica de los métodos mencionados, y de conformidad con Steuer (2000), la mayoría de los métodos interactivos que han sido propuestos, virtualmente ejercen más o menos el siguiente algoritmo general (véase figura 5.3).

1. Obtención de parámetros de control
2. Optimización de uno o más problemas de programación matemática para probar el conjunto no dominado
3. Análisis de los resultados del vector de los criterios
4. Modificación del vector de los criterios obtenidos, y su iteración a la luz de lo observado en la última solución

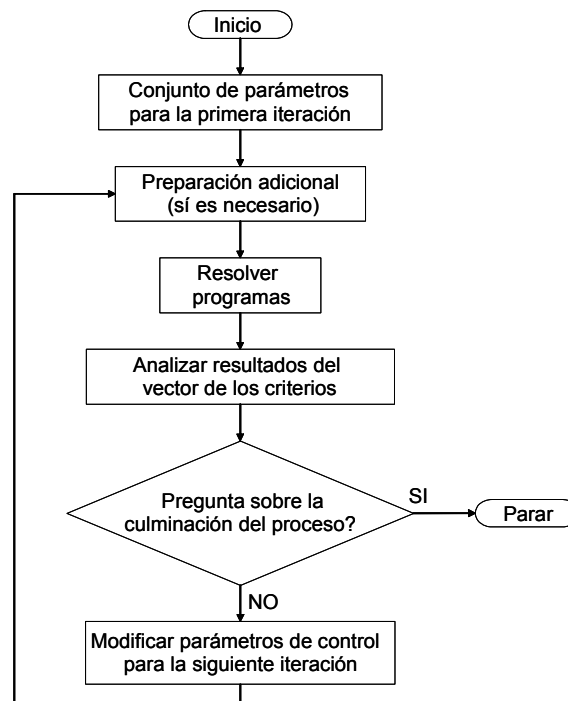


Figura 5.3
Perfil del algoritmo general

Fuente: Steuer (2000).

5.5 Selección del método de solución multiobjetivo

La elección de un método de solución apropiado para el problema de optimización multiobjetivo propuesto, no es un asunto fácil como se podría asumir. De acuerdo con Miettinen (1999), ninguno de los métodos existentes puede etiquetarse como el mejor para cualquier situación, debido a los muchos aspectos a considerar, y demasiados criterios de comparación con carácter difuso.

En términos generales, Hobbs (1986) señala que las características del problema a resolver y la capacidad del tomador de decisiones son los elementos que muchas veces han influido en la elección de un método de solución. Algunos de ellos conllevan a convenir a algún problema, y algunos centros de decisión pueden ser mejor que otros.

Por lo anterior, dicho autor menciona que los criterios para seleccionar un método deben ser: apropiados; de fácil uso; válidos; y sensibles a los resultados. Por *apropiado* debe entenderse que el método es adecuado al problema que se pretende resolver; es decir, que se ajusta a las personas quienes lo van a usar y las instituciones en la cuales se va instrumentar. Fácil de usar, está relacionado con el esfuerzo y conocimientos necesarios con los que cuenta el analista y el tomador de decisiones.

Por *validación* se refiere a que el método pueda evaluar los supuestos; es decir, que sean consistentes con la realidad. Finalmente, por *sensibilidad*, se interpreta que los resultados del método seleccionado no se obtengan diferencias significativas con relación a otros métodos. Por su parte, Steward (1992), establece que la selección del método debe considerar los siguientes tres aspectos: la información del tomador de decisiones tiene que ser manejable y clara; el método debe ser lo más transparente posible; así como, simple y eficiente.

La intervención del TD en los métodos de solución es un aspecto muy importante. Miettinen (1999), reporta que muchos experimentos han demostrado que el tomador de decisiones prefiere métodos simples debido a que puede entenderlos mejor, ya que siente mayor control sobre ellos. Una cuestión sobresaliente, es el hecho de que en la fase de preguntas, muchos TD se sienten incómodos por la desconfianza en proporcionar información confidencial que algunos métodos así lo demandan; en tal virtud, es claro intuir que esto puede afectar al procedimiento, y por supuesto a los resultados.

5.5.1 Criterios de selección

Algunos otros criterios que influyen en el TD sobre la selección del método de solución, son por ejemplo:

- a) *La simplicidad de los conceptos utilizados.* Algunos métodos son muy técnicos, y los TD no tienen los argumentos científicos para entenderlos
- b) *Posibilidades de interacción.* Algunos métodos no presentan forma de que el TD se involucre más en el proceso. Por fortuna, los métodos interactivos se han diseñado para tal evento
- c) *Fácil interpretación de los resultados.* La instrumentación del sistema en las instancias de uso, generalmente exigen que los resultados puedan ser de fácil acceso desde el punto de vista de su interpretación y manejo estadístico

- d) *Oportunidad de cambio*. Se busca que los métodos permitan simular cambios en las preferencias de los TD para llevar a cabo análisis de sensibilidad y evaluación de sus acciones

El método debe ajustarse a la manera de pensar del TD, y el lenguaje de comunicación necesita ser claro para este último. La posibilidad de que el TD pueda ver el efecto de sus preferencias en los resultados, es una cuestión de vital importancia, ya que permite lograr cierta confianza y una mejor interacción con el método.

Uno de los aspectos más importante en la selección del método está relacionado con el hecho de qué tan bien el TD conoce el problema que desea resolver. Si no conoce bien sus limitaciones, potencialidades y posibilidades, necesitará de un método que lo ponga al tanto del problema. En caso opuesto, un método que haga posible enfocar directamente el interés del TD, es más recomendable.

5.5.2 Elección del método

Teniendo en cuenta los criterios de selección mencionados y la complejidad de los modelos propuestos (señalada en el capítulo anterior), y con la ayuda de los procedimientos de selección de Sen y Yang (1998), y Miettinen (1999), se logró conformar la metodología para resolver el problema planteado en esta investigación.

Por lo anterior, a partir de las características de los métodos estudiados (concentrados en la figura 5.4), se optó por utilizar el método de los “pesos ponderados” y el método de “dirección de referencia” de Vassilev y Narula (1993), los cuales corresponden a las características de los modelos multiobjetivo propuestos en esta investigación.

La idea de utilizar ambas técnicas, apunta hacia la lógica de generar soluciones iniciales que permita ver el horizonte de la región de factibilidad, y con ello plantear interactivamente nuevas alternativas de solución.

Específicamente, el método de Sen y Yang (1998), parte del hecho de agrupar los diferentes métodos de solución multiobjetivo por el momento en que el TD proporciona información, a partir de la cual conduce a que se establezca la regla de decisión más favorable para atender el problema. Por su parte, Miettinen (1999), conduce a la elección, considerando las características de las funciones objetivo y sus restricciones.

Combinados ambos métodos en la figura 5.4 (bajo el esquema de Sen y Yang, 1998), la definición de la metodología fue posible. Particularmente en la literatura científica, no existe un procedimiento práctico que ayude a definir el “mejor”; por tanto, la comparación de las características (modelo-técnica) parece ser un esquema válido.

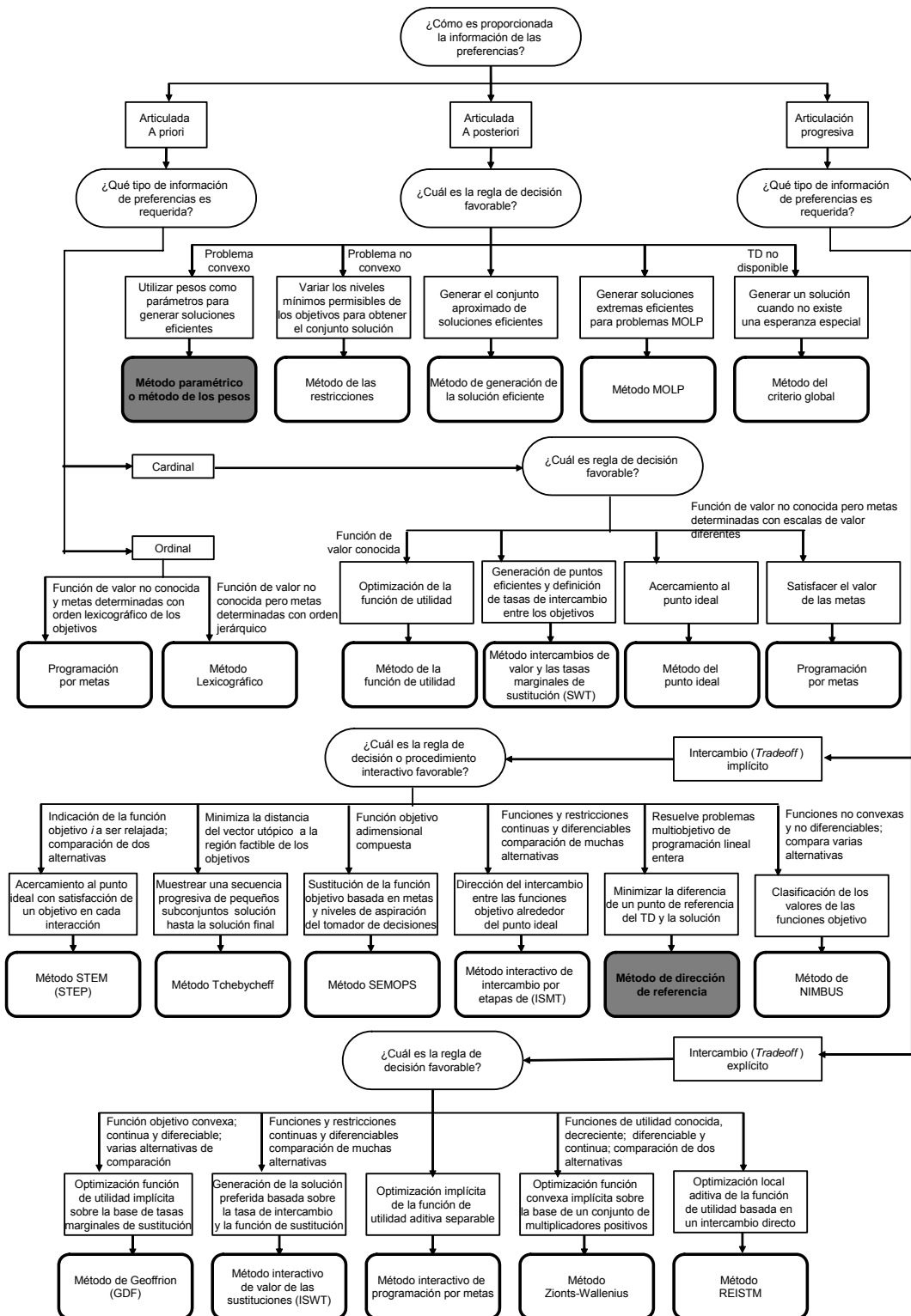


Figura 5.4

Árbol de decisión para seleccionar la técnica de solución de problemas multiobjetivo

Fuente: Modificado de Sen y Yang (1998), y complementando con Miettinen (1999).

5.5.2.1 Método de los pesos (Zadeh, 1963)

Fue uno de los primeros métodos propuestos (Zadeh en 1963). El método de los pesos es otro procedimiento que permite generar puntos eficientes del espacio de los objetivos. Trata de transformar el programa multiobjetivo en uno con sólo un objetivo para poder utilizar el método Simplex y generar así dichas soluciones. Básicamente, se conforma de una función que agrupa y suma los diferentes objetivos, asociados (ponderándolos) con sus respectivos pesos relativos. Para obtener diferentes puntos eficientes, estos pesos relativos se van modificando. En cada interacción se resuelve el problema con el nuevo objetivo resultante. La formulación matemática es la siguiente:

$$(PP) \quad \text{Min} \quad \sum_{i=1}^k w_i f_i(x) \quad (5.32)$$

$$x \in S \quad (5.33)$$

Donde:

$$w_i \geq 0 \quad \text{para toda } i = 1, \dots, k; \text{ y} \quad (5.34)$$

$$\sum_{i=1}^k w_i = 1 \quad (5.35)$$

En general, todas las soluciones obtenidas por este método son Pareto óptimo, siempre y cuando todos los coeficientes de los pesos sean positivos, o si la solución es única. La debilidad del método es que no todas las soluciones suelen encontrarse, a menos que el problema sea convexo. Esto significa que en un problema de este tipo, una solución $x^* \in S$ es un óptimo de Pareto si existe un vector w donde $w_i \geq 0, i = 1, \dots, k; \sum_{i=1}^k w_i = 1$; tal que, x^* es una solución del problema de los pesos (PP). La figura 5.5 a continuación, ilustra este hecho.

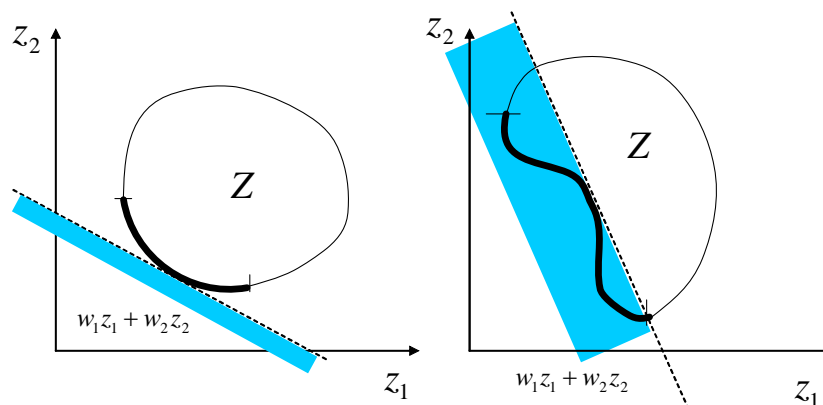


Figura 5.5
Método de los pesos con problemas convexos y no convexos

Fuente: Zadeh (1963)

El método de los pesos puede utilizarse para que el TD especifique un vector de pesos que represente sus preferencias, o su información. En este caso, el problema de la suma de los pesos se considera como una función de valor (utilidad). Este método también puede extenderse a una forma interactiva o no, es decir, el operador del modelo está en posibilidades de simular las preferencias del decidor, asignando los pesos correspondientes hasta generar todas las soluciones (si esto se logra).

Un punto importante en la aplicación de este método, es que las funciones objetivo deben normalizarse o escalarse sobre el valor de los criterios, con la finalidad de lograr que sean de la misma magnitud. Hobbs (1986), sugiere que en lugar de usar la importancia relativa, los factores de los pesos deben representar la tasa con la cual el TD intercambia sus preferencias sobre las funciones objetivo.

De acuerdo con Bandte (2000), el método no conduce siempre a una representación completa del conjunto eficiente, garantizando solamente una aproximación del mismo. Por otro lado, las diferentes combinaciones de pesos w_i pueden llevar a un mismo punto extremo, con lo que el esfuerzo informático realizado no aporta nueva información. Alguno de los problemas PP puede resultar infactible. Si la solución del problema PP es única, entonces es una solución eficiente. Este método requiere la realización de $rp - 1$ corridas de computador, con $r =$ número de pesos w ensayados.

Puede utilizarse conjuntamente con el método de las restricciones, obteniéndose el llamado método híbrido de las ponderaciones y restricciones, o con alguna otra técnica para complementar el cuadro de soluciones eficientes o frontera Pareto.

Para el caso particular de esta investigación, tal método parece ser una buena opción ya que no requiere de ningún tipo de transformación, debido a que permite generar las suficientes soluciones eficientes para delinear la frontera Pareto de los modelos propuestos, dando la oportunidad al TD de visualizar la región de factibilidad, y con ello tener una idea más clara para definir sus preferencias.

5.5.2.2 Método de dirección de referencia MOILP (Vassilev y Narula, 1993)

Este método resuelve de manera interactiva solamente problemas de programación entera de múltiples objetivos (MOILP, por sus siglas en inglés). En cada iteración encuentra una solución (débil) eficiente. Durante el proceso, el tomador de decisiones suministra un punto de referencia en cada iteración, y no se requiere de algún software especial para su solución. La estructura específica de este método se describe a continuación.

Definición. La dirección de referencia está definida por la diferencia entre el punto de referencia dado por el TD y la última solución del problema.

Sea f_k un valor arbitrario de la función objetivo del problema MOILP, y \bar{f}_k denota el nivel de aspiración. Además, sea:

$$H = \{k \in K \mid \bar{f}_k > f_k\} \quad (5.54)$$

$$L = \{k \in K \mid \bar{f}_k < f_k\} \quad (5.55)$$

$$E = \{k \in K \mid \bar{f}_k = f_k\} \quad (5.56)$$

Donde $K = H \cup L \cup E$.

Para encontrar la siguiente solución de MOILP, se resuelve el siguiente programa de un solo objetivo:

$$(A) \quad \underset{x \in X}{Max} \quad s_1(x) = \underset{x \in X}{Máx} \underset{k \in H}{mín} (f_k(x) - f_k) / (\bar{f}_k - f_k), \quad (5.57)$$

$$\text{Sujeto a: } f_k(x) \geq \bar{f}_k + \alpha(\bar{f}_k - f_k), \quad k \in L \quad (5.58)$$

$$f_k(x) = \bar{f}_k, \quad k \in E, \quad (5.59)$$

Donde α es un parámetro no negativo; y f_k , $k \in K$, es el valor de la función objetivo encontrado en la última solución.

La función objetivo del problema (A), maximiza la diferencia más pequeña entre la solución actual $f_k(x)$ y la última solución f_k , para todas las funciones objetivos $k \in H$. Es decir, trata de colocar lo más lejos posible la solución actual.

Cuando se resuelve (A), los valores de las funciones objetivo que pertenecen al conjunto H crece donde aquellas que pertenecen al conjunto L pueden decrecer. De esta manera, se completa la proyección de la dirección de referencia sobre la superficie eficiente. Claramente, la función objetivo 5.57 existe solamente si $\bar{f}_k > f_k$ para al menos un k , $k \in K$. Esto también implica que el punto de referencia \bar{f}_k , $k \in K$, no tiene que ser dominado por la solución previa de MOILP. Dependiendo de lo elevado de los valores de \bar{f}_k y f_k , $k \in K$, los conjuntos H , L y E son creados para definir el problema (A) de un sólo objetivo.

Cuando los conjuntos H y L son vacíos, entonces la solución óptima de (A), obtenida para varios valores de α , son soluciones débilmente eficientes para MOILP. Es útil notar que la última solución de MOILP es una solución factible para (A); esto es importante cuando se resuelve (A) por medio de un algoritmo exacto. Más aún, las soluciones factibles de (A) caen cerca de la superficie eficiente de MOILP, la cual permite utilizar un algoritmo aproximado para resolver (A).

Debido a que la función objetivo de (A) no es lineal, no existe un algoritmo estándar que resuelva este problema de programación lineal entera. Sin embargo, el problema puede establecerse como uno del tipo MOILP:

$$(B) \quad \text{Max } y \quad (5.60)$$

$$\text{Sujeto a: } f_k(x) - (\bar{f}_k - f_k)y \geq f_k, \quad k \in H \quad (5.61)$$

$$f_k(x) \geq \bar{f}_k + \alpha(\bar{f}_k - f_k), \quad k \in L \quad (5.62)$$

$$f_k(x) = \bar{f}_k, \quad k \in E \quad (5.63)$$

$$x \in X \quad (5.64)$$

$$y \geq 0 \quad (5.65)$$

Donde y es un escalar.

Cuando (A) no tiene solución, entonces el problema (B) tampoco tiene solución. Esto se debe al hecho de que ambos problemas tienen las mismas restricciones. Cuando (A) tiene una solución, entonces (B) tiene solución y los valores óptimos de sus funciones objetivos son iguales. Debido a que los problemas (A) y (B) son equivalentes, la solución óptima de (B) es una solución débilmente eficiente de MOILP.

La solución de (A) (o equivalente (B)) es una solución débilmente eficiente de MOILP. Sin embargo, si se desea obtener una solución eficiente, entonces puede resolverse el problema siguiente para un sólo objetivo:

$$(C) \quad \text{Max}_{x \in X} T(x) = \text{Máx}_{x \in X} \left\{ \min_{k \in H} \frac{f_k(x) - f_k}{\bar{f}_k - f_k} + \beta \sum_{k \in K} (f_k(x) - f_k) \right\} \quad (5.66)$$

$$\text{Sujeto a: } f_k(x) \geq \bar{f}_k + \alpha(\bar{f}_k - f_k), \quad k \in L \quad (5.67)$$

$$f_k(x) = \bar{f}_k, \quad k \in E \quad (5.68)$$

Donde β es un número positivo muy pequeño arbitrario.

El problema (C) puede reducirse al siguiente problema de programación lineal mixto entero:

$$(D) \quad \text{Max} \left(y + \beta \sum_{k \in K} y_k \right)$$

$$\text{Sujeto a } f_k(x) - f_k = y_k, \quad k \in H \quad (5.69)$$

$$f_k(x) - f_k = -y_k, \quad k \in L \quad (5.70)$$

$$f_k(x) - (\bar{f}_k - f_k)y \geq \bar{f}_k, \quad k \in H \quad (5.71)$$

$$f_k(x) - (\bar{f}_k - f_k)\alpha \geq \bar{f}_k, \quad k \in L \quad (5.72)$$

$$f_k(x) = \bar{f}_k, \quad k \in E \quad (5.73)$$

$$x \in X \quad (5.74)$$

$$y, y_k \geq 0, \quad k \in K \quad (5.75)$$

Se observa que es un método muy práctico y sencillo. Su implementación no complica más el modelo. Permite obtener soluciones no dominadas a partir de los niveles de aspiración del TD. Proyecta soluciones dominadas y no dominadas a la

región de factibilidad a la frontera Pareto. Este método es compatible con los modelos propuestos debido a que estos últimos se estructuran en el contexto de la programación lineal entera. La ventaja del modelo D es que todas las soluciones son óptimas de Pareto, es decir, todas se encuentran ubicadas en la frontera eficiente.

5.6 Metodología para la solución de los modelos propuestos

Para obtener la frontera eficiente de los modelos propuestos, para el caso de los *incoterms* ExW y DDP se adoptó un formulismo que combina los métodos interactivos de los “pesos ponderados” y el de “dirección de referencia” de Vassilev y Narula (1993). Con el primer método, el operador del modelo identifica la configuración de la frontera eficiente, determinando un conjunto de soluciones no dominadas que contiene el punto de referencia del segundo método, y por supuesto del tomador de decisiones.

El método de los pesos ponderados permite definir las cotas inferior y superior de cada uno de los escenarios analizados, y cierto número de soluciones no dominadas para cada tipo de *Incoterm*. A partir de esta primera aproximación, el segundo procedimiento se utiliza cuando ninguna de las soluciones generadas satisface las necesidades del tomador de decisiones, quien participa de manera interactiva en la generación de la solución que más se acerque a sus prerreferencias.

Cabe señalar que el método de solución de los pesos ponderados tiene la desventaja de repetir soluciones ya encontradas para diferentes prestaciones de pesos, lo que hace complicado encontrar un mayor número o acercarse al total de soluciones en la frontera Pareto. Esta es la razón principal por la que se complementa con el método interactivo ya señalado.

La metodología de solución de los modelos propuestos, por tanto, se resuelve con el procedimiento general que se presenta en la figura 5.6. En dicha figura, aparecen dos columnas de inicio, las cuales cada una describe el proceso de ejecución de las actividades para cada modelo (ExW y DDP). Una vez obtenidas las soluciones *no dominadas* con el método de los pesos ponderados, el TD efectúa un análisis de dichas soluciones sobre la base de las cotas inferior y superior, para definir el tipo de término de negociación que más se acerque a sus aspiraciones. Si le satisface alguna solución, selecciona ésta y el proceso termina. En caso que no le resulte satisfactoria, indicará un nivel de aspiración, y de acuerdo con las magnitudes establecidas (en costo y nivel de servicio de transporte), se selecciona el tipo de *incoterm*. A partir de este momento, el proceso entra en un ciclo con el método de la dirección de referencia (Vassilev y Narula, 1993), hasta que el TD esté satisfecho con alguna solución que el método genere.

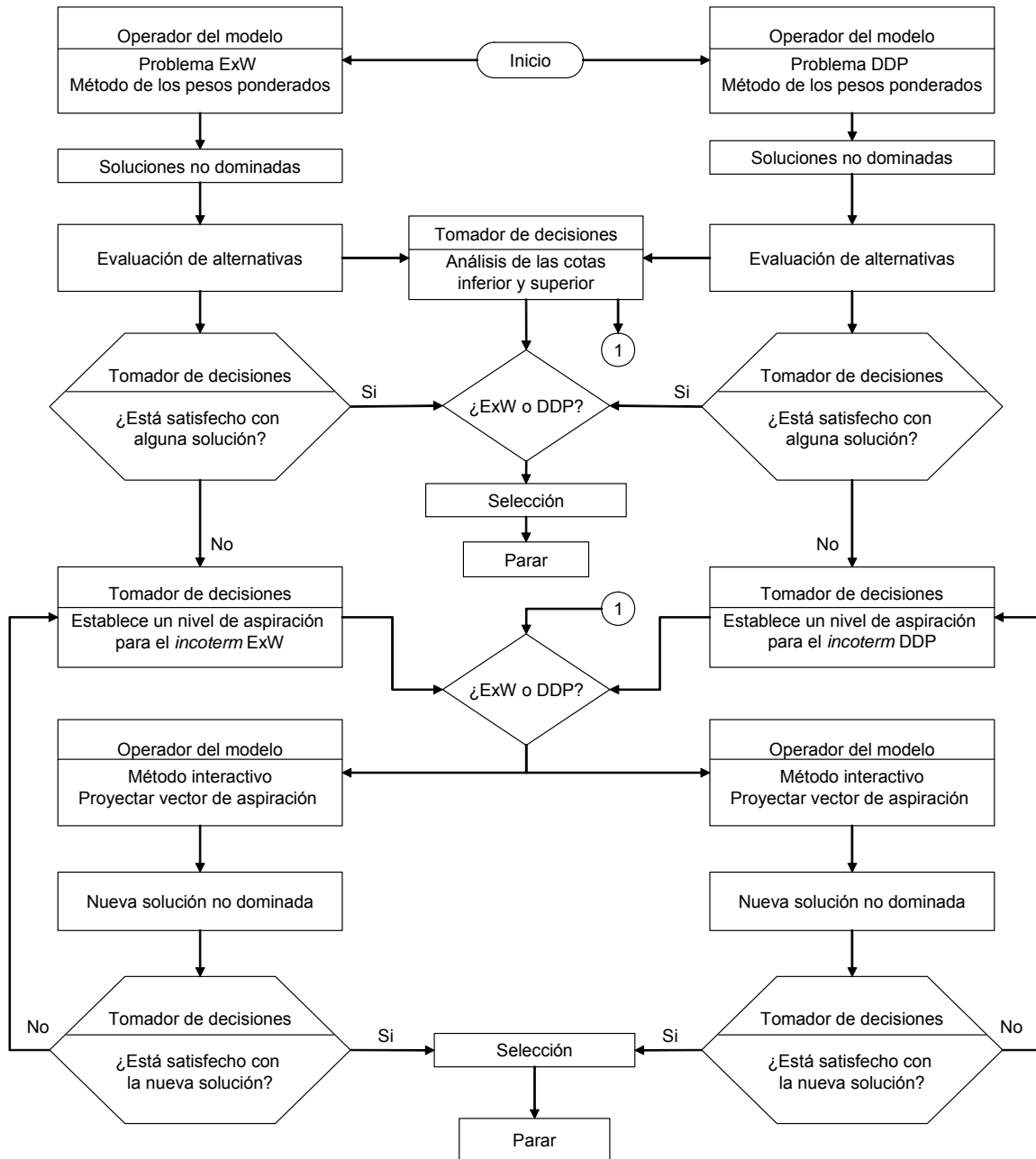


Figura 5.6
Metodología para la solución de los modelos propuestos

5.7 Algunos comentarios sobre el método de solución

Los métodos para resolver problemas multiobjetivo son una herramienta fundamental que permiten visualizar los resultados de los programas matemáticos de este tipo. En general, en los últimos años se han observado grandes avances en el desarrollo de esta clase de métodos. Como se pudo corroborar, las primeras aplicaciones presentan algoritmos muy complejos con una gran cantidad de supuestos bastante duros que deben cumplirse para hacerlos operativos.

En la actualidad, basados en la teoría de los viejos esquemas de solución, los métodos más recientes se formulan con un perfil mucho más homogéneo, y sobre todo más fáciles de comprender y aplicar. La versatilidad que muestran los métodos más recientes, permite al TD y al operador de los modelos lograr resultados en el menor tiempo, con el uso de software computacional de tipo comercial. Este último hecho representa un elemento esencial en la utilización y proliferación de estas técnicas en los diferentes sectores industriales.

No obstante, a pesar de todos los adelantos mencionados, la búsqueda de un método que resolviera los modelos propuestos en esta investigación no fue una tarea fácil. El estudio de los diversos métodos publicados en la literatura científica se complica por la gran cantidad que de ellos existe; pero sobre todo, por las muy variadas características específicas que cada uno posee. Sin embargo, con la ayuda de dos metodologías para la selección del método de solución se pudo cumplir con el objetivo de este capítulo. De esta manera, teniendo en cuenta las características de los modelos propuestos, y ciertas condiciones operativas de los métodos analizados, han llevado al descarte o aceptación de éstos.

En general, cabe mencionar que los métodos *a priori* y *posteriori*, puede concluirse, que contrastan notablemente respecto a los modelos interactivos en términos de la solvencia que presentan en la generación de soluciones; en éstos, el TD al disponer de la información necesaria e interactuar con el analista, parece mejorar notablemente su capacidad de elección entre distintas alternativas.

En este sentido, a raíz del estudio de los diversos métodos multiobjetivo se ha podido plantear el esquema o metodología a utilizar en la aplicación de los modelos propuestos. De esta manera, surge la idea de combinar dos métodos de solución (uno del tipo de información *a posteriori* y otro *interactivo*), los cuales han permitido diseñar uno versátil y robusto, para obtener las soluciones al problema propuesto, que además con el carácter interactivo que posee, posibilita que esté presente el criterio de los usuarios del sistema.

6 Aplicación de los modelos propuestos a una empresa del sector de las autopartes

Se presenta el análisis de los resultados obtenidos a partir de la aplicación de los modelos propuestos en el capítulo 4, haciendo uso de la metodología diseñada en el capítulo 5 y teniendo como referencia los datos de una empresa de autopartes del sector automotriz. El objetivo principal de este capítulo es evaluar los beneficios económicos, y del servicio de transporte combinado que obtienen el cliente y el proveedor cuando asumen la estrategia de coordinación ECR, respecto a la política no coordinada, donde el cliente coloca sus ordenes bajo su política óptima.

El análisis numérico se realiza en función de los ahorros en el costo, y la mejora del nivel de servicio del transporte, tanto para el cliente como para el proveedor, y de manera conjunta (sistema) al usar dicha estrategia en el contexto ExW y DDP. Para realizar el estudio que compara ambos enfoques, se diseñaron siete escenarios que describen las diferentes posiciones que pueden asumir el cliente y el proveedor. Dichos modelos se aplicaron al caso de una empresa del sector automotriz que produce componentes (autopartes) que abastece a un proveedor del primer anillo.

Como se indicó en el capítulo 5, los modelos se resolvieron para el caso de los *incoterms* ExW y DDP utilizando un procedimiento que combina los métodos interactivos de los pesos ponderados, y el de dirección de referencia de Vassil Vassilev y Subhash Narula (1993). Como ya se describió, el primero es utilizado por el operador del modelo quien establece la configuración de la frontera eficiente, identificando un conjunto de soluciones *no dominadas*, las cuales forman los puntos de referencia del segundo método, y por supuesto del tomador de decisiones. A partir de esta primera aproximación, el segundo método se utiliza cuando ninguna de las soluciones generadas satisface las necesidades del tomador de decisiones, haciendo participar a éste último de manera interactiva para generar la solución que más se acerca a sus preferencias.

Los resultados de la aplicación de los modelos y el procedimiento diseñado para resolverlos se presentan en este capítulo de la siguiente manera: primeramente se establece el marco empírico que describe de manera general las características de la empresa que se tomó de referencia, y de la cual se obtuvieron los parámetros requeridos por los modelos. Inmediatamente después, se presenta una descripción del diseño de los experimentos (escenarios) que se utilizaron para hacer la evaluación de las alternativas de solución encontradas con los modelos, para cada uno de los diferentes tipos de negociación del comercio exterior (ExW y DDP). Posteriormente, se muestran los resultados obtenidos con el método de Vassilev y Narula (1993), para cuando ninguna alternativa generada con el método de los pesos es satisfactoria para el tomador de decisiones. Al final se incluyen las conclusiones derivadas de este análisis.

6.1 Marco empírico

En esta sección se concentran los datos empíricos obtenidos de una empresa de autopartes localizada en México, los cuales se incorporaron a los modelos propuestos a partir de cierto procesamiento analítico. En términos generales este marco empírico describe las características de la compañía de referencia, a la que le conocerá en este trabajo como Manufactura de Autopartes, S. A. Específicamente se describen algunos de los productos que se fabrican, así como las características de los flujos de abastecimiento a sus clientes; se presentan algunas estimaciones de sus costos logísticos y del comportamiento de su demanda. Implícitamente, se explica la relación actual con un cliente específico, localizado en Alemania, al que se le denominará CIALESA. A petición de ambas compañías, se omite su razón social para mantener la confidencialidad de la información proporcionada.

6.1.1 La empresa proveedora

Manufactura de Autopartes, S. A. (MASA), es una sociedad anónima con 55% propiedad de un grupo alemán, y 45% de capital mexicano dedicada a la fabricación de autopartes. En términos generales, suministra autopartes a los proveedores de primer anillo del sector del automóvil, y al sector de repuestos; es decir, es una compañía que pertenece al segundo nivel en la cadena de suministro de la industria automotriz, de acuerdo con la clasificación hecha por Lamming (1993) y Brunnermeier y Martin (1999). Esta empresa fue promovida por el interés de un concesionario mexicano de origen alemán que participa como socio minoritario, cuya estrategia corporativa buscó penetrar tanto el mercado mexicano como el norteamericano, asiático y latinoamericano, además del alemán.

La empresa se fundó en 1975 y está conformada por tres plantas localizadas en diferentes sitios de la República Mexicana: Tlalnepantla (Estado de México); Puebla (estado de Puebla); y Querétaro (estado de Querétaro), de donde abastecen al mercado interno e internacional. Emplea alrededor de 296 trabajadores directos, y se apoya en 27 compañías, entre fabricantes y distribuidores nacionales y extranjeros.

El mercado internacional lo abastece con el 75% de su producción; el resto se destina al consumo doméstico. Los mercados internacionales más importantes de esta empresa son los Estados Unidos con el 72% de sus exportaciones, y Alemania con alrededor del 24%. El excedente se envía a Brasil y Japón (2.7 y 1.3%, respectivamente). Una de sus principales políticas se orienta a conseguir un mayor número de clientes en el continente europeo; por ello participa activamente en ferias, congresos y reuniones en dicha región.

La organización de la empresa está compuesta por tres áreas fundamentales: Dirección Comercial; Dirección de Administración y Finanzas; Dirección de Producción; todas ellas dirigidas por un Presidente y el Consejo de Accionistas,

que administran las tres plantas citadas. El estado financiero, como muchas compañías en México, presenta importantes desplomes en sus ventas, derivado de la crisis económica y múltiples problemas operativos, entre los que destaca el suministro de sus productos a los clientes en el comercio internacional.

Por lo anterior desde el 2001, con la finalidad de consolidar su negocio en el extranjero, MASA formalizó una alianza estratégica con un operador logístico, convirtiéndose en el socio principal con el 70% del capital social; en este trabajo de investigación dicho socio se denominará "Operador Logístico", S. A. (OLSA). En general, el operador logístico cuenta con diversos almacenes (propios y arrendados) en puertos marítimos, y un almacén central de consolidación de cargas ubicado en la región centro del país (Tlalnepantla); además, posee una flota vehicular propia, compuesta por 65 camiones de carga tipo trailer, y 95 cajas o contenedores para el movimiento de mercancías.

6.1.1.1 Los productos

Manufactura de Autopartes, S. A., ofrece componentes para diversos sectores, tales como el agrícola (8%); industrial (10%); y automotriz (82%). En el sector automotriz fabrica mazas, suspensiones, partes para motor, y una gran variedad de bujes; asimismo, brinda otros servicios de suministros complementarios y soporte técnico especializado en este campo. Las principales marcas automotrices que abastece son: Ford, Nissan, Honda, Chevrolet, Dodge y Volkswagen. Para este sector produce alrededor de 240 productos diferentes con un volumen de aproximadamente de 38 millones de componentes anuales. La descripción genérica de los principales productos que fabrica se presenta a continuación.

6.1.1.2 Autopartes para la suspensión: rótulas y estabilizadores

La suspensión del automóvil está formada por las ballestas, horquillas rótulas, muelles, y amortiguadores, estabilizadores, ruedas y neumáticos. El bastidor del automóvil puede considerarse como el cuerpo integrador de la suspensión. Está fijado a los brazos de los ejes mediante ballestas o amortiguadores. En los automóviles modernos, las ruedas delanteras (y muchas veces las traseras) están dotadas de suspensión independiente, con lo que cada rueda puede cambiar de plano sin afectar directamente a la otra. Los estabilizadores son unas barras de acero elástico unidas a los amortiguadores para disminuir el balanceo de la carrocería, y mejorar la estabilidad del vehículo.

De la suspensión depende la estabilidad, el agarre y la maniobrabilidad de los vehículos, como también su mejor disposición para enfrentar situaciones diferentes. Las suspensiones deben juzgarse por sus características constructivas, más que por la cantidad de elementos que las componen. Fundamental en ellas, es la regulación de sus diversas piezas; los anillos de goma; los neumáticos; la calibración de los resortes, y amortiguadores. También,

las regulaciones milimétricas de la convergencia; desplazamiento; incidencia, e inclinación.

6.1.1.3 Autopartes para la suspensión: mazas

Las mazas son un componente muy importante para la suspensión y tracción de vehículos, especialmente de la rueda, porque contribuye a:

- a) El desplazamiento del vehículo, mediante la tracción transmitida por la caja de velocidades hasta la rueda, a través de la junta homocinética de precisión.
- b) El frenado del automóvil con acción contraria de desplazamiento.
- c) La reducción de la fricción entre la espiga y la rueda mediante un rodamiento, que se inserta en el cuerpo de la maza.

6.1.2 Servicios logísticos proporcionados por OLSA (Operador Logístico, S. A.)

La compañía Operador Logístico, S A. (OLSA) se alió con MASA en el 2001, y opera como una empresa independiente que proporciona servicio de almacenamiento y transporte para MASA y clientes externos. Dicho sistema de operación, prácticamente es del tipo de alianzas estratégicas que ha explorado Lambert y Gardner (1996), la cual busca explotar las ventajas y oportunidades que proporciona este tipo de acuerdos (Rey, 2001).

OLSA ofrece diferentes servicios para sus clientes, tales como gestión logística de aprovisionamiento (*inbound*) y entrega (*outbound*); gestión de inventarios; transporte; servicios de valor agregado; empaque; embalaje; control de ordenes y adquisiciones; administración de las exportaciones; y documentación. Esta empresa busca ofrecer servicios de excelencia con el propósito de satisfacer los requerimientos de los clientes.

De manera particular, gestiona el movimiento de los productos de MASA utilizando la red mundial de transporte, la cual involucra todos los modos. Para los Estados Unidos, OLSA cuenta con diferentes servicios unimodales y multimodales de transporte (autotransporte, ferrocarril, marítimo y aéreo); para los otros mercados, está obligado a utilizar el servicio multimodal de transporte (cadenas de transporte): ambos caso con diversas rutas alternas. Para lograr lo anterior, utiliza un sistema para la administración del transporte de los conocidos como TMS (*Transportation Management System*), que le ayuda a gestionar el programa de entregas a los clientes nacionales e internacionales. Este sistema posee una componente especial para ofrecer al cliente el seguimiento de la carga en tiempo real.

Cómo política, la empresa busca entregar el producto a su cliente en el tiempo convenido, es decir, con un nivel de servicio al 100%; sin embargo, reconocen que en ocasiones esto no se cumple. OLSA conoce los tiempos de entrega entre los almacenes de la empresa y sus clientes; además conoce que existen alrededor de 23 rutas internacionales posibles de uso.

Debido a que cuenta con una flota vehicular de 65 camiones, el sistema es bastante flexible porque les permite reprogramar ciertos camiones si se presenta un cambio súbito en la demanda. Al año, el sistema maneja aproximadamente alrededor 9,500 contenedores. Por lo que respecta al costo de transporte, ambas compañías negocian los servicios para cada ruta, teniendo en cuenta si los contenedores se cargan completamente en un sitio, “*contenedor completo*” (FCL), o que sean embarques como “*contenedor consolidado*” (LCL).

En resumen, OLSA ofrece servicios de logística de distribución y abasto y de atención al cliente; cuenta con un moderno y dinámico sistema para la gestión logística de la distribución y de servicio al cliente, que le permite programar las entregas normales después de haberse ingresado el pedido.

La empresa ha puesto en marcha un centro de atención exclusivo para clientes operado por *Internet*, en donde se recibe todo tipo de consultas sobre la evolución de entrega de sus pedidos, así como su estado de cuenta corriente. Esto se debe a que OLSA, como política, establece el uso las tecnologías avanzadas para proporcionar un mejor servicio al cliente, tal y como es reconocido en Jiménez y Hernández (2002). El uso de *Internet* le ha permitido mantener una comunicación directa con el cliente para recibir sus pedidos y ofrecer promociones.

6.1.2.1 Características de los flujos de abasto

Por lo que respecta a los clientes de MASA, se sabe que existen ocho compradores principales entre proveedores de primer nivel y empresas comercializadoras (distribuidores). Sin embargo, MASA destaca que estos clientes representan el 82% de sus ventas, localizadas en los Estados Unidos, México y Alemania. En este contexto, los flujos de abasto entre la empresa MASA y sus clientes presentan las siguientes características.

6.1.2.2 El proceso de adquisición del cliente (proveedor de primer nivel)

MASA señala que el proceso de venta de sus productos, normalmente se lleva a través de dos departamentos de sus clientes. Con el área de compras y con la parte operativa que administra la cadena de suministro. Añade que dichos departamentos se dividen la responsabilidad. Compras es responsable de buscar a los proveedores y contactarse para formular los contratos comerciales. El departamento de gestión de la cadena de suministro es el responsable de todas las operaciones que incluyen los contratos; en este sentido, dicho departamento

tiene comunicación constante con MASA, y en particular con OLSA para atender todo lo relacionado con el envío de los productos, tales como transporte y frecuencia; así como el seguimiento de la carga, y su desempeño.

MASA señaló que algunos clientes establecen ciertas políticas que ellos como proveedores deben observar en sus procesos. Estas políticas involucran, entre otras cosas, atender pedidos con tiempos de entrega cortos; mejora continua del desempeño del proveedor en sus envíos; aumentar la frecuencia de envíos; y que el enfoque de su operación debe ser sobre los costos logísticos totales, y no sólo optimizar los costos de transporte, tal y como lo señala Langley (1999).

6.1.2.3 Flujos de abasto en el mercado internacional y doméstico

En términos generales, los flujos de abasto pueden caracterizarse por el suministro de productos que fluyen desde sus plantas hasta el sitio que designe el cliente (proveedores de primer nivel), nacional o extranjero.

Por la distancia que existe entre MASA y sus clientes en los mercados internacionales, esta empresa utiliza un sistema de inventarios basado en una política de revisión periódica, que está en función del ritmo y las cantidades solicitadas por sus clientes (véase Silver, *et al*, 1998). De esta manera, MASA planifica sus envíos teniendo en cuenta solamente el tiempo de embarque y de transporte, ya que mantiene un nivel de inventario para atender su demanda.

Para el mercado en Estados Unidos, MASA responde adecuadamente en un esquema muy similar al *justo a tiempo*, toda vez que dispone de los modos de transporte con operación adecuada y el tiempo de transporte relativamente corto (máximo 36 horas). Sin embargo, para el caso de mercados como Alemania, Japón y Brasil, reportan que los clientes normalmente han decidido utilizar un almacén de consolidación en sitios estratégicos (cercano a su planta) para aprovisionarse en una estrategia del tipo *justo a tiempo* (véase Fernández, *et al*, 2006). El esquema operativo genérico descrito para el caso de los mercados en Europa, Asia y Sudamérica se ilustran en la figura 6.1

En el mercado doméstico formulan acuerdos comerciales con sus clientes del tipo *justo a tiempo*, programando entregas frecuentes. En general MASA no presenta problemas serios en este tipo de entregas, ya que éstas se llevan a cabo de manera puntual utilizando únicamente camiones. Sin embargo, reportan que debido a las condiciones de tránsito vehicular en la región centro, estiman que sus costos se incrementan al tener que adelantar individualmente sus operaciones de entrega para evitar el congestionamiento vehicular, aumentando su tiempo de espera en el patio de su cliente; en otras palabras, incrementan su costo de inventario en tránsito.

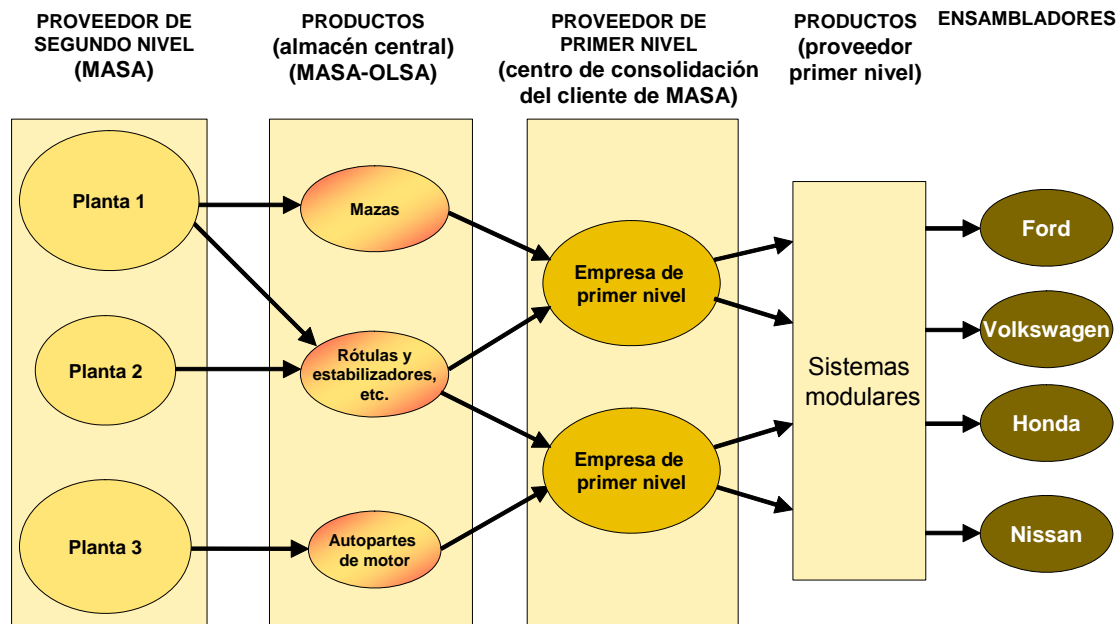


Figura 6.1
Flujos típicos del suministro internacional de autopartes en el sector del automóvil de la empresa bajo estudio

Fuente: elaboración propia con base en información proporcionada por la empresa.

6.1.2.4 Términos del comercio internacional (*incoterms*)

Con relación a los términos de negociación del comercio internacional (*incoterms*) empleados por MASA, señalaron que éstos se ponen a juicio del cliente. Por ejemplo, informaron que en los Estados Unidos solicitan una negociación del tipo FCA (*Free Carrier*) en frontera, y FOB (*Free On Board*) en puerto y muy pocos DDP (*Delivered Duty Paid*), sobre todo los distribuidores; los clientes en Brasil utilizan CIF (*Cost, Insurance and Freight*); por su parte, los de Japón y Alemania prefieren el *incoterm* DDU (*Delivered Duty Unpaid*). Desafortunadamente, desconocen los criterios empleados por sus clientes para definir esta decisión. Sin embargo, estimaron que en algunos casos, se debe al tipo de legislación vigente.

6.1.3 Empresa cliente, bajo estudio

A petición de la empresa, y por necesidades de mejorar su operación en el mercado internacional, concretamente en el continente europeo, se seleccionó al cliente en Alemania (a quién se le conocerá en este trabajo como CIALESA). Con dicho cliente, MASA ha mantenido excelentes relaciones comerciales en un régimen de contratos anuales de aprovisionamiento. Esto ha permitido conseguir cierta información confidencial necesaria para este análisis.

6.1.3.1 Productos seleccionados y demanda anual

En concreto, CIALESA se dedica a la fabricación de sistemas de suspensión modular, sistemas de ruedas y motores, en Alemania; en otros países fabrican sistemas y módulos de techos, puertas, control de accesos y otros. Específicamente, esta empresa coloca pedidos cada 15 días (dos veces por mes) y se abastece de 12 productos de los 240 que fabrica su proveedor en México, con un volumen anual aproximadamente de 6'840,000 componentes; es decir, el 18% de la producción de MASA.

De los 12 diferentes tipos de productos que MASA suministra a CIALESA, cinco de ellos representan casi el 70% de sus envíos, es decir, 4'783,100 componentes anuales. Estos cinco productos, por tanto, han sido seleccionados para el presente análisis. En el cuadro 6.1 se muestra el volumen anual de cada producto y su precio unitario de venta. Nuevamente, con la intención de mantener la confiabilidad de la empresa no se incluyen las características específicas de estos componentes automotrices.

Cuadro 6.1
Precio y demanda anual de los productos seleccionados para el estudio

Concepto	Producto 1 Rótulas	Producto 2 Volante de motor	Producto 3 Juego de Bujes	Producto 4 Mazas para rueda trasera	Producto 5 Mazas para rueda delantera	Total
Precio del producto (dólares)	\$317.18	\$299.78	\$26.02	\$140.53	\$138.41	--
Número de componentes por año	950,600	308,600	1,355,100	959,900	1,208,900	4'783,100
Participación con respecto al total producido	2.5%	0.8%	3.6%	2.5%	3.2%	12.6%

Fuente: Elaboración propia con base en información proporcionada por la empresa.

6.1.3.2 Costos por ordenar y de almacenamiento

Los costos por ordenar y de almacenamiento son dos de los costos más difíciles de cuantificar; y lo que es peor, normalmente las empresas los desconocen por completo. De acuerdo con la teoría general de los inventarios (véase Garrett J. y van Ryzin, 2001), ambos conceptos en general se consideran para definir la política de abasto, y contribuyen de manera importante en los costos totales de gestión. Para este caso en particular, CIALESA informa que posee registros globales de estos dos conceptos debido a los múltiples clientes que tienen a nivel mundial, y por la infinidad de operaciones que realizan conjuntamente.

Para el caso de los costos por ordenar, cuentan con esta información a nivel general; no obstante, a petición formulada por el proveedor (MASA), el cliente proporcionó una estimación del costo por producto sin presentar evidencia alguna de su cálculo. Por este motivo, para validar dicha información se llevó a cabo una

investigación sobre la existencia de los estándares internacionales de la industria automotriz, sin encontrar respuesta alguna.

Lo anterior se justifica por el hecho de que en cada empresa se controla un sinnúmero de factores que los hacen diferentes; sin embargo, la *Apparel Research Logistics* (2006)⁷, en su página web publica los estándares de las compañías manufactureras de la industrial textil que abastecen telas no sólo al sector de la ropa, sino también al automotriz.

En términos generales, esta compañía señala que para procesar una orden de compra normal, los costos se encuentran en un rango de entre \$100 a \$160 dólares. De acuerdo con los datos proporcionados por la empresa en estudio, se observa que algunos de sus costos por ordenar caen dentro de este rango. En particular, el costo promedio por ordenar, de \$87.00 dólares, es indicativo del uso de las tecnologías de comunicación más avanzadas para gestionar los pedidos (véase cuadro 6.2).

Cuadro 6.2
Costo por ordenar

	Producto 1	Producto 2	Producto 3	Producto 4	Producto 5	Promedio
Datos de la empresa	\$100.00	\$85.00	\$45.00	\$95.00	\$110.00	\$87.00

Fuente: elaboración propia con base en información proporcionada por la empresa.

Por lo que respecta a los costos de almacenamiento, la empresa los calcula a través del método de la tasa anual *ad-valorem*.⁸ Este método de aproximación, que se utiliza bastante para la planificación de sistemas logísticos, consiste en admitir que los costos de mantenimiento pueden aproximarse por una tasa anual aplicada al valor de las mercancías almacenadas.

Dicha hipótesis, que es evidente en el caso de los costos financieros de los inventarios, se generaliza en este método a los demás costos que intervienen en la manutención de mercancías (inversiones, personal, energía, deterioros, pérdidas, etc.), asumiéndose que cuanto más caro es un producto más alto es el costo de almacenamiento.

El método de la tasa *ad-valorem* se extiende a los demás costos que componen el resguardo de los productos, admitiendo que además de la tasa anual correspondiente al costo de inventario, hay otros puntos porcentuales relacionados con la integración de los demás costos que también intervienen en el proceso (por ejemplo, costos financieros, deterioro, obsolescencia), conformando tasas superiores a la del almacenamiento de productos.

⁷ http://www.apparesearch.com/logistics_benchmarks.htm.

⁸ *Ad. Val. Ad-Valorem*. Frase que significa "según el valor", que es usada de varias maneras, por ejemplo, cuando se hacen cotizaciones, tasas de seguro o tasas de flete. La expresión aparece también relacionada con los derechos de aduana; muchos de los cuales se calculan al valor las mercancías. Aquí se utiliza como un cargo al costo por concepto de capital inmovilizado.

Es muy importante destacar que estos costos, que se denominan "extras" en el almacenamiento, debido a que siempre están en relación directa con el tipo de mercancías de que se trate, por tanto, no será lo mismo almacenar arena o leña, que componentes automotrices. Dell'Agnolo (2006), reporta que normalmente la estructura de costos más empleada considera: costos financieros de los inventarios, en un intervalo entre 8 y 20%; costo de almacenamiento físico en un rango del 5 al 15%; y costos por deterioro o robo, del 2 al 5%.

Para calcular el costo unitario de almacenamiento, la empresa en estudio sugirió una tasa anual *ad-valorem* del 20% sobre el precio del producto en los 24 periodos de estudio, es decir:

$$h_i = P * \left(\frac{T_i}{24} \right) \quad (6.1)$$

h_i = costo unitario de almacenamiento del producto i durante un período

P = precio del producto

T_i = tasa anual *ad-valorem* (20%)

Cabe señalar que los componentes automotrices no requieren de costos severos de manutención, aunque si de un esmerado sistema de almacenaje, por tanto, en este caso en particular, el costo de almacenamiento se valúa con una tasa que contempla únicamente el costo financiero sin agregar algún cargo "extra". El cuadro 6.3 muestra los costos de almacenamiento calculados para los productos seleccionados.

Cuadro 6.3
Costo unitario de almacenamiento por tipo de producto

Concepto	Producto 1	Producto 2	Producto 3	Producto 4	Producto 5
Costo unitario de almacenamiento por periodo (dólares)	\$2.6432	\$2.4981	\$0.2168	\$1.1711	\$1.4418

Fuente: elaboración propia con base en la información proporcionada por la empresa.

6.1.3.3 Costos y modos de transporte utilizados

El costo de transporte es una componente de las más importantes en el importe total de la gestión del aprovisionamiento. El conocimiento detallado de su magnitud permite estimar su influencia. Sin embargo, generalmente su cálculo es muy complejo debido a que está asociado al tipo de término de entrega convenido (*incoterm*).

Hipotéticamente, el costo de transporte para el *incoterms* DDP puede considerarse el de mayor "facilidad" de cálculo, teniendo en cuenta que el proceso es controlado por la empresa proveedora (MASA a través de OLSA); sin embargo, las

dificultades de acceso a la información de las empresas navieras que intervienen en el proceso, no permiten especificar este dato con mayor precisión. Por este motivo, la compañía determina el costo promedio de transporte para cada modo a partir del costo logístico que asigna como porcentaje del precio de los productos, estimado para cada tipo de servicio (o modo) que utiliza.⁹

En este renglón, la empresa utiliza con mayor frecuencia la combinación camión-barco-camión (95% de las veces) para mover sus productos entre México y Alemania; en menor medida, y sólo para entregas urgentes, utilizan la combinación que incluye el avión (4.5%); y eventualmente, el ferrocarril (0.5%). Para el caso de la combinación con el transporte aéreo, lo hacen a través de convenios con empresas especializadas en envíos de paquetería y mensajería. El cuadro 6.4, presenta el costo promedio unitario de transporte y el porcentaje del costo logístico asignado entre México y Alemania.

Cuadro 6.4
Porcentaje del costo logístico de transporte, y costo promedio de transporte por componente movilizado entre México y Alemania

Rutas alternas de transporte	Porcentaje del costo logístico de transporte sobre el precio del producto	Costo promedio por componente transportado (dólares)	Modos de transporte (cadena de transporte)
Modo 1	2.3%	\$4.1541	Camión-avión-camión (modo rápido)
Modo 2	1.0%	\$1.8901	Camión- barco-camión (modo medio)
Modo 3	0.6%	\$1.0385	Camión-ferrocarril-barco-camión-ferrocarril (modo lento)

Fuente: elaboración propia con base en la información proporcionada por la empresa.

A partir de esta información, es claro observar que utilizando modos de transporte más caros, como en el caso del aéreo, el porcentaje del costo logístico sobre el precio de los productos será mayor. A partir del estudio realizado por García-Menéndez, *et al.* (2004), se estimó que el costo por unidad transportada por el modo aéreo es alrededor de siete veces la del transporte marítimo; tres veces la de ferrocarril y dos veces superior al carretero, según los volúmenes de carga transportada.

6.1.3.4 Distancia y tiempo de entrega

De acuerdo con el operador logístico, los productos que envían hasta Alemania viajan en promedio alrededor de 9,600 km. de distancia. Señalan que el tiempo en tránsito dependerá de la cadena de transporte que se utilice. Por ejemplo, para este caso en particular, por el modo 1 entregan las mercancías en promedio de 3 a 4 días; para el modo 2, estimaron que arriban normalmente en alrededor de 9 a

⁹ Para estimar sus costos logísticos, OLSA se apoya en el informe generado por Establish, Inc, que administra un sistema de información de empresas del todo mundo, con el cual calculan los costos logísticos por sector industrial (ver www.establishinc.com).

11 días, mientras que en el modo 3, las mercancías llegan en 18 a 20 días. Esto equivale a decir que el modo rápido es aproximadamente superior en dos y tres veces el período de entrega, que los modos medio y lento respectivamente.

En el cuadro 6.5 se presenta el tiempo de tránsito de las mercancías por día; transformadas incluso en horas y en términos de la velocidad de servicio que se consideran en el caso de estudio; cabe señalar que en esta investigación, la velocidad de servicio se considera como el componente principal que permite evaluar el nivel de servicio del transporte desde un punto de vista de sistema.

Cuadro 6.5
Tiempo de viaje y velocidad de entrega como atributo principal del nivel de servicio del transporte

Concepto	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Tiempo de tránsito (días)	3 a 4	9 a 11	18 a 20
Tiempo de tránsito (horas)	120.0	263.7	432.0
Velocidad de entrega (nivel de servicio de transporte)	80.0	36.4	22.2

Fuente: elaboración propia con base en información proporcionada por la empresa.

6.1.3.5 Costo de inventario en tránsito

El inventario en tránsito genera un costo relativo al proceso de distribución física internacional (DFI) en función del tiempo de tránsito de las mercancías. Específicamente, es el costo financiero incurrido sobre el valor total del envío que se calcula con base en el precio del producto en el lugar de embarque internacional en el país exportador, a la tasa de interés de la unidad monetaria utilizada por el país. Como es considerado por Beresford (1999), en su modelo hipotético, el tiempo en tránsito incluye:

- Tiempo de tránsito transcurrido entre los lugares de embarque y desembarque internacional.
- Lapsos de tiempo correspondientes a las interfases y a los puntos de ruptura o trasbordo de carga, entre los lugares de embarque y desembarque internacional.

La empresa estima su costo de inventario en tránsito de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$IT = P_i * \left(\frac{i}{365} \right) * T_T \quad (6.2)$$

IT = inventario en tránsito
 P_i = precio del producto i
 T_T = tiempo en tránsito
 i = tasa de interés (12%)

De esta manera, los costos de inventario en tránsito por modo de transporte para cada producto seleccionado, se muestran en el cuadro 6.6.

Cuadro 6.6
Costo unitario de inventario en tránsito para los productos seleccionados (en dólares)

Concepto	Producto 1	Producto 2	Producto 3	Producto 4	Producto 5
Precio del producto (\$ dólares)	\$317.18	\$299.78	\$26.02	\$140.53	\$138.41
Modo 1 (rápido)	\$0.5214	\$0.4928	\$0.0428	\$0.2310	\$0.2275
Modo 2 (medio)	\$1.0428	\$0.9856	\$0.0855	\$0.4620	\$0.4550
Modo 3 (lento)	\$1.8770	\$1.7740	\$0.1540	\$0.8316	\$0.8191

Nota: Tiempo en tránsito considerado: modo 1 = 5 días; modo 2= 11 días; modo 3= 18 días.

Fuente: elaboración propia con base en la información proporcionada por la empresa.

En este cuadro es evidente que, independientemente del precio de los productos, el uso de los modos de transporte más rápidos (modo 1) se obtenga los menores costos de inventario en tránsito; contrario al caso de transportes más lentos que producen el costo más alto.

6.1.4 Parámetros de los modelos

De acuerdo con el diseño del modelo, los parámetros se obtuvieron para cinco productos (autopartes) que se comercializan entre el cliente y el proveedor. En general, los datos sobre el precio; las cantidades de los productos; y los costos por ordenar y abastecer (costos fijos), fueron proporcionados tanto por el cliente como por el proveedor, a partir de los cuales se dedujeron los parámetros del costo. Dicha deducción se obtuvo a partir de un análisis de los costos logísticos para empresas del sector automotriz, aplicando los factores de uso de acuerdo con Davis (2005).

De esta manera, en el cuadro 6.7, se presentan todos aquellos parámetros que el modelo requiere para ser operativo.

Cuadro 6.7
Parámetros del modelo

Concepto		Producto 1	Producto 2	Producto 3	Producto 4	Producto 5
Precio del producto (dólares)	\$	317.18	299.78	26.02	140.53	138.41
Volumen de unidades por año	U	9384	3048	15840	9984	12624
Costo por ordenar (\$)	k_i	100.01	85.01	45.01	95.01	110.01
Costo por almacenar (\$)	h_i	2.6432	2.4981	0.2168	1.1711	1.4418
Costo de capital en tránsito del producto i por el modo 1 (\$)	H_{m1}	0.5214	0.4928	0.0428	0.2310	0.2275
Costo de capital en tránsito del producto i por el modo 2 (\$)	H_{m2}	1.0428	0.9856	0.0855	0.4620	0.4550
Costo de capital en tránsito del producto i por el modo 3 (\$)	H_{m3}	1.8770	1.7740	0.1540	0.8316	0.8191
Costo de transporte modo 1 (\$)	τ_1	4.1541	4.1541	4.1541	4.1541	4.1541
Costo de transporte modo 2 (\$)	τ_2	1.8901	1.8901	1.8901	1.8901	1.8901
Costo de transporte modo 3 (\$)	τ_3	1.0385	1.0385	1.0385	1.0385	1.0385
Eficiencia del transporte del modo 1	φ_1	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
Eficiencia del transporte del modo 2	φ_2	36.40	36.40	36.40	36.40	36.40
Eficiencia del transporte del modo 3	φ_3	22.22	22.22	22.22	22.22	22.22
Distancia de viaje de la carga	km	9,600				

Por lo que se refiere a los ahorros S_1 y S_2 , ofrecidos al cliente sobre el costo total de los productos y del transporte por usar la coordinación *ECR*, se ha propuesto para el modelado el 10 y 15%, respectivamente.

Los datos de la demanda por período y tipo de autopartes se obtuvieron de los registros anuales del cliente; es decir, a partir de un análisis de la producción mensual de automóviles se determinó el índice de variabilidad de la demanda utilizado para definir el tamaño de la orden por período, con un factor aleatorio de media cero y desviación estándar 40. Dicha información se muestra en el cuadro 6.8. Para ser utilizada en el modelo, se ha escalado (en miles de unidades) a fin de lograr un mejor manejo de los resultados.

Cuadro 6.8
Demanda del cliente por tipo de componente o
producto seleccionado (en miles)

Período	Producto 1	Producto 2	Producto 3	Producto 3	Producto 4	Total de unidades
1	425	183	691	493	737	2,529
2	500	179	732	453	598	2,462
3	495	108	824	507	699	2,633
4	413	80	854	352	677	2,376
5	531	122	725	352	536	2,266
6	383	71	791	370	477	2,092
7	562	158	807	534	595	2,656
8	438	77	729	469	611	2,324
9	576	145	838	498	671	2,728
10	565	197	817	509	672	2,760
11	328	203	650	395	275	1,851
12	288	177	190	267	398	1,320
13	289	129	175	225	321	1,139
14	296	85	200	209	438	1,228
15	202	112	232	183	321	1,050
16	176	56	187	150	271	840
17	277	100	123	163	448	1,111
18	212	125	110	235	165	847
19	392	125	223	350	395	1,485
20	426	183	593	490	504	2,196
21	425	73	560	575	562	2,195
22	488	121	753	590	607	2,559
23	324	67	850	620	461	2,322
24	495	210	897	610	650	2,862
Total de unidades	9,506	3,086	13,551	9,599	12,089	47,831

Las características de la información de la demanda, se presentan en el cuadro 6.9.

Cuadro 6.9
Características de los datos de la demanda

Concepto	Producto 1	Producto 2	Producto 3	Producto 4	Producto 5
Desviación estándar	119.3	47.9	289.6	150.4	156.7
Variación	14235.6	2296.5	83845.0	22619.3	24567.3
Media	396.1	128.6	564.6	400.0	503.7
Coefficiente de variabilidad (var/med)	0.09074	0.13890	0.26300	0.14140	0.09683
Coefficiente de variabilidad (SD/Media)	0.3012	0.3727	0.5128	0.3760	0.3112

Por su parte, la figura 6.2 muestra las curvas de comportamiento de la demanda durante el horizonte de planeación para cada uno de los productos. Las cifras de la demanda muestran el comportamiento manifestado entre 2003 y 2004 por la empresa, en donde se aprecian ciertas depresiones entre los períodos 12 y 19, producto de la baja en la venta de automóviles en ese período. Como es evidente, de manera aproximada las autopartes seleccionadas corresponden a un comportamiento muy similar durante el horizonte de estudio, situación muy factible de encontrar en el sector automotriz.

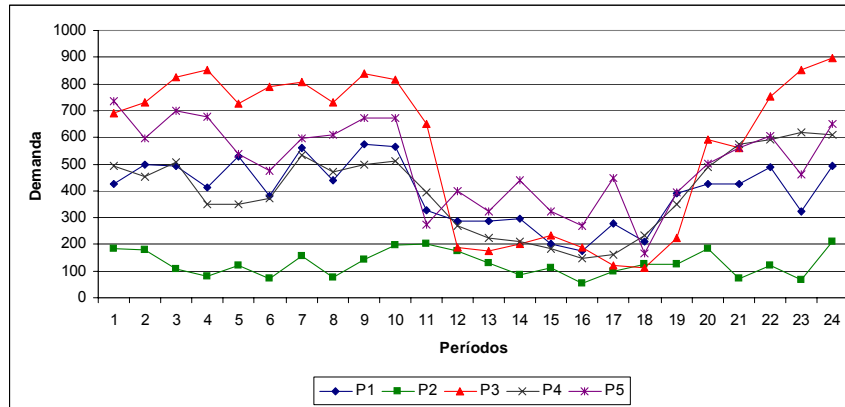


Figura 6.2
Variabilidad de la demanda

De acuerdo con los parámetros de costo y demanda, se determinó el costo de compra para cada uno de los productos y para los 24 períodos de estudio, mismos que se muestran en el cuadro 6.10.

Cuadro 6.10
Costo de compra o adquisición (dólares)

Período	Producto 1	Producto 2	Producto 3	Producto 4	Producto 5	Total
1	134,801.06	54,859.12	207,145.64	147,789.87	102,007.41	646,603.10
2	158,589.49	53,660.01	219,436.48	135,798.81	82,768.56	650,253.35
3	157,003.59	32,375.87	247,015.93	151,986.74	96,747.87	685,130.00
4	130,994.92	23,982.13	256,009.23	105,521.37	93,702.87	610,210.51
5	168,422.03	36,572.75	217,338.04	105,521.37	74,187.21	602,041.40
6	121,479.55	21,284.14	237,123.30	110,917.35	66,021.08	556,825.41
7	178,254.58	47,364.70	241,919.73	160,080.71	82,353.33	709,973.06
8	138,924.39	23,082.80	218,537.15	140,595.23	84,567.88	605,707.45
9	182,695.09	43,467.61	251,212.80	149,288.75	92,872.42	719,536.67
10	179,206.12	59,055.99	244,917.49	152,586.30	93,010.82	728,776.73
11	104,034.70	60,854.65	194,854.80	118,411.76	38,062.47	516,218.38
12	91,347.54	53,060.46	56,957.56	80,040.36	55,086.77	336,492.69
13	91,664.72	38,671.18	52,460.91	67,449.74	44,429.28	294,675.83
14	93,884.98	25,481.01	59,955.32	62,653.31	60,623.13	302,597.75
15	64,070.15	33,574.98	69,548.17	54,859.12	44,429.28	266,481.71
16	55,823.50	16,787.49	56,058.23	44,966.49	37,508.83	211,144.54
17	87,858.58	29,977.66	36,872.52	48,863.59	62,007.22	265,579.56
18	67,241.94	37,472.08	32,975.43	70,447.50	22,837.48	230,974.43
19	124,334.16	37,472.08	66,850.18	104,921.81	54,671.54	388,249.77
20	135,118.24	54,859.12	177,767.53	146,890.54	69,758.12	584,393.55
21	134,801.06	21,883.69	167,874.90	172,371.55	77,785.84	574,717.05
22	154,783.34	36,272.97	225,731.79	176,868.20	84,014.24	677,670.54
23	102,765.99	20,085.03	254,810.12	185,861.50	63,806.53	627,329.17
24	157,003.59	62,953.09	268,899.62	182,863.73	89,965.83	761,685.86
Total	3,015,103.32	925,110.63	4,062,272.88	2,877,555.71	1,673,225.98	12,553,268.53

Con la información anterior y la tarifa de transporte, se determinaron los costos totales de transporte para cada modo y período (cuadro 6.11). Las tarifas representan el costo por unidad transportada en un sistema de consolidación o “contenedor consolidado” (LCL: Less Container Load), del tipo que plantea Van Eijs (1994). Se adopta esta tarifa, debido a que la empresa proveedora consolida sus productos en sus almacenes locales y puertos de salida hacia el continente europeo.

6.2 Diseño de la experimentación

Para llevar a cabo la evaluación de los modelos, con datos reales del caso de estudio, se han supuesto siete escenarios de análisis que describen las diferentes posiciones que pueden asumir el cliente y el proveedor. Dichos análisis, principalmente revelan la evolución de los beneficios (o pérdidas) que podrían resultar en caso de implementar la coordinación ECR para el control de inventarios.

Vale decir también que las comparaciones realizadas se refieren a una situación análoga a la utilizada en la evaluación económica de proyectos (véase, Jansson, 2000), la cual compara los resultados obtenidos de la puesta en marcha del proyecto (coordinación ECR) contra la alternativa de “no hacer nada” (sin coordinación). La descripción específica de cada escenario operativo se presenta más adelante.

Cabe señalar que las dimensiones de los modelos en estudio, que consideran cinco productos, tres modos de transporte y 24 períodos de planeación, en un ambiente de coordinación ExW, fue de 1,682 variables y 691 restricciones; para el *incoterm* DDP, fue de 1,685 variables y 694 restricciones. En el cuadro 6.12 se demuestra que para el caso en que se dupliquen los parámetros, las dimensiones del problema crece de manera drástica al igual que el tiempo de solución.

Cuadro 6.12
Dimensiones del problema y tiempo de ejecución

Número de productos (n)	5	10	20	40	
Número de modos (m)	3	6	12	24	
Períodos (T)	24	48	96	192	
<i>Incoterm</i> ExW	Variables= $2nT+n+4nmT-3$; restricciones = $3n+2nT+nmT+5nm+1$				
	Número de variables	1,682	12,487	96,017	752,677
	Número de restricciones	691	4,171	28,141	204,601
	Tiempo de ejecución máx (seg)	2,415	17,932	137,886	1,080,888
	Tiempo de ejecución mín (seg)	0.5	0.37	2.85	22.37
<i>Incoterm</i> DDP	Variables= $2nT+n+4nmT-3+m$; Restricciones= $3n+2nT+nmT+5nm+1+m$				
	Número de variables	1,685	12,493	96,029	752,701
	Número de restricciones	694	4,177	28,153	204,625
	Tiempo de ejecución máx (seg)	28.67	213	1,580	11,731
	Tiempo de ejecución mín (seg)	0.06	0.4	3.3	24.5

Cuadro 6.11
Costos totales de transporte (dólares)

Periodo	Modo														
	1					2					3				
	Costo unitario de transporte (tarifa)														
	\$4.16					\$1.89					\$1.04				
	Producto					Producto					Producto				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	1,768.77	761.61	2,875.80	2,051.77	3,067.25	804.78	346.53	1,308.48	933.54	1,395.58	442.21	190.41	718.99	512.97	766.85
2	2,080.90	744.96	3,046.44	1,885.30	2,488.76	946.80	338.95	1,386.12	857.80	1,132.37	520.25	186.25	761.65	471.35	622.22
3	2,060.09	449.47	3,429.32	2,110.03	2,909.10	937.33	204.51	1,560.33	960.06	1,323.63	515.05	112.37	857.37	527.53	727.31
4	1,718.82	332.94	3,554.18	1,464.95	2,817.54	782.06	151.49	1,617.13	666.55	1,281.97	429.73	83.24	888.59	366.26	704.42
5	2,209.92	507.74	3,017.31	1,464.95	2,230.72	1,005.50	231.02	1,372.86	666.55	1,014.97	552.51	126.94	754.36	366.26	557.71
6	1,593.97	295.49	3,291.98	1,539.87	1,985.18	725.25	134.45	1,497.84	700.63	903.25	398.51	73.88	823.04	384.99	496.32
7	2,338.93	657.56	3,358.57	2,222.40	2,476.27	1,064.20	299.19	1,528.14	1,011.18	1,126.69	584.76	164.40	839.68	555.63	619.10
8	1,822.87	320.46	3,033.95	1,951.88	2,542.86	829.40	145.81	1,380.43	888.10	1,156.99	455.74	80.12	758.52	487.99	635.75
9	2,397.20	603.46	3,487.59	2,072.58	2,792.57	1,090.71	274.57	1,586.84	943.01	1,270.61	599.33	150.87	871.94	518.17	698.18
10	2,351.42	819.87	3,400.19	2,118.36	2,796.73	1,069.88	373.04	1,547.07	963.84	1,272.50	587.88	204.98	850.09	529.61	699.22
11	1,365.07	844.85	2,705.17	1,643.91	1,144.50	621.10	384.40	1,230.84	747.97	520.74	341.28	211.22	676.33	411.00	286.14
12	1,198.60	736.64	790.74	1,111.20	1,656.40	545.36	335.17	359.78	505.59	753.65	299.66	184.17	197.70	277.81	414.12
13	1,202.76	536.87	728.32	936.41	1,335.94	547.25	244.27	331.38	426.06	607.85	300.70	134.22	182.09	234.11	334.00
14	1,231.89	353.75	832.36	869.82	1,822.87	560.51	160.96	378.72	395.76	829.40	307.99	88.44	208.10	217.46	455.74
15	840.68	466.12	965.54	761.61	1,335.94	382.51	212.08	439.32	346.53	607.85	210.18	116.54	241.40	190.41	334.00
16	732.48	233.06	778.26	624.27	1,127.85	333.27	106.04	354.10	284.04	513.17	183.13	58.27	194.57	156.08	281.98
17	1,152.82	416.18	511.90	678.37	1,864.49	524.53	189.36	232.91	308.66	848.33	288.22	104.05	127.98	169.60	466.14
18	882.30	520.23	457.80	978.02	686.70	401.44	236.70	208.30	445.00	312.44	220.59	130.06	114.46	244.52	171.68
19	1,631.43	520.23	928.08	1,456.63	1,643.91	742.29	236.70	422.27	662.76	747.97	407.88	130.06	232.03	364.18	411.00
20	1,772.93	761.61	2,467.95	2,039.28	2,097.55	806.67	346.53	1,122.90	927.86	954.37	443.25	190.41	617.02	509.85	524.41
21	1,768.77	303.81	2,330.61	2,393.04	2,338.93	804.78	138.23	1,060.42	1,088.82	1,064.20	442.21	75.96	582.68	598.29	584.76
22	2,030.96	503.58	3,133.84	2,455.46	2,526.21	924.08	229.13	1,425.88	1,117.22	1,149.42	507.76	125.90	783.50	613.90	631.58
23	1,348.42	278.84	3,537.53	2,580.32	1,918.59	613.53	126.87	1,609.56	1,174.03	872.95	337.12	69.71	884.43	645.11	479.67
24	2,060.09	873.98	3,733.13	2,538.70	2,705.17	937.33	397.66	1,698.56	1,155.10	1,230.84	515.05	218.51	933.33	634.71	676.33
Suma	39,562.07	12,843.3	56,396.55	39,949.12	50,312.00	18,000.56	5,843.65	25,660.17	18,176.67	22,891.73	9,890.99	3,210.98	14,099.82	9,987.76	12,578.60
	Costo total de transporte, modo 1				199,063.06	Costo total de transporte, modo 2				90,572.78	Costo total de transporte, modo 3				49,768.16

6.2.1 Descripción de los escenarios de evaluación

Escenario 0. En este escenario, el cliente acude a la planta del proveedor para recoger su producto y asume todos los costos logísticos para el traslado de sus productos. En un ambiente no coordinado, se asume que el tamaño de la orden se define por el cliente atendiendo a su lote económico, y corresponde a una política de abasto del tipo “*lote por lote*”; se usa predominantemente el mínimo costo como criterio principal y se utiliza el modo de transporte más barato (lento). El proveedor, por su parte, se limita a asumir los costos fijos por atender cada orden que recibe de su cliente y por procesar cada producto incluido en la orden. El modelado se llevó a cabo con la aplicación de programa lineal multiobjetivo entero MMNC, presentado en el capítulo 5, que considera ambos criterios (costo y nivel de servicio de transporte) en un ambiente no coordinado.

El **escenario 1** establece una comparación de la práctica no coordinada basada en el costo, contra la estrategia coordinada que tiene en cuenta los criterios de costo y nivel de servicio del transporte en un ambiente de negociación del *incoterm* ExW. Más específicamente, se plantea la comparación de un esquema donde los socios en la cadena de suministro no se coordinan, y el abasto de los productos se basa en un enfoque con prioridad del mínimo costo sin darle mayor importancia al nivel de servicio de transporte (menor costo y peor nivel de servicio), contra cada una de las soluciones de la estrategia coordinada, donde la preferencia a los criterios involucrados se intercambia. Es importante destacar que la estrategia coordinada en un contexto de negociación ExW, se modela con el programa lineal multiobjetivo entero MMC-ExW propuesto (capítulo 5), el cual considera que el cliente asume los costos por el traslado de sus productos que adquiere en la planta del proveedor.

El **escenario 2** plantea hacer una comparación de la práctica no coordinada contra la estrategia coordinada, teniendo en cuenta los criterios de costo y nivel de servicio del transporte en un ambiente de negociación ExW. Este escenario supone que en la práctica no coordinada, la preferencia a los criterios involucrados se intercambia para definir las diferentes opciones de solución (curva Pareto), que se comparan una a una contra las opciones obtenidas para el caso coordinado, el cual también tiene en cuenta ambos criterios.

El **escenario 3** plantea la comparación de una práctica no coordinada basada en el nivel de servicio de transporte, contra la estrategia coordinada que tiene en cuenta los criterios de costo y nivel de servicio del transporte en un ambiente de negociación ExW. Para ser más específicos, este escenario propone la comparación de un esquema cuando los socios en la cadena de suministro no se coordinan, y donde el abasto de los productos se basa en un enfoque con prioridad al nivel de servicio de transporte, sin darle mayor importancia al costo (es decir, peor costo y mejor nivel de servicio), contra cada una de las soluciones de una estrategia coordinada, donde la preferencia a los criterios involucrados se intercambia (es decir, que existe *tradeoff*). Nuevamente, cabe aclarar que la

estrategia coordinada en un contexto de negociación ExW, se modela también con el programa lineal multiobjetivo entero MMC-ExW.

En el **escenario 4** se compara la práctica no coordinada basada en el costo contra la estrategia coordinada que considera los criterios de costo y nivel de servicio del transporte, pero ahora en un ambiente de negociación DDP. Nuevamente se hace la comparación de la solución extrema que el cliente y proveedor pueden asumir, basada en el costo (mínimo costo y peor nivel de servicio de transporte) contra cada una de las soluciones coordinadas en un ambiente negociación DDP, que tiene en cuenta el intercambio del nivel de preferencia de los criterios involucrados. Cabe señalar que la estrategia coordinada en un contexto de negociación DDP, se modela con el programa lineal multiobjetivo entero MMC-DDP, el cual considera que el proveedor lleva a cabo todas las actividades logísticas para el traslado de los productos al local del comprador, que incluye la negociación de las tarifas de transporte.

En el **escenario 5** se establece la comparación de la práctica no coordinada contra la estrategia coordinada que tiene en cuenta los criterios de costo y nivel de servicio del transporte en un ambiente de negociación DDP. En este escenario se supone que en la estrategia no coordinada, la preferencia a los criterios involucrados se intercambia para definir las diferentes opciones de solución, que se comparan una a una contra las opciones obtenidas para el caso coordinado DDP, el cual también considera ambos criterios.

Finalmente, en el **escenario 6** se plantea la comparación de la práctica no coordinada, basada en el nivel de servicio de transporte contra la estrategia coordinada que tiene en cuenta los criterios de costo y nivel de servicio del transporte en un ambiente de negociación DDP. Para ser más específicos, este esquema plantea la comparación de una situación donde los socios en la cadena de suministro no se coordinan, y el abasto de los productos se basa en un enfoque con prioridad al nivel de servicio de transporte, sin darle mayor importancia al costo (es decir, peor costo y mejor nivel de servicio), contra cada una de las soluciones de la estrategia coordinada, donde la preferencia a los criterios involucrados se intercambia. Cabe señalar en este caso, que la estrategia coordinada en el contexto de negociación DDP se modela también con el programa lineal multiobjetivo entero MMC-DDP.

El cuadro 6.13 presenta un resumen de los escenarios propuestos, observándose los criterios considerados en cada esquema de comparación entre la alternativa “sin coordinación” y la estrategia “coordinada”, marcados éstos con el símbolo .

Cuadro 6.13
Resumen de comparación de los escenarios propuestos

Comparación de escenarios	Coordinado			Tipo de <i>incoterm</i>	
	Criterios	Costo	Nivel de servicio		
Sin coordinación	Escenario 0	Costo	x	x	(1)
		Nivel de servicio	x	x	
	Escenario 1	Costo	✓	✓	ExW
		Nivel de servicio	x	x	
	Escenario 2	Costo	✓	✓	ExW
		Nivel de servicio	✓	✓	
	Escenario 3	Costo	x	x	ExW
		Nivel de servicio	✓	✓	
	Escenario 4	Costo	✓	✓	DDP
		Nivel de servicio	x	x	
	Escenario 5	Costo	✓	✓	DDP
		Nivel de servicio	✓	✓	
	Escenario 6	Costo	x	x	DDP
		Nivel de servicio	✓	✓	

Nota (1): En este escenario se podría considerar que el *incoterm* empleado es del tipo ExW, en un contexto no coordinado teniendo en cuenta ambos criterios. En este caso no se indica el símbolo porque no se compara contra el esquema coordinado.

Los escenarios descritos fueron diseñados para que cada uno de los socios comerciales involucrados (cliente y proveedor) conozcan las diferentes perspectivas de solución y conducta que podrían asumir sobre la toma de decisiones. El objetivo fundamental de este análisis busca identificar los segmentos de oportunidad para la coordinación ECR para el control de inventarios y el suministro de autopartes por medio de tres modos de transporte.

6.2.2 Medidas de desempeño para evaluar los beneficios de la estrategia ECR

La instrumentación de la estrategia ECR para la coordinación del abastecimiento y de la gestión de los inventarios entre un cliente y un proveedor, es apropiada cuando los resultados de su aplicación producen beneficios para ambos y para el sistema en su conjunto (cliente-proveedor). La evaluación de su influencia en el contexto coordinado se determina por la comparación de los resultados alcanzados contra los de una política no coordinada.

De esta manera, las medidas de desempeño que se utilizan para decidir si es benéfica o no la coordinación ECR, son: el porcentaje de ahorro en los costos incurridos por el cliente y el proveedor al usar la estrategia ECR, así como el porcentaje de ahorro en la suma de los costos incurridos por el sistema en su conjunto. Las expresiones 6.3, 6.4 y 6.5 presentan la relación de las variables que determinan dichas circunstancias para el tipo de negociación ExW, en términos del costo.

$$\text{Ahorro o pérdida del cliente} = \frac{\sum_i g_{li}^{nC} - g_1^{CoExW}}{\sum_i g_{li}^{nC}} \times 100\% \quad (6.3)$$

$$\text{Ahorro o pérdida del proveedor} = \frac{g_0^{nC} - g_0^{CoExW}}{g_0^{nC}} \times 100\% \quad (6.4)$$

$$\text{Ahorro o pérdida del sistema} = \frac{\left(\sum_i g_{li}^{nC} - g_1^{CoExW} \right) - \left(g_0^{nC} - g_0^{CoExW} \right)}{\left(\sum_i g_{li}^{nC} - g_1^{CoExW} \right)} \times 100\% \quad (6.5)$$

Las expresiones 6.6, 6.7 y 6.8 presentan la relación de las variables que determinan los beneficios o pérdidas, en términos del costo y para el tipo de negociación DDP.

$$\text{Ahorro o pérdida del cliente} = \frac{\sum_i g_{li}^{nC} - g_1^{CoDDP}}{\sum_i g_{li}^{nC}} \times 100\% \quad (6.6)$$

$$\text{Ahorro o pérdida del proveedor} = \frac{g_0^{nC} - g_0^{CoDDP}}{g_0^{nC}} \times 100\% \quad (6.7)$$

$$\text{Ahorro o pérdida del cliente} = \frac{\left(\sum_i g_{li}^{nC} - g_1^{CoDDP} \right) - \left(g_0^{nC} - g_0^{CoDDP} \right)}{\left(\sum_i g_{li}^{nC} - g_1^{CoDDP} \right)} \times 100\% \quad (6.8)$$

Debido a la aplicación multicriterio en los modelos propuestos, los beneficios no sólo pueden verse desde una perspectiva simplista basada en el costo, sino también los resultados pueden evaluarse teniendo en cuenta el efecto de combinar diferentes alternativas de transporte en un contexto coordinado, contra el nivel de servicio de transporte en un esquema no coordinado. Las medidas de desempeño en este sentido son: el porcentaje de mejora o pérdida del nivel de servicio de transporte (NS) para cada tipo de negociación del comercio internacional. Las expresiones 6.9 y 6.10 presentan la relación de las variables que determinan los beneficios o pérdidas del nivel de servicio de transporte para el tipo de negociación ExW y DDP.

$$\text{Mejora o pérdida del NS}_{-ExW} = \frac{\sum_i g_{li}^{ef} - g_1^{efExW}}{\sum_i g_{li}^{ef}} \times 100\% \quad (6.9)$$

$$\text{Mejora o pérdida del NS}_{-DDP} = \frac{\sum_i g_{li}^{ef} - g_1^{efDDP}}{\sum_i g_{li}^{ef}} \times 100\% \quad (6.10)$$

De la misma manera, el nivel de las inversiones sobre la necesidad de mejorar los sistemas operativos, implica conocer la medida de desempeño de dicha inversión, en este caso, se define a través del índice del nivel de servicio como la relación del nivel de servicio alcanzado y el costo total del sistema de cada alternativa.

$$\text{Índice de nivel de servicio de transporte (INS}_{-}NC) = \frac{NS_{-}no\ coordinado}{Costo\ total} \quad (6.11)$$

$$\text{Índice de nivel de servicio de transporte (INS}_{-}ExW) = \frac{NS_{-}ExW}{Costo\ total} \quad (6.12)$$

$$\text{Índice de nivel de servicio de transporte (INS}_{-}DDP) = \frac{NS_{-}DDP}{Costo\ total} \quad (6.13)$$

6.3 Análisis operativo de los modelos y comparación de las fronteras Pareto

En esta sección se presenta el análisis de los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología propuesta, que resuelve los modelos para la coordinación de inventarios. Dichos resultados se generan a partir de 50 corridas de computadora para cada tipo de *incoterm*, y por política de coordinación. Es decir se realizaron 250 procesos, de los cuales se obtuvieron entre 25 y 28 soluciones *no dominadas* y no repetidas para cada caso. Es importante recordar que el método de los pesos ponderados tiene la desventaja de repetir soluciones ya encontradas, por lo que en muchas ocasiones resultó innecesario llevar a cabo un mayor número de procesos. Dichas aplicaciones computacionales se llevaron a cabo con una interfase entre los software comerciales Lindo (2002) y Cplex (2005).

Como ya se dijo, el análisis se lleva a cabo para siete escenarios, en los cuales fundamentalmente se compara la frontera Pareto no coordinada (escenario 0) contra la frontera Pareto de los escenarios que utilizan la estrategia de coordinación ECR entre cliente y proveedor, en el contexto de los *incoterms* ExW y DDP. De manera especial, en esta parte del proyecto se describe la compensación que surge de preferir el criterio costo por el nivel de servicio de transporte y viceversa (*trapeoff*), permitiendo establecer las cotas inferiores y superiores para la toma de decisiones.

6.3.1 Análisis operativo del modelo. Escenario 0

Escenario 0. Esquema no coordinado cliente – proveedor, teniendo en cuenta los criterios de costo y nivel de servicio del transporte en un ambiente de negociación tipo ExW.

- a) En un ambiente no coordinado, las acciones basadas con preferencia al costo como criterio de decisión, permiten observar que el cliente puede lograr el

menor costo total en su esquema de abastecimiento utilizando los modos de transporte “más baratos” (o más lentos o menos confiables, o con el peor nivel de servicio) para el traslado de sus productos (véase opción número 1 en el cuadro 6.14). En dicho cuadro se observa que un cambio en las preferencias, con dirección al nivel de servicio de transporte, el costo total del cliente es peor (columna 6), pero se logra una mejora sustancial en el nivel de servicio (columna 9). De aquí en adelante, los cuadros y figuras que contengan el nivel de servicio del transporte, se asumirá que el símbolo negativo significará que “menos es mejor”.

Cuadro 6.14
Costos del cliente-proveedor no coordinados (Soluciones no dominadas)

Dirección	Núm. de opciones	Costos del cliente					Costo del proveedor	Costo total del sistema no coordinado	Nivel de servicio del transporte
		Ordenar	Inventario	Inventario en tránsito	Transporte	Total			
(1)	(2)	(3)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
↑ Preferencia al costo ↓ Preferencia al nivel de servicio del transporte	1	10,441	-	57,448	60,657	128,547	54,000	182,547	-1257881
	2	10,441	-	53,251	64,970	128,663	54,000	182,663	-1329676
	3	10,441	-	54,902	63,247	128,590	54,000	182,590	-1300992
	4	10,441	-	51,151	67,083	128,675	54,000	182,675	-1364835
	5	10,441	-	51,151	67,083	128,675	54,000	182,675	-1364835
	6	10,441	-	51,151	67,083	128,675	54,000	182,675	-1364835
	7	10,441	-	51,151	67,083	128,675	54,000	182,675	-1364835
	8	10,441	-	49,004	69,407	128,852	54,000	182,852	-1403516
	9	10,441	-	49,512	69,112	129,065	54,000	183,065	-1398617
	10	10,441	-	49,004	69,407	128,852	54,000	182,852	-1403516
	11	10,441	-	49,004	69,407	128,852	54,000	182,852	-1403516
	12	10,441	-	49,004	69,407	128,852	54,000	182,852	-1403516
	13	10,441	-	40,705	79,753	130,899	54,000	184,899	-1575733
	14	10,441	-	40,705	79,753	130,899	54,000	184,899	-1575733
	15	10,441	-	40,705	79,753	130,899	54,000	184,899	-1575733
	16	10,441	-	36,032	90,892	137,365	54,000	191,365	-1778034
	17	10,441	-	24,642	128,851	163,934	54,000	217,934	-2476842
	18	10,441	-	14,821	199,063	224,325	54,000	278,325	-3826480
	19	10,441	-	14,821	199,063	224,325	51,300	278,325	-3826480
	20	10,441	-	14,821	199,063	224,325	49,680	278,325	-3826480
	21	10,441	-	14,821	199,063	224,325	48,060	278,325	-3826480
	22	10,441	-	14,821	199,063	224,325	45,900	278,325	-3826480
	23	10,441	-	14,821	199,063	224,325	43,740	278,325	-3826480
	24	10,441	-	14,821	199,063	224,325	42,120	278,325	-3826480
	25	10,441	-	14,821	199,063	224,325	27,000	278,325	-3826480
	26	10,156	1,850	14,728	199,063	225,798	32,400	279,798	-3826480
	27	9,406	8,004	14,334	199,063	230,807	16,200	284,807	-3826480
	28	9,406	8,004	14,334	199,063	230,807	9,900	284,807	-3826480

- b) Bajo este esquema o criterio de operación se ha observado que son más comunes las fallas en el sistema de inventarios, en virtud de los problemas que provocan los servicios de transporte poco confiables y con grandes tiempos de entrega. De hecho, los resultados sobre los costos de inventario en tránsito y

de transporte mostraron magnitudes similares; en la figura 6.3, éstos representan los componentes principales de la estructura de costos del cliente.

- c) Por lo que respecta al proveedor, en el cuadro 6.14 se observa que sus costos fijos no muestran alguna modificación de importancia; la justificación de este hecho se debe fundamentalmente a la práctica de su cliente por mantener inventarios al más bajo nivel, con lo cual no le permite algún tipo de consolidación significativa para administrar mejor sus envíos.

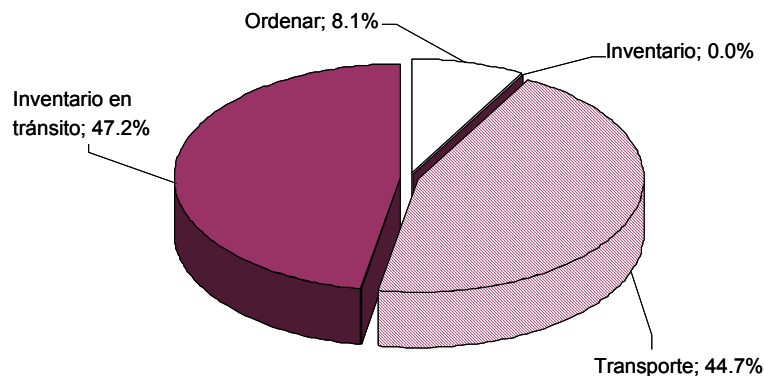


Figura 6.3
Estructura de costos del cliente (no coordinado)
con énfasis en el costo (escenario 0)

- d) En general, el uso multicriterio por parte del cliente en un ambiente no coordinado permite observar un comportamiento adecuado del modelo. Los resultados demuestran que el costo por ordenar sigue una tendencia basada en una política de lote por lote (inventario cero), definida a partir de los altos costos que representa el almacenamiento de los productos automotrices. Por esta razón, a partir de un enfoque basado en los costos, y no en el nivel de servicio, en el cuadro 6.15 se observa que los costos de inventario en tránsito (columna 5) y de transporte (columna 6) son muy similares (44% por 48%). En la medida en que esta perspectiva se modifica, considerando más el nivel de servicio de transporte, la tendencia es hacia una reducción de los costos de inventario en tránsito por un aumento sustancial en los correspondientes al transporte. De hecho, la estructura de costos del cliente muestra que estos dos conceptos intercambian su participación, hasta que el transporte representa casi el 90% cuando alcanza su mayor nivel de servicio.
- e) En la figura 6.4 se muestran las soluciones no dominadas para el caso bicriterio del cliente en el contexto no coordinado. Dichas soluciones dibujan la curva Pareto de las posibles soluciones, y son el resultado obtenido con la técnica de los pesos ponderados.

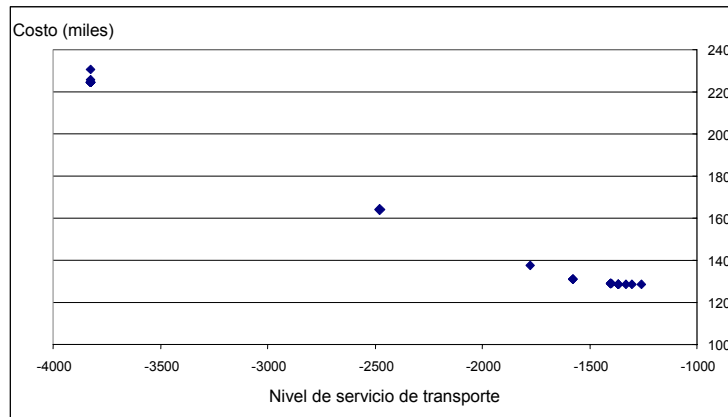


Figura 6.4
Soluciones no dominadas del cliente sin coordinación

Cuadro 6.15
Estructura de costos del cliente no coordinado

Dirección	Número de opción	Ordenar	Inventario	Inventario en tránsito	Transporte	Total
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Preferencia al costo ↑ ↓ Preferencia al nivel de servicio del transporte	1	8.1%	0.0%	44.7%	47.2%	100.0%
	2	8.1%	0.0%	41.4%	50.5%	100.0%
	3	8.1%	0.0%	42.7%	49.2%	100.0%
	4	8.1%	0.0%	39.8%	52.1%	100.0%
	5	8.1%	0.0%	39.8%	52.1%	100.0%
	6	8.1%	0.0%	39.8%	52.1%	100.0%
	7	8.1%	0.0%	39.8%	52.1%	100.0%
	8	8.1%	0.0%	38.0%	53.9%	100.0%
	9	8.1%	0.0%	38.4%	53.5%	100.0%
	10	8.1%	0.0%	38.0%	53.9%	100.0%
	11	8.1%	0.0%	38.0%	53.9%	100.0%
	12	8.1%	0.0%	38.0%	53.9%	100.0%
	13	8.0%	0.0%	31.1%	60.9%	100.0%
	14	8.0%	0.0%	31.1%	60.9%	100.0%
	15	8.0%	0.0%	31.1%	60.9%	100.0%
	16	7.6%	0.0%	26.2%	66.2%	100.0%
	17	6.4%	0.0%	15.0%	78.6%	100.0%
	18	4.7%	0.0%	6.6%	88.7%	100.0%
	19	4.7%	0.0%	6.6%	88.7%	100.0%
	20	4.7%	0.0%	6.6%	88.7%	100.0%
	21	4.7%	0.0%	6.6%	88.7%	100.0%
	22	4.7%	0.0%	6.6%	88.7%	100.0%
	23	4.7%	0.0%	6.6%	88.7%	100.0%
	24	4.7%	0.0%	6.6%	88.7%	100.0%
	25	4.7%	0.0%	6.6%	88.7%	100.0%
	26	4.5%	0.8%	6.5%	88.2%	100.0%
	27	4.1%	3.5%	6.2%	86.2%	100.0%
	28	4.1%	3.5%	6.2%	86.2%	100.0%

6.3.2 Análisis operativo del modelo y frontera Pareto. Escenario 1

Escenario 1: Esquema no coordinado con énfasis en el costo contra un esquema coordinado, teniendo en cuenta los criterios de costo y nivel de servicio del transporte en un ambiente de negociación ExW.

Para el caso del escenario 1, en la figura 6.5 se compara la alternativa no coordinada (A_{NC}) contra la coordinada en el contexto ExW para el cliente. El símbolo en círculo indica la solución no dominada cuando la política de inventarios es no-coordinada $A_{NC}(C_1, N_{S_1})$; esto es, el cliente realiza sus compras de acuerdo con su política de costo mínimo, y el proveedor surte los pedidos que se acumulan por período. Los símbolos en cuadro corresponden a soluciones no dominadas cuando se sincroniza la decisión de abasto. En la figura es claro observar que la alternativa no coordinada es mejor en costo, pero no en nivel de servicio de transporte con respecto a cualquier solución de la alternativa coordinada; por tanto, cambiar a un esquema coordinado representa al cliente una pérdida en costo, pero una ganancia en nivel de servicio en su abastecimiento. La figura muestra la cota inferior en costo y nivel de servicio $A_{Ci}(C_2, N_{S_2})$ y la cota superior $A_{Cs}(C_3, N_{S_3})$, los cuales representan los puntos extremos para seleccionar una alternativa si se decidiera cambiar a un esquema coordinado.

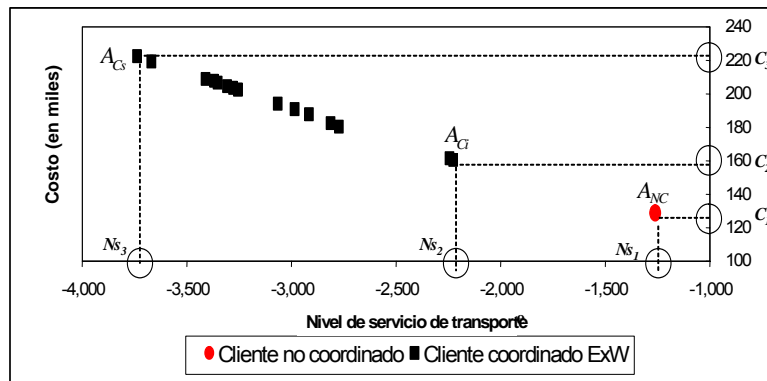


Figura 6.5
Frontera eficiente del cliente (escenario 1)

Por su parte, en la figura 6.6 se compara la alternativa no coordinada (A_{NC}) contra la coordinada en el contexto ExW para el proveedor. En dicha figura se observa que $A_{NC}(C_1, N_{S_1})$ representa la alternativa no coordinada, la cual establece el punto de referencia del proveedor para implementar un esquema coordinado. Procediendo a la proyección de la alternativa no coordinada al punto $A'_{NC}(C_1, N_{S_3})$ en la figura anterior se distingue que el proveedor puede aumentar el nivel de servicio de transporte, con el mismo costo desde un enfoque coordinado.

Desde este punto de vista se comprueba que es posible llevar a cabo una reducción en el costo y al mismo tiempo aumentar el nivel de servicio de transporte en el segmento de la curva, entre la cota inferior $A_{Ci}(C_2, N_{S_2})$ y la proyección $A'_{NC}(C_1, N_{S_3})$. Esto último significa que la alternativa no coordinada es dominada por la solución que representa la cota inferior, y por un conjunto de soluciones sobre la frontera eficiente hasta el punto $A'_{NC}(C_1, N_{S_3})$; más

específicamente, la coordinación cumple cabalmente con las funciones objetivos propuestas en este rango -minimizar el costo y maximizar el nivel de servicio de transporte. Finalmente, en el intervalo $[A_{C_s}(C_4, N_{S_4}), A'_{NC}(C_1, N_{S_3})]$ se encuentran las soluciones débilmente no dominadas, en un ambiente de coordinación con respecto a la alternativa no coordinada.

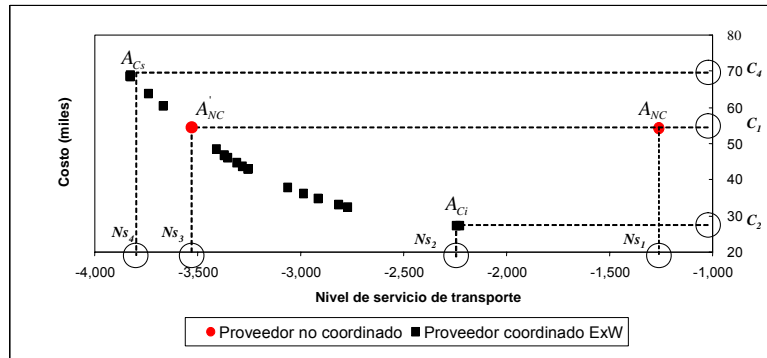


Figura 6.6
Frontera eficiente del proveedor (escenario 1)

Asimismo, en la figura 6.7 se compara la alternativa no coordinada (A_{NC}) contra la coordinada en el contexto ExW para el sistema cliente-proveedor. En dicha figura se observa de antemano que $A_{NC}(C_1, N_{S_1})$, representa la alternativa que establece el punto de referencia del sistema para analizar la implementación de la política coordinada. Es claro observar nuevamente que la alternativa no coordinada es mejor en costo, pero no en nivel de servicio de transporte con relación a cualquier solución de la alternativa coordinada; por tanto, cambiar a un esquema coordinado le representa al sistema un mayor costo, pero una ganancia en el nivel de servicio en el abastecimiento. Dicha figura también se aprecia la cota inferior $A_{C_i}(C_2, N_{S_2})$, y la cota superior $A_{C_s}(C_3, N_{S_3})$ en términos de costo y nivel de servicio, los cuales representan los puntos extremos para seleccionar una alternativa si se decidiera cambiar a un esquema coordinado.

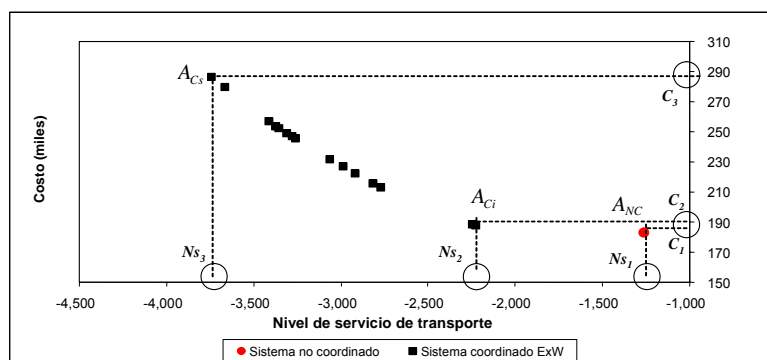


Figura 6.7
Frontera eficiente del sistema (Escenario 1)

A partir de las figuras descritas, y a manera de conclusión, puede establecerse que el esquema coordinado no es conveniente para el cliente, y sí para el proveedor. Desde el punto de vista del sistema, es claro observar que la alternativa coordinada no tiene efecto positivo para el sistema (cliente-proveedor) si este funciona sólo basado en el costo, es decir, si no tiene en cuenta el criterio de nivel de servicio. La posible instrumentación de un esquema coordinado en este contexto parece no muy recomendable desde el punto de vista para el sistema, debido a que las pérdidas del cliente superan las ganancias del proveedor, provocando resultados negativos.

6.3.3 Análisis operativo del modelo y frontera Pareto. Escenario 2

Escenario 2: Esquema no coordinado contra esquema coordinado teniendo en cuenta los criterios de costo y nivel de servicio del transporte en un ambiente de negociación ExW.

La figura 6.8 muestra la comparación de las soluciones no dominadas en el contexto no coordinado, contra las soluciones derivadas cuando se aplica la estrategia de coordinación ECR en un ambiente de negociación ExW, y cuando el cliente considera simultáneamente el criterio de costos y el de nivel de servicio de transporte. Los símbolos en círculo indican soluciones no dominadas cuando la política de inventarios es no coordinada; esto es, el cliente realiza sus compras de acuerdo con su política de costo mínimo, y el proveedor surte los pedidos que se acumulan por período. Los símbolos en cuadro corresponden a soluciones no dominadas cuando se sincroniza la decisión de abasto. La frontera no dominada del problema con coordinación, claramente es superada por la frontera no dominada de la política sin coordinación. Esto significa que la coordinación no es conveniente para el cliente, sobre todo cuando el énfasis de la decisión se basa en el costo. En la medida en que se prefiere el nivel de servicio, se observa que ambas fronteras eficientes se van acercando paulatinamente, dando como resultados que algunas alternativas en esta dirección, casi convergen.

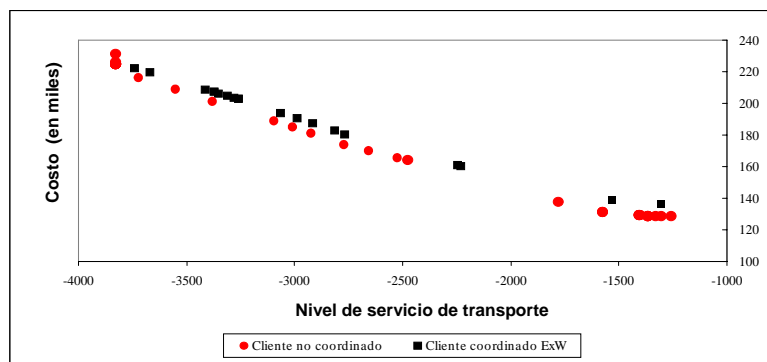


Figura 6.8
Frontera eficiente del cliente (escenario 2)

En la figura 6.9 se muestran las curvas Pareto, que describen las alternativas de solución para el proveedor bajo el esquema no coordinado y coordinado. En dicha figura se observa el desarrollo de cada una de las alternativas en ambos contextos. Como es evidente, las alternativas para el caso no coordinado mantienen una constante en términos del costo con incrementos en el nivel de servicio. Por su parte, las alternativas coordinadas (soluciones no dominadas) muestran claramente que el proveedor tiene diversas opciones que le permite minimizar su costo y aumentar el nivel de servicio de transporte, entre el segmento $A_{Ci}(C_2, N_{S_2})$ y el punto $A_{NC} \approx A_C$, lugar donde se interceptan ambas curvas.

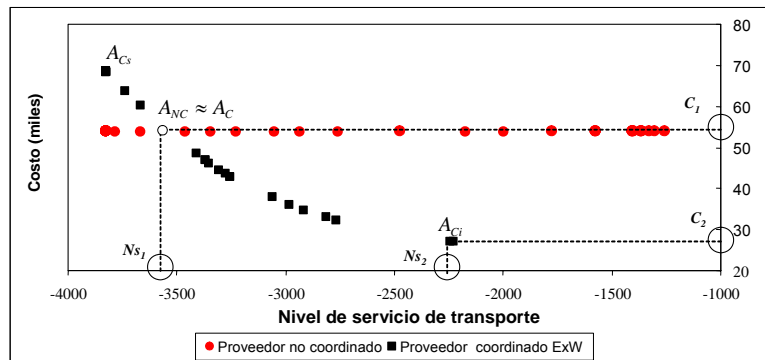


Figura 6.9
Frontera eficiente del proveedor (escenario 2)

Por lo que se refiere al sistema en su conjunto (cliente-proveedor), en la figura 6.10 se aprecia que la frontera no dominada del problema con coordinación, claramente supera la frontera no dominada de la política sin coordinación. Sin embargo, en la medida en que se prefiere dar mayor importancia al nivel de servicio, la situación se invierte en el momento en que se interceptan las curvas eficientes en el punto $A_{NC} \approx A_C$, el cual podría también interpretarse como la cota superior en la que es más rentable la coordinación, a partir de un diferenciado nivel de servicio.

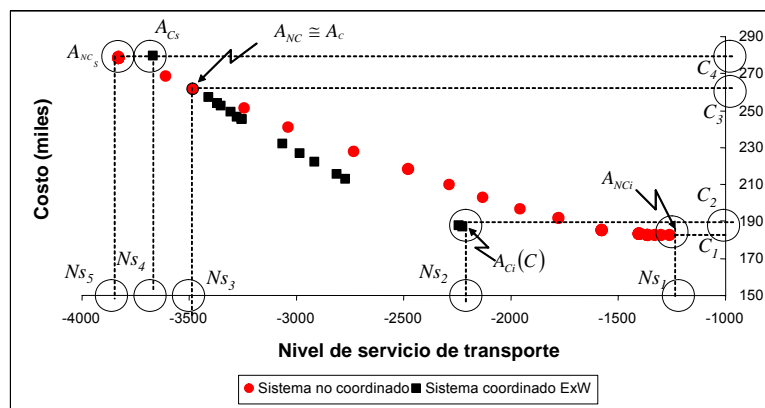


Figura 6.10
Frontera eficiente del sistema (escenario 2)

6.3.4 Análisis operativo del modelo y frontera Pareto. Escenario 3

Escenario 3: Esquema no coordinado, con énfasis en el nivel de servicio de transporte contra esquema coordinado teniendo en cuenta los criterios de costo y nivel de servicio del transporte, en un ambiente de negociación ExW.

La figura 6.11 presenta una muestra de las soluciones obtenidas del modelo, las cuales forman parte de la frontera eficiente del cliente desde el punto de vista coordinado. En dicha figura se denota que el punto de referencia A_{NC} representa el vector de los criterios del cliente en el contexto no coordinado (C_1, Ns_1) , con un enfoque basado en el nivel de servicio del transporte. Asimismo, se observa que la solución no coordinada domina a las soluciones coordinadas en lo que se refiere al nivel de servicio, pero es dominada en el criterio de costo. Esta lectura, permite deducir que el cliente puede lograr niveles adecuados de servicio de transporte sin necesidad de utilizar la cota superior obtenida por la alternativa no coordinada. Ello permitirá ahorros sustanciales en términos del costo.

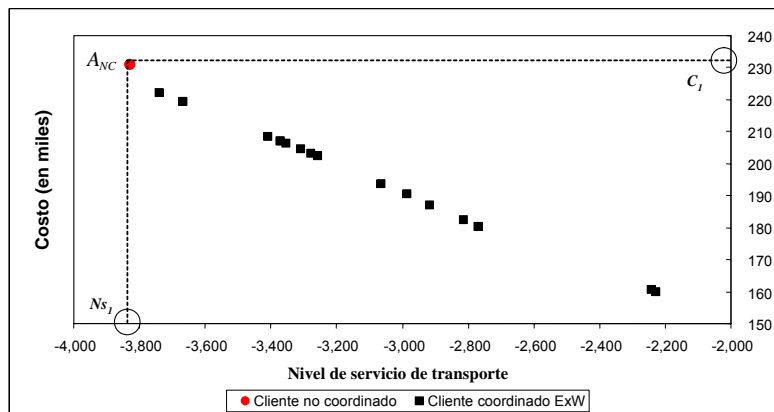


Figura 6.11
Frontera eficiente del cliente (escenario 3)

En la figura 6.12 se presenta una muestra de las soluciones eficientes del proveedor, bajo un esquema coordinado. También se observa el punto A_{NC} , mismos que representa la solución no coordinada basada en el nivel de servicio de transporte. En dicha figura, se aprecia que la solución A_{NC} se encuentra ubicada por debajo de la curva eficiente de soluciones coordinadas, lo que permite identificar que es mejor que algunas de éstas. Llevando a cabo una proyección del punto A_{NC} al punto $A'_{NC}(C_1, Ns_2)$, es factible identificar la zona dónde la coordinación no es recomendable para el proveedor. De hecho, el segmento de la curva $A'_{NC}(C_1, Ns_2) - A_C(C_2, Ns_3)$ contiene el conjunto de soluciones no dominadas más rentables para el proveedor si se utiliza la coordinación ECR en el contexto ExW. Por supuesto, dichos límites representan la cota inferior y superior, bajo el

cual el proveedor podrá tomar decisiones sobre la adopción de la política de coordinación.

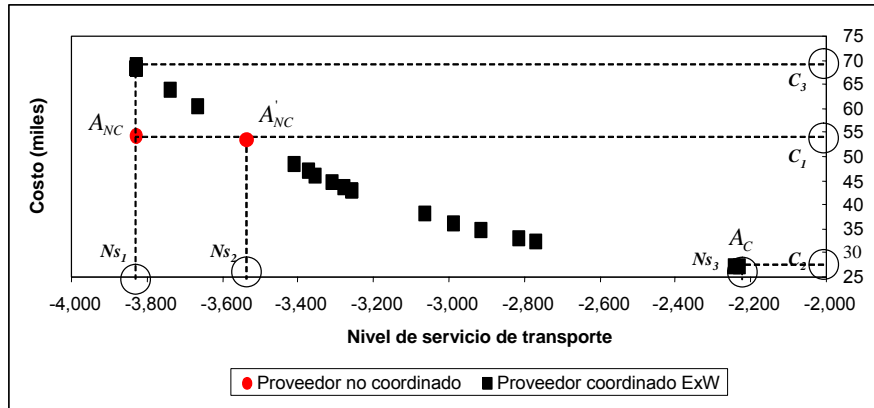


Figura 6.12
Frontera eficiente del proveedor (escenario 3)

Por lo que respecta al sistema cliente-proveedor, puede observarse que la solución no coordinada con un enfoque basado en el nivel de servicio de transporte, presenta el mejor nivel de servicio, pero el peor costo en comparación con las alternativas coordinadas. La curva en la figura 6.13 permite ver esta situación, en la cual tanto el cliente como el proveedor podrían acordar niveles de servicio por debajo del óptimo, logrando con ello ahorros sustanciales en el sistema, con adecuados niveles de servicio en materia de transporte. Es evidente que la alternativa no coordinada con este enfoque representa el caso extremo de ofrecer el máximo nivel de servicio, sin embargo, suele ser una opción poco práctica debido a los costos que suponen. En general, la curva de eficiencia para el caso coordinado ofrece una visión de la cota superior e inferior donde pueden moverse el cliente y el proveedor, para lograr el menor costo y el mejor nivel de servicio de transporte.

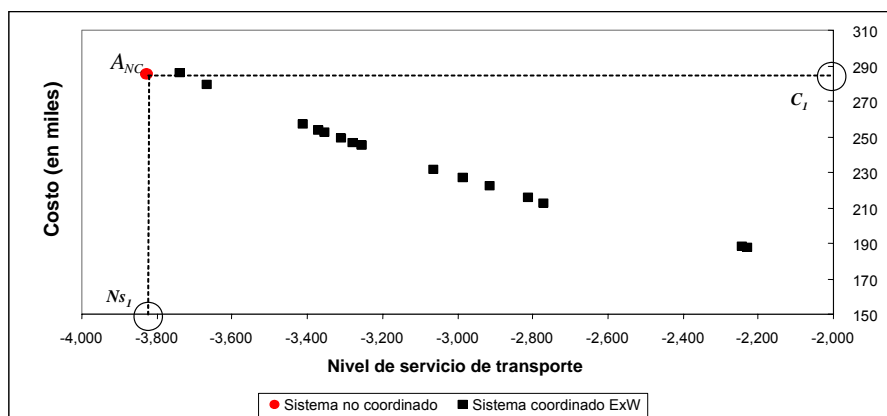


Figura 6.13
Frontera eficiente del sistema (escenario 3)

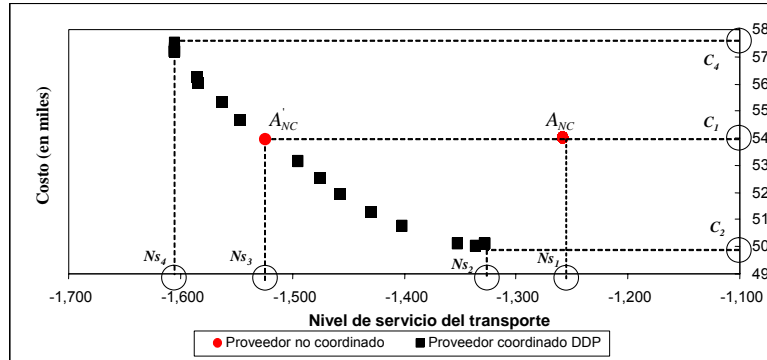


Figura 6.15
Frontera eficiente del proveedor (escenario 4)

En conjunto (cliente-proveedor), el sistema es claramente dominado por la solución coordinada. En efecto, la opción no coordinada es completamente superada debido a que su costo es peor que un sistema coordinado, y el nivel de servicio de transporte no es el más deseable. En este sentido, se observa un mejor servicio en un sistema coordinado que considera ambos criterios (véase figura 6.16).

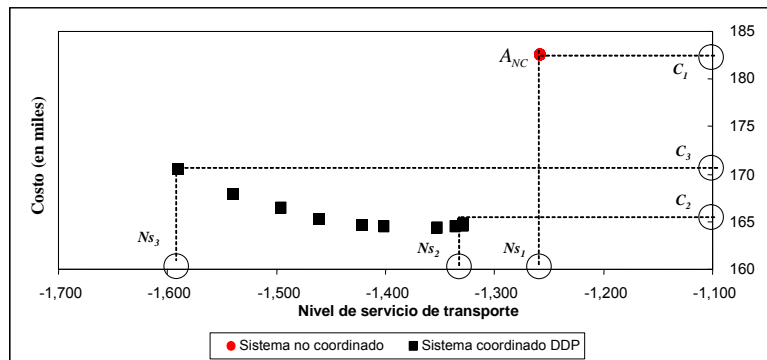


Figura 6.16
Frontera eficiente del sistema (escenario 4)

6.3.6 Análisis operativo del modelo y frontera Pareto. Escenario 5

Escenario 5: Esquema no coordinado contra esquema coordinado, teniendo en cuenta los criterios de costo y nivel de servicio del transporte, en un ambiente de negociación DDP.

Para el caso en que un esquema no coordinado considere ambos criterios de solución, se observa que la frontera eficiente del cliente tiene un mayor alcance sobre el nivel de servicio del transporte, pero también el mayor costo. Por su parte, la curva que representa las soluciones coordinadas permite ver que en el rango entre Ns_2 y Ns_4 sobre el nivel de servicio, resulta preferible sobre una política no coordinada. Es evidente que después de la cota superior Ns_4 , el

cliente podrá tomar la decisión de no coordinarse para lograr un mejor nivel de servicio del transporte, a costa de asumir mayores costos (véase figura 6.17).

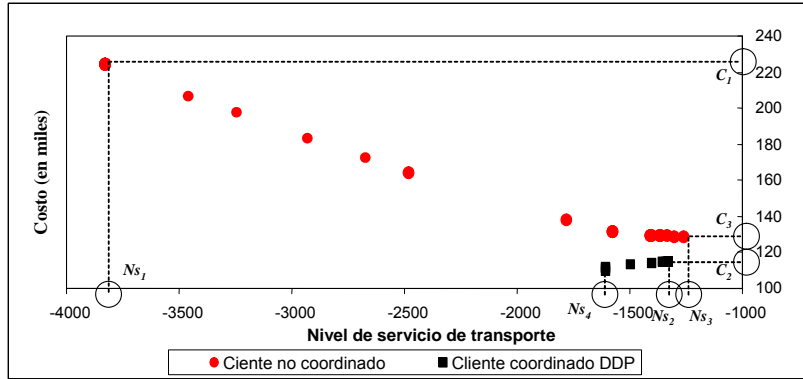


Figura 6.17
Frontera eficiente del cliente (escenario 5)

En la figura 6.18 se observa el desarrollo de las fronteras eficientes para el proveedor en el contexto no coordinado y coordinado; este último, en un ambiente de negociación DDP. En la misma se aprecia que en un esquema no coordinado, el costo del proveedor se mantiene sobre una constante, aun cuando se haya incrementado el nivel de servicio del transporte. El motivo de esto último, básicamente se debe a que el costo de transporte es pagado por el cliente y en nada influye en el proveedor. Sin embargo, en el contexto coordinado ocurren dos situaciones encontradas: a) el nivel de servicio de transporte se encuentra acotado por el rango Ns_1 y Ns_3 ; y b) el costo en que incurre el proveedor aumenta considerablemente en dicho rango, a raíz de los descuentos en el precio de los productos que asume el proveedor. De esta manera la intersección, indicada por $A_{NC} \approx A_C$, permite distinguir la cota superior que determina la conveniencia del proveedor por asumir la coordinación ECR, o asumir una política no coordinada.

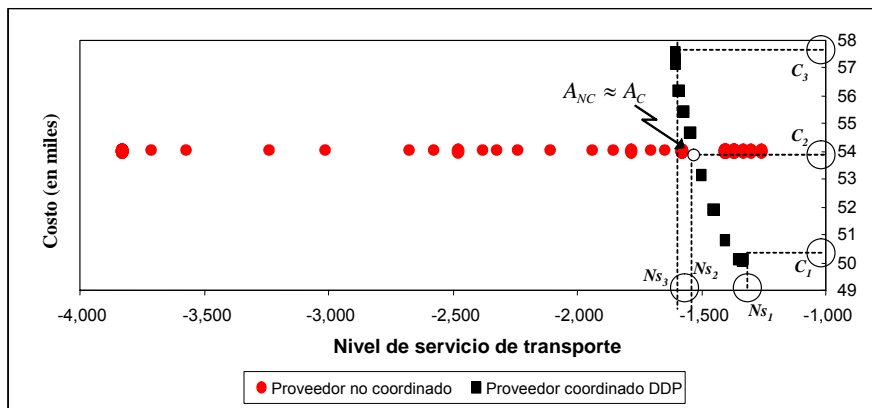


Figura 6.18
Frontera eficiente del proveedor (escenario 5)

Considerando el sistema en su conjunto (cliente y proveedor), en la figura 6.19 se observa que la coordinación es recomendable para el rango entre N_{S_2} y N_{S_4} del nivel de servicio de transporte. En dicha figura, se aprecia que los costos de la coordinación ECR son inferiores en ese rango con respecto a la política no coordinada.

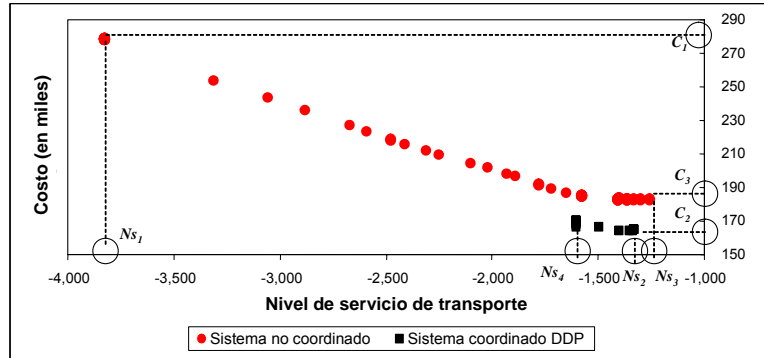


Figura 6.19
Frontera eficiente del sistema (escenario 5)

En cierta forma, el modelo acota la frontera eficiente del sistema coordinado de acuerdo con una mejor combinación de los modos de transporte, una mayor consolidación de productos y una mejor gestión de los inventarios; el resultado de lo anterior se traduce en un rango muy pequeño entre los costos. En esta figura, es evidente también que después de la cota superior N_{S_3} , se podría lograr un mejor nivel de servicio del transporte, sin embargo, el sistema tendría que asumir mayores costos y no coordinarse; si ese fuera el caso, el cliente y el proveedor deberán llevar cabo una evaluación detallada e individual para tomar decisiones conjuntas. En referencia a las figuras 6.17 y 6.18 anteriores, se hace notar que dentro del rango $[N_{S_2} - N_{S_4}]$ existen soluciones no dominadas que favorecen la coordinación para ambos actores en la cadena, y que corresponden a los mismos rangos del cliente y el proveedor, sobre el criterio del nivel de servicio de transporte.

6.3.7 Análisis operativo del modelo y frontera Pareto. Escenario 6

Escenario 6: Esquema no coordinado, con énfasis en el nivel de servicio de transporte contra esquema coordinado teniendo en cuenta los criterios de costo y nivel de servicio del transporte, en un ambiente de negociación DDP.

De acuerdo con los resultados del modelo en el contexto DDP, en la figura 6.20 se aprecia claramente que la coordinación de inventarios se presenta en un rango mucho menor, tanto en costo C_2 como en el nivel de servicio N_{S_2} y N_{S_3} , comparado con la alternativa no coordinada, basada sólo en el nivel de servicio de transporte. Particularmente, la no coordinada, representada por el punto con

coordenadas (C_1, N_{S_1}) , maximiza el nivel de servicio de transporte, pero no minimiza el costo. Por lo anterior, el cliente en este contexto podría tomar la decisión de reducir su costo, y cumplir con cierto nivel de servicio sin lograr proporcionar el máximo nivel de servicio. Esto último, debido a que corresponde al proveedor en la negociación DDP, llevar a cabo la gestión del transporte.

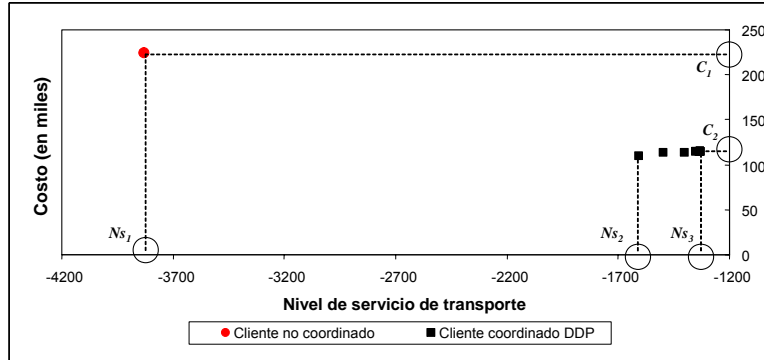


Figura 6.20
Frontera eficiente del cliente (escenario 6)

En la figura 6.21 se observa el desarrollo de la frontera eficiente para el proveedor en el contexto coordinado; este último, en un ambiente de negociación DDP.

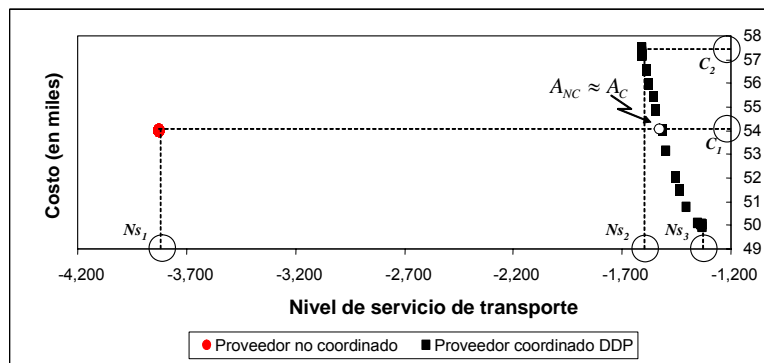


Figura 6.21
Frontera eficiente del proveedor (escenario 6)

En dicha figura se observa que en un esquema no coordinado, basado únicamente en el nivel de servicio es posible optimizar este criterio, no así el costo; el cual, a partir de su proyección hacia la frontera eficiente para el caso coordinado, parece dividirla en dos porciones: la inferior, con soluciones no dominadas y la superior, con soluciones débilmente no dominadas. El motivo de esto último, básicamente se debe a que el esquema no coordinado no tiene en cuenta que los costos de transporte se cubren por el cliente, y en nada afectan al proveedor. Sin embargo, como en el escenario 5, en el contexto coordinado ocurren dos situaciones encontradas: a) el nivel de servicio de transporte se encuentra acotando por el rango N_{S_2} y N_{S_3} , el cual refleja claramente la importancia y su efecto en la negociación de las tarifas de transporte, por parte del

proveedor; y b) el costo en que incurre el proveedor se incrementa notablemente en dicho rango a raíz de los descuentos en el precio de los productos que asume el proveedor. De esta manera, la intersección indicada por $A_{NC} \approx A_C$, permite distinguir la cota superior que determina la conveniencia del proveedor por asumir la coordinación ECR, o mantener la política no coordinada.

Dada la naturaleza del problema para el sistema en su conjunto puede deducirse que en el contexto DDP, la coordinación de inventarios se presenta en un rango mucho menor, tanto en costo C_2 como en el nivel de servicio Ns_2 y Ns_3 , comparado con la alternativa no coordinada basada sólo en el nivel de servicio de transporte (véase figura 6.22). Particularmente, la alternativa no coordinada (C_1, Ns_1) , maximiza el nivel de servicio de transporte, pero no minimiza el costo. Por lo anterior, el sistema en este contexto podría buscar la forma de reducir su costo, y cumplir con cierto nivel de servicio sin alcanzar el máximo. Esto último se debe a que corresponde al proveedor en la negociación DDP, llevar a cabo la gestión del transporte. No obstante lo anterior, el modelo permite distinguir el segmento de soluciones que son benéficas para ambos.

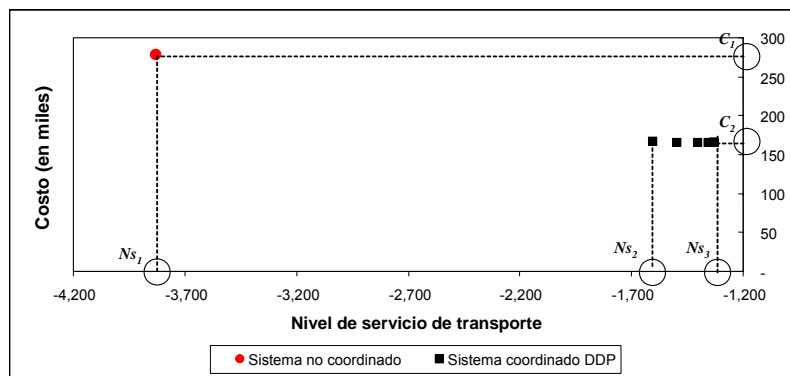


Figura 6.22
Frontera eficiente del sistema (escenario 6)

6.4 Análisis de las soluciones no dominadas en torno a los beneficios logrados con la estrategia ECR

En este apartado se analizan de manera detallada los beneficios (o pérdidas) obtenidos con la instrumentación de la estrategia de coordinación ECR, con respecto a la práctica no coordinada. Dichos análisis se llevan a cabo para cada uno de los diferentes escenarios establecidos, en el contexto de los términos del comercio internacional ExW y DDP, bajo el concepto multicriterio.

6.4.1 Alternativas no dominadas. Escenario 1

Esta sección presenta los resultados que demuestran el efecto de la instrumentación de la estrategia ECR, bajo el término de comercio internacional ExW, en el contexto del escenario uno. Los resultados se muestran por separado para el cliente; proveedor; y de manera conjunta (cliente-proveedor) desde el punto de vista de sistema. De esta manera, los incisos a continuación, resumen los resultados más relevantes.

- a) En general, la operatividad del modelo responde al planteamiento específico de la teoría de inventarios en un ambiente coordinado. Por ejemplo, los resultados del cuadro 6.16 demuestran que el cliente puede lograr una reducción de sus costos fijos por ordenar; aumentar el costo de almacenamiento (inventarios); reducir el inventario en tránsito, y aumentar los del transporte en la medida en que se hace uso de modos más eficientes (con preferencia al nivel de servicio).

Cuadro 6.16
Costos del cliente coordinado en el contexto del *incoterm* ExW
(Escenario 1: Soluciones no dominadas)

Dirección	Número de opciones	Ordenar	Inventario	Inventario en tránsito	Transporte	Total
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Preferencia al costo ↑ ↓ Preferencia al nivel de servicio del transporte	1	9,921	1,035	36,562	114,034	161,552
	2	9,921	1,050	36,365	114,872	162,208
	3	9,311	3,021	27,073	143,839	183,244
	4	9,011	4,257	26,844	146,091	186,204
	5	8,631	6,507	26,201	151,488	192,827
	6	8,331	8,486	25,833	155,113	197,763
	7	8,001	10,532	25,163	159,177	202,873
	8	7,341	16,033	23,735	169,291	216,399
	9	7,341	16,033	23,735	169,291	216,399
	10	7,341	16,033	23,245	170,483	217,102
	11	7,036	18,173	23,071	171,997	220,276
	12	6,766	19,587	22,329	174,385	223,067
	13	6,581	20,672	22,115	175,342	224,710
	14	6,581	20,672	22,115	175,342	224,710
	15	6,436	22,719	21,711	177,341	228,207
	16	6,021	35,584	19,174	190,653	251,431
	17	5,621	39,971	18,308	194,418	258,318
	18	5,221	45,385	17,241	199,063	266,909
	19	5,221	45,385	17,241	199,063	266,909
	20	5,221	45,385	17,241	199,063	266,909
	21	5,221	45,385	17,241	199,063	266,909
	22	5,221	45,385	17,241	199,063	266,909
	23	5,221	45,385	17,241	199,063	266,909
	24	5,221	45,385	17,241	199,063	266,909
	25	5,221	45,385	17,241	199,063	266,909
	26	5,126	46,317	17,241	199,063	267,746
	27	5,221	45,385	17,241	199,063	266,909
	28	5,221	45,385	17,241	199,063	266,909

- b) Debido a que el modelo tiene en cuenta el criterio del nivel de servicio de transporte, los resultados permiten observar que en la medida en que se otorgue mayor preferencia al nivel de servicio, las tasas de descuento en el precio de los productos se incrementan de manera diferente para cada uno (véase

cuadro 6.17). En términos generales, dichas tasas oscilan entre 0.01 y 0.46%. (véase también figura 6.23).

Cuadro 6.17
Descuento total en el precio de los productos (Escenario 1: valor de las z_{ij})

Tasa de descuento						Costo total anual de compra de cada producto					Descuento total
						3,015,103	925,111	4,062,273	2,877,556	1,673,226	
						Descuento por producto y período					
	Z_{11}	Z_{12}	Z_{13}	Z_{14}	Z_{15}	Producto 1	Producto 2	Producto 3	Producto 4	Producto 5	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	0.01%	0.07%	0.00%	0.01%	0.02%	241	638	110	308	264	1,561
2	0.01%	0.07%	0.00%	0.01%	0.02%	241	638	110	325	264	1,579
3	0.01%	0.12%	0.01%	0.03%	0.02%	241	1,145	301	858	392	2,936
4	0.01%	0.12%	0.01%	0.05%	0.04%	241	1,145	301	1,511	673	3,870
5	0.01%	0.12%	0.01%	0.12%	0.04%	241	1,145	301	3,381	673	5,741
6	0.01%	0.12%	0.01%	0.16%	0.07%	241	1,145	301	4,595	1,136	7,419
7	0.01%	0.12%	0.01%	0.16%	0.17%	241	1,145	301	4,595	2,853	9,135
8	0.01%	0.12%	0.01%	0.16%	0.46%	241	1,145	301	4,595	7,693	13,976
9	0.01%	0.12%	0.01%	0.16%	0.46%	241	1,145	301	4,595	7,693	13,976
10	0.01%	0.12%	0.01%	0.16%	0.46%	241	1,145	301	4,595	7,693	13,976
11	0.01%	0.20%	0.03%	0.16%	0.46%	241	1,865	1,418	4,595	7,693	15,813
12	0.02%	0.29%	0.03%	0.16%	0.46%	603	2,644	1,418	4,595	7,693	16,954
13	0.04%	0.33%	0.03%	0.16%	0.46%	1,064	3,083	1,418	4,595	7,693	17,854
14	0.04%	0.33%	0.03%	0.16%	0.46%	1,064	3,083	1,418	4,595	7,693	17,854
15	0.06%	0.33%	0.07%	0.16%	0.46%	1,725	3,083	2,657	4,595	7,693	19,754
16	0.08%	0.33%	0.36%	0.16%	0.46%	2,406	3,083	14,425	4,595	7,693	32,204
17	0.21%	0.33%	0.36%	0.16%	0.46%	6,389	3,083	14,425	4,595	7,693	36,186
18	0.38%	0.33%	0.36%	0.16%	0.46%	11,397	3,083	14,425	4,595	7,693	41,195
19	0.38%	0.33%	0.36%	0.16%	0.46%	11,397	3,083	14,425	4,595	7,693	41,195
20	0.38%	0.33%	0.36%	0.16%	0.46%	11,397	3,083	14,425	4,595	7,693	41,195
21	0.38%	0.33%	0.36%	0.16%	0.46%	11,397	3,083	14,425	4,595	7,693	41,195
22	0.38%	0.33%	0.36%	0.16%	0.46%	11,397	3,083	14,425	4,595	7,693	41,195
23	0.38%	0.33%	0.36%	0.16%	0.46%	11,397	3,083	14,425	4,595	7,693	41,195
24	0.38%	0.33%	0.36%	0.16%	0.46%	11,397	3,083	14,425	4,595	7,693	41,195
25	0.38%	0.33%	0.36%	0.16%	0.46%	11,397	3,083	14,425	4,595	7,693	41,195
26	0.38%	0.33%	0.36%	0.19%	0.46%	11,397	3,083	14,425	5,433	7,693	42,032
27	0.38%	0.33%	0.36%	0.16%	0.46%	11,397	3,083	14,425	4,595	7,693	41,195
28	0.38%	0.33%	0.36%	0.16%	0.46%	11,397	3,083	14,425	4,595	7,693	41,195

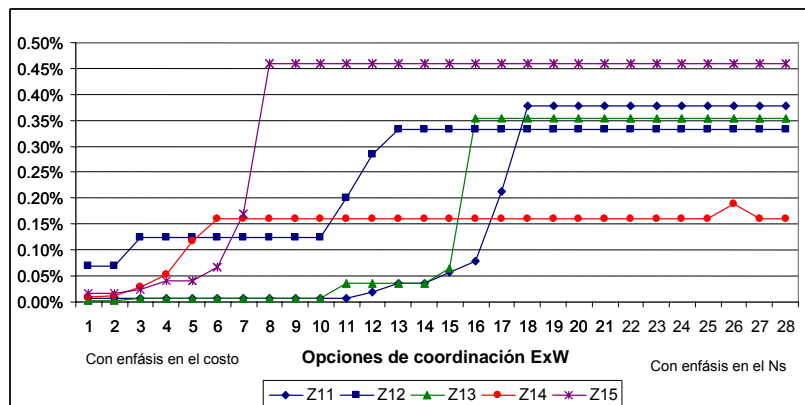


Figura 6.23
Tasa de descuento en el precio de los productos (incoterm ExW)

- c) A partir de las cifras del cuadro 6.17, la suma de los descuentos puede alcanzar valores muy altos que hacen no factibles ciertas alternativas de coordinación cliente y proveedor, tal como se corrobora más adelante.
- d) La comparación entre los costos en los que incurre el cliente en un ambiente no coordinado (haciendo uso sólo del servicio de transporte más “barato”) con respecto al costo coordinado, utilizando la negociación ExW y diferentes modos de transporte, resulta en una pérdida. Como puede observarse en el cuadro 6.18, la diferencia se incrementa en la medida en que se otorga mayor preferencia al nivel de servicio (véase también figura 6.24).
- e) Por otro lado, en el cuadro 6.18 también se aprecia cómo a partir de un aumento en el costo de almacenamiento del cliente (columna 4), derivado de aceptar la estrategia ECR, la compensación otorgada por el proveedor al cliente se incrementa paralelamente (columna 7). De igual modo que en los cuadros anteriores, el número ascendente de la opción indica una mayor preferencia al nivel de servicio del transporte; y a la inversa, se indica la preferencia al costo.

Cuadro 6.18
Ahorros o pérdidas del cliente en el contexto del incoterm ExW (escenario 1)

Costo del cliente no coordinado		Costos del cliente coordinado				Descuento en el precio del producto	Total	Diferencia	Ahorros o pérdidas
		Ordenar	Inventario	Inventario en tránsito	Transporte				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	128,546	9,921	1,035	36,562	114,034	1,561	159,990	- 31,444	-24.5%
2	128,546	9,921	1,050	36,365	114,872	1,579	160,629	- 32,083	-25.0%
3	128,546	9,311	3,021	27,073	143,839	2,936	180,308	- 51,761	-40.3%
4	128,546	9,011	4,257	26,844	146,091	3,870	182,334	- 53,787	-41.8%
5	128,546	8,631	6,507	26,201	151,488	5,741	187,086	- 58,539	-45.5%
6	128,546	8,331	8,486	25,833	155,113	7,419	190,344	- 61,797	-48.1%
7	128,546	8,001	10,532	25,163	159,177	9,135	193,738	- 65,191	-50.7%
8	128,546	7,341	16,033	23,735	169,291	13,976	202,423	- 73,876	-57.5%
9	128,546	7,341	16,033	23,735	169,291	13,976	202,423	- 73,876	-57.5%
10	128,546	7,341	16,033	23,245	170,483	13,976	203,126	- 74,579	-58.0%
11	128,546	7,036	18,173	23,071	171,997	15,813	204,463	- 75,917	-59.1%
12	128,546	6,766	19,587	22,329	174,385	16,954	206,113	- 77,567	-60.3%
13	128,546	6,581	20,672	22,115	175,342	17,854	206,856	- 78,309	-60.9%
14	128,546	6,581	20,672	22,115	175,342	17,854	206,856	- 78,309	-60.9%
15	128,546	6,436	22,719	21,711	177,341	19,754	208,453	- 79,906	-62.2%
16	128,546	6,021	35,584	19,174	190,653	32,204	219,227	- 90,681	-70.5%
17	128,546	5,621	39,971	18,308	194,418	36,186	222,132	- 93,585	-72.8%
18	128,546	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	225,714	- 97,168	-75.6%
19	128,546	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	225,714	- 97,168	-75.6%
20	128,546	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	225,714	- 97,168	-75.6%
21	128,546	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	225,714	- 97,168	-75.6%
22	128,546	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	225,714	- 97,168	-75.6%
23	128,546	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	225,714	- 97,168	-75.6%
24	128,546	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	225,714	- 97,168	-75.6%
25	128,546	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	225,714	- 97,168	-75.6%
26	128,546	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	225,714	- 97,168	-75.6%
27	128,546	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	225,714	- 97,168	-75.6%
28	128,546	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	225,714	- 97,168	-75.6%

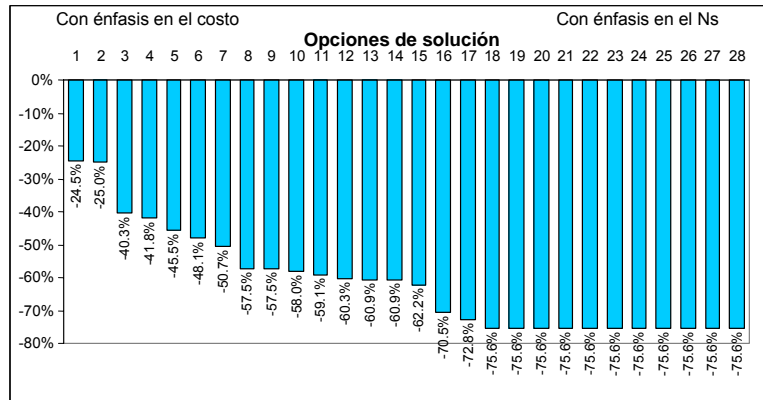


Figura 6.24
Pérdidas del cliente en el contexto del incoterm ExW (escenario 1)

- f) Para el proveedor, los costos fijos disminuyen por la acción de la coordinación misma, la cual genera un aumento en los costos de descuento que debe otorgar al cliente por aceptar la estrategia ECR, combinando los tres modos de transporte considerados (véase cuadro 6.19). Esta combinación permite corroborar que los costos totales del proveedor con respecto al nivel de servicio de transporte, no crecen proporcionalmente (véase figura 6.25).

Cuadro 6.19
Costos del proveedor coordinado en el contexto del incoterm ExW (escenario 1)

Dirección	Número de opciones	Costo fijo	Descuento en el precio de los productos	Total	Nivel de servicio de transporte
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
↑ Preferencia al costo ↓ Preferencia al nivel de servicio de transporte	1	25,600	1,561	27,161	-2,226,740
	2	25,600	1,579	27,179	-2,242,517
	3	29,350	2,936	32,286	-2,768,514
	4	29,050	3,870	32,920	-2,811,809
	5	29,000	5,741	34,741	-2,914,812
	6	28,700	7,419	36,119	-2,984,485
	7	28,750	9,135	37,885	-3,062,017
	8	28,850	13,976	42,826	-3,255,402
	9	28,850	13,976	42,826	-3,255,402
	10	29,550	13,976	43,526	-3,277,481
	11	28,700	15,813	44,513	-3,307,005
	12	29,100	16,954	46,054	-3,352,112
	13	28,900	17,854	46,754	-3,370,511
	14	28,900	17,854	46,754	-3,370,511
	15	28,700	19,754	48,454	-3,408,923
	16	27,900	32,204	60,104	-3,664,811
	17	27,500	36,186	63,686	-3,737,187
	18	27,100	41,195	68,295	-3,826,480
	19	27,100	41,195	68,295	-3,826,480
	20	27,100	41,195	68,295	-3,826,480
	21	27,100	41,195	68,295	-3,826,480
	22	27,100	41,195	68,295	-3,826,480
	23	27,100	41,195	68,295	-3,826,480
	24	27,100	41,195	68,295	-3,826,480
	25	27,100	41,195	68,295	-3,826,480
	26	26,650	42,032	68,682	-3,826,480
	27	27,100	41,195	68,295	-3,826,480
	28	27,100	41,195	68,295	-3,826,480

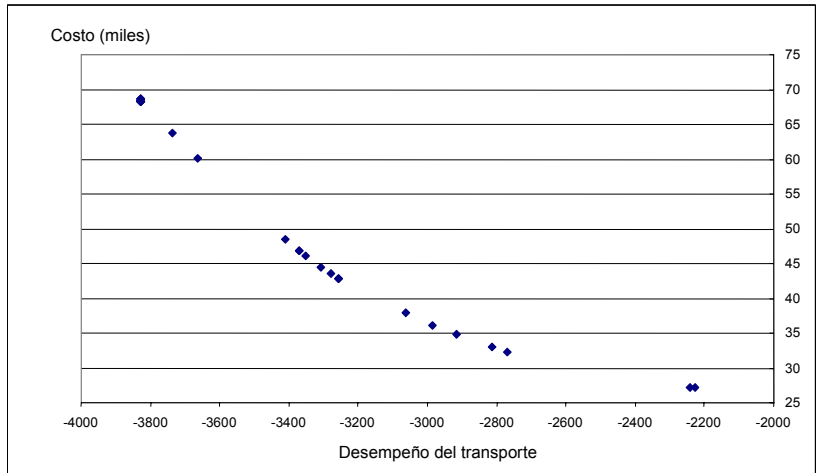


Figura 6.25
Soluciones no dominadas del proveedor coordinado en el contexto del *incoterm* ExW

g) En un ambiente coordinado, los costos del proveedor muestran ahorros sustanciales cuando se otorga mayor preferencia al costo (columna 3); en la medida en que se cambia la preferencia al nivel de servicio del transporte, la situación comienza a revertirse provocándole cierto nivel de pérdidas (columna 8); sobre todo, cuando el costo de descuento en el precio de los productos es superior a su costo fijo (véase figura 6.26, y cuadro 6.20, fila 16).

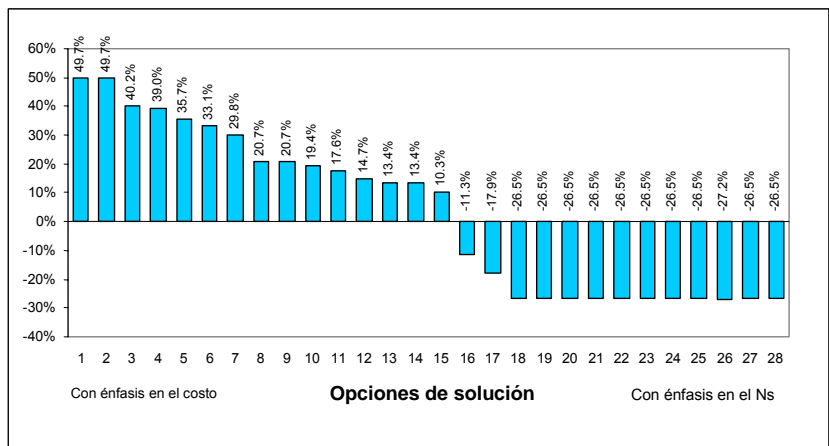


Figura 6.26
Ahorros o pérdidas del proveedor en el contexto del *incoterm* ExW (escenario 1)

Cuadro 6.20

Ahorros o pérdidas del proveedor en el contexto del *incoterm* ExW (escenario 1)

Dirección	Costo fijo del proveedor no coordinado		Coordinado			Diferencia	Ahorros o pérdidas
	(2)	(3)	Costo fijo	Descuento en el precio de los productos	Costo total		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Preferencia al costo ↑ Preferencia al nivel de servicio de transporte ↓	1	54,000	25,600	1,561	27,172	26,828	49.7%
	2	54,000	25,600	1,579	27,179	26,821	49.7%
	3	54,000	29,350	2,936	32,286	21,714	40.2%
	4	54,000	29,050	3,870	32,920	21,080	39.0%
	5	54,000	29,000	5,741	34,741	19,259	35.7%
	6	54,000	28,700	7,419	36,119	17,881	33.1%
	7	54,000	28,750	9,135	37,885	16,115	29.8%
	8	54,000	28,850	13,976	42,826	11,174	20.7%
	9	54,000	28,850	13,976	42,826	11,174	20.7%
	10	54,000	29,550	13,976	43,526	10,474	19.4%
	11	54,000	28,700	15,813	44,513	9,487	17.6%
	12	54,000	29,100	16,954	46,054	7,946	14.7%
	13	54,000	28,900	17,854	46,754	7,246	13.4%
	14	54,000	28,900	17,854	46,754	7,246	13.4%
	15	54,000	28,700	19,754	48,454	5,546	10.3%
	16	54,000	27,900	32,204	60,104	- 6,104	-11.3%
	17	54,000	27,500	36,186	63,686	- 9,686	-17.9%
	18	54,000	27,100	41,195	68,295	-14,295	-26.5%
	19	54,000	27,100	41,195	68,295	-14,295	-26.5%
	20	54,000	27,100	41,195	68,295	-14,295	-26.5%
	21	54,000	27,100	41,195	68,295	-14,295	-26.5%
	22	54,000	27,100	41,195	68,295	-14,295	-26.5%
	23	54,000	27,100	41,195	68,295	-14,295	-26.5%
	24	54,000	27,100	41,195	68,295	-14,295	-26.5%
	25	54,000	27,100	41,195	68,295	-14,295	-26.5%
	26	54,000	27,100	41,195	68,295	-14,295	-26.5%
	27	54,000	27,100	41,195	68,295	-14,295	-26.5%
	28	54,000	27,100	41,195	68,295	-14,295	-26.5%

h) Por lo que se refiere al costo total del sistema (cliente-proveedor), se observan pérdidas en la totalidad de las soluciones coordinadas. Esto se debe a que los resultados negativos obtenidos por el cliente son muy superiores a los ahorros del proveedor (véase figuras 6.27 y 6.28, y cuadro 6.21).

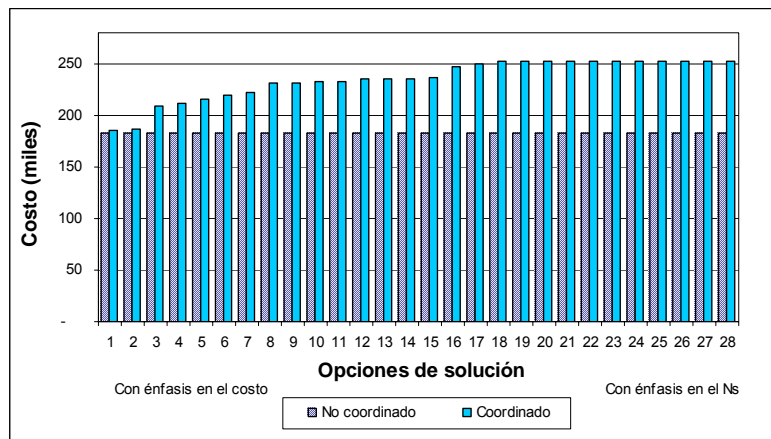


Figura 6.27
Costo total del sistema en el contexto del *incoterm* ExW (escenario 1)

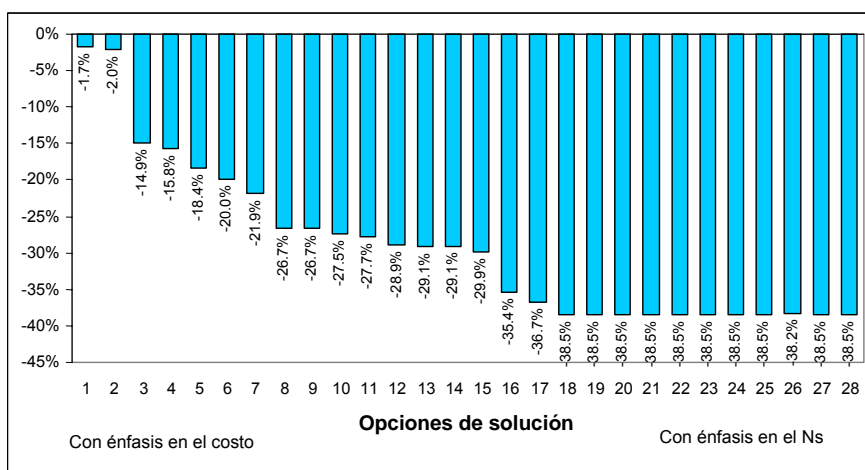


Figura 6.28 Ahorros o pérdidas del sistema en el contexto del incoterm ExW (escenario 1)

Cuadro 6.21 Ahorros y pérdidas del sistema y nivel de servicio del transporte en el contexto del incoterm ExW (escenario 1)

Dirección	Sol.	Costo total del sistema			Nivel de servicio del transporte				
		No coordinado	Coordinado	Ahorros o pérdidas	Nivel de servicio del transporte no coordinado	Nivel de servicio del transporte coordinado	Índice no coordinado	Índice coordinado	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
Preferencia al costo →	Preferencia al nivel de servicio de transporte ←	1	182,547	185,590	-1.7%	-1,257,881	- 2,226,740	6.9	12.0
		2	182,547	186,229	-2.0%	-1,257,881	- 2,242,517	6.9	12.0
		3	182,547	209,658	-14.9%	-1,257,881	- 2,768,514	6.9	13.2
		4	182,547	211,384	-15.8%	-1,257,881	-2,811,809	6.9	13.3
		5	182,547	216,086	-18.4%	-1,257,881	-2,914,812	6.9	13.5
		6	182,547	219,044	-20.0%	-1,257,881	- 2,984,485	6.9	13.6
		7	182,547	222,488	-21.9%	-1,257,881	- 3,062,017	6.9	13.8
		8	182,547	231,273	-26.7%	-1,257,881	- 3,255,402	6.9	14.1
		9	182,547	231,273	-26.7%	-1,257,881	- 3,255,402	6.9	14.1
		10	182,547	232,676	-27.5%	-1,257,881	- 3,277,481	6.9	14.1
		11	182,547	233,163	-27.7%	-1,257,881	- 3,307,005	6.9	14.2
		12	182,547	235,213	-28.9%	-1,257,881	-3,352,112	6.9	14.3
		13	182,547	235,756	-29.1%	-1,257,881	-3,370,511	6.9	14.3
		14	182,547	235,756	-29.1%	-1,257,881	-3,370,511	6.9	14.3
		15	182,547	237,153	-29.9%	-1,257,881	- 3,408,923	6.9	14.4
		16	182,547	247,127	-35.4%	-1,257,881	-3,664,811	6.9	14.8
		17	182,547	249,632	-36.7%	-1,257,881	- 3,737,187	6.9	15.0
		18	182,547	252,814	-38.5%	-1,257,881	- 3,826,480	6.9	15.1
		19	182,547	252,814	-38.5%	-1,257,881	- 3,826,480	6.9	15.1
		20	182,547	252,814	-38.5%	-1,257,881	- 3,826,480	6.9	15.1
		21	182,547	252,814	-38.5%	-1,257,881	- 3,826,480	6.9	15.1
		22	182,547	252,814	-38.5%	-1,257,881	- 3,826,480	6.9	15.1
		23	182,547	252,814	-38.5%	-1,257,881	- 3,826,480	6.9	15.1
		24	182,547	252,814	-38.5%	-1,257,881	- 3,826,480	6.9	15.1
		25	182,547	252,814	-38.5%	-1,257,881	- 3,826,480	6.9	15.1
		26	182,547	252,814	-38.5%	-1,257,881	- 3,826,480	6.9	15.2
		27	182,547	252,814	-38.5%	-1,257,881	- 3,826,480	6.9	15.1
		28	182,547	252,814	-38.5%	-1,257,881	- 3,826,480	6.9	15.1

- i) No obstante lo anterior, la coordinación exhibe un índice de nivel de servicio del transporte aproximadamente de 2 a 1 con relación a la política no coordinada (véase figuras 6.29 y 6.30); ello implica que el uso combinado de modos de transporte alcanzará mejores niveles de servicio en un ambiente coordinado, que el no coordinado, al utilizar el modo basado en el menor costo (o modo más lento).

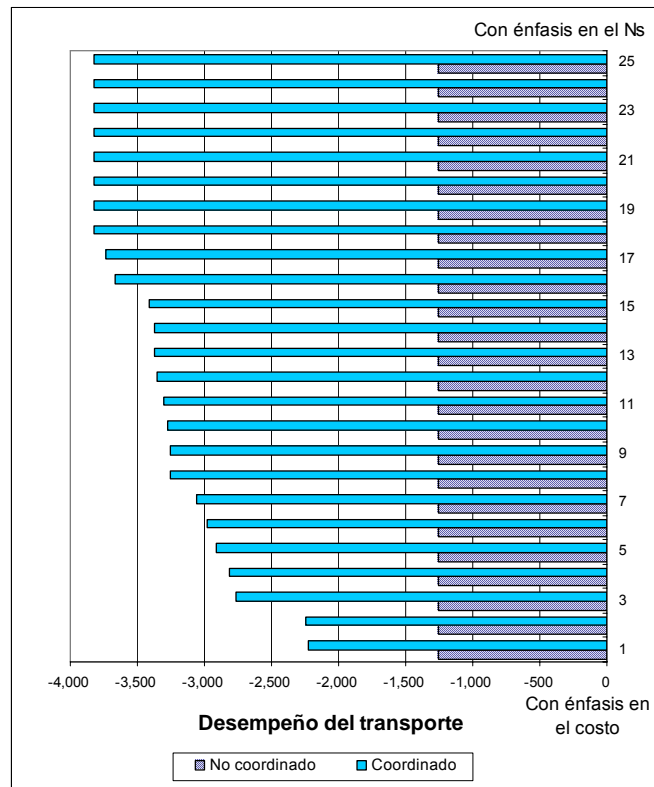


Figura 6.29

Nivel de servicio del transporte en el contexto del *incoterm* ExW (escenario 1)

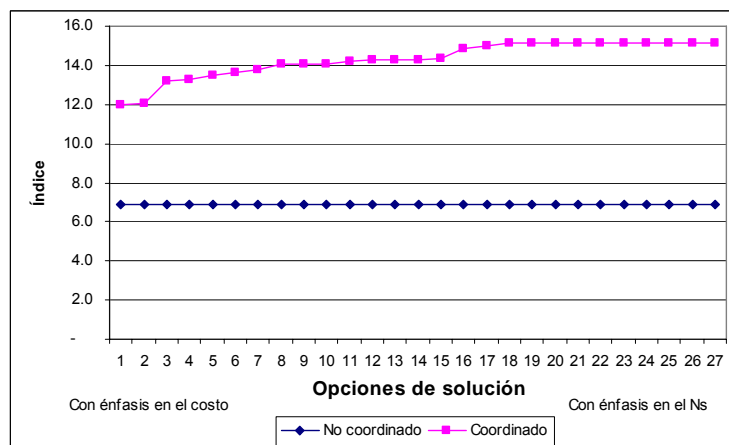


Figura 6.30

Índice de nivel de servicio del transporte con relación al costo (escenario 1)

j) Por lo que se refiere a las estructuras de costos del cliente y del proveedor en un ambiente coordinado, se observa para el primero que el transporte es su principal componente, mostrándose el intercambio entre los costos de inventario en tránsito y de almacenamiento en la medida en que el criterio cambió de costo a nivel de servicio (véase figura 6.31). Por su parte, la estructura de costos del proveedor muestra el intercambio que existe entre sus costos fijos y el descuento (que asume como un costo) otorgado al cliente a partir de que éste acepta la coordinación ECR (véase figura 6.32).

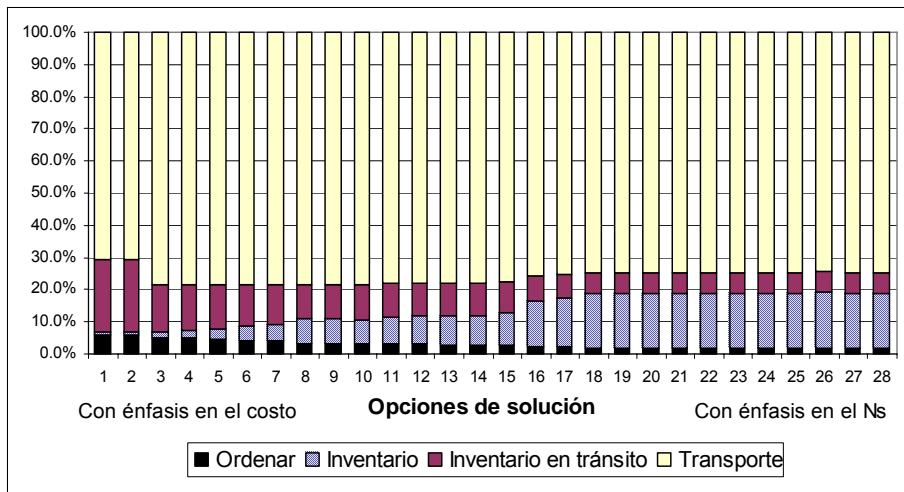


Figura 6.31
Estructura de costos del cliente coordinado (escenario 1)

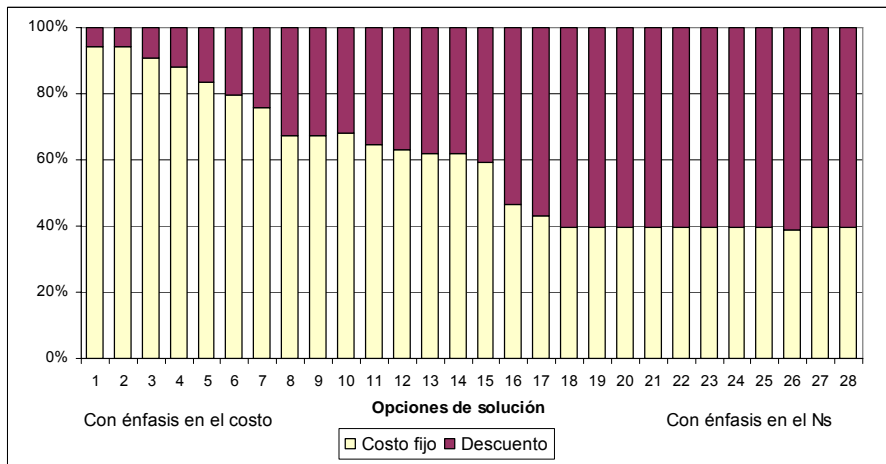


Figura 6.32
Estructura de costos del proveedor coordinado (escenario 1)

6.4.2 Alternativas no dominadas. Escenario 2

Esta sección presenta los resultados que demuestran el efecto de la instrumentación de la estrategia ECR, específicamente bajo el término de comercio internacional ExW, en el contexto del escenario 2 de análisis. Los resultados se presentan por separado para el cliente, el proveedor, y de manera conjunta (cliente-proveedor) desde el punto de vista de sistema. De esta manera, los incisos a continuación, resumen los resultados más relevantes.

- a) De acuerdo con la figura 6.33 y el cuadro 6.22, la comparación de la posición no coordinada del cliente contra una perspectiva coordinada de éste, se observa que en la medida que se otorga mayor importancia al criterio del nivel de servicio del transporte, las pérdidas pueden llegar a ser menores, e incluso lograr ciertos ahorros. Cabe señalar que el cambio súbito que se presenta entre las opciones 17 y 18 (tanto en la figura como en el cuadro), se debe a que el método de los pesos ponderados no encuentra todas las posibles soluciones en ciertos intervalos, por el motivo ya mencionado en el capítulo 5.

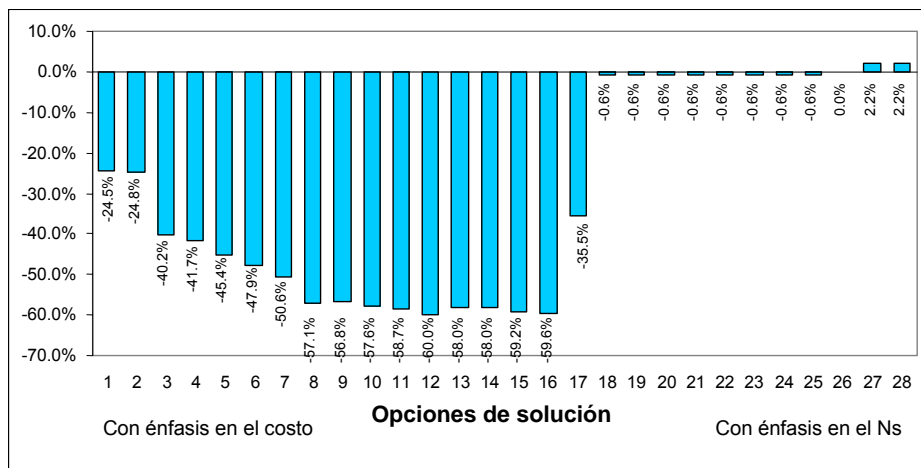


Figura 6.33
Pérdidas del cliente en el contexto del *incoterm* ExW (escenario 2)

- b) En términos generales los resultados reflejan con claridad la política coordinada, ya que se observa también en el cuadro 6.22 que el incremento en el costo de inventario se ve compensado por un descuento en el precio de los productos, casi al mismo nivel.

Cuadro 6.22
Ahorros o pérdidas del cliente en el contexto del *incoterm* ExW (escenario 2)

Costos del cliente no coordinado						Costos del cliente coordinado				Descuento	Total	Diferencia	Ahorros o pérdidas
Opción	Ordenar	Inventario	Inventario en tránsito	Transporte	Total	Ordenar	Inventario	Inventario en tránsito	Transporte				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
1	10,441	-	57,448	60,657	128,547	9,921	1,035	36,562	114,034	1,561	159,990	- 31,444	-24.5%
2	10,441	-	53,251	64,970	128,663	9,921	1,050	36,365	114,872	1,579	160,629	- 31,967	-24.8%
3	10,441	-	54,902	63,247	128,590	9,311	3,021	27,073	143,839	2,936	180,308	- 51,717	-40.2%
4	10,441	-	51,151	67,083	128,675	9,011	4,257	26,844	146,091	3,870	182,334	-53,658	-41.7%
5	10,441	-	51,151	67,083	128,675	8,631	6,507	26,201	151,488	5,741	187,086	- 58,410	-45.4%
6	10,441	-	51,151	67,083	128,675	8,331	8,486	25,833	155,113	7,419	190,344	- 61,669	-47.9%
7	10,441	-	51,151	67,083	128,675	8,001	10,532	25,163	159,177	9,135	193,738	-65,062	-50.6%
8	10,441	-	49,004	69,407	128,852	7,341	16,033	23,735	169,291	13,976	202,423	-73,572	-57.1%
9	10,441	-	49,512	69,112	129,065	7,341	16,033	23,735	169,291	13,976	202,423	-73,358	-56.8%
10	10,441	-	49,004	69,407	128,852	7,341	16,033	23,245	170,483	13,976	203,126	-74,274	-57.6%
11	10,441	-	49,004	69,407	128,852	7,036	18,173	23,071	171,997	15,813	204,463	- 75,612	-58.7%
12	10,441	-	49,004	69,407	128,852	6,766	19,587	22,329	174,385	16,954	206,113	-77,262	-60.0%
13	10,441	-	40,705	79,753	130,899	6,581	20,672	22,115	175,342	17,854	206,856	-75,957	-58.0%
14	10,441	-	40,705	79,753	130,899	6,581	20,672	22,115	175,342	17,854	206,856	-75,957	-58.0%
15	10,441	-	40,705	79,753	130,899	6,436	22,719	21,711	177,341	19,754	208,453	-77,554	-59.2%
16	10,441	-	36,032	90,892	137,365	6,021	35,584	19,174	190,653	32,204	219,227	- 81,862	-59.6%
17	10,441	-	24,642	128,851	163,934	5,621	39,971	18,308	194,418	36,186	222,132	- 58,198	-35.5%
18	10,441	-	14,821	199,063	224,325	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	225,714	- 1,389	-0.6%
19	10,441	-	14,821	199,063	224,325	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	225,714	- 1,389	-0.6%
20	10,441	-	14,821	199,063	224,325	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	225,714	- 1,389	-0.6%
21	10,441	-	14,821	199,063	224,325	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	225,714	- 1,389	-0.6%
22	10,441	-	14,821	199,063	224,325	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	225,714	- 1,389	-0.6%
23	10,441	-	14,821	199,063	224,325	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	225,714	- 1,389	-0.6%
24	10,441	-	14,821	199,063	224,325	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	225,714	- 1,389	-0.6%
25	10,441	-	14,821	199,063	224,325	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	225,714	- 1,389	-0.6%
26	10,156	1,850	14,728	199,063	225,798	5,126	46,317	17,241	199,063	42,032	225,714	84	0.0%
27	9,406	8,004	14,334	199,063	230,807	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	225,714	5,093	2.2%
28	9,406	8,004	14,334	199,063	230,807	5,126	46,317	17,241	199,063	42,032	225,714	5,093	2.2%

6. Aplicación de los modelos propuestos a una empresa del sector de las autopartes

c) Lo anterior se debe principalmente al cambio que experimenta la estructura de costos del cliente. Por ejemplo, en una política coordinada, los costos de transporte representan un poco más del 70% y muestran incrementos parciales en la medida en que se prefiere el criterio de nivel de servicio de transporte en comparación a la política no coordinada (48%), que muestra cambios sustanciales hasta llegar a representar el 86%. Por su parte, la participación de los costos de inventario en tránsito en un ambiente no coordinado representa el doble (44%) de la política coordinada (22%) cuando el criterio que prevalece es el costo, siendo muy similares para ambas políticas. Estos dos aspectos reflejan el uso en que se combinan los modos de transporte (véase cuadros 6.23 y 6.24).

Cuadro 6.23
Estructura de costos del cliente no coordinado (escenario 2)

Dirección	Sol.	Ordenar	Inventario	Inventario en tránsito	Transporte	Total
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
↑ Preferencia al costo	1	8.1%	0.0%	44.7%	47.2%	100.0%
	2	8.1%	0.0%	41.4%	50.5%	100.0%
	3	8.1%	0.0%	42.7%	49.2%	100.0%
	4	8.1%	0.0%	39.8%	52.1%	100.0%
	5	8.1%	0.0%	39.8%	52.1%	100.0%
	6	8.1%	0.0%	39.8%	52.1%	100.0%
	7	8.1%	0.0%	39.8%	52.1%	100.0%
	8	8.1%	0.0%	38.0%	53.9%	100.0%
	9	8.1%	0.0%	38.4%	53.5%	100.0%
	10	8.1%	0.0%	38.0%	53.9%	100.0%
	11	8.1%	0.0%	38.0%	53.9%	100.0%
	12	8.1%	0.0%	38.0%	53.9%	100.0%
	13	8.0%	0.0%	31.1%	60.9%	100.0%
	14	8.0%	0.0%	31.1%	60.9%	100.0%
	15	8.0%	0.0%	31.1%	60.9%	100.0%
	16	7.6%	0.0%	26.2%	66.2%	100.0%
	17	6.4%	0.0%	15.0%	78.6%	100.0%
	18	4.7%	0.0%	6.6%	88.7%	100.0%
	19	4.7%	0.0%	6.6%	88.7%	100.0%
	20	4.7%	0.0%	6.6%	88.7%	100.0%
	21	4.7%	0.0%	6.6%	88.7%	100.0%
	22	4.7%	0.0%	6.6%	88.7%	100.0%
	23	4.7%	0.0%	6.6%	88.7%	100.0%
	24	4.7%	0.0%	6.6%	88.7%	100.0%
	25	4.7%	0.0%	6.6%	88.7%	100.0%
	26	4.5%	0.8%	6.5%	88.2%	100.0%
	27	4.1%	3.5%	6.2%	86.2%	100.0%
	28	4.1%	3.5%	6.2%	86.2%	100.0%

Cuadro 6.24
Estructura de costos del cliente coordinado en el contexto
del incoterm ExW (escenario 2)

Dirección	Sol.	Ordenar	Inventario	Inventario en tránsito	Transporte	Total
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
↑ Preferencia al costo ↓ Preferencia al nivel de servicio de transporte	1	6.1%	0.6%	22.6%	70.6%	100.0%
	2	6.1%	0.6%	22.4%	70.8%	100.0%
	3	5.1%	1.6%	14.8%	78.5%	100.0%
	4	4.8%	2.3%	14.4%	78.5%	100.0%
	5	4.5%	3.4%	13.6%	78.6%	100.0%
	6	4.2%	4.3%	13.1%	78.4%	100.0%
	7	3.9%	5.2%	12.4%	78.5%	100.0%
	8	3.4%	7.4%	11.0%	78.2%	100.0%
	9	3.4%	7.4%	11.0%	78.2%	100.0%
	10	3.4%	7.4%	10.7%	78.5%	100.0%
	11	3.2%	8.2%	10.5%	78.1%	100.0%
	12	3.0%	8.8%	10.0%	78.2%	100.0%
	13	2.9%	9.2%	9.8%	78.0%	100.0%
	14	2.9%	9.2%	9.8%	78.0%	100.0%
	15	2.8%	10.0%	9.5%	77.7%	100.0%
	16	2.4%	14.2%	7.6%	75.8%	100.0%
	17	2.2%	15.5%	7.1%	75.3%	100.0%
	18	2.0%	17.0%	6.5%	74.6%	100.0%
	19	2.0%	17.0%	6.5%	74.6%	100.0%
	20	2.0%	17.0%	6.5%	74.6%	100.0%
	21	2.0%	17.0%	6.5%	74.6%	100.0%
	22	2.0%	17.0%	6.5%	74.6%	100.0%
	23	2.0%	17.0%	6.5%	74.6%	100.0%
	24	2.0%	17.0%	6.5%	74.6%	100.0%
	25	2.0%	17.0%	6.5%	74.6%	100.0%
	26	1.9%	17.3%	6.4%	74.3%	100.0%
	27	1.9%	17.3%	6.4%	74.3%	100.0%
	28	1.9%	17.3%	6.4%	74.3%	100.0%

- d) Por lo que respecta al proveedor, ya se dijo que en un ambiente no coordinado sus costos fijos por atender los pedidos del cliente casi permanecen constantes. Bajo una política coordinada se comprueba que sus costos fijos se reducen sustancialmente resultándole benéfico hasta en un 48% (ahorros) en las opciones donde le otorga mayor importancia a los costos; o como ya se ha venido mencionando, hasta que el descuento en el precio de los productos supere sus costos fijos (véase cuadro 6.25, y figura 6.34). Debido a que esta situación es la contraparte que aparece con el cliente, puede establecerse que no sólo el tamaño del lote constituye un conflicto de intereses, sino también el nivel de servicio del transporte. Para ser más específico, al cliente le convendrá la coordinación de inventarios, con énfasis en un mejor servicio de transporte; contrariamente, el proveedor aceptará una política de coordinación en la medida en que un mejor servicio de transporte no le provoque que el descuento otorgado al cliente supere sus costos fijos.

Cuadro 6.25

Ahorros o pérdidas del proveedor en el contexto del *incoterm* ExW (escenario 2)

Dirección	Sol.	Costo fijo no coordinado	Costo fijo	Descuento en el precio del producto	Total	Diferencia	Ahorros o pérdidas	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	
Preferencia al costo →	Preferencia al nivel de servicio de transporte ↓	1	54,000	25,600	1,561	27,161	26,839	53.6%
		2	54,000	25,600	1,579	27,179	26,821	53.6%
		3	54,000	29,350	2,936	32,286	21,714	43.4%
		4	54,000	29,050	3,870	32,920	21,080	42.1%
		5	54,000	29,000	5,741	34,741	19,259	38.5%
		6	54,000	28,700	7,419	36,119	17,881	35.7%
		7	54,000	28,750	9,135	37,885	16,115	32.2%
		8	54,000	28,850	13,976	42,826	11,174	22.3%
		9	54,000	28,850	13,976	42,826	11,174	22.3%
		10	54,000	29,550	13,976	43,526	10,474	20.9%
		11	54,000	28,700	15,813	44,513	9,487	19.0%
		12	54,000	29,100	16,954	46,054	7,946	15.9%
		13	54,000	28,900	17,854	46,754	7,246	14.5%
		14	54,000	28,900	17,854	46,754	7,246	14.5%
		15	54,000	28,700	19,754	48,454	5,546	11.1%
		16	54,000	27,900	32,204	60,104	- 6,104	-12.2%
		17	54,000	27,500	36,186	63,686	- 9,686	-19.4%
		18	54,000	27,100	41,195	68,295	-14,295	-28.6%
		19	51,300	27,100	41,195	68,295	-16,995	-34.0%
		20	49,680	27,100	41,195	68,295	-18,615	-37.2%
		21	48,060	27,100	41,195	68,295	-20,235	-40.4%
		22	45,900	27,100	41,195	68,295	-22,395	-44.7%
		23	43,740	27,100	41,195	68,295	-24,555	-49.1%
		24	42,120	27,100	41,195	68,295	-26,175	-52.3%
		25	27,000	27,100	41,195	68,295	-41,295	-82.5%
		26	32,400	26,650	42,032	68,682	-36,282	-72.5%
		27	16,200	27,100	41,195	68,295	-52,095	-104.1%
		28	9,900	27,100	41,195	68,295	-58,395	-116.7%

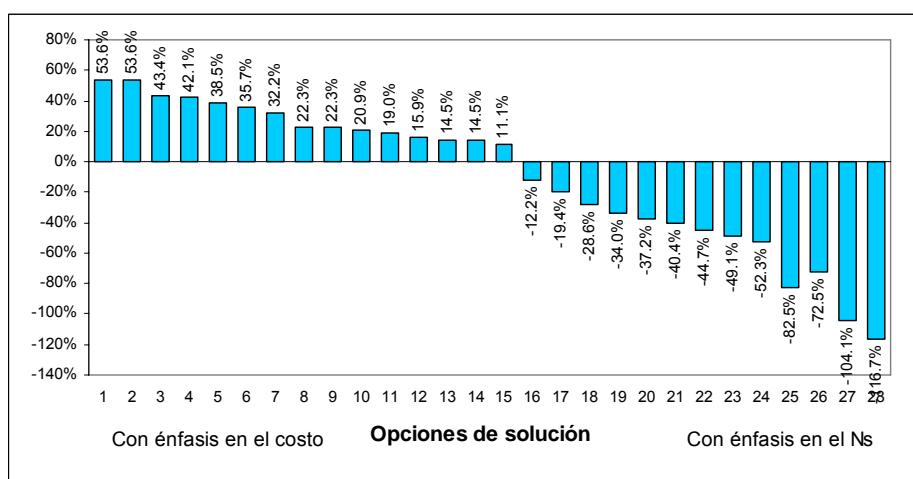


Figura 6.34
Ahorros o pérdidas del proveedor en el contexto del *incoterm* ExW (escenario 2)

e) No obstante la conveniencia de uno u otro miembro de la cadena, los costos totales del sistema presentan pérdidas para cualquier criterio (costo o nivel de servicio). La magnitud de estas pérdidas se magnifica en la medida en que se busque dar un peso específico por igual. En contraparte, el énfasis en el costo o en nivel de servicio del transporte, podrá lograr la menor diferencia en costo a favor del cliente o para el proveedor (véase las figuras 6.35 y 6.36, y el cuadro 6.26).

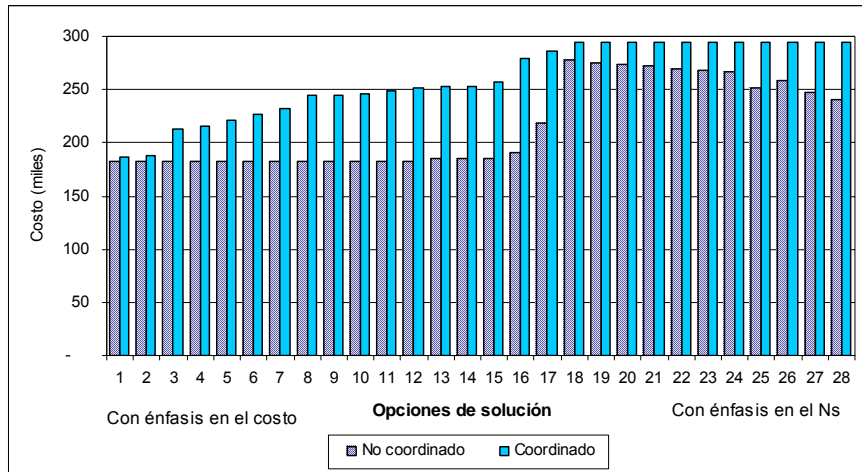


Figura 6.35
Costo total del sistema en el contexto del *incoterm* ExW (escenario 2)

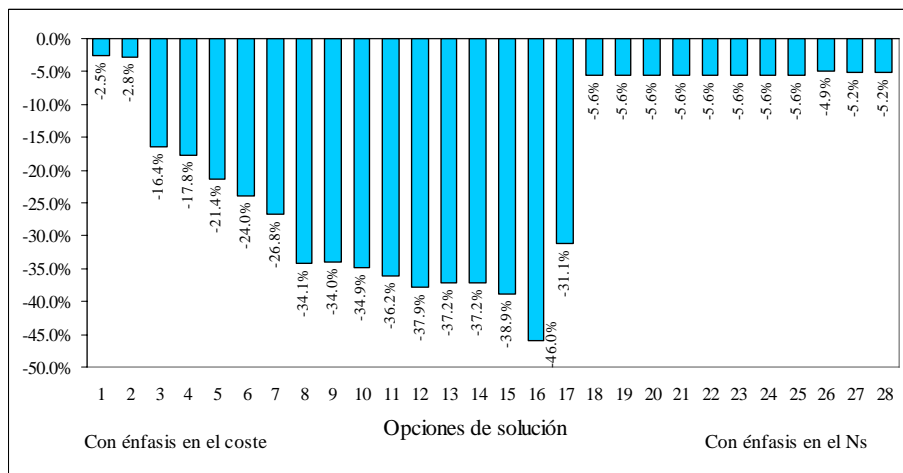


Figura 6.36
Ahorros o pérdidas del sistema en el contexto del *incoterm* ExW (escenario 2)

Cuadro 6.26
Costo total del sistema coordinado y nivel de servicio del transporte,
en el contexto del *incoterm* ExW (escenario 2)

Sol.	Costo total del sistema			Nivel de servicio del transporte			
	No coordinado	Coordinado	Ahorros o pérdidas	No coordinado	Coordinado	Índice no coordinado	Índice coordinado
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	182,547	187,152	-2.5%	-1,257,881	-2,226,740	6.89	11.90
2	182,663	187,808	-2.8%	-1,329,676	-2,242,517	7.28	11.94
3	182,590	212,594	-16.4%	-1,300,992	-2,768,514	7.13	13.02
4	182,675	215,254	-17.8%	-1,364,835	-2,811,809	7.47	13.06
5	182,675	221,827	-21.4%	-1,364,835	-2,914,812	7.47	13.14
6	182,675	226,463	-24.0%	-1,364,835	-2,984,485	7.47	13.18
7	182,675	231,623	-26.8%	-1,364,835	-3,062,017	7.47	13.22
8	182,852	245,249	-34.1%	-1,403,516	-3,255,402	7.68	13.27
9	183,065	245,249	-34.0%	-1,398,617	-3,255,402	7.64	13.27
10	182,852	246,652	-34.9%	-1,403,516	-3,277,481	7.68	13.29
11	182,852	248,976	-36.2%	-1,403,516	-3,307,005	7.68	13.28
12	182,852	252,167	-37.9%	-1,403,516	-3,352,112	7.68	13.29
13	184,899	253,610	-37.2%	-1,575,733	-3,370,511	8.52	13.29
14	184,899	253,610	-37.2%	-1,575,733	-3,370,511	8.52	13.29
15	184,899	256,907	-38.9%	-1,575,733	-3,408,923	8.52	13.27
16	191,365	279,331	-46.0%	-1,778,034	-3,664,811	9.29	13.12
17	217,934	285,818	-31.1%	-2,476,842	-3,737,187	11.37	13.08
18	278,325	294,009	-5.6%	-3,826,480	-3,826,480	13.75	13.01
19	278,325	294,009	-5.6%	-3,826,480	-3,826,480	13.88	13.01
20	278,325	294,009	-5.6%	-3,826,480	-3,826,480	13.97	13.01
21	278,325	294,009	-5.6%	-3,826,480	-3,826,480	14.05	13.01
22	278,325	294,009	-5.6%	-3,826,480	-3,826,480	14.16	13.01
23	278,325	294,009	-5.6%	-3,826,480	-3,826,480	14.27	13.01
24	278,325	294,009	-5.6%	-3,826,480	-3,826,480	14.36	13.01
25	278,325	294,009	-5.6%	-3,826,480	-3,826,480	15.23	13.01
26	279,798	294,396	-5.2%	-3,826,480	-3,826,480	14.82	13.00
27	279,798	294,396	-5.2%	-3,826,480	-3,826,480	14.82	13.00
28	279,798	294,396	-5.2%	-3,826,480	-3,826,480	14.82	13.00

- f) Una situación que no se debe perder de vista es el hecho de que el sistema coordinado permite alcanzar un mejor nivel de servicio del transporte, cuando se le da mayor énfasis al costo. Sin embargo, para este caso en particular, el índice de servicio no coordinado puede llegar a ser superior al del coordinado en razón de su mayor costo (véase figuras 6.37 y 6.38).
- g) Por lo que respecta a la estructura de costos del cliente y del proveedor, ésta es muy similar a la del escenario anterior.

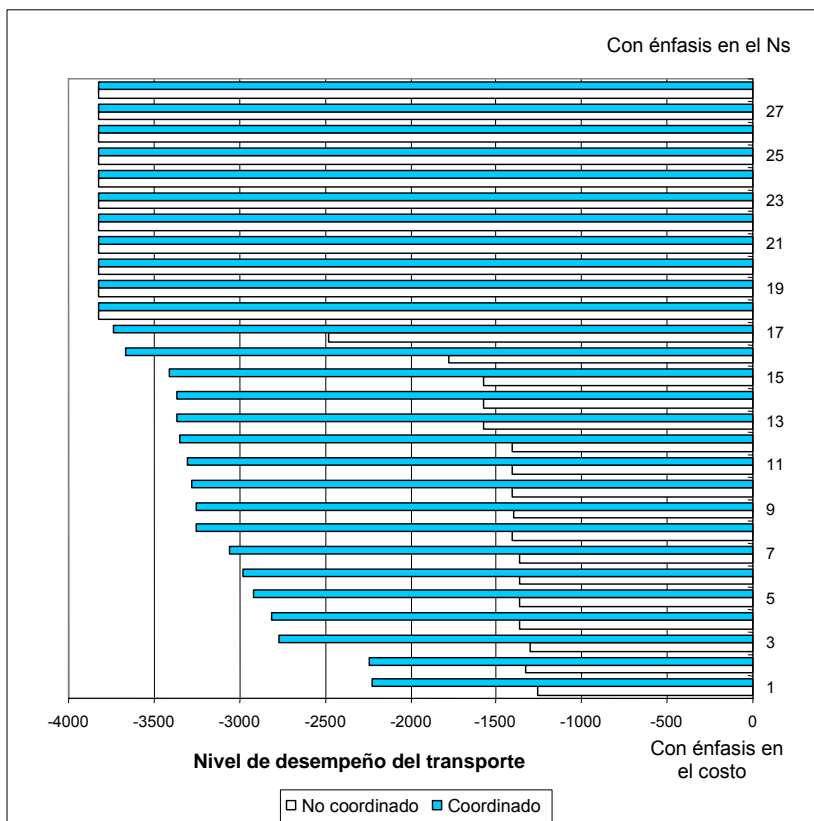


Figura 6.37
Nivel de servicio del transporte en el contexto del *incoterm* ExW (escenario 2)

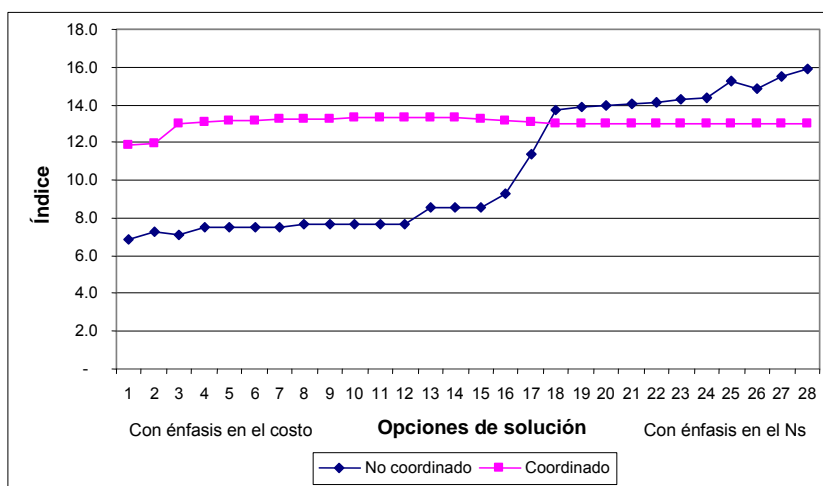


Figura 6.38
Índice de nivel de servicio del transporte con respecto al costo

6.4.3 Alternativas no dominadas. Escenario 3

Esta sección contiene los resultados que demuestran el efecto de la instrumentación de la estrategia ECR, específicamente bajo el término de comercio internacional ExW, en el contexto del escenario 3 de análisis. Los resultados se presentan por separado para el cliente, el proveedor, y de manera conjunta (cliente-proveedor) desde el punto de vista de sistema. De esta manera, los incisos a continuación, resumen los resultados más relevantes.

- a) En un esquema no coordinado con énfasis en el nivel de servicio, por obvias razones el transporte es el principal componente en la estructura de costos; para el caso de estudio resultó ser de casi el 90% de los costos totales del cliente (véase figura 6.39). El uso de modos más rápidos (mejor nivel de servicio) permite realizar entregas en el menor tiempo del ciclo, ocasionando que el costo de inventario sea prácticamente nulo, y los costos por ordenar y de inventario en tránsito sean muy reducidos.

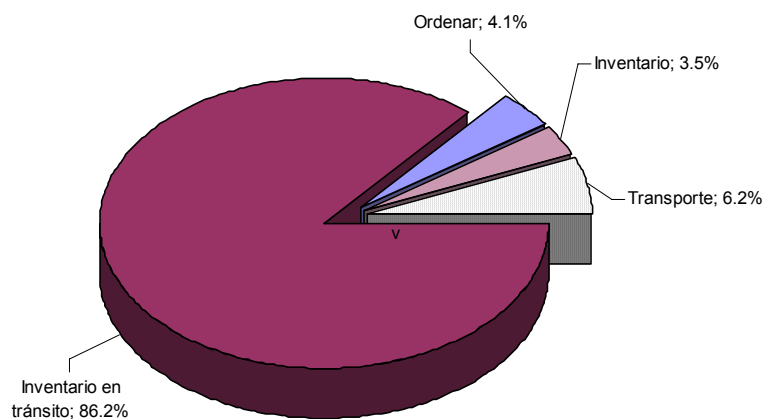


Figura 6.39
Estructura de costos del cliente (sin coordinación)

- b) De acuerdo con los resultados en este escenario, el esquema no coordinado con base en el criterio de nivel de servicio, se observa que tiene desventaja con respecto a un esquema coordinado que considera ambos criterios (costo y nivel de servicio de transporte). Cuando en el sistema coordinado el énfasis está más del lado del costo se pueden alcanzar ahorros de hasta el 34%. En la medida en que se avanza hacia una preferencia del nivel de servicio, los ahorros del sistema se reducen gradualmente (véase cuadro 6.27, y figuras 6.40 y 6.41).

Cuadro 6.27
Ahorros y pérdidas del sistema y nivel de servicio del transporte

Dirección	Sol.	Costo total de sistema			Nivel de servicio del transporte			
		No coordinado	Coordinado	Ahorros o pérdidas	No coordinado	Coordinado	Índice no coordinado	Índice coordinado
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Preferencia al costo ↑	1	284,807	187,149	34.3%	- 3,826,480	-2,226,740	5.45	11.90
	2	284,807	187,804	34.1%	- 3,826,480	-2,242,517	5.76	11.94
	3	284,807	212,593	25.4%	- 3,826,480	-2,768,514	5.64	13.02
	4	284,807	215,255	24.4%	- 3,826,480	-2,811,809	5.91	13.06
	5	284,807	221,827	22.1%	- 3,826,480	-2,914,812	5.91	13.14
	6	284,807	226,464	20.5%	- 3,826,480	-2,984,485	5.91	13.18
	7	284,807	231,623	18.7%	- 3,826,480	-3,062,017	5.91	13.22
	8	284,807	245,249	13.9%	- 3,826,480	-3,255,402	6.08	13.27
	9	284,807	245,249	13.9%	- 3,826,480	-3,255,402	6.06	13.27
	10	284,807	246,652	13.4%	- 3,826,480	-3,277,481	6.08	13.29
	11	284,807	248,975	12.6%	- 3,826,480	-3,307,005	6.08	13.28
	12	284,807	252,169	11.5%	- 3,826,480	-3,352,112	6.08	13.29
	13	284,807	253,612	11.0%	- 3,826,480	-3,370,511	6.83	13.29
	14	284,807	253,612	11.0%	- 3,826,480	-3,370,511	6.83	13.29
	15	284,807	256,911	9.8%	- 3,826,480	-3,408,923	6.83	13.27
	16	284,807	279,335	5.4%	- 3,826,480	-3,664,811	7.70	13.12
	17	284,807	278,827	3.6%	- 3,826,480	-3,737,187	10.73	13.08
	18	284,807	278,223	2.3%	- 3,826,480	-3,826,480	16.58	13.75
	19	284,807	278,223	2.3%	- 3,826,480	-3,826,480	16.58	13.75
	20	284,807	278,223	2.3%	- 3,826,480	-3,826,480	16.58	13.75
	21	284,807	278,223	2.3%	- 3,826,480	-3,826,480	16.58	13.75
	22	284,807	278,223	2.3%	- 3,826,480	-3,826,480	16.58	13.75
	23	284,807	278,223	2.3%	- 3,826,480	-3,826,480	16.58	13.75
	24	284,807	278,223	2.3%	- 3,826,480	-3,826,480	16.58	13.75
	25	284,807	278,223	2.3%	- 3,826,480	-3,826,480	16.58	13.75
	26	284,807	278,223	2.3%	- 3,826,480	-3,826,480	16.58	13.75
	27	284,807	278,223	2.3%	- 3,826,480	-3,826,480	16.58	13.75
	28	284,807	278,223	2.3%	- 3,826,480	-3,826,480	16.58	13.75

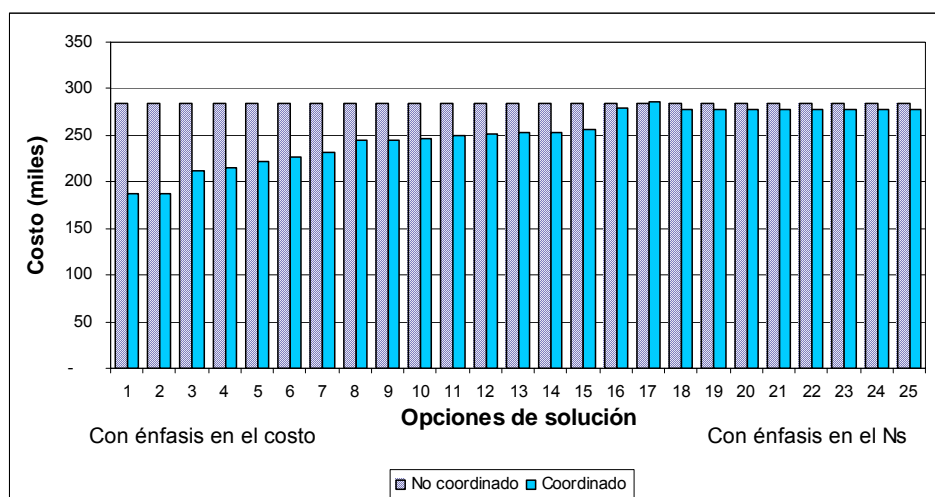


Figura 6.40
Costo total del sistema en el contexto del incoterm ExW (escenario 3)

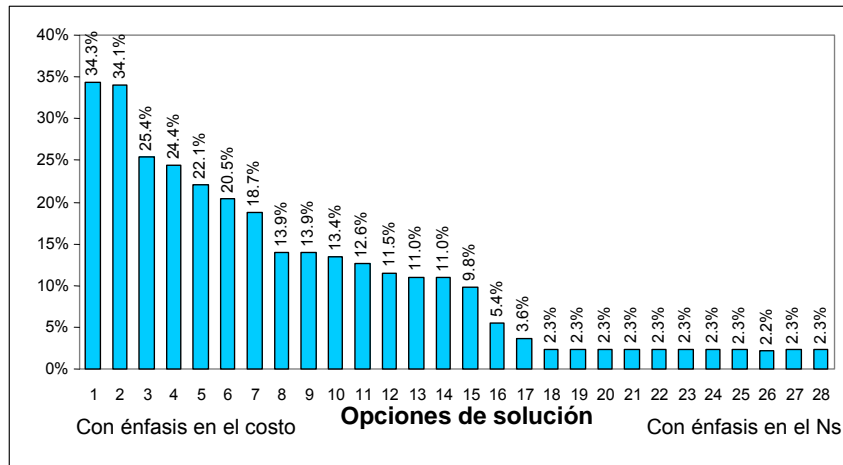


Figura 6.41
Ahorros del sistema en el contexto del incoterm ExW (escenario 3)

c) De acuerdo con los resultados obtenidos en un sistema no coordinado, a partir de las figuras 6.42 y 6.43 puede establecerse que el nivel de servicio de transporte es superior al del sistema coordinado, cuando el énfasis está más orientado hacia el costo. Sin embargo, el nivel de servicio se iguala en la medida en que el énfasis en el sistema coordinado vaya cambiando en este sentido. Por su parte, el índice de nivel de servicio del transporte será un poco más favorable para el sistema no coordinado (véase figuras 6.42 y 6.43).

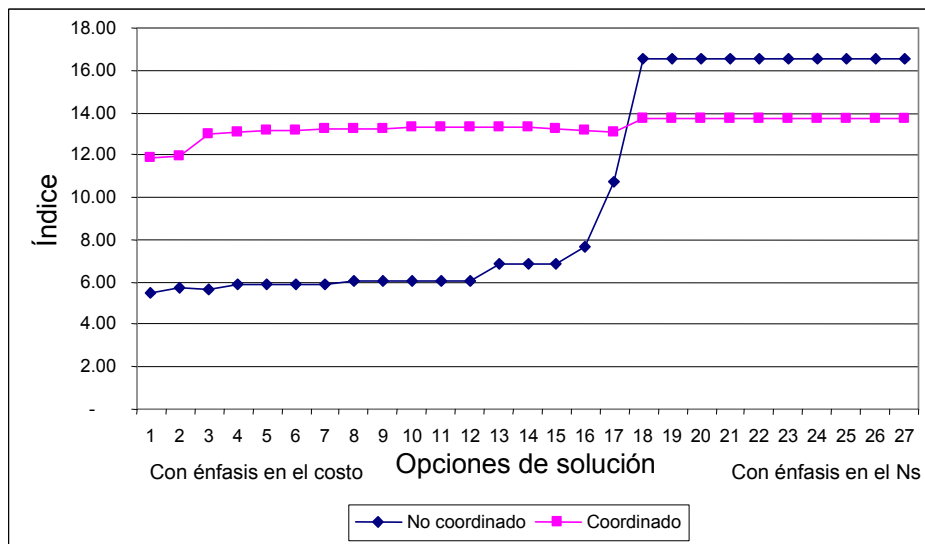


Figura 6.42
Índice de nivel de servicio del transporte con relación al costo

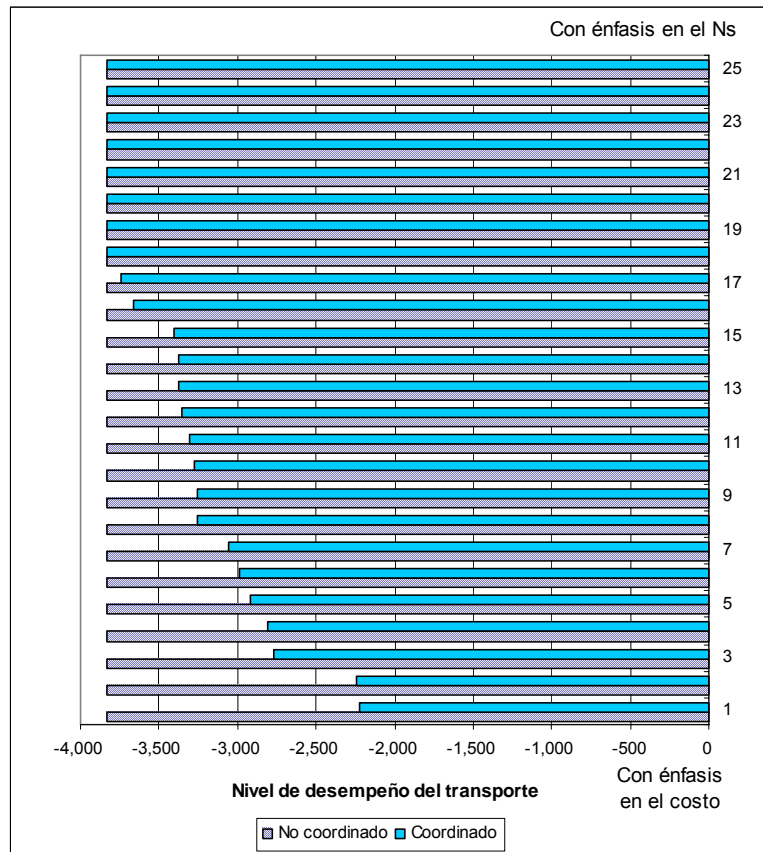


Figura 6.43
Nivel de servicio del transporte, bajo el *incoterm* ExW

- d) En este escenario, el cliente podrá disfrutar de ahorros derivados de una reducción de sus costos por ordenar y del inventario en tránsito, siempre y cuando los costos de transporte (combinación de modos con mayor nivel de servicio) no presenten un crecimiento explosivo. El efecto de la coordinación le permite ahorros hasta del 30%. Por los ahorros, y sobre todo por la magnitud de las pérdidas obtenidos, se observa que una tasa mayor de descuento en el precio de los productos podría ayudar no sólo para que los ahorros aumenten, sino para que el número de soluciones no dominadas (alternativas para el cliente) se incrementen (véase figura 6.44, y cuadro 6.28).

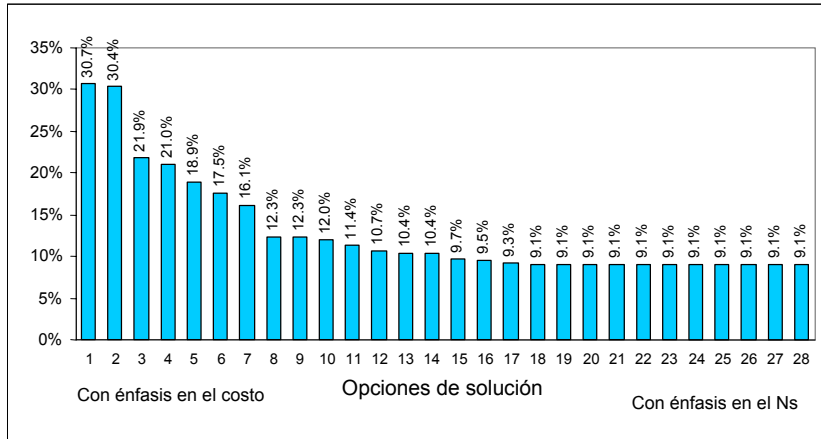


Figura 6.44
Ahorro del cliente en el contexto del *incoterm* ExW (escenario 3)

Cuadro 6.28
Costos del cliente bajo el *incoterm* ExW (escenario 3)

Dirección	Sol.	Costo del cliente no coordinado	Costo del cliente coordinado					Diferencia	Ahorros o pérdidas	
			Ordenar	Inventario	Inventario en tránsito	Transporte	Descuento			Total
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
Preferencia al costo ↑ ↓ Preferencia al nivel de servicio de transporte	1	230,807	9,921	1,035	36,562	114,034	1,561	159,990	70,817	30.7%
	2	230,807	9,921	1,050	36,365	114,872	1,579	160,629	70,178	30.4%
	3	230,807	9,311	3,021	27,073	143,839	2,936	180,308	50,499	21.9%
	4	230,807	9,011	4,257	26,844	146,091	3,870	182,334	48,473	21.0%
	5	230,807	8,631	6,507	26,201	151,488	5,741	187,086	43,721	18.9%
	6	230,807	8,331	8,486	25,833	155,113	7,419	190,344	40,463	17.5%
	7	230,807	8,001	10,532	25,163	159,177	9,135	193,738	37,070	16.1%
	8	230,807	7,341	16,033	23,735	169,291	13,976	202,423	28,384	12.3%
	9	230,807	7,341	16,033	23,735	169,291	13,976	202,423	28,384	12.3%
	10	230,807	7,341	16,033	23,245	170,483	13,976	203,126	27,681	12.0%
	11	230,807	7,036	18,173	23,071	171,997	15,813	204,463	26,344	11.4%
	12	230,807	6,766	19,587	22,329	174,385	16,954	206,113	24,694	10.7%
	13	230,807	6,581	20,672	22,115	175,342	17,854	206,856	23,951	10.4%
	14	230,807	6,581	20,672	22,115	175,342	17,854	206,856	23,951	10.4%
	15	230,807	6,436	22,719	21,711	177,341	19,754	208,453	22,354	9.7%
	16	230,807	6,021	35,584	19,174	190,653	32,204	219,227	11,580	9.5%
	17	230,807	5,621	39,971	18,308	194,418	36,186	222,132	8,675	9.3%
	18	230,807	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	209,914	20,893	9.1%
	19	230,807	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	209,914	20,893	9.1%
	20	230,807	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	209,914	20,893	9.1%
	21	230,807	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	209,914	20,893	9.1%
	22	230,807	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	209,914	20,893	9.1%
	23	230,807	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	209,914	20,893	9.1%
	24	230,807	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	209,914	20,893	9.1%
	25	230,807	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	209,914	20,893	9.1%
	26	230,807	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	209,914	20,893	9.1%
	27	230,807	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	209,914	20,893	9.1%
	28	230,807	5,221	45,385	17,241	199,063	41,195	209,914	20,893	9.1%

- e) Por lo que respecta al proveedor, el resultado de la coordinación le representa una situación muy similar a la del cliente. Es decir, también puede obtener ahorros (hasta del 50%) para el caso en el que el peso específico sea mayor para el costo en relación con el criterio de nivel de servicio. Sin embargo, cuando se otorga mayor importancia al nivel de servicio, las pérdidas incurrido por este actor ya no son tan conservadores (alrededor del 26%); sobre todo, a partir de que el descuento en el precio de los productos es superior a sus costos fijos. Contrario al cliente, el proveedor tendrá menos alternativas de solución favorables con un aumento en la tasa de descuento en los precios (véase cuadro 6.29, y la figura 6.45).

Cuadro 6.29
Ahorros o pérdidas del proveedor (escenario 3)

Dirección	Sol.	Costo fijo no coordinado	Costo fijo coordinado	Descuento en el precio de los productos	Total	Diferencia	Ahorros o pérdidas
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Preferencia al costo ↑ ↓ Preferencia al nivel de servicio de transporte	1	54,000	25,600	1,561	27,159	26,841	49.7%
	2	54,000	25,600	1,579	27,174	26,826	49.7%
	3	54,000	29,350	2,936	32,285	21,715	40.2%
	4	54,000	29,050	3,870	32,921	21,079	39.0%
	5	54,000	29,000	5,741	34,741	19,259	35.7%
	6	54,000	28,700	7,419	36,120	17,880	33.1%
	7	54,000	28,750	9,135	37,886	16,114	29.8%
	8	54,000	28,850	13,976	42,826	11,174	20.7%
	9	54,000	28,850	13,976	42,826	11,174	20.7%
	10	54,000	29,550	13,976	43,526	10,474	19.4%
	11	54,000	28,700	15,813	44,511	9,489	17.6%
	12	54,000	29,100	16,954	46,056	7,944	14.7%
	13	54,000	28,900	17,854	46,756	7,244	13.4%
	14	54,000	28,900	17,854	46,756	7,244	13.4%
	15	54,000	28,700	19,754	48,458	5,542	10.3%
	16	54,000	27,900	32,204	60,107	-6,107	-11.3%
	17	54,000	27,500	36,186	63,695	-9,695	-18.0%
	18	54,000	27,100	41,195	68,308	-14,308	-26.5%
	19	54,000	27,100	41,195	68,308	-14,308	-26.5%
	20	54,000	27,100	41,195	68,308	-14,308	-26.5%
	21	54,000	27,100	41,195	68,308	-14,308	-26.5%
	22	54,000	27,100	41,195	68,308	-14,308	-26.5%
	23	54,000	27,100	41,195	68,308	-14,308	-26.5%
	24	54,000	27,100	41,195	68,308	-14,308	-26.5%
	25	54,000	27,100	41,195	68,308	-14,308	-26.5%
	26	54,000	27,100	41,195	68,308	-14,308	-26.5%
	27	54,000	27,100	41,195	68,308	-14,308	-26.5%
	28	54,000	27,100	41,195	68,308	-14,308	-26.5%

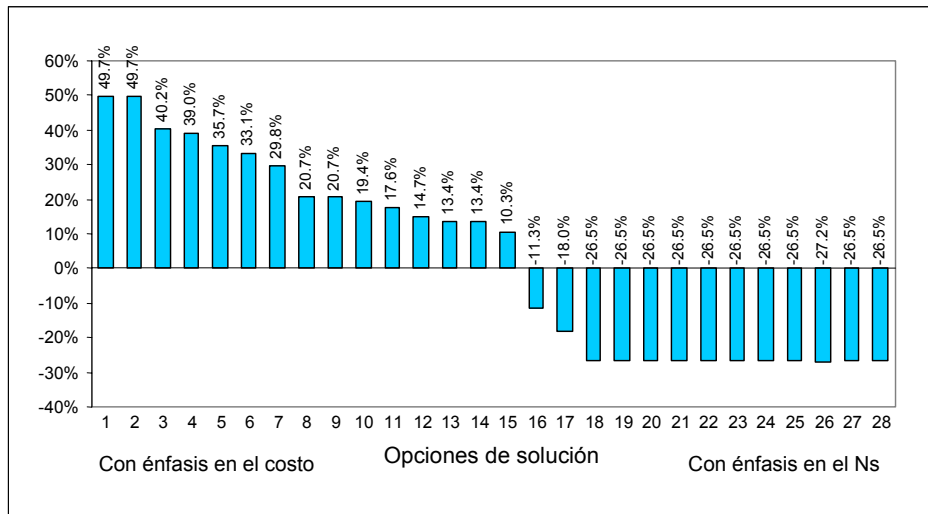


Figura 6.45

Ahorros y pérdidas del proveedor en el contexto del *incoterm* ExW (escenario 3)

- f) Por lo anterior, este escenario permite observar el límite máximo sobre la decisión del nivel de servicio de transporte: los resultados obtenidos así lo demuestran. Para el caso de estudio, la coordinación es benéfica tanto para el cliente como para el proveedor en el mismo segmento de soluciones no dominadas. Por esto, es evidente la existencia de ahorros en el sistema para el caso en el que ambos actores otorguen mayor valor específico a los costos, a pesar de que el índice de nivel de servicio del transporte con relación a la erogación sea favorable para el esquema no coordinado (véase figuras 6.41 y 6.43 anteriores).
- g) En un esquema coordinado, el efecto en la estructura de costos del cliente se presenta, principalmente con una mayor participación del costo en inventario que va ocupando el lugar de los costos del inventario en tránsito en la medida en que se le otorga mayor importancia al nivel de servicio de transporte que al costo (véase cuadro 6.30)
- h) Para el proveedor, la estructura de costos se relaciona directamente con el intercambio (*tradeoff*) que presenta sus costos fijos con respecto al descuento que otorga al cliente, y que éste los asume. De igual manera, en la medida en que la coordinación usa modos de transporte más eficientes (rápidos), el descuento llega a superar los costos fijos, provocándole pérdidas significativas (véase figura 6.46).

Cuadro 6.30
Estructura de costos del cliente coordinado (escenario 3)

Dirección	Sol.	Ordenar	Inventario	Inventario en tránsito	Transporte	Total
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
↑ Preferencia al costo ↓ Preferencia al nivel de servicio de transporte	1	6.1%	0.6%	22.6%	70.6%	100.0%
	2	6.1%	0.6%	22.4%	70.8%	100.0%
	3	5.1%	1.6%	14.8%	78.5%	100.0%
	4	4.8%	2.3%	14.4%	78.5%	100.0%
	5	4.5%	3.4%	13.6%	78.6%	100.0%
	6	4.2%	4.3%	13.1%	78.4%	100.0%
	7	3.9%	5.2%	12.4%	78.5%	100.0%
	8	3.4%	7.4%	11.0%	78.2%	100.0%
	9	3.4%	7.4%	11.0%	78.2%	100.0%
	10	3.4%	7.4%	10.7%	78.5%	100.0%
	11	3.2%	8.2%	10.5%	78.1%	100.0%
	12	3.0%	8.8%	10.0%	78.2%	100.0%
	13	2.9%	9.2%	9.8%	78.0%	100.0%
	14	2.9%	9.2%	9.8%	78.0%	100.0%
	15	2.8%	10.0%	9.5%	77.7%	100.0%
	16	2.4%	14.2%	7.6%	75.8%	100.0%
	17	2.2%	15.5%	7.1%	75.3%	100.0%
	18	2.0%	17.0%	6.5%	74.6%	100.0%
	19	2.0%	17.0%	6.5%	74.6%	100.0%
	20	2.0%	17.0%	6.5%	74.6%	100.0%
	21	2.0%	17.0%	6.5%	74.6%	100.0%
	22	2.0%	17.0%	6.5%	74.6%	100.0%
	23	2.0%	17.0%	6.5%	74.6%	100.0%
	24	2.0%	17.0%	6.5%	74.6%	100.0%
	25	2.0%	17.0%	6.5%	74.6%	100.0%
	26	2.0%	17.0%	6.5%	74.6%	100.0%
	27	2.0%	17.0%	6.5%	74.6%	100.0%
	28	2.0%	17.0%	6.5%	74.6%	100.0%

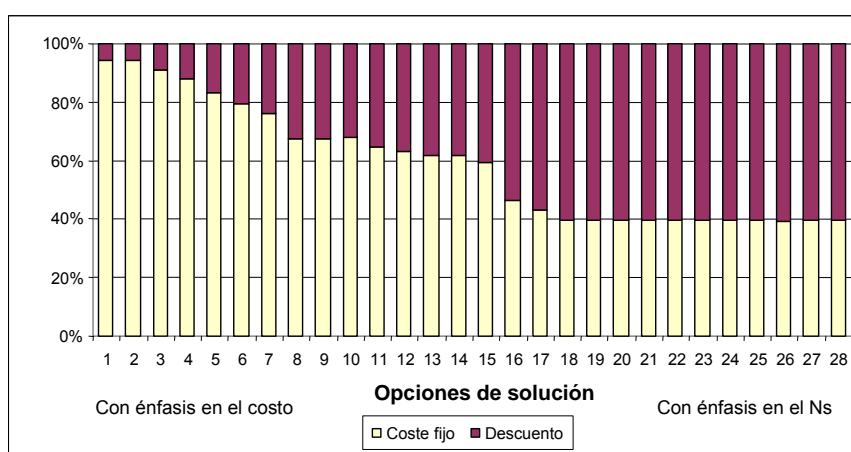


Figura 6.46
Estructura de costos del proveedor coordinado en el contexto del *incoterm* ExW

6.4.4 Alternativas no dominadas. Escenario 4

Esta sección se dan a conocer los resultados que demuestran el efecto de la instrumentación de la estrategia ECR, específicamente bajo el término de comercio internacional DDP, en el contexto del escenario 4 de análisis. Los resultados se presentan por separado para el cliente, el proveedor, y de manera conjunta (cliente-proveedor) desde el punto de vista de sistema. De esta manera, a continuación se da paso a los resultados más relevantes.

- a) De acuerdo con los resultados, la operatividad del modelo en un ambiente de negociación DDP permite observar una adecuada aproximación del comportamiento de las variables de decisión, a la situación real. Debido a que el proveedor se encarga prácticamente de toda actividad logística para abastecer a su cliente, buscará con todo empeño disminuir los costos de envío y mantener los fijos lo más bajo posible, o al menos igual que en una negociación ExW; compárense el cuadros 6.19 (escenario 1) contra el cuadro 6.31. En dicha comparación se observa que los costos fijos mantienen cierta estabilidad en ambos tipos de *incoterms* (ExW y DDP); no así el descuento en el precio de los productos, que resultan mayores para el caso del *incoterm* DDP. Esto se debe principalmente a que el tamaño del lote es más grande, lo que implica mayores descuentos. Más específicamente, el modelo DDP determina lotes de envío más grandes (consolidación), con impacto en los siguientes aspectos:
 - a.1) Aumenta el costo de inventario, el cual se ve reflejado en tasas de descuento (z_{li}) mayores con respecto a un escenario ExW (véase cuadros 6.17 y 6.32); cabe destacar que los productos 4 y 5 mantienen una tasa de descuento casi constante a lo largo de todas las opciones evaluadas (véase figura 6.47).
 - a.2) Se obtienen menores costos de transporte con respecto al escenario ExW, y muy similares al esquema no coordinado; sin embargo, la tasas de descuento (z_{2m}) son muy grandes y oscilan entre 0.9 y 17.6%; dichos descuentos representan en promedio aproximadamente el 24% del costo del cliente. La figura 6.48 por su parte, además de mostrar la combinación de las tasas de descuento en la tarifa para cada una de las opciones analizadas, exhibe también, con bastante claridad, el punto de intercambio sobre las decisiones de descuento.
 - a.3) Los costos de inventario en tránsito mantienen una participación importante en la estructura de costos (31% en promedio).
 - a.4) El número de ordenes es menor, y por tanto, su costo.

Cuadro 6.31
Costos del proveedor en el contexto del *incoterm DDP* (escenario 4)

Dirección	Sol.	Costo fijo coordinado	Descuento en el precio	Descuento en la tarifa de transporte	Total ⁽¹⁾
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Preferencia al costo ↑ Preferencia al nivel de servicio de transporte ↓	1	26,500	23,606	13,473	50,106
	2	26,500	23,606	13,473	50,106
	3	26,500	23,606	13,473	50,106
	4	26,400	23,700	13,495	50,100
	5	26,500	23,606	13,473	50,106
	6	26,400	23,700	13,495	50,100
	7	26,400	23,700	13,495	50,100
	8	26,400	23,700	13,495	50,100
	9	26,250	23,759	13,885	50,009
	10	25,450	24,632	14,747	50,082
	11	24,250	26,514	17,289	50,764
	12	22,600	30,521	22,166	53,121
	13	20,850	36,316	30,975	57,166
	14	20,850	36,316	29,819	57,166
	15	20,850	36,319	28,952	57,169
	16	20,850	36,319	28,663	57,169
	17	20,850	36,316	28,230	57,166
	18	20,850	36,329	28,013	57,179
	19	20,850	36,339	28,013	57,189
	20	20,850	36,329	28,013	57,179
	21	20,850	36,359	28,013	57,209
	22	20,850	36,359	28,013	57,209
	23	20,850	36,452	28,013	57,302
	24	20,850	36,437	28,013	57,287
	25	21,200	36,313	28,013	57,513
	26	21,200	36,313	28,013	57,513
	27	21,200	36,313	28,013	57,513
	28	21,200	36,313	28,013	57,513

Nota: (1) No incluye costo de transporte y descuento en las tarifas. El costo de transporte se transfiere al cliente, y el descuento al transportista por medio de una mejor negociación.

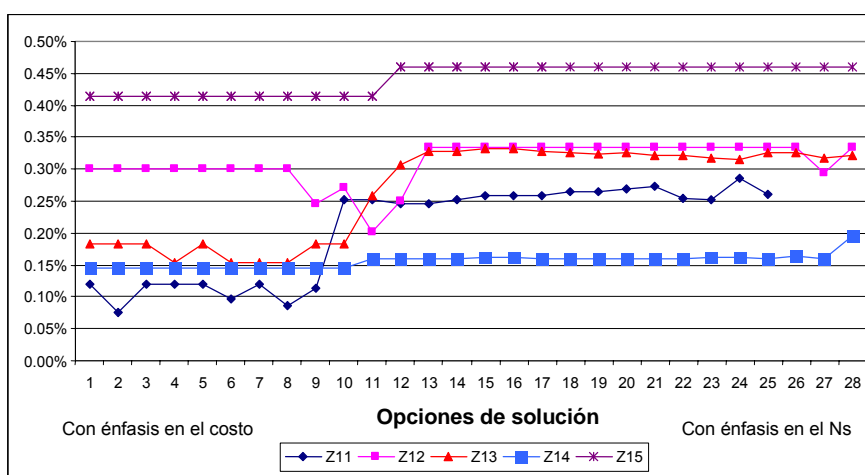


Figura 6.47
Tasa de descuento en el precio de los productos (*incoterm DDP*)

Cuadro 6.32

Descuento total en el precio de los productos en el contexto del *incoterm* DDP (escenario 4)

Tasa de descuento						Costo total anual de compra por producto					Descuento total en el precio de los productos
						3,015,103	925,111	4,062,273	2,877,556	1,673,226	
Sol.	Z ₁₁	Z ₁₂	Z ₁₃	Z ₁₄	Z ₁₅	Descuento por periodo					
						Producto 1	Producto 2	Producto 3	Producto 4	Producto 5	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	0.08%	0.30%	0.18%	0.14%	0.41%	2,270	2,784	7,450	4,161	6,941	23,606
2	0.08%	0.30%	0.18%	0.14%	0.41%	2,270	2,784	7,450	4,161	6,941	23,606
3	0.08%	0.30%	0.18%	0.14%	0.41%	2,270	2,784	7,450	4,161	6,941	23,606
4	0.12%	0.30%	0.15%	0.14%	0.41%	3,612	2,784	6,203	4,161	6,941	23,700
5	0.08%	0.30%	0.18%	0.14%	0.41%	2,270	2,784	7,450	4,161	6,941	23,606
6	0.12%	0.30%	0.15%	0.14%	0.41%	3,612	2,784	6,203	4,161	6,941	23,700
7	0.12%	0.30%	0.15%	0.14%	0.41%	3,612	2,784	6,203	4,161	6,941	23,700
8	0.12%	0.30%	0.15%	0.14%	0.41%	3,612	2,784	6,203	4,161	6,941	23,700
9	0.10%	0.25%	0.18%	0.14%	0.41%	2,931	2,277	7,450	4,161	6,941	23,759
10	0.12%	0.27%	0.18%	0.14%	0.41%	3,612	2,504	7,414	4,161	6,941	24,632
11	0.09%	0.20%	0.26%	0.16%	0.41%	2,587	1,870	10,521	4,595	6,941	26,514
12	0.11%	0.25%	0.31%	0.16%	0.46%	3,422	2,315	12,496	4,595	7,693	30,521
13	0.25%	0.33%	0.33%	0.16%	0.46%	7,580	3,083	13,341	4,618	7,693	36,316
14	0.25%	0.33%	0.33%	0.16%	0.46%	7,580	3,083	13,341	4,618	7,693	36,316
15	0.25%	0.33%	0.33%	0.16%	0.46%	7,417	3,083	13,475	4,650	7,693	36,319
16	0.25%	0.33%	0.33%	0.16%	0.46%	7,417	3,083	13,475	4,650	7,693	36,319
17	0.25%	0.33%	0.33%	0.16%	0.46%	7,580	3,083	13,341	4,618	7,693	36,316
18	0.26%	0.33%	0.32%	0.16%	0.46%	7,767	3,083	13,190	4,595	7,693	36,329
19	0.26%	0.33%	0.32%	0.16%	0.46%	7,821	3,083	13,146	4,595	7,693	36,339
20	0.26%	0.33%	0.32%	0.16%	0.46%	7,767	3,083	13,190	4,595	7,693	36,329
21	0.26%	0.33%	0.32%	0.16%	0.46%	7,951	3,083	13,036	4,595	7,693	36,359
22	0.26%	0.33%	0.32%	0.16%	0.46%	7,951	3,083	13,036	4,595	7,693	36,359
23	0.27%	0.33%	0.32%	0.16%	0.46%	8,138	3,083	12,881	4,656	7,693	36,452
24	0.27%	0.33%	0.31%	0.16%	0.46%	8,240	3,083	12,764	4,656	7,693	36,437
25	0.25%	0.33%	0.33%	0.16%	0.46%	7,673	3,083	13,267	4,595	7,693	36,313
26	0.25%	0.33%	0.33%	0.16%	0.46%	7,595	3,083	13,247	4,731	7,693	36,350
27	0.25%	0.33%	0.33%	0.16%	0.46%	7,595	3,083	13,247	4,731	7,693	36,350
28	0.25%	0.33%	0.33%	0.16%	0.46%	7,595	3,083	13,247	4,731	7,693	36,350

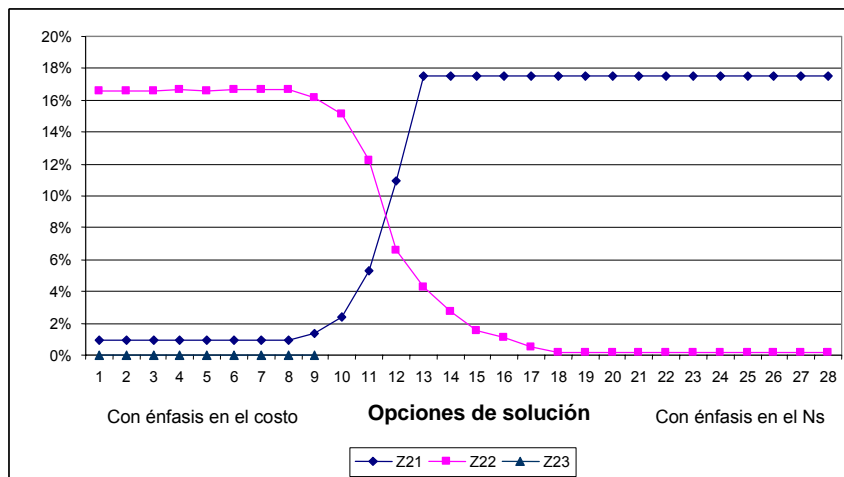


Figura 6.48 Comportamiento de la tasa de descuento en la tarifa de transporte

b) Específicamente para el caso del cliente, la coordinación resultó benéfica en todas las opciones; los ahorros obtenidos oscilan entre 11 y 14% con respecto

a la alternativa no coordinada basada en el costo (véase cuadro 6.33, y figura 6.49). Es interesante observar en dicho cuadro que el modelo simula con bastante aproximación, el ambiente que priva en los contextos en los escenarios ExW y DDP. En primer lugar, los costos por ordenar son menores con relación a un enfoque ExW; segundo, los costos de inventario y transporte son muy similares hasta cierto punto; y tercero, el descuento en el precio de los productos y en la tarifa de transporte compensan los costos de inventario en los que incurre el cliente. Todo lo anterior se debe a que los lotes resultaron ser más grandes, lo que permite lograr una mejor consolidación de cargas aprovechando los modos de transporte con mejor nivel de servicio. De hecho, la estructura de costos muestra un equilibrio relativo entre todos sus componentes (véase cuadro 6.34). Los picos en la figura 6.49 representan las sumas de los descuentos que resultaron ser las más grandes en esas opciones de solución.

Cuadro 6.33
Ahorros o pérdidas del cliente bajo el incoterm DDP (escenario 4)

Sol.	Costo total del cliente sin coordinación	Costos del cliente bajo un esquema coordinado						Diferencia	Ahorros o pérdidas	
		Ordenar	Inventario	Inventario en tránsito	Transporte	Descuento en el precio del producto	Descuento en la tarifa de transporte			Total
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1	128,547	6,591	26,417	53,707	64,869	23,606	13,473	114,504	14,043	10.9%
2	128,547	6,591	26,417	53,707	64,869	23,606	13,473	114,504	14,043	10.9%
3	128,547	6,591	26,417	53,707	64,869	23,606	13,473	114,504	14,043	10.9%
4	128,547	6,436	26,669	53,786	64,879	23,700	13,495	114,574	13,972	10.9%
5	128,547	6,591	26,417	53,707	64,869	23,606	13,473	114,504	14,043	10.9%
6	128,547	6,436	26,669	53,786	64,879	23,700	13,495	114,574	13,972	10.9%
7	128,547	6,436	26,669	53,786	64,879	23,700	13,495	114,574	13,972	10.9%
8	128,547	6,436	26,669	53,786	64,879	23,700	13,495	114,574	13,972	10.9%
9	128,547	6,661	26,501	53,627	65,270	23,759	13,885	114,415	14,132	11.0%
10	128,547	6,521	27,512	53,475	66,142	24,632	14,747	114,271	14,275	11.1%
11	128,547	6,751	29,164	52,883	68,685	26,514	17,289	113,679	14,868	11.6%
12	128,547	6,281	33,640	52,457	73,561	30,521	22,166	113,252	15,295	11.9%
13	128,547	5,666	40,057	51,702	79,264	36,316	30,975	109,399	19,148	14.9%
14	128,547	5,666	40,057	51,702	79,264	36,316	29,819	110,555	17,992	14.0%
15	128,547	5,666	40,061	51,636	79,264	36,319	28,952	111,355	17,191	13.4%
16	128,547	5,666	40,061	51,636	79,264	36,319	28,663	111,644	16,902	13.1%
17	128,547	5,666	40,057	51,702	79,264	36,316	28,230	112,144	16,403	12.8%
18	128,547	5,666	40,069	52,155	79,264	36,329	28,013	112,811	15,736	12.2%
19	128,547	5,666	40,079	52,169	79,264	36,339	28,013	112,826	15,721	12.2%
20	128,547	5,666	40,069	52,155	79,264	36,329	28,013	112,811	15,736	12.2%
21	128,547	5,666	40,102	52,195	79,264	36,359	28,013	112,855	15,691	12.2%
22	128,547	5,666	40,102	52,195	79,264	36,359	28,013	112,855	15,691	12.2%
23	128,547	5,666	40,196	51,624	79,264	36,452	28,013	112,285	16,261	12.7%
24	128,547	5,611	40,233	51,636	79,264	36,437	28,013	112,293	16,253	12.6%
25	128,547	5,666	40,052	52,121	79,264	36,313	28,013	112,776	15,770	12.3%
26	128,547	5,566	40,189	52,022	79,264	36,350	28,013	112,678	15,869	12.3%
27	128,547	5,751	40,182	52,271	79,264	36,526	28,013	112,929	15,618	12.1%
28	128,547	5,566	41,152	51,505	79,264	37,312	28,013	112,162	16,385	12.7%

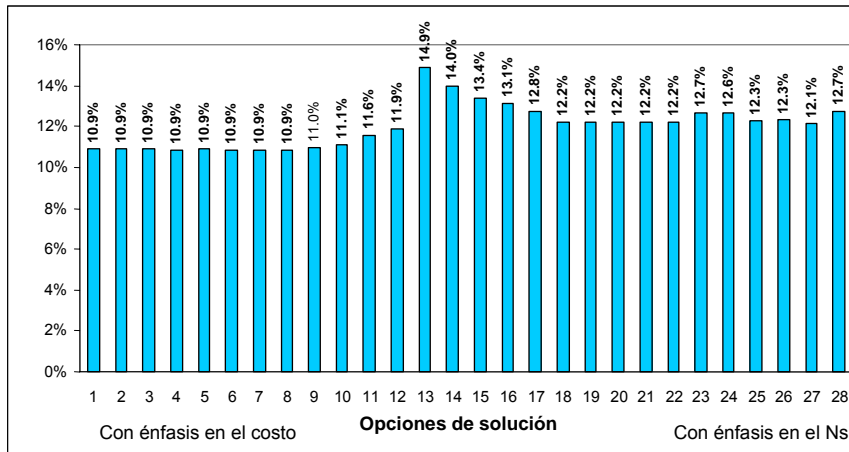


Figura 6.49
Ahorros del cliente

Cuadro 6.34
Estructura de costos del cliente (escenario 4)

Dirección	Número de opciones	Ordenar	Inventario	Inventario en tránsito	Transporte	Total	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
Preferencia al costo ↑	Preferencia al nivel de servicio de transporte ↓	1	4.3%	17.4%	35.4%	42.8%	100%
		2	4.3%	17.4%	35.4%	42.8%	100%
		3	4.3%	17.4%	35.4%	42.8%	100%
		4	4.2%	17.6%	35.4%	42.7%	100%
		5	4.3%	17.4%	35.4%	42.8%	100%
		6	4.2%	17.6%	35.4%	42.7%	100%
		7	4.2%	17.6%	35.4%	42.7%	100%
		8	4.2%	17.6%	35.4%	42.7%	100%
		9	4.4%	17.4%	35.3%	42.9%	100%
		10	4.2%	17.9%	34.8%	43.0%	100%
		11	4.3%	18.5%	33.6%	43.6%	100%
		12	3.8%	20.3%	31.6%	44.3%	100%
		13	3.2%	22.7%	29.3%	44.9%	100%
		14	3.2%	22.7%	29.3%	44.9%	100%
		15	3.2%	22.7%	29.2%	44.9%	100%
		16	3.2%	22.7%	29.2%	44.9%	100%
		17	3.2%	22.7%	29.3%	44.9%	100%
		18	3.2%	22.6%	29.4%	44.7%	100%
		19	3.2%	22.6%	29.4%	44.7%	100%
		20	3.2%	22.6%	29.4%	44.7%	100%
		21	3.2%	22.6%	29.5%	44.7%	100%
		22	3.2%	22.6%	29.5%	44.7%	100%
		23	3.2%	22.7%	29.2%	44.8%	100%
		24	3.2%	22.8%	29.2%	44.8%	100%
		25	3.2%	22.6%	29.4%	44.8%	100%
		26	3.1%	22.7%	29.4%	44.8%	100%
		27	3.1%	22.7%	29.4%	44.8%	100%
		28	3.1%	22.7%	29.4%	44.8%	100%

- c) En la figura 6.50 se observa que el proveedor muestra ahorros en las opciones basadas en el costo. En la medida en que se prefiere un mejor nivel de servicio, presenta pérdidas de alrededor del -6.0%.

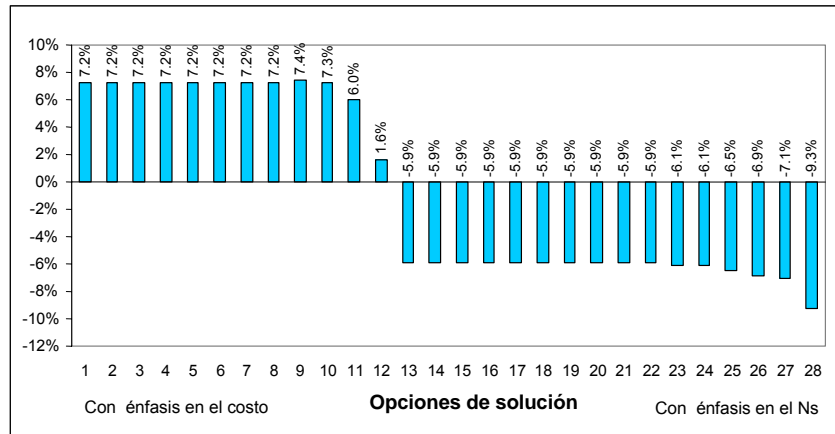


Figura 6.50
Ahorros y pérdidas del proveedor

- d) De acuerdo con el cuadro 6.35 es evidente que el costo por descuento en el precio los productos que asume el proveedor, es un elemento que le hace perder competitividad. En este escenario, todo parece indicar que el 10% de descuento sobre el costo no coordinado del cliente, no le es favorable. De manera particular, los costos por descuento son mayores y representan entre el 10 y 70% más con respecto al costo fijo; lo anterior implica la necesidad de replantear alguna otra alternativa de descuento; quizá sólo aplicada a ciertos productos o especificar diferentes niveles de descuento para cada uno de éstos.
- e) Debe señalarse que dichas pérdidas podrían elevarse, aún si el proveedor también absorbe el costo por descuento en las tarifas de transporte; por lo cual, aquí se considera que dichos costos los asume un tercero (transportista) que proporciona el servicio; y que los beneficios los recibe directamente el cliente. En otras palabras, el proveedor interviene como un negociador que aprovecha los volúmenes consolidados de carga, para obtener mejores tarifas ante el transportista.
- f) En caso de que el proveedor asumiera los costos de transporte y los relacionados con el descuento en las tarifas, la curva costo-nivel de servicio tiende a indicar una relación directa entre el nivel de servicio y el costo (véase figura 6.51). Sin embargo, debido a que los costos de transporte se transfieren al cliente, y los descuentos a un tercero (transportista), la curva costo-nivel de servicio muestra que esta relación no es lineal (véase figura 6.52).

Cuadro 6.35
Ahorros y pérdidas del proveedor bajo el incoterm DDP (escenario 4)

Dirección	Sol	Costo fijo del proveedor no coordinado	Costos del proveedor bajo un esquema coordinado				Ahorros o pérdidas	
			Costo fijo coordinado	Descuento en el precio del producto	Descuento en la tarifa de transporte	Suma		Total ⁽¹⁾
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
↑ Preferencia al costo ↓ Preferencia al nivel de servicio de transporte	1	54,000	26,500	23,606	13,473	63,579	50,106	7.2%
	2	54,000	26,500	23,606	13,473	63,579	50,106	7.2%
	3	54,000	26,500	23,606	13,473	63,579	50,106	7.2%
	4	54,000	26,400	23,700	13,495	63,596	50,100	7.2%
	5	54,000	26,500	23,606	13,473	63,579	50,106	7.2%
	6	54,000	26,400	23,700	13,495	63,596	50,100	7.2%
	7	54,000	26,400	23,700	13,495	63,596	50,100	7.2%
	8	54,000	26,400	23,700	13,495	63,596	50,100	7.2%
	9	54,000	26,250	23,759	13,885	63,894	50,009	7.4%
	10	54,000	25,450	24,632	14,747	64,828	50,082	7.3%
	11	54,000	24,250	26,514	17,289	68,053	50,764	6.0%
	12	54,000	22,600	30,521	22,166	75,287	53,121	1.6%
	13	54,000	20,850	36,316	30,975	88,141	57,166	-5.9%
	14	54,000	20,850	36,316	29,819	86,985	57,166	-5.9%
	15	54,000	20,850	36,319	28,952	86,121	57,169	-5.9%
	16	54,000	20,850	36,319	28,663	85,832	57,169	-5.9%
	17	54,000	20,850	36,316	28,230	85,396	57,166	-5.9%
	18	54,000	20,850	36,329	28,013	85,193	57,179	-5.9%
	19	54,000	20,850	36,339	28,013	85,202	57,189	-5.9%
	20	54,000	20,850	36,329	28,013	85,193	57,179	-5.9%
	21	54,000	20,850	36,359	28,013	85,222	57,209	-5.9%
	22	54,000	20,850	36,359	28,013	85,222	57,209	-5.9%
	23	54,000	20,850	36,452	28,013	85,315	57,302	-6.1%
	24	54,000	20,850	36,437	28,013	85,300	57,287	-6.1%
	25	54,000	21,200	36,313	28,013	85,526	57,513	-6.5%
	26	54,000	21,350	36,350	28,013	85,713	57,700	-6.9%
	27	54,000	21,300	36,526	28,013	85,840	57,826	-7.1%
	28	54,000	21,700	37,312	28,013	87,025	59,012	-9.3%

Nota: (1) No incluye el relacionado al descuento en la tarifa de transporte, debido a que este último se carga al transportista por negociaciones que realiza el proveedor.

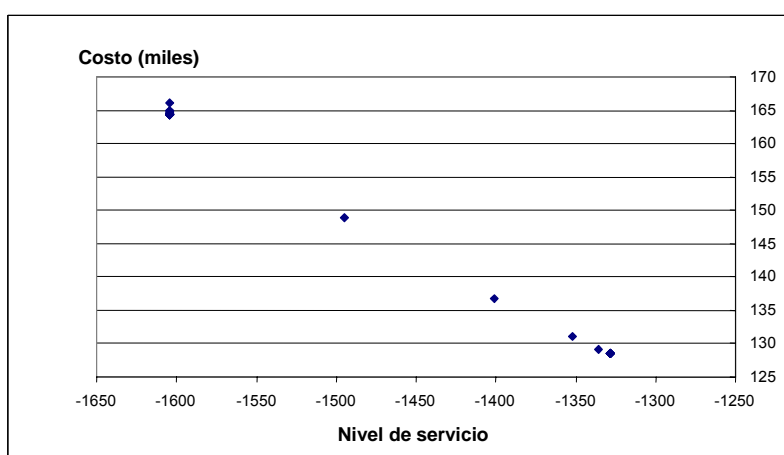


Figura 6.51
Soluciones no dominadas del proveedor coordinado, bajo el incoterm DDP (incluye costos de transporte y descuento en las tarifas)

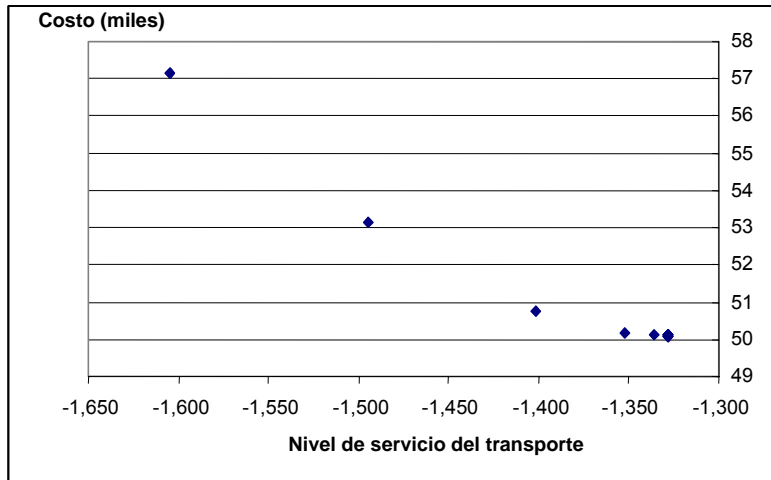


Figura 6.52
Soluciones no dominadas del proveedor coordinado, bajo el *incoterm* DDP (no incluye costos de transporte y descuento en la tarifas)

g) Por todo lo anterior en este escenario la coordinación en un ambiente de negociación DDP resultó ser benéfica, tanto para el cliente como para el proveedor, sólo cuando el criterio está más orientado al costo (véase figura 6.53). Nótese en el cuadro 6.36, cómo la diferencia en los costos entre ambos contextos resulta poco significativa, lo cual se refleja en ahorros del 6 al 10%. De igual manera, el nivel de servicio del transporte es muy similar, aunque favorable para el sistema coordinado (véase la figura 6.54).

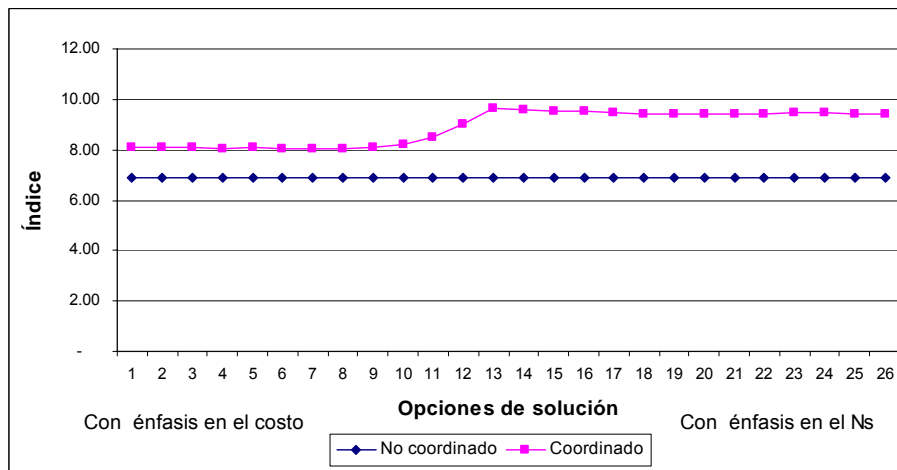


Figura 6.53
Índice de nivel de servicio del transporte con relación al costo

Cuadro 6.36
Costo total del sistema coordinado y nivel de servicio del transporte (escenario 4)

Sol.	Costo total del sistema				Nivel de servicio del transporte			
	No coordinado	Coordinado	Diferencia	Ahorros o pérdidas	No coordinado	Coordinado	Índice no coordinado	Índice coordinado
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	182,547	164,610	17,937	9.8%	-1,257,881	-1,327,986	6.89	8.07
2	182,547	164,610	17,937	9.8%	-1,257,881	-1,327,986	6.89	8.07
3	182,547	164,610	17,937	9.8%	-1,257,881	-1,327,986	6.89	8.07
4	182,547	164,675	17,872	9.8%	-1,257,881	-1,328,151	6.89	8.07
5	182,547	164,610	17,937	9.8%	-1,257,881	-1,327,986	6.89	8.07
6	182,547	164,675	17,872	9.8%	-1,257,881	-1,328,151	6.89	8.07
7	182,547	164,675	17,872	9.8%	-1,257,881	-1,328,151	6.89	8.07
8	182,547	164,675	17,872	9.8%	-1,257,881	-1,328,151	6.89	8.07
9	182,547	164,424	18,123	9.9%	-1,257,881	-1,335,671	6.89	8.12
10	182,547	164,353	18,194	10.0%	-1,257,881	-1,352,436	6.89	8.23
11	182,547	164,443	18,104	9.9%	-1,257,881	-1,401,312	6.89	8.52
12	182,547	166,373	16,174	8.9%	-1,257,881	-1,495,052	6.89	8.99
13	182,547	166,565	15,982	8.8%	-1,257,881	-1,604,674	6.89	9.63
14	182,547	167,721	14,826	8.1%	-1,257,881	-1,604,674	6.89	9.57
15	182,547	168,524	14,023	7.7%	-1,257,881	-1,604,674	6.89	9.52
16	182,547	168,813	13,734	7.5%	-1,257,881	-1,604,674	6.89	9.51
17	182,547	169,310	13,237	7.3%	-1,257,881	-1,604,674	6.89	9.48
18	182,547	169,991	12,556	6.9%	-1,257,881	-1,604,674	6.89	9.44
19	182,547	170,015	12,532	6.9%	-1,257,881	-1,604,674	6.89	9.44
20	182,547	169,991	12,556	6.9%	-1,257,881	-1,604,674	6.89	9.44
21	182,547	170,064	12,482	6.8%	-1,257,881	-1,604,674	6.89	9.44
22	182,547	170,064	12,482	6.8%	-1,257,881	-1,604,674	6.89	9.44
23	182,547	169,587	12,959	7.1%	-1,257,881	-1,604,674	6.89	9.46
24	182,547	169,580	12,967	7.1%	-1,257,881	-1,604,674	6.89	9.46
25	182,547	170,290	12,257	6.7%	-1,257,881	-1,604,674	6.89	9.42
26	182,547	170,378	12,169	6.7%	-1,257,881	-1,604,674	6.89	8.07
27	182,547	170,755	11,791	6.5%	-1,257,881	-1,604,674	6.89	9.40
28	182,547	171,174	11,373	6.2%	-1,257,881	-1,604,674	6.89	9.37

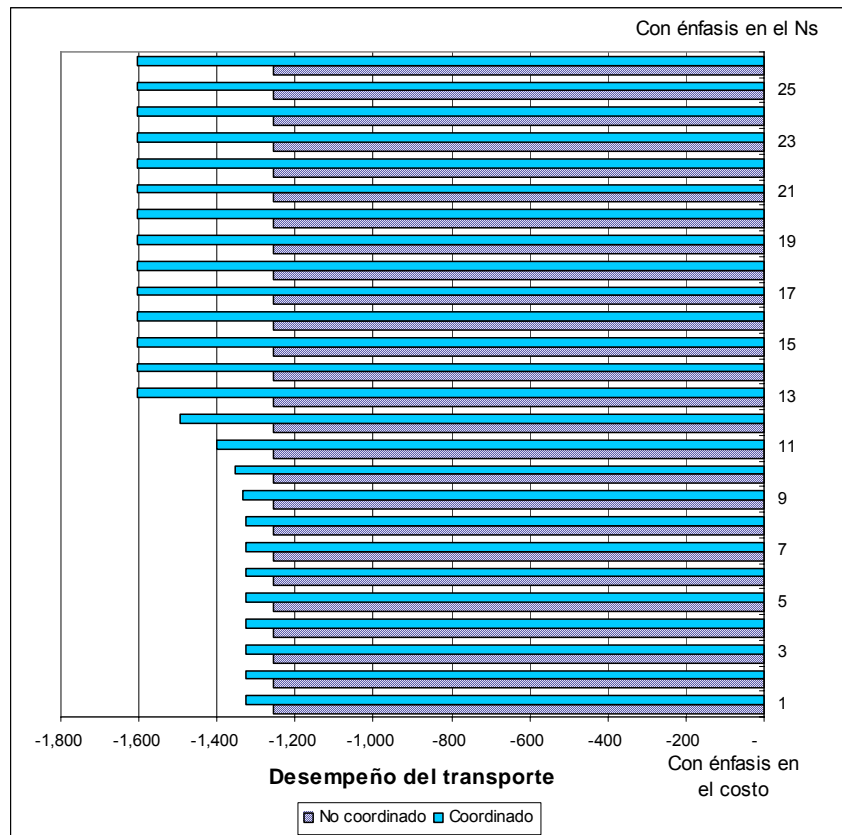


Figura 6.54
Nivel de servicio del transporte, bajo el *incoterm* DDP
(comparación No coordinado variable vs coordinado variable)

6.4.5 Alternativas no dominadas. Escenario 5

Esta sección presentan los resultados que demuestran el efecto de la instrumentación de la estrategia ECR, específicamente bajo el término de comercio internacional DDP, en el contexto del escenario. Los resultados se comentan por separado para el cliente, proveedor, y de manera conjunta (cliente-proveedor) desde el punto de vista de sistema. De esta forma, a continuación se resumen los resultados más relevantes.

- a) En el contexto DDP, la coordinación ECR resultó más “económica” que un sistema no coordinado que tiene en cuenta los dos criterios modelados (costo-nivel de servicio del transporte). En efecto, la coordinación puede obtener ahorros entre el 9 y 39% en comparación con el sistema no coordinado, que busca combinar los dos criterios considerados (véase figura 6.55 y cuadro 6.37). Esto se debe a que en el esquema no coordinado, tanto el cliente como

el proveedor manejan un sistema para el control de inventarios del tipo lote por lote, incrementándose por este motivo los costos totales cuando el énfasis está orientado al criterio costo (véase figura 6.56).

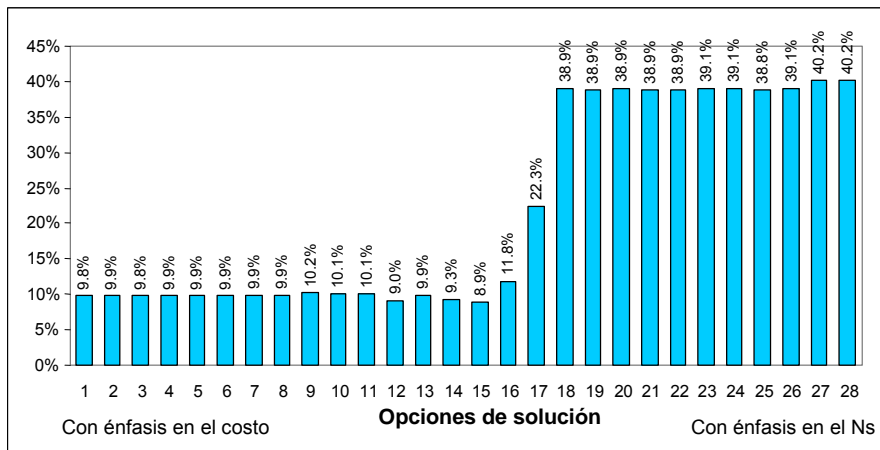


Figura 6.55
Ahorros del sistema

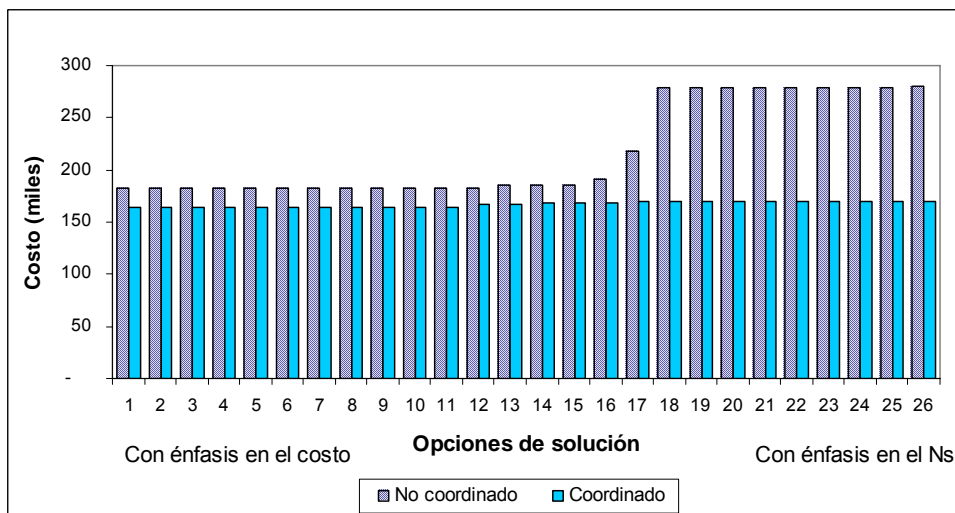


Figura 6.56
Costo total del sistema (miles)

Cuadro 6.37
Costo total del sistema y nivel de servicio del transporte (escenario 5)

Dirección	Sol.	Costo total del sistema			Nivel de servicio del transporte			
		No coordinado	Coordinado	Ahorros o pérdidas	No coordinado	Coordinado	Índice no coordinado	Índice coordinado
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Preferencia al costo → ↓ Preferencia al nivel de servicio de transporte	1	182,547	164,610	9.8%	-1,257,881	-1,327,986	6.89	8.07
	2	182,663	164,610	9.9%	-1,329,676	-1,327,986	7.28	8.07
	3	182,590	164,610	9.8%	-1,300,992	-1,327,986	7.13	8.07
	4	182,675	164,675	9.9%	-1,364,835	-1,328,151	7.47	8.07
	5	182,675	164,610	9.9%	-1,364,835	-1,327,986	7.47	8.07
	6	182,675	164,675	9.9%	-1,364,835	-1,328,151	7.47	8.07
	7	182,675	164,675	9.9%	-1,364,835	-1,328,151	7.47	8.07
	8	182,852	164,675	9.9%	-1,403,516	-1,328,151	7.68	8.07
	9	183,065	164,424	10.2%	-1,398,617	-1,335,671	7.64	8.12
	10	182,852	164,353	10.1%	-1,403,516	-1,352,436	7.68	8.23
	11	182,852	164,443	10.1%	-1,403,516	-1,401,312	7.68	8.52
	12	182,852	166,373	9.0%	-1,403,516	-1,495,052	7.68	8.99
	13	184,899	166,565	9.9%	-1,575,733	-1,604,674	8.52	9.63
	14	184,899	167,721	9.3%	-1,575,733	-1,604,674	8.52	9.57
	15	184,899	168,524	8.9%	-1,575,733	-1,604,674	8.52	9.52
	16	191,365	168,813	11.8%	-1,778,034	-1,604,674	9.29	9.51
	17	217,934	169,310	22.3%	-2,476,842	-1,604,674	11.37	9.48
	18	278,325	169,991	38.9%	-3,826,480	-1,604,674	13.75	9.44
	19	278,325	170,015	38.9%	-3,826,480	-1,604,674	13.75	9.44
	20	278,325	169,991	38.9%	-3,826,480	-1,604,674	13.75	9.44
	21	278,325	170,064	38.9%	-3,826,480	-1,604,674	13.75	9.44
	22	278,325	170,064	38.9%	-3,826,480	-1,604,674	13.75	9.44
	23	278,325	169,587	39.1%	-3,826,480	-1,604,674	13.75	9.46
	24	278,325	169,580	39.1%	-3,826,480	-1,604,674	13.75	9.46
	25	278,325	170,290	38.8%	-3,826,480	-1,604,674	13.75	9.42
	26	279,798	170,378	39.1%	-3,826,480	-1,604,674	13.68	9.42
	27	284,807	170,378	40.2%	-3,826,480	-1,604,674	13.44	9.42
	28	284,807	170,378	40.2%	-3,826,480	-1,604,674	13.44	9.42

- b) Los reportes sobre el tamaño del lote y el modo de transporte utilizado, muestran que en el sistema no coordinado se hace un uso intensivo de los modos más rápidos cuando se inclinan por dar mayor preferencia al nivel de servicio, combinando una política de lote por lote; por supuesto, esto conlleva a un mejor nivel del servicio, y a su vez a mayor costo del sistema. Para el caso coordinado se logran menores costos con el uso combinado de modos, sin embargo, no se alcanza el mejor nivel de servicio de transporte; no obstante esto último, se consigue un mejor equilibrio entre los dos criterios considerados (véase cuadro 6.37). Las cifras en dicho cuadro, explican el comportamiento del nivel de servicio del transporte que se muestra en la figura 6.57

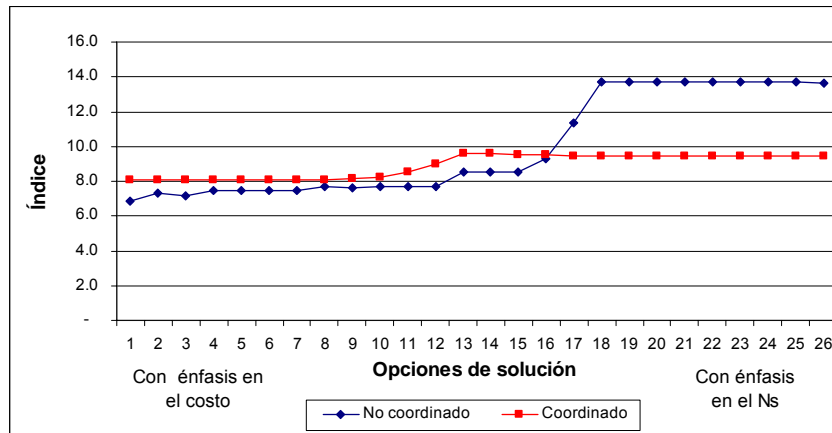


Figura 6.57
Índice de nivel de servicio del transporte

- c) Por lo que respecta al cliente, los beneficios derivados de la coordinación se encuentran entre el 11 y 50% en relación directa con el criterio de nivel de servicio (véase cuadro 6.38). En términos generales, en dicho cuadro se observa que los costos de transporte e inventario en tránsito son muy similares en magnitud con respecto al esquema no coordinado, bajo el criterio costo manteniéndose en un rango muy reducido de variación hasta alcanzar el máximo nivel de servicio de transporte. Bajo el esquema coordinado, el costo por ordenar se ve reducido a la mitad, mientras que el costo de inventario asciende notablemente; este último, se ve compensado por los descuentos en el precio de los productos y en la tarifa de transporte. Lo anterior permite observar un equilibrio en la estructura de costos del cliente (véase cuadro 6.39).
- d) Contrario a los dos incisos anteriores, resulta que el proveedor obtiene ahorros sólo en el caso de que el criterio sea favorable al costo. Dichos ahorros son relativamente pequeños y no rebasan el 8%. Nuevamente se observa que en el momento en que el descuento en el precio de los productos es superior a los costos fijos, el proveedor incurre en pérdidas (véase cuadro 6.40).

Cuadro 6.38
Ahorros o pérdidas de cliente (escenario 5)

Costos del cliente no coordinado						Costo del cliente coordinado							Diferencia	Ahorros o pérdidas
Ordenar	Inventario en almacén	Inventario en tránsito	Transporte	Total	Ordenar	Inventario	Inventario en tránsito	Transporte	Descuento en el precio del producto	Descuento en la tarifa de transporte	Total			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
1	10,441	-	57,448	60,657	128,547	6,591	26,417	53,707	64,869	23,606	13,473	114,504	14,043	10.9%
2	10,441	-	53,251	64,970	128,663	6,591	26,417	53,707	64,869	23,606	13,473	114,504	14,159	11.0%
3	10,441	-	54,902	63,247	128,590	6,591	26,417	53,707	64,869	23,606	13,473	114,504	14,086	11.0%
4	10,441	-	51,151	67,083	128,675	6,436	26,669	53,786	64,879	23,700	13,495	114,574	14,101	11.0%
5	10,441	-	51,151	67,083	128,675	6,591	26,417	53,707	64,869	23,606	13,473	114,504	14,171	11.0%
6	10,441	-	51,151	67,083	128,675	6,436	26,669	53,786	64,879	23,700	13,495	114,574	14,101	11.0%
7	10,441	-	51,151	67,083	128,675	6,436	26,669	53,786	64,879	23,700	13,495	114,574	14,101	11.0%
8	10,441	-	49,004	69,407	128,852	6,436	26,669	53,786	64,879	23,700	13,495	114,574	14,277	11.1%
9	10,441	-	49,512	69,112	129,065	6,661	26,501	53,627	65,270	23,759	13,885	114,415	14,651	11.4%
10	10,441	-	49,004	69,407	128,852	6,521	27,512	53,475	66,142	24,632	14,747	114,271	14,580	11.3%
11	10,441	-	49,004	69,407	128,852	6,751	29,164	52,883	68,685	26,514	17,289	113,679	15,172	11.8%
12	10,441	-	49,004	69,407	128,852	6,281	33,640	52,457	73,561	30,521	22,166	113,252	15,600	12.1%
13	10,441	-	40,705	79,753	130,899	5,666	40,057	51,702	79,264	36,316	30,975	109,399	21,500	16.4%
14	10,441	-	40,705	79,753	130,899	5,666	40,057	51,702	79,264	36,316	29,819	110,555	20,344	15.5%
15	10,441	-	40,705	79,753	130,899	5,666	40,061	51,636	79,264	36,319	28,952	111,355	19,543	14.9%
16	10,441	-	36,032	90,892	137,365	5,666	40,061	51,636	79,264	36,319	28,663	111,644	25,721	18.7%
17	10,441	-	24,642	128,851	163,934	5,666	40,057	51,702	79,264	36,316	28,230	112,144	51,790	31.6%
18	10,441	-	14,821	199,063	224,325	5,666	40,069	52,155	79,264	36,329	28,013	112,811	111,514	49.7%
19	10,441	-	14,821	199,063	224,325	5,666	40,079	52,169	79,264	36,339	28,013	112,826	111,499	49.7%
20	10,441	-	14,821	199,063	224,325	5,666	40,069	52,155	79,264	36,329	28,013	112,811	111,514	49.7%
21	10,441	-	14,821	199,063	224,325	5,666	40,102	52,195	79,264	36,359	28,013	112,855	111,470	49.7%
22	10,441	-	14,821	199,063	224,325	5,666	40,102	52,195	79,264	36,359	28,013	112,855	111,470	49.7%
23	10,441	-	14,821	199,063	224,325	5,666	40,196	51,624	79,264	36,452	28,013	112,285	112,040	49.9%
24	10,441	-	14,821	199,063	224,325	5,611	40,233	51,636	79,264	36,437	28,013	112,293	112,032	49.9%
25	10,441	-	14,821	199,063	224,325	5,666	40,052	52,121	79,264	36,313	28,013	112,776	111,549	49.7%
26	10,156	1,850	14,728	199,063	225,798	5,566	40,189	52,022	79,264	36,350	28,013	112,678	113,120	50.1%
27	9,406	8,004	14,334	199,063	230,807	5,751	40,182	52,271	79,264	36,526	28,013	112,929	117,878	51.1%
28	9,406	8,004	14,334	199,063	230,807	5,566	41,152	51,505	79,264	37,312	28,013	112,162	118,645	51.4%

6. Aplicación de los modelos propuestos a una empresa del sector de las autopartes

- e) Cabe señalar que las diferencias de costo entre un ambiente coordinado contra el no coordinado por parte del proveedor, son menores que aquellas que logra el cliente. Esta situación hace que el sistema en su conjunto obtenga beneficios en todas las opciones evaluadas; dicho de otra forma, debido a que los ahorros del cliente son mucho más grandes que las pérdidas del proveedor, hace factibles todas las opciones desde un punto de vista corporativista. Por lo anterior, una política que se podría adoptar es la reducción del S% de descuento en el precio de los productos, como una medida de poder generar beneficios también para el proveedor para cualquier criterio que se enfatice.

Cuadro 6.39
Estructura de costos del cliente (escenario 5)

Diferencia	Sol.	Ordenar	Inventario	Inventario en tránsito	Transporte	Total
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Preferencia al costo → ↓ Preferencia al nivel de servicio de transporte	1	4.3%	17.4%	35.4%	42.8%	100.0%
	2	4.3%	17.4%	35.4%	42.8%	100.0%
	3	4.3%	17.4%	35.4%z	42.8%	100.0%
	4	4.2%	17.6%	35.4%	42.7%	100.0%
	5	4.3%	17.4%	35.4%	42.8%	100.0%
	6	4.2%	17.6%	35.4%	42.7%	100.0%
	7	4.2%	17.6%	35.4%	42.7%	100.0%
	8	4.2%	17.6%	35.4%	42.7%	100.0%
	9	4.4%	17.4%	35.3%	42.9%	100.0%
	10	4.2%	17.9%	34.8%	43.0%	100.0%
	11	4.3%	18.5%	33.6%	43.6%	100.0%
	12	3.8%	20.3%	31.6%	44.3%	100.0%
	13	3.2%	22.7%	29.3%	44.9%	100.0%
	14	3.2%	22.7%	29.3%	44.9%	100.0%
	15	3.2%	22.7%	29.2%	44.9%	100.0%
	16	3.2%	22.7%	29.2%	44.9%	100.0%
	17	3.2%	22.7%	29.3%	44.9%	100.0%
	18	3.2%	22.6%	29.4%	44.7%	100.0%
	19	3.2%	22.6%	29.4%	44.7%	100.0%
	20	3.2%	22.6%	29.4%	44.7%	100.0%
	21	3.2%	22.6%	29.5%	44.7%	100.0%
	22	3.2%	22.6%	29.5%	44.7%	100.0%
	23	3.2%	22.7%	29.2%	44.8%	100.0%
	24	3.2%	22.8%	29.2%	44.8%	100.0%
	25	3.2%	22.6%	29.4%	44.8%	100.0%
	26	3.1%	22.7%	29.4%	44.8%	100.0%
	27	3.2%	22.6%	29.5%	44.7%	100.0%
	28	3.1%	23.2%	29.0%	44.7%	100.0%

Cuadro 6.40
Ahorros o pérdidas del proveedor (escenario 5)

Dirección	Sol.	Costo fijo del proveedor no coordinado	Costo coordinado		Descuento en la tarifa del transporte	Total	Diferencia	Ahorros o pérdidas	
			Costo fijo coordinado	Descuentos en el precio del producto					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
Preferencia al costo ↑	Preferencia al nivel de servicio de transporte ↓	1	54,000	26,500	23,606	13,473	50,106	3,894	7.2%
		2	54,000	26,500	23,606	13,473	50,106	3,894	7.2%
		3	54,000	26,500	23,606	13,473	50,106	3,894	7.2%
		4	54,000	26,400	23,700	13,495	50,100	3,900	7.2%
		5	54,000	26,500	23,606	13,473	50,106	3,894	7.2%
		6	54,000	26,400	23,700	13,495	50,100	3,900	7.2%
		7	54,000	26,400	23,700	13,495	50,100	3,900	7.2%
		8	54,000	26,400	23,700	13,495	50,100	3,900	7.2%
		9	54,000	26,250	23,759	13,885	50,009	3,991	7.4%
		10	54,000	25,450	24,632	14,747	50,082	3,918	7.3%
		11	54,000	24,250	26,514	17,289	50,764	3,236	6.0%
		12	54,000	22,600	30,521	22,166	53,121	879	1.6%
		13	54,000	20,850	36,316	30,975	57,166	-3,166	-5.9%
		14	54,000	20,850	36,316	29,819	57,166	-3,166	-5.9%
		15	54,000	20,850	36,319	28,952	57,169	-3,169	-5.9%
		16	54,000	20,850	36,319	28,663	57,169	-3,169	-5.9%
		17	54,000	20,850	36,316	28,230	57,166	-3,166	-5.9%
		18	54,000	20,850	36,329	28,013	57,179	-3,179	-5.9%
		19	54,000	20,850	36,339	28,013	57,189	-3,189	-5.9%
		20	54,000	20,850	36,329	28,013	57,179	-3,179	-5.9%
		21	54,000	20,850	36,359	28,013	57,209	-3,209	-5.9%
		22	54,000	20,850	36,359	28,013	57,209	-3,209	-5.9%
		23	54,000	20,850	36,452	28,013	57,302	-3,302	-6.1%
		24	54,000	20,850	36,437	28,013	57,287	-3,287	-6.1%
		25	54,000	21,200	36,313	28,013	57,513	-3,513	-6.5%
		26	54,000	21,350	36,350	28,013	57,700	-3,700	-6.9%
		27	54,000	21,350	36,350	28,013	57,700	-3,700	-6.9%
		28	54,000	21,350	36,350	28,013	57,700	-3,700	-6.9%

6.4.6 Alternativas no dominadas. Escenario 6

Se presentan en esta sección los resultados que demuestran el efecto de la instrumentación de la estrategia ECR, específicamente bajo el término de comercio internacional DDP, en el contexto del escenario 6 de análisis. Los resultados se comentan por separado para el cliente, el proveedor, y de manera conjunta (cliente-proveedor) desde el punto de vista de sistema. De esta forma a continuación se resumen los resultados más relevantes.

- a) Para el caso de un sistema no coordinado que basa su criterio en el nivel de servicio de transporte, se observa que los beneficios del sistema coordinado se acentúan cabalmente. Para el caso de estudio se demuestra que en este escenario se podrían lograr ahorros en alrededor del 41% en promedio (véase figura 6.58). Esto se debe principalmente a que en el esquema no coordinado, utilizando sólo el criterio del servicio de transporte, implica el uso de modos más “caros” (más rápidos), y por tanto, mayores costos (véase cuadro 6.41). Sin embargo, el nivel de servicio en el sistema coordinado estaría por debajo del sistema no coordinado.

Cuadro 6.41
Costo total del sistema y nivel de servicio del transporte (escenario 6)

Dirección	Sol.	Costo total de sistema				Nivel de servicio del transporte				
		No coordinado	Coordinado	Diferencia	Ahorros o pérdidas	No coordinado	Coordinado	Índice no coordinado	Índice coordinado	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	
Preferencia al costo →	Preferencia al nivel de servicio de transporte ↓	1	284,807	164,610	120,197	42.2%	-3,826,480	-1,327,986	13.44	8.07
		2	284,807	164,610	120,197	42.2%	-3,826,480	-1,327,986	13.44	8.07
		3	284,807	164,610	120,197	42.2%	-3,826,480	-1,327,986	13.44	8.07
		4	284,807	164,675	120,133	42.2%	-3,826,480	-1,328,151	13.44	8.07
		5	284,807	164,610	120,197	42.2%	-3,826,480	-1,327,986	13.44	8.07
		6	284,807	164,675	120,133	42.2%	-3,826,480	-1,328,151	13.44	8.07
		7	284,807	164,675	120,133	42.2%	-3,826,480	-1,328,151	13.44	8.07
		8	284,807	164,675	120,133	42.2%	-3,826,480	-1,328,151	13.44	8.07
		9	284,807	164,424	120,384	42.3%	-3,826,480	-1,335,671	13.44	8.12
		10	284,807	164,353	120,454	42.3%	-3,826,480	-1,352,436	13.44	8.23
		11	284,807	164,443	120,364	42.3%	-3,826,480	-1,401,312	13.44	8.52
		12	284,807	166,373	118,434	41.6%	-3,826,480	-1,495,052	13.44	8.99
		13	284,807	166,565	118,242	41.5%	-3,826,480	-1,604,674	13.44	9.63
		14	284,807	167,721	117,086	41.1%	-3,826,480	-1,604,674	13.44	9.57
		15	284,807	168,524	116,283	40.8%	-3,826,480	-1,604,674	13.44	9.52
		16	284,807	168,813	115,994	40.7%	-3,826,480	-1,604,674	13.44	9.51
		17	284,807	169,310	115,497	40.6%	-3,826,480	-1,604,674	13.44	9.48
		18	284,807	169,991	114,816	40.3%	-3,826,480	-1,604,674	13.44	9.44
		19	284,807	170,015	114,792	40.3%	-3,826,480	-1,604,674	13.44	9.44
		20	284,807	169,991	114,816	40.3%	-3,826,480	-1,604,674	13.44	9.44
		21	284,807	170,064	114,743	40.3%	-3,826,480	-1,604,674	13.44	9.44
		22	284,807	170,064	114,743	40.3%	-3,826,480	-1,604,674	13.44	9.44
		23	284,807	169,587	115,220	40.5%	-3,826,480	-1,604,674	13.44	9.46
		24	284,807	169,580	115,227	40.5%	-3,826,480	-1,604,674	13.44	9.46
		25	284,807	170,290	114,518	40.2%	-3,826,480	-1,604,674	13.44	9.42
		26	284,807	170,378	114,430	40.2%	-3,826,480	-1,604,674	13.44	9.42
		27	284,807	170,755	114,052	40.0%	-3,826,480	-1,604,674	13.44	9.40
		28	284,807	171,174	113,633	39.9%	-3,826,480	-1,604,674	13.44	9.37

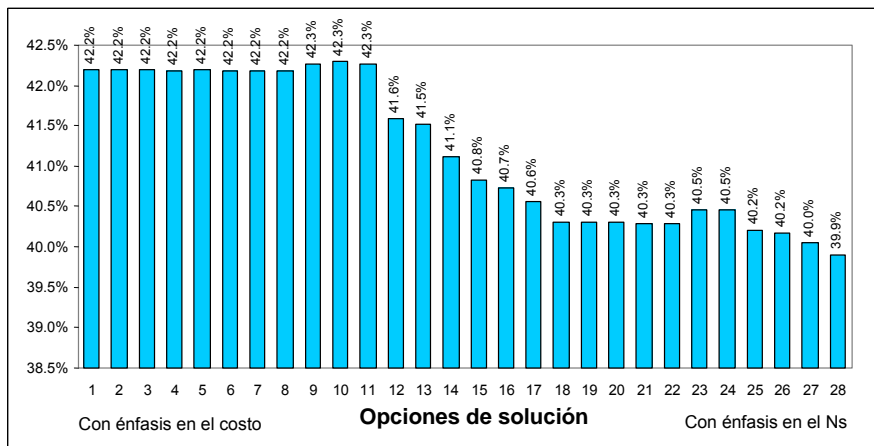


Figura 6.58
Ahorros del sistema

b) Por lo que respecta al criterio costo, la coordinación resulta benéfica para el cliente, debido a que puede representar ahorros hasta del 50% en promedio para cada una de las opciones evaluadas (véase cuadro 6.42). Lo anterior,

resulta fundamentalmente de un mejor uso combinado de modos de transporte; complementándose con la reducción de envíos (costos por ordenar) y los descuentos en el precio de los productos y las tarifas de transporte.

Cuadro 6.42
Ahorro o pérdidas del cliente (escenario 6)

Costo del cliente no coordinado	Costos del cliente				Descuento en el precio del producto	Descuento en la tarifa de transporte	Total	Diferencia	Ahorros o pérdidas	
	Ordenar	Inventario	Inventario en tránsito	Transporte						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	
1	230,807	6,591	26,417	53,707	64,869	23,606	13,473	114,504	116,303	50.4%
2	230,807	6,591	26,417	53,707	64,869	23,606	13,473	114,504	116,303	50.4%
3	230,807	6,591	26,417	53,707	64,869	23,606	13,473	114,504	116,303	50.4%
4	230,807	6,436	26,669	53,786	64,879	23,700	13,495	114,574	116,233	50.4%
5	230,807	6,591	26,417	53,707	64,869	23,606	13,473	114,504	116,303	50.4%
6	230,807	6,436	26,669	53,786	64,879	23,700	13,495	114,574	116,233	50.4%
7	230,807	6,436	26,669	53,786	64,879	23,700	13,495	114,574	116,233	50.4%
8	230,807	6,436	26,669	53,786	64,879	23,700	13,495	114,574	116,233	50.4%
9	230,807	6,661	26,501	53,627	65,270	23,759	13,885	114,415	116,393	50.4%
10	230,807	6,521	27,512	53,475	66,142	24,632	14,747	114,271	116,536	50.5%
11	230,807	6,751	29,164	52,883	68,685	26,514	17,289	113,679	117,128	50.7%
12	230,807	6,281	33,640	52,457	73,561	30,521	22,166	113,252	117,555	50.9%
13	230,807	5,666	40,057	51,702	79,264	36,316	30,975	109,399	121,408	52.6%
14	230,807	5,666	40,057	51,702	79,264	36,316	29,819	110,555	120,252	52.1%
15	230,807	5,666	40,061	51,636	79,264	36,319	28,952	111,355	119,452	51.8%
16	230,807	5,666	40,061	51,636	79,264	36,319	28,663	111,644	119,163	51.6%
17	230,807	5,666	40,057	51,702	79,264	36,316	28,230	112,144	118,663	51.4%
18	230,807	5,666	40,069	52,155	79,264	36,329	28,013	112,811	117,996	51.1%
19	230,807	5,666	40,079	52,169	79,264	36,339	28,013	112,826	117,981	51.1%
20	230,807	5,666	40,069	52,155	79,264	36,329	28,013	112,811	117,996	51.1%
21	230,807	5,666	40,102	52,195	79,264	36,359	28,013	112,855	117,952	51.1%
22	230,807	5,666	40,102	52,195	79,264	36,359	28,013	112,855	117,952	51.1%
23	230,807	5,666	40,196	51,624	79,264	36,452	28,013	112,285	118,522	51.4%
24	230,807	5,611	40,233	51,636	79,264	36,437	28,013	112,293	118,514	51.3%
25	230,807	5,666	40,052	52,121	79,264	36,313	28,013	112,776	118,031	51.1%
26	230,807	5,566	40,189	52,022	79,264	36,350	28,013	112,678	118,129	51.2%
27	230,807	5,751	40,182	52,271	79,264	36,526	28,013	112,929	117,878	51.1%
28	230,807	5,566	41,152	51,505	79,264	37,312	28,013	112,162	118,645	51.4%

- c) Contrario a lo anterior, el proveedor presenta ahorros que van disminuyendo en la medida en que la dirección de la preferencia es el nivel de servicio de transporte en el contexto de un sistema coordinado (véase cuadro 6.43). Esto se debe principalmente a que el descuento en el precio de los productos se eleva considerablemente como consecuencia de mayores niveles de inventario en el cliente. En este sentido, la posibilidad de evitar descuentos generalizados en el precio de los productos o diversificar los mismos, o manejarse sobre la base de descuentos sólo en las tarifas de transporte, puede resultar benéfica la coordinación tanto para el cliente como para el proveedor.

Cuadro 6.43
Ahorros o pérdidas del proveedor (escenario 6)

Dirección	Sol.	Costo fijo del proveedor No coordinado	Costos del proveedor coordinado			Descuento en la tarifa de Transporte	Diferencia	Ahorros o pérdidas	
			Costo fijo	Descuento en el precio de los productos	Total				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
↑ Preferencia al costo ↓	↑ Preferencia al nivel de servicio de transporte ↓	1	54,000	26,500	23,606	50,106	13,473	3,894	7.2%
		2	54,000	26,500	23,606	50,106	13,473	3,894	7.2%
		3	54,000	26,500	23,606	50,106	13,473	3,894	7.2%
		4	54,000	26,400	23,700	50,100	13,495	3,900	7.2%
		5	54,000	26,500	23,606	50,106	13,473	3,894	7.2%
		6	54,000	26,400	23,700	50,100	13,495	3,900	7.2%
		7	54,000	26,400	23,700	50,100	13,495	3,900	7.2%
		8	54,000	26,400	23,700	50,100	13,495	3,900	7.2%
		9	54,000	26,250	23,759	50,009	13,885	3,991	7.4%
		10	54,000	25,450	24,632	50,082	14,747	3,918	7.3%
		11	54,000	24,250	26,514	50,764	17,289	3,236	6.0%
		12	54,000	22,600	30,521	53,121	22,166	879	1.6%
		13	54,000	20,850	36,316	57,166	30,975	- 3,166	-5.9%
		14	54,000	20,850	36,316	57,166	29,819	- 3,166	-5.9%
		15	54,000	20,850	36,319	57,169	28,952	- 3,169	-5.9%
		16	54,000	20,850	36,319	57,169	28,663	- 3,169	-5.9%
		17	54,000	20,850	36,316	57,166	28,230	- 3,166	-5.9%
		18	54,000	20,850	36,329	57,179	28,013	- 3,179	-5.9%
		19	54,000	20,850	36,339	57,189	28,013	- 3,189	-5.9%
		20	54,000	20,850	36,329	57,179	28,013	- 3,179	-5.9%
		21	54,000	20,850	36,359	57,209	28,013	- 3,209	-5.9%
		22	54,000	20,850	36,359	57,209	28,013	- 3,209	-5.9%
		23	54,000	20,850	36,452	57,302	28,013	- 3,302	-6.1%
		24	54,000	20,850	36,437	57,287	28,013	- 3,287	-6.1%
		25	54,000	21,200	36,313	57,513	28,013	- 3,513	-6.5%
		26	54,000	21,350	36,350	57,700	28,013	- 3,700	-6.9%
		27	54,000	21,300	36,526	57,826	28,013	-3,826	-7.1%
		28	54,000	21,700	37,312	59,012	28,013	- 5,012	-9.3%

d) Por lo que respecta al servicio de transporte, de acuerdo con la figura 6.59 se observa que un sistema no coordinado, basado en el nivel de servicio del transporte, sin lugar a dudas estará por arriba del sistema coordinado en todas las opciones evaluadas. Esto último se debe a que el modelo busca minimizar el menor costo con la mejor combinación modal (mejor nivel de servicio), la cual por supuesto no llegará al máximo nivel de servicio. En este caso en particular, se aprecia una relación aproximada, casi de dos a uno, las opciones con énfasis en el costo (véase figura 6.60).

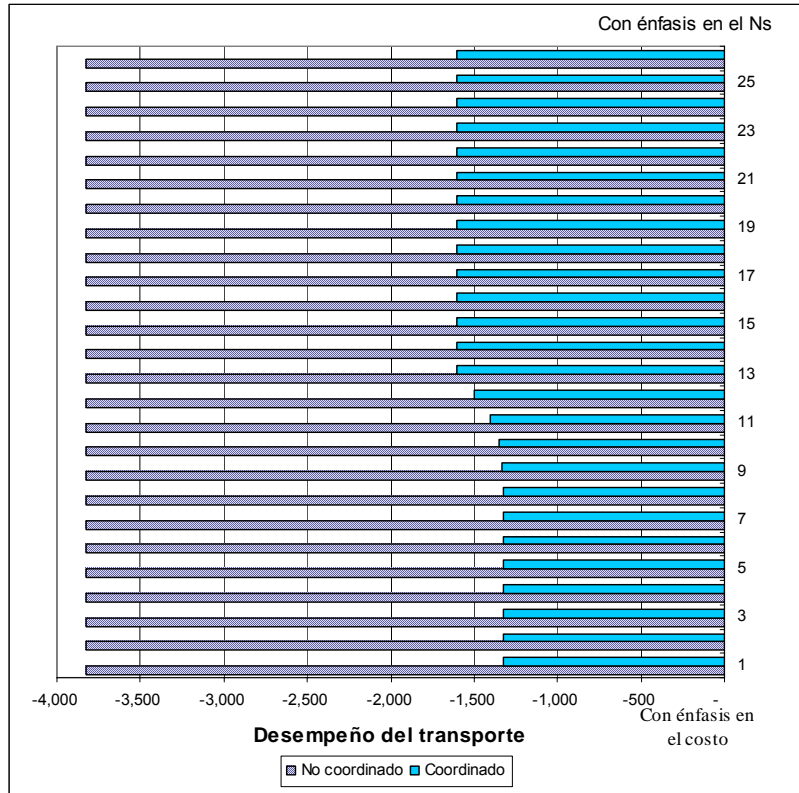


Figura 6.59
Nivel de servicio del transporte

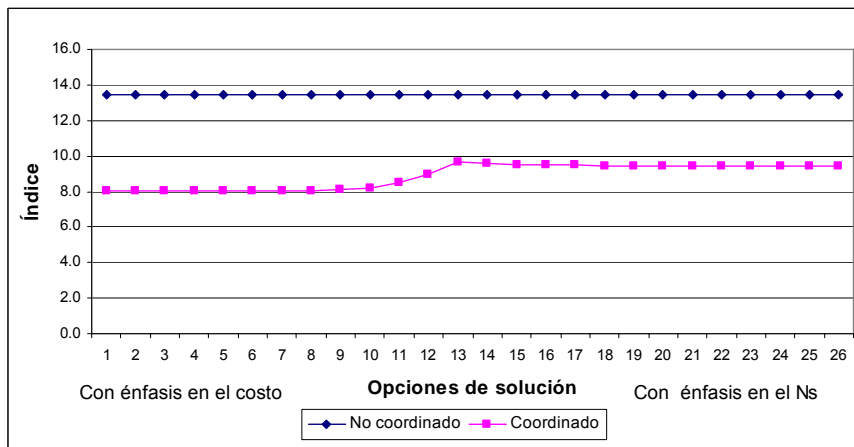


Figura 6.60
Índice de nivel de servicio del transporte

6.5 Uso combinado y costos del transporte por tipo de *incoterm*

Con base en los resultados de los modelos, se observa que los costos de transporte parecen reflejar las condiciones de cada tipo de *incoterm*, según la combinación de uso de los diferentes modos disponibles. El cuadro 6.44, presenta el costo de transporte por cada tipo de *incoterm* o esquema de negociación.

Cuadro 6.44
Costo y nivel de servicio del transporte por tipo de *incoterm* (escenario 6)

Dirección	Sol.	No coordinado		Coordinado ExW		Coordinado DDP	
		Costo	Nivel de servicio	Costo	Nivel de servicio	Costo	Nivel de servicio
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
↑ Preferencia al costo ↓ Preferencia al nivel de servicio de transporte	1	60,657	-1,257,881	114,034	-2,226,740	64,868	-1,327,986
	2	64,970	-1,329,676	114,871	-2,242,517	64,868	-1,327,986
	3	63,247	-1,300,992	143,839	-2,768,514	64,868	-1,327,986
	4	67,083	-1,364,835	146,091	-2,811,809	64,878	-1,328,151
	5	67,083	-1,364,835	151,487	-2,914,812	64,868	-1,327,986
	6	67,083	-1,364,835	155,112	-2,984,485	64,878	-1,328,151
	7	67,083	-1,364,835	159,177	-3,062,017	64,878	-1,328,151
	8	69,407	-1,403,516	169,290	-3,255,402	64,878	-1,328,151
	9	69,112	-1,398,617	169,290	-3,255,402	65,269	-1,335,671
	10	69,407	-1,403,516	170,483	-3,277,481	66,142	-1,352,436
	11	69,407	-1,403,516	171,997	-3,307,005	68,684	-1,401,312
	12	69,407	-1,403,516	174,385	-3,352,112	73,561	-1,495,052
	13	79,753	-1,575,733	175,342	-3,370,511	79,264	-1,604,674
	14	79,753	-1,575,733	175,342	-3,370,511	79,264	-1,604,674
	15	79,753	-1,575,733	177,340	-3,408,923	79,264	-1,604,674
	16	90,892	-1,778,034	190,652	-3,664,811	79,264	-1,604,674
	17	-128,851	-2,476,842	194,417	-3,737,187	79,264	-1,604,674
	18	-199,063	-3,826,480	199,063	-3,826,480	79,264	-1,604,674
	19	-199,063	-3,826,480	199,063	-3,826,480	79,264	-1,604,674
	20	-199,063	-3,826,480	199,063	-3,826,480	79,264	-1,604,674
	21	-199,063	-3,826,480	199,063	-3,826,480	79,264	-1,604,674
	22	-199,063	-3,826,480	199,063	-3,826,480	79,264	-1,604,674
	23	-199,063	-3,826,480	199,063	-3,826,480	79,264	-1,604,674
	24	-199,063	-3,826,480	199,063	-3,826,480	79,264	-1,604,674
	25	-199,063	-3,826,480	199,063	-3,826,480	79,264	-1,604,674
	26	199,063	-3,826,480	199,063	-3,826,480	79,264	-1,604,674
	27	199,063	-3,826,480	199,063	-3,826,480	79,264	-1,604,674
	28	199,063	-3,826,480	199,063	-3,826,480	79,264	-1,604,674

A partir del cuadro 6.44 se advierte que los costos de transporte “no coordinado” y el “coordinado DDP”, presentan magnitudes similares cuando el criterio preferido es el costo. Sin embargo, en la medida en que es más deseable el criterio de nivel de servicio, el esquema no coordinado manifiesta costos de transporte muy parecidos a los de la coordinación ExW (figura 6.61).

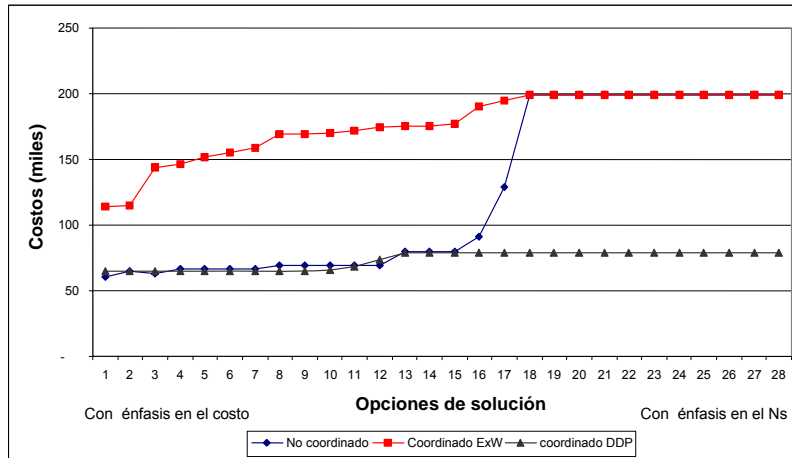


Figura 6.61
Costos de transporte por tipo de término de negociación

Específicamente, en un esquema no coordinado el modelo parece simular adecuadamente el juicio de un tomador de decisiones que utiliza una política del tipo lote económico; por ejemplo, si el tomador de decisiones prefiere el criterio costo, el modelo asigna la mayor parte de los flujos de carga al modo más barato (lento); es decir, respeta la colocación de pedidos más frecuentes y de igual tamaño (véase figuras 6.62 y 6.64).

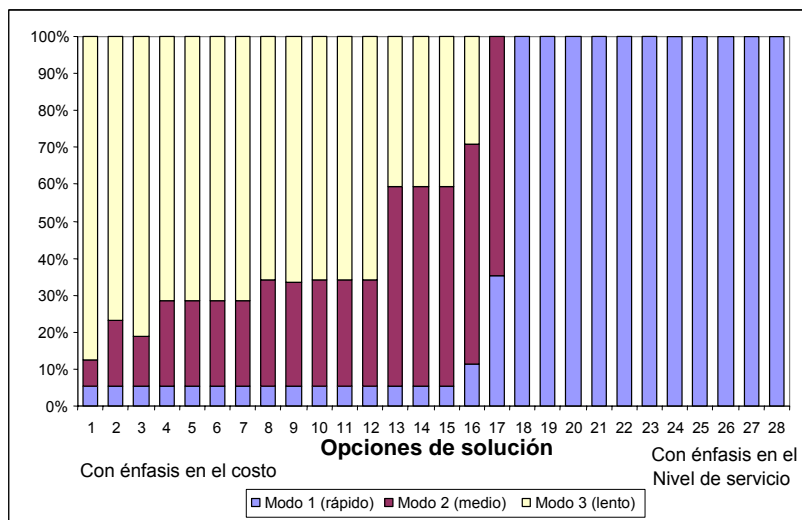


Figura 6.62
Reparto modal de la carga para un proceso no coordinado

Si se otorga mayor preferencia al nivel de servicio de transporte, el modelo asignará la carga al modo más rápido, de la forma en que Wagner y Whitin (1958) establecen en su algoritmo, manteniendo en promedio el mismo tamaño de la orden, pero en algunos períodos la cantidad solicitada mostrará incrementos significativa para cumplir con la variación de la demanda (véase figura 6.63).

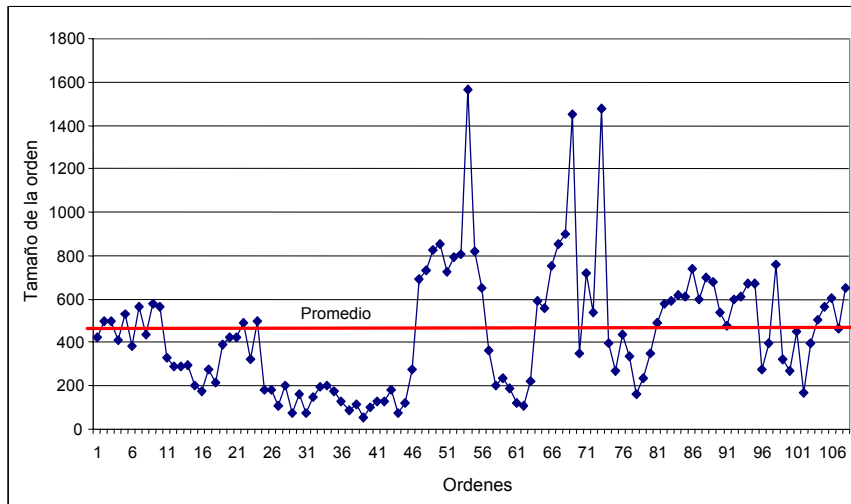


Figura 6.63
Asignación de la carga al modo más rápido otorgando mayor énfasis al nivel de servicio

En el contexto ExW, el modelo asume un reparto de la carga en proporciones muy similares para cada modo de transporte para el caso en que el énfasis sea el costo. La proporción asignada a modos más rápidos se observa a medida en que el criterio cambia a nivel de servicio. Esto se debe a que el modelo supone que el tomador de decisiones coloca órdenes cada vez más grandes, y con períodos más distantes (véase figura 6.64 y 6.65).

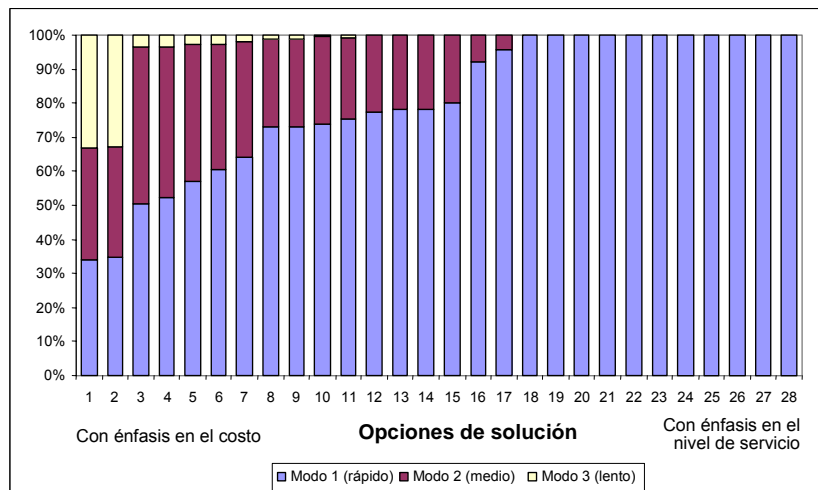


Figura 6.64
Reparto modal de la carga para un proceso coordinado ExW

En el contexto DDP, los costos crecen paulatinamente mostrándose muy por debajo de los otros dos esquemas de negociación (véase figura 6.61). Ya se dijo que esto se debe a la posibilidad de que el proveedor gestione una tarifa menor ante los transportistas, a cambio de generar economías de escalas con órdenes más grandes y prácticamente constantes (véase figura 6.65).

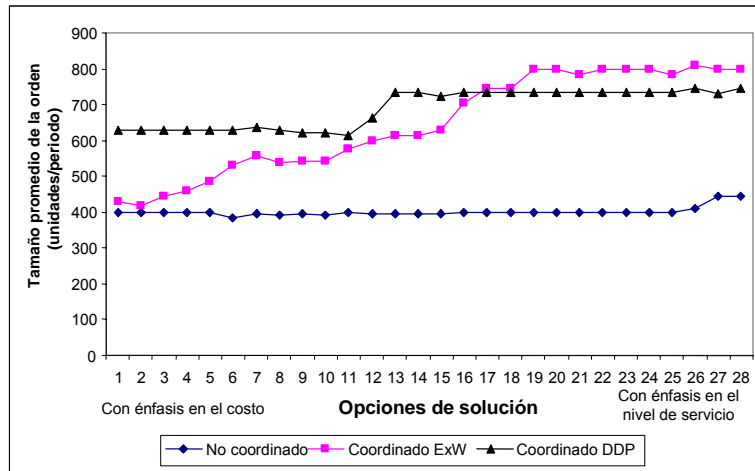


Figura 6.65
Tamaño de la orden por tipo de negociación

En cuanto al uso combinado de los modos de transporte involucrados, se observa que el modelo en el contexto DDP combina principalmente los modos rápido y medio, de acuerdo con el criterio de preferencia elegido para lograr el menor costo y el mejor nivel de servicio (véase figura 6.66).

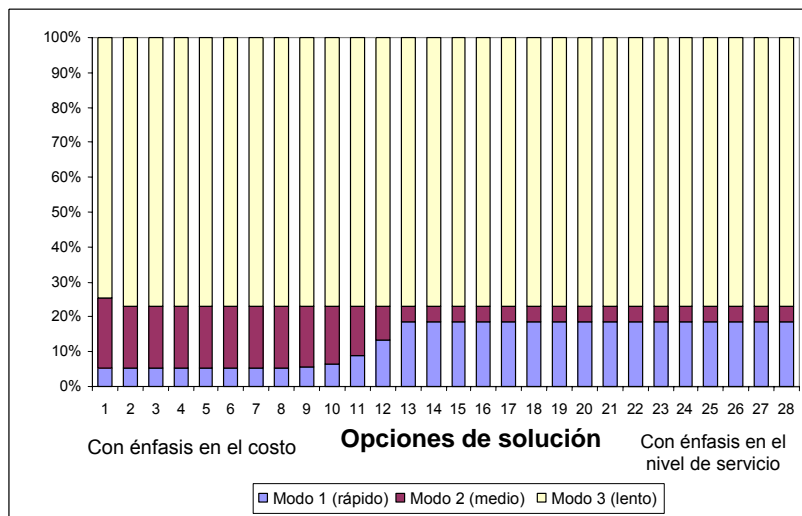


Figura 6.66
Reparto modal de la carga para un proceso coordinado DDP

En la figura 6.66 se observa que una mayor preferencia en el costo, el modelo asigna mayor carga hacia el modo medio; para el caso en que se otorgue mayor énfasis al nivel de servicio, se asigna más carga al modo rápido. Para el lento, prácticamente el modelo fija una cota similar en cada opción. Esto último, permite mantener cierto equilibrio, y bajos costos de transporte.

6.6 Soluciones no dominadas creadas con el método interactivo de Vassilev y Narula

De acuerdo con el procedimiento metodológico propuesto en el capítulo 6, en esta sección se presentan los resultados de la segunda fase del modelado. En este caso, se asume que ninguna de las soluciones obtenidas con el método de los pesos ponderados es satisfactoria para el tomador de decisiones; por tanto, se tendrá que generar aquella que más se acerque a sus expectativas. Con la finalidad de comprender el procedimiento, en este apartado se ejemplifica el procedimiento de solución del método de Vassilev y Narula, y se presentan los resultados logrados para el caso de los *incoterms* ExW y DDP.

6.6.1 Operativa del método interactivo para encontrar soluciones no dominadas

De acuerdo con la metodología propuesta, corresponde aplicar el método de dirección de referencia para un problema de programación de múltiples objetivos lineal entero (MOILP), desarrollado por Vassilev y Narula (1993). Como ya fue indicado, este método implica la participación activa del tomador de decisiones. Su ventaja reside en que permite resolver los modelos propuestos, de manera práctica y sencilla para obtener soluciones *no dominadas* a partir de los niveles de aspiración del tomador de decisiones. Su implementación no implica mayor complejidad a los modelos. Cada uno de los niveles de aspiración se proyecta a la región de factibilidad, y de manera particular a la frontera Pareto, tal y como se ejemplifica a continuación en la figura 6.67.

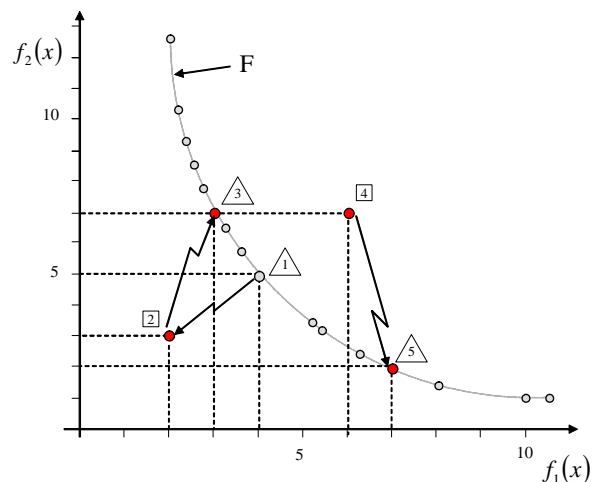


Figura 6.67
Frontera Pareto que contiene las soluciones no dominadas

En la figura 6.67, sea F la frontera eficiente (línea delgada continua) que contiene los puntos identificados con el método de los pesos ponderados (círculos no rellenos). A partir del análisis de dichas soluciones no dominadas, el proceso

comienza cuando el tomador de decisiones selecciona una de éstas; por ejemplo, la solución 1: $F_1 = (f_1, f_2) = (5, 4) = (x_1, x_2)$, se considera como punto de referencia (solución inicial) para especificar sus preferencias.

Suponiendo que el tomador de decisiones pretende relajar ambos criterios $(f_1(x), f_2(x))$, proporciona la referencia 2: $F_2 = (f_1, f_2) = (2, 3)$, como vector de aspiración. Para encontrar la solución no dominada sobre la frontera Pareto, se resuelve el modelo matemático D (ya explicado en el capítulo 6).

$$(D) \quad \text{Max} \left(y + \beta \sum_{k \in K} y_k \right)$$

Sujeto a

$$f_k(x) - f_k = y_k, \quad k \in H \quad (6.11)$$

$$f_k(x) - f_k = -y_k, \quad k \in L \quad (6.12)$$

$$f_k(x) - (\bar{f}_k - f_k)y \geq \bar{f}_k, \quad k \in H \quad (6.13)$$

$$f_k(x) - (\bar{f}_k - f_k)\alpha \geq \bar{f}_k, \quad k \in L \quad (6.14)$$

$$f_k(x) = \bar{f}_k, \quad k \in E \quad (6.15)$$

$$x \in X \quad (6.16)$$

$$y, y_k \geq 0, \quad k \in K \quad (6.17)$$

De esta aplicación se logra la solución 3, caracterizada como $(F_3 = (f_1, f_2) = (3, 7))$. Ahora, si el tomador de decisiones quisiera incrementar el valor de f_1 , propone $F_4 = (f_1, f_2) = (6, 7)$. Nuevamente se resuelve el modelo D y se obtiene la solución 5: $F_5 = (f_1, f_2) = (7, 2)$. Si el tomador de decisiones está satisfecho con la solución, el proceso se detiene; de otra manera, deberá proporcionar otro vector de aspiración.

6.6.2 Soluciones no dominadas reveladas con el método interactivo en el contexto de los *incoterms* ExW

Con el procedimiento anterior, los modelos propuestos en este trabajo fueron utilizados para obtener un mayor número de soluciones a partir del nivel de aspiración del tomador de decisiones. Uno de los primeros comentarios que es justo decir, es que el método Vassilev y Narula (1993), se adaptó bastante bien a los modelos, logrando muy buenos resultados. Esto permitió corroborar que la metodología empleada es bastante aceptable para encontrar nuevas soluciones. En la figura 6.68, se presentan los resultados de este ejercicio para el modelo de coordinación ExW.

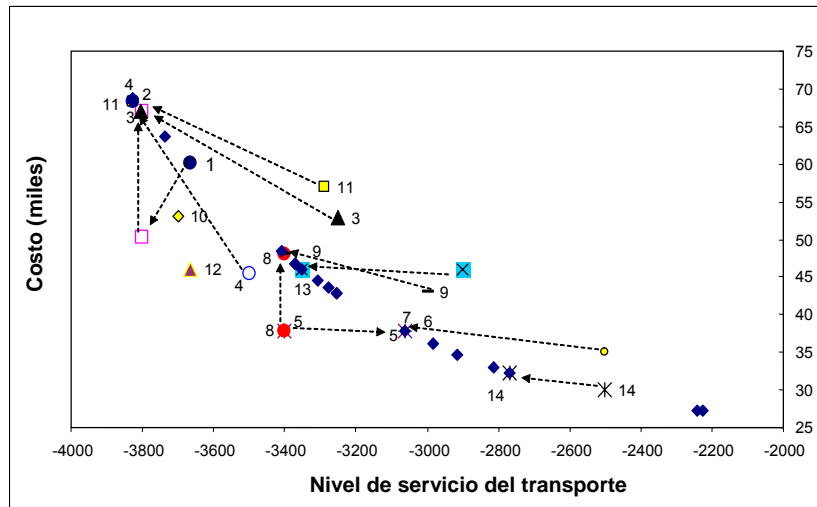


Figura 6.68
Soluciones no dominadas en el contexto ExW
generadas con el método de Vassilev y Narula

Como es evidente de este método, la figura 6.68 ilustra cómo se proyectan los vectores de aspiración del tomador de decisiones sobre la frontera Pareto, y cómo se complementa con nuevas soluciones no dominadas, ampliando el rango de alternativas para la toma de decisiones sobre la frontera eficiente. En la figura, la solución inicial de referencia (punto 1), fue considerada para comenzar el proceso. Es decir, el TD tiene de referencia el punto 1 con coordenadas (60107, -3664811) de costo y de nivel de servicio de transporte, respectivamente; a partir de esta cota, se aplica el proceso ya descrito, y se detiene hasta que TD queda satisfecho; en la figura, la solución 13 con coordenadas (46056, -3351767) de costo y nivel de servicio de transporte se acepta, deteniéndose el proceso. En resumen, el TD ha decidido esta alternativa, la cual difiere de la original en 23% sobre el costo, y 9% sobre el nivel de servicio de transporte con respecto a la solución inicial.

Por supuesto, en cada interacción, el tomador de decisiones va relajando uno u otro objetivo, según su punto de vista. De cualquier forma, cada nueva solución deberá evaluarse con un procedimiento similar al presentado en la primera sección de este capítulo.

6.6.3 Soluciones no dominadas reveladas con el método interactivo en el contexto de los *incoterms* ExW y DDP

Para el caso del modelo en el contexto DDP, se lograron los resultados correspondientes. En la figura 6.69 se observa la proyección de los vectores de aspiración del tomador de decisiones.

En este caso se tiene de referencia el punto 1, con coordenadas (148851, -1495052) de costo y de nivel de servicio de transporte, respectivamente; a partir de esta cota, se aplica el proceso ya descrito y se detiene hasta que TD queda satisfecho; en la figura, la solución 7 con coordenadas (145032, -1463045) de costo y nivel de servicio de transporte es aceptada, deteniéndose el proceso. En resumen, el TD se ha decidido por esta alternativa, la cual difiere de la original en 2.6% sobre el costo, y 2.0% sobre el nivel de servicio de transporte con respecto a la solución inicial, mostrándose muy conservador en este caso.

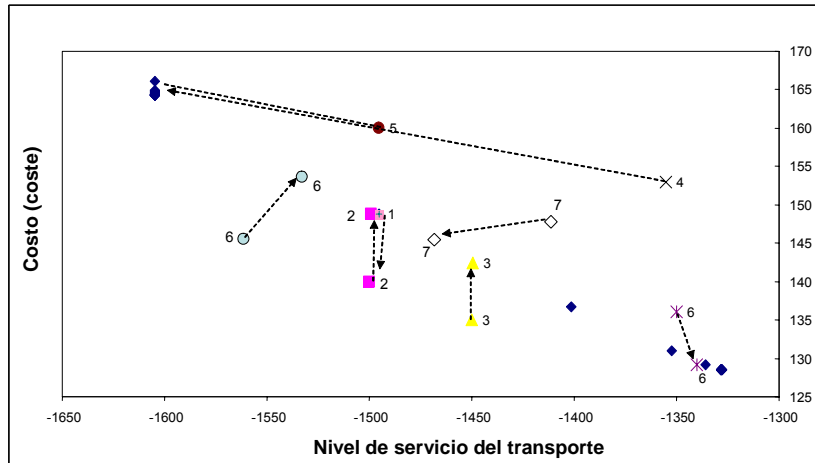


Figura 6.69
Soluciones no dominadas en el contexto DDP generadas con el método de Vassilev y Narula

El procedimiento permite al TD una mejor perspectiva del problema y a la vez tener la posibilidad de evaluar al mismo tiempo ambos objetivos. El procedimiento es fácil de implementar debido a que el análisis de los modelos cuenta con un software adecuado, y el centro de decisión no requiere hacer algún procedimiento matemático, sino tan sólo juzgar las soluciones. Conviene señalar que las alternativas generadas con el método de Vassilve y Narula, también se obtienen con el uso de los paquetes comerciales Lindo y Cplex.

6.7 Algunas reflexiones finales del uso de los modelos

En este capítulo se analizaron los resultados obtenidos de la aplicación de los modelos propuestos al caso de una empresa de autopartes del sector automotriz. El hecho de utilizar los datos específicos de una empresa, permiten evaluar los modelos y su funcionamiento en un caso real. En función de los resultados, se corrobora que los modelos para la coordinación de inventarios, entre un cliente y un proveedor, simulan bastante bien el efecto de la interrelación que existe entre los objetivos estudiados y la conveniencia, o no de aplicar la estrategia de coordinación ECR. Por supuesto, este comentario, en el fondo sugiere que es

factible observar las diferentes perspectivas de solución y la conducta que podrían adoptar los centros de decisión.

En términos generales, la estructura de los modelos ha sido capaz de generar el conjunto de posibles soluciones que contemplan el intercambio (*tradeoff*) de los dos objetivos analizados, dando mayor visibilidad a la cadena de suministro en el contexto de la administración de los inventarios. Esto ha permitido a su vez, la posibilidad de llevar a cabo la comparación de diversos escenarios de prueba, que en términos generales han generado respuestas consistentes. Por ejemplo, los modelos permiten evaluar si un esquema coordinado es o no conveniente para el cliente y para el proveedor, e incluso para el sistema (cliente-proveedor), de acuerdo con los niveles de intercambio deseados (*tradeoff*) sobre el costo y el nivel de servicio de transporte.

Esto último, simplemente refleja que los modelos matemáticos generan soluciones no dominadas del problema en el contexto coordinado que pueden compararse contra las soluciones no dominadas de la política sin coordinación.

De esta manera, puede decirse que el objetivo de evaluar los beneficios económicos y del servicio de transporte combinado obtenidos por el cliente y el proveedor, cuando asumen la estrategia de coordinación ECR se ha podido cumplir a la luz de los resultados alcanzados. La consideración explícita de una demanda dinámica establece que es factible llevar a cabo simulaciones para contextos más reales. Reyes y Gaytán (2003), reportan que dicho factor es uno de los más relevantes para este tipo de problemas, pues aseguran que la variabilidad que muestre la demanda se encuentra relacionada con la magnitud de los ahorros obtenidos.

Asimismo, se ha corroborado que el costo es un factor de decisión muy importante, pero también lo es el nivel de servicio de transporte. Debido a la aplicación multiobjetivo en los modelos propuestos se ha podido confirmar que los beneficios no sólo pueden verse desde una perspectiva simplista basada en el costo, sino también que los resultados son factibles de evaluarse teniendo en cuenta el efecto de combinar diferentes alternativas de transporte en un contexto coordinado. En el escenario 2 se detectó uno de los hallazgos más significativos de esta investigación, pues resulta que al cliente le conviene la coordinación de inventarios cuando se le otorgue mayor importancia al servicio de transporte, que al costo; por su parte, el proveedor aceptará una política de coordinación en la medida en que un mejor servicio de transporte no le provoque que el descuento otorgado al cliente supere sus costos fijos.

Por lo anterior, se detectó que la decisión de coordinarse no sólo depende del costo, sino también de la importancia que se otorgue al transporte; dicho de otra manera, puede concluirse que no sólo el tamaño del lote constituye un conflicto de intereses, sino también el nivel de servicio del transporte y la proporción de productos enviados por los diferentes modos utilizados.

En los casos extremos donde el decisor se inclina por algunos de los dos criterios analizados, es mucho más claro observar que el uso de la coordinación ECR es factible, ya que el cliente o proveedor podrán estar en posibilidades de relajar algunos de los dos criterios, y obtener mayores beneficios. Esto permitió comprobar la hipótesis de que es posible reducir los costos en el sistema cliente-proveedor al permitir el abasto de productos haciendo uso de diversos modos de transporte, bajo la política ECR con descuentos en las tarifas basados en los volúmenes transportados.

Adicionalmente al apoyo técnico para definir los beneficios económicos y de nivel de servicio de transporte, los modelos permiten centrar la discusión sobre la elección del tipo de negociación del comercio exterior (*incoterms*) más convenientes para el cliente y el proveedor, desde su perspectiva específica. Así, la idea de analizar los diferentes tipos de *incoterms* existentes con modelos multicriterio, se convierte en una manera novedosa de abordar el problema en el contexto del comercio internacional.

En concreto, los modelos construidos permiten identificar el efecto de la magnitud de los siguientes tipos de costos para el proveedor: a) por procesar (*set up*) y atender las ordenes colocadas por el cliente; b) descuento por excedentes de inventario; y c) descuento en la tarifa de transporte. Para el cliente se evalúan los costos por: a) colocar las ordenes; b) almacenamiento de productos; c) inventario en tránsito; y d) transporte. Al mismo tiempo, los modelos determinan: el tamaño óptimo de la orden; el período de abasto; el nivel de inventario por período; el tamaño óptimo de la orden por modo de transporte; el nivel de servicio de transporte; y además ayudan a definir el tipo de negociación o *incoterm* más conveniente en el comercio internacional.

Por último, vale mencionar que los análisis desarrollados en este capítulo se consideran suficientes para demostrar la utilidad de los modelos, y que las conclusiones a las que se llegaron no pueden extenderse para el caso de considerar valores diferentes para los parámetros del modelo propuesto; por tanto, no se omite señalar que dichos análisis pueden llevarse a otro nivel de profundidad con fines de demostrar, por ejemplo, su versatilidad al considerar más eslabones en la cadena de abastecimiento, de tal manera que no sólo se incluya un proveedor y un cliente, sino también a los fabricantes y distribuidores “*río arriba*” o “*río abajo*”, y que además se encuentren en otras ubicaciones geográficas; medir la influencia de los parámetros que gobiernan los modelos, como es el caso de llevar a cabo procesos con variaciones en los costos por ordenar, costos por almacenar, diferentes tasas de descuento en el precio de los productos y en las tarifas de transporte, u otros; también puede verse la posibilidad de evaluar de manera puntual cuáles son los productos más convenientes para la coordinación ECR, ya que puede resultar que para algunos no sea rentable la coordinación. Viswanatan y Piplani (2001), lo han demostrado para el caso de los clientes, entre otras alternativas.

7 Conclusiones

Se presentan las conclusiones y líneas de futuro de investigación, detectadas a partir del desarrollo de los capítulos precedentes. Inicialmente se describe el marco teórico conceptual que dio origen a la idea específica para estudiar el tema de la coordinación de los inventarios entre un cliente y un proveedor; se puntualizan las conclusiones de la problemática que rodea este importante tema en el contexto general de la cadena de suministro y la integración empresarial; posteriormente, se describen las conclusiones derivadas de los modelos propuestos para la coordinación de inventarios, tomando como referencia la problemática planteada. A partir de dichas conclusiones, se describen las contribuciones más significativas de los modelos propuestos y sus implicaciones al marco teórico. Al final de este capítulo, se incluyen las limitaciones detectadas, las recomendaciones más relevantes, y líneas de futuro que pueden abordarse a partir de los hallazgos identificados durante el desarrollo de la presente investigación.

7.1 Conclusiones sobre el problema de la coordinación de los inventarios

En particular, el tema de la coordinación de los inventarios es una cuestión de “supervivencia” empresarial. Su estudio y puesta en práctica se ha convertido en una condición imperativa para agilizar y generar ventajas competitivas en la cadena de abastecimiento. Esto hace de la coordinación de los inventarios una cuestión fundamental en la gestión logística del proceso de suministro.

En cierta forma, el desarrollo de novedosas estrategias relacionadas con el problema de inventarios y su coordinación, revisadas en Jiménez (2005), permite observar que es un tema que a pesar de los relevante, aun no ha sido resuelto del todo; la gran cantidad de fuentes y literatura científica encontrada sobre el tema, en cierta forma lo demuestran.

Teniendo en cuenta que la globalización ha dado origen a una mayor profundización en la división internacional del trabajo, culminando en un esquema fragmentado de la producción que demanda un alto nivel de coordinación en los diferentes ámbitos interempresariales, y de acuerdo con la disertación de los esquemas de gestión puede decirse que una primera conclusión general sobre la coordinación de los inventarios, es que su problemática no sólo radica en la determinación del tamaño económico de la orden y el período de abasto, sino que a la vez involucra decisiones sobre las diferentes formas de transportar los productos a grandes distancias.

En este contexto, los análisis efectuados por Daganzo (1996) y Beresford (1999), y otros autores, demuestran que existe una relación intrínseca entre el sistema de inventarios y el transporte. De hecho, estos autores concretan aspectos muy

importantes del marco teórico, los cuales establecen claramente la presencia de una influencia explícita del transporte en la administración de los inventarios. Con base en sus argumentos, se refuerza la idea de que el estudio conjunto de la coordinación de los inventarios y el transporte, es una tarea de vital importancia para atender la problemática que implica la interrelación de las dos actividades más influyentes en los costos logísticos. Ciertamente, la consideración explícita del proceso de transporte en los modelos desarrollados en esta investigación para la coordinación de los inventarios, es sin duda un aspecto que permite distinguir con mayor claridad el impacto en los costos de la gestión logística.

En general, y como pudo observarse en el capítulo 4, los científicos buscan dar respuesta a problemas de inventarios cada vez más complejos, que involucran un mayor número de factores; entre ellos, las variables fundamentales del transporte. Sin embargo, a pesar de la evolución reciente de los modelos diseñados para atender el problema, se ha podido identificar que los cuadros de investigación aun permanecen inconclusos. No obstante, de acuerdo con la investigación bibliográfica, el interés por el estudio conjunto de los inventarios y el transporte ha venido creciendo, bajo diferentes perspectivas de análisis. Esto último puede resultar evidente dada la gran cantidad de fenómenos y combinación de factores, derivado de la integración empresarial que se presenta a escala mundial.

Justamente, el tema de la gestión de la cadena de suministro y la integración empresarial se ha convertido en un estigma en diferentes sectores industriales, y en las universidades más importantes del mundo. Son muy diversos los temas que se abordan para atender esta gran visión, y uno de los más importantes es el de la gestión de los inventarios.

Específicamente, como se demuestra en Jiménez (2006c), el sector automotriz es uno de los principales sectores industriales que han detonado los nuevos paradigmas de la gestión de la cadena de suministro, y de manera especial de los inventarios. Por la gran fragmentación de sus actividades industriales, dicho sector exige importantes esfuerzos en la administración de sus procesos del suministro de componentes para optimizar su disponibilidad, sin aumentar los costos de inventarios y de transporte.

Particularmente, en el sector automotriz el tema de la administración de los inventarios ha sido la piedra angular, bajo la cual se han desarrollado los esquemas más innovadores de gestión. Sin embargo, de acuerdo con la investigación de las características de este sector, puede concluirse que ciertos eslabones de la cadena de suministro aún no gozan de la implementación de las estrategias más adecuadas para coordinar sus inventarios.

Al respecto, el problema de los inventarios en ese sector reside principalmente en que la empresa fabricante de automóviles y sus proveedores más cercanos, tratan de optimizar individualmente sus beneficios por medio del establecimiento de políticas muy rígidas de gestión, abandonando, sobre todo, a las pequeñas y

medianas empresas del sector, las cuales generalmente se encuentran alejadas, y que absorben altos costos de inventarios y de transporte.

Dicha problemática se complica mayormente cuando el tomador de decisiones no posee los instrumentos necesarios ni una visión más amplia que la ayude a resolver los problemas de abastecimiento y distribución, llevando sus decisiones bajo supuestos sin sustento, y respaldadas en enfoques circunscritos al costo mínimo. En general, las diferentes alternativas para transportar las autopartes generalmente no se consideran por el tomador de decisiones como un asunto estratégico, a partir del cual puedan generar ventajas competitivas en función del conocimiento explícito de los diferentes atributos y niveles de servicio de los modos disponibles.

En definitiva, a partir de los resultados obtenidos de la investigación global, puede concluirse que el vínculo entre los inventarios y el transporte de los componentes en el sector automotriz, puede ser considerado para dictar la política de inventario que deben asumir conjuntamente las empresas que intervienen, en torno al tamaño del pedido y el período de suministro, de acuerdo con las características del modo de transporte que se emplee, considerando además el entorno internacional.

Por todo lo anterior, el hecho de apoyar la idea de asumir la estrategia ECR como un mecanismo de coordinación entre clientes y proveedores, ha resultado una buena opción en casos como el analizado en esta investigación, para administrar los inventarios, y al mismo tiempo gestionar el transporte. En cierta forma, la aplicación de los modelos propuestos para resolver la problemática señalada, permite deducir que los resultados brindan una clara visión de su utilización en los eslabones de la cadena de suministro del sector automotriz con dificultades para implementar otro tipo de estrategias, incluida la de *justo a tiempo*.

7.2 Conclusiones acerca de las preguntas de investigación o hipótesis

Por lo que respecta a las preguntas de investigación, en esta sección se presentan las conclusiones más pertinentes que responden a los cuestionamientos que dieron origen al presente trabajo.

7.2.1 Pregunta de investigación 1

¿Bajo qué condiciones del costo total de la gestión de inventarios, y nivel de servicio de transporte deben los clientes y proveedores tomar la decisión de aceptar la estrategia de coordinación ECR?

Con relación a esta pregunta, los resultados que arrojaron los modelos permitieron visualizar diferentes estados en función del costo y del nivel de servicio de

transporte, mediante los cuales es factible evaluar y tomar la decisión de coordinarse o no. Por ejemplo, a partir de la frontera de eficiencia en la sección 6.4.4, el comprador puede elegir aquella política de inventarios que corresponde a la combinación (costos, tiempo de entrega) que más le satisfaga.

En el contexto ExW coordinado, se ha identificado que las soluciones no dominadas encontradas en este ámbito de negociación, son claramente superadas por las soluciones de la frontera no dominada de la política sin coordinación; en otras palabras, la instrumentación de la estrategia ECR no es conveniente para el cliente, cuando éste toma decisiones sobre la base de ambos criterios (costo y nivel de servicio); a partir de dicha situación, la condicionante principal para que el cliente tome la decisión de coordinarse, estará en función de que la solución en ese contexto sean igual o mejor en por lo menos alguno de los dos criterios.

Similares resultados se encontraron cuando se utiliza el *incoterm* DDP. Sin embargo, en este caso los resultados indican que la coordinación ECR se facilita bajo el *incoterm* DDP, siempre y cuando el proveedor reduzca los costos fijos y costos de envío lo más bajo posible, para encontrarse en posición de otorgar un mayor descuento en los productos. Para el *incoterm* DDP se deben registrar además tamaños de lote más grandes, y menores costos de transporte a través de la consolidación de envíos de diferentes clientes con los que interactúa (incluidos los no coordinados).

Los resultados de la coordinación de ofrecer importantes beneficios al cliente para diferentes tasas de descuento en los fletes, según la preferencia por los criterios. Para el caso de estudio, dichas tasas oscilaron entre 0.9 y 17.6%, desde una mayor preferencia por el costo hasta una preferencia por el tiempo de entrega (nivel de servicio de transporte).

Por otro lado, se observó que a medida que se otorga mayor importancia al tiempo de entrega, los costos de transporte para el esquema no coordinado se acercan a los de la política de coordinación ExW. Este resultado reveló que la decisión de coordinarse no sólo depende del costo, sino también de la importancia que se le otorgue al tiempo de entrega, el cual a su vez depende del modo de transporte elegido.

Particularmente, en la sección 6.5.2 (inciso d), destaca el hecho de que el proveedor aceptará una política de coordinación en la medida que un mejor servicio de transporte no le provoque que el descuento otorgado al cliente supere sus costos fijos. Por lo anterior, se detectó que la decisión de coordinarse no sólo depende del costo, sino también de la importancia que se le otorgue al transporte; dicho de otra manera, puede concluirse que no sólo el tamaño del lote constituye un conflicto de intereses, sino también el nivel de servicio del transporte y la proporción de productos enviados por los diferentes modos utilizados.

A la luz de los resultados expuestos es evidente que esta pregunta de investigación no tiene una respuesta directa, ya que la decisión de coordinarse o no, depende de un mayor número de variables que deben analizarse de manera conjunta con el fin de conformar las condiciones suficientes para tomar la decisión más adecuada. En tal virtud, se corrobora que la visión basada sólo en el costo, no es una condición suficiente para tomar resoluciones, en este caso, haciendo uso de criterios adicionales como el nivel de servicio de transporte, se amplía el horizonte de decisión.

7.2.2 Pregunta de investigación 2

¿Cuán de efectiva puede resultar la práctica de la coordinación de inventarios aplicando la estrategia ECR en una cadena de suministro para ayudar al proveedor a negociar sobre la base de los términos del comercio internacional ExW y DDP?

De acuerdo con los resultados obtenidos por los modelos, se observó que los datos reflejan con bastante aproximación el ambiente que priva en los escenarios de coordinación ExW y DDP. Por ejemplo, en la sección 6.5.4, sobre la base de estos dos tipos de negociación, el proveedor podrá demostrar a su cliente que en un ambiente coordinado DDP, los costos por ordenar serán menores con relación a un enfoque ExW, y que el descuento en el precio de los productos y en las tarifas de transporte, le compensará los costos de inventario en los que incurre si acepta la estrategia.

Sobre esta misma base, el proveedor estará en posibilidades de observar el nivel de ahorros que le produce cada término de negociación, de acuerdo con la importancia otorgada a cada uno de los criterios analizados. Para tratar de ser más explícitos, en esa misma sección se aprecia que en la negociación ExW, el proveedor logrará ahorros significativos (cercaos al 50%, con relación a la opción no coordinada) cuando otorga mayor énfasis en el costo; mientras que en el *incoterm* DDP, sus beneficios se verán substancialmente reducidos (cercaos al 7%); ante esta situación, es claro que el proveedor puede tener más claridad sobre la disyuntiva de negociar sobre uno u otro tipo de *incoterm*.

En conclusión, desde el punto de vista analítico los modelos entregan información suficiente como para ayudar a realizar las comparaciones necesarias en la toma de decisiones; sin embargo, no se deja de reconocer que las simplificaciones a las que se somete este tipo de esquemas podrían dejar fuera una serie de circunstancias que no dependen de la formulación, así por ejemplo, para el caso señalado del proveedor éste podría aceptar la negociación DDP sacrificando sus beneficios por la conveniencia de mantener un cliente con el que guarda muy buenas relaciones comerciales; o simplemente fomentar una política para captar mayor número de clientes, entre otras.

7.2.3 Pregunta de investigación 3

¿Es posible reducir los costos en el sistema cliente-proveedor al permitir el abasto de productos haciendo uso de diversos modos de transporte, bajo la estrategia ECR?

Como se dijo desde un principio (capítulo 1), es común que los proveedores utilicen diversos modos de transporte para enviar productos a sus clientes. Sin embargo, normalmente esta práctica se ha basado sólo en la urgencia del envío y sin recurrir a algún análisis técnico. En este sentido, la utilización de los modelos propuestos permite observar técnicamente el efecto en los costos totales del sistema por utilizar diversos modos de transporte.

Para el caso de estudio en esta investigación, los resultados mostraron que no sólo puede verse una disminución de los costos, sino que incluso se visualiza bajo qué condiciones dicha reducción se presenta cuando se instrumenta la estrategia ECR. Por ejemplo, en la sección 6.5.1, se observa que en el contexto ExW, cuando el cliente acude a la planta del proveedor y tiene preferencia por lograr el menor costo (es decir, que utiliza modos de transporte con tiempos de entrega más grandes), la coordinación no es benéfica para el sistema ya que en este estado, el cliente deberá cambiar su punto de vista hacia el uso de transportes con mejores tiempo de entrega, con el consiguiente inconveniente de un costo más alto. Por este hecho, las pérdidas del cliente superan los beneficios del proveedor, provocando que el sistema no muestre una reducción del costo. No obstante, en este mismo contexto (ExW), pero con énfasis en el nivel de servicio (escenario 3), se logra la reducción de los costos para el sistema en su conjunto (cliente-proveedor), a pesar de que el proveedor manifiesta cierto nivel de pérdidas en un situación coordinada, cuando el énfasis va cambiando de costo a nivel de servicio. Para el caso del *incoterm* DDP, todos los escenarios obtuvieron reducciones en costo.

A la luz de estos resultados, puede concluirse que la coordinación ECR no garantiza la reducción de los costos totales en el sistema para todos los casos. En tal virtud, conocer si es posible reducir los costos en el sistema cliente-proveedor, mediante el uso de diversos modos de transporte, bajo la estrategia ECR, nuevamente se considera que no es una respuesta sencilla; en todo caso, aquí también es requisito establecer, bajo qué condiciones esto se cumple.

7.2.4 Pregunta de investigación 4

Al hacer uso de diversos modos y de la estrategia ECR, ¿es posible lograr beneficios en costo en el sistema cliente-proveedor considerando descuentos en el precio de los productos y en las tarifas de transporte, que considere los volúmenes transportados?

Con relación a esta pregunta de investigación, puede mencionarse que parte de ella ha sido respondida en los comentarios anteriores, en el sentido de que se lograran beneficios en el sistema según las condiciones prevalecientes; sin embargo, es importante destacar que la influencia de los descuentos en el precio de los productos y en las tarifas de transporte involucra más al proveedor que al cliente, principalmente en el contexto del *incoterm* DDP. Esto se debe a que en un ambiente de negociación (ExW o DDP), el descuento en el precio del producto representa un costo al proveedor, mientras que al cliente le significa un ahorro, siempre y cuando el costo del sobre inventario por aceptar la estrategia ECR, no rebase dicho descuento.

De manera particular, los resultados arrojaron que el proveedor obtendrá beneficios de la coordinación, siempre y cuando sus costos fijos no se vean superados por los descuentos, en la medida que se prefiere mejores tiempos de entrega. Para el caso de los descuentos en las tarifas de transporte (*incoterm* DDP), se observó que el más beneficiado será el cliente, porque aprovechará la negociación por volúmenes que lleva a cabo el proveedor ante los transportistas.

7.3 Implicaciones para la teoría

La consideración explícita de diferentes modos de transporte en la coordinación de inventarios es sin lugar a dudas, un aspecto que permite distinguir con mayor claridad el impacto de su nivel de servicio en la política de abasto. Paulatinamente, el interés por el estudio conjunto de ambas actividades (transporte e inventarios) ha venido creciendo, bajo diferentes perspectivas de análisis. Sin embargo, a partir de la revisión realizada a la literatura puede concluirse que este fenómeno no se ha estudiado desde la óptica de este trabajo de investigación.

En efecto, la coordinación de inventarios desde la perspectiva multicriterio se considera que es novedosa debido a que la decisión de coordinarse no se basa en un sólo criterio (costo), como lo hace la mayoría de los trabajos que tratan el tema, sino que permite tener en cuenta otro criterio de gestión. Esto hace que el tema sea relevante debido a la complejidad que representa la toma de decisiones sobre la combinación de factores cuantitativos y cualitativos, desde un punto de vista multicriterio.

Los resultados del modelo avalan lo anterior, ya que permiten evaluar el impacto del nivel de servicio de transporte en las decisiones sobre el tamaño de la orden; el período de abasto; el modo de transporte a utilizar; y por supuesto, en el costo total. La evidencia reflejada en las fronteras eficientes analizadas así lo confirman. Por todo lo anterior, puede concluirse que la formulación de los modelos desarrollados en el capítulo 5, que consideran la participación explícita del transporte como factor fundamental en la gestión coordinada de los inventarios, es una aportación directa al conocimiento dada la forma novedosa de tratar el tema.

7.4 Implicaciones para las políticas y prácticas

Modelos como los propuestos en esta investigación permiten demostrar que la estrategia ECR pertenece al ámbito de las “mejores prácticas”, y que es una herramienta de gestión muy valiosa para definir las políticas de operación. Para el caso específico analizado, se ha probado que la estrategia de coordinación de inventarios ECR representa una opción más para aquellas empresas de los eslabones más alejados de las compañías ensambladoras de automóviles que no pueden implementar la estrategia *justo a tiempo*. Es más, ambas prácticas de gestión pueden ejercer su filosofía en la medida de que los tomadores de decisiones aprendan a combinarlas.

Por otro lado, de acuerdo con los resultados obtenidos puede establecerse que el hecho de aplicar los modelos a un caso en particular, prueba de alguna manera que es factible aplicarlo a un mayor número de casos con la adecuación de sus respectivos parámetros, e incluso extenderlo a otros sectores industriales. Sin embargo, una dificultad importante puede estar relacionada con la disponibilidad de la información, ya que es común que las empresas no dispongan de los datos tal y como lo demandan los modelos propuestos. Es conveniente tener en cuenta que el modelado de ciertos escenarios será mejor mientras más se apeguen a la realidad; es decir, que se tenga un mayor grado de personalización a cada problemática que se desee atender con la estrategia de coordinación ECR.

7.5 Limitaciones

Como muchos otros modelos de esta naturaleza, los aquí propuestos intentan abstraer parte de la realidad. El modelado de esa realidad tiene grandes ventajas porque permite, por medio de la experimentación, conocer el comportamiento de los fenómenos. Sin embargo, los modelos no dejan de tener ciertas limitaciones que deben ser consideradas.

Para el caso particular de los modelos aquí propuestos, puede concluirse que por el hecho de considerar sólo el proceso de suministro y el sistema de inventarios, es en sí misma una limitación. Sin embargo, incluir el proceso de producción; los sistemas de comunicaciones; las tecnologías; etc., sería más que imposible cubrir en este tipo de investigación; por tanto, se necesitan ciertos supuestos que podría también considerarse como limitaciones.

En este sentido se encuentra el hecho de que los modelos propuestos en la investigación no incluyen los costos de inventario del proveedor, debido a que en la estrategia ECR supone que éste conoce plenamente las operaciones de su cliente, y por tanto, reduce al mínimo sus costos de almacenamiento; motivo por el cual los costos se consideran imperceptibles. Tal observación, en cierta forma ya ha sido criticada por Chan y Kingsman (2005).

Lo anterior lleva a establecer que otra de las limitaciones de la estrategia ECR es que sólo se da si las partes mantienen estrechas relaciones de cooperación y colaboración. Es importante recordar que los modelos requieren información muy específica y confidencial.

La estrategia ECR también es criticada porque fuerza al cliente a suministrarse sólo en ciertos períodos, convirtiéndose ello en una limitación porque convierte a los esquemas de coordinación, un tanto inflexibles.

Otra de las limitaciones, pero relacionada con el método de generación de soluciones, es el hecho de que el método de los pesos ponderados no produzca la cantidad de soluciones suficientes para visualizar con oportunidad o claridad el rango de preferencias del tomador de decisión. Esto podría llevar a la necesidad de invertir mucho tiempo en la definición de la frontera eficiente.

Finalmente, los modelos propuestos tienen la limitante de que un mayor número de productos, períodos, o un modo de transporte adicional, hacen crecer la complejidad del problema; y el procedimiento de solución podría ser computacionalmente inmanejable, principalmente porque los problemas son de programación entera, y porque su nivel de complejidad crece de manera cuadrática (véase sección 4.7; capítulo 4).

7.6 Líneas de investigación

A partir del proceso de investigación y de solución al problema planteado en esta investigación, y teniendo en cuenta las limitaciones señaladas, se ha reconocido una serie de líneas de futuro de investigación que bien podrían extender los modelos propuestos en esta investigación. Entre los proyectos identificados se encuentran los siguientes:

- a) En este trabajo se han analizado los beneficios alcanzados a través de la coordinación de los inventarios entre un proveedor que abastece n productos a un cliente desde un punto vista global. En dicho análisis se reconoció que existen ciertos escenarios donde la coordinación no le favorece al proveedor por los diversos motivos ya expuestos, sin embargo, se prevé que otra razón podría estar detrás de los productos involucrados. Durante el proceso de investigación y análisis se percibió que alguno(s) de los productos estén propiciado dicha situación, ya sea por su precio, los volúmenes de su demanda, el descuento generalizado aplicado a los productos, entre otros aspectos; en tal virtud, la extensión de los modelos propuestos para realizar una exploración en este sentido, parece ser propicia.
- b) Para delimitar el ámbito de estudio del presente trabajo, como en muchas otras investigaciones, se han adoptado diversos supuestos necesarios para la formulación de los modelos. Uno de los supuestos más fuertes de la estrategia ECR es que los costos del almacenamiento del proveedor son

declarados imperceptibles, justificado por las buenas relaciones de las partes involucradas; en tal sentido, la consideración explícita de estos costos podría resultar relevante para extender los modelos en el caso de condiciones no óptimas de comunicación, y para vincular la coordinación de los inventarios no sólo con el sistema de distribución, sino también con el sistema de producción.

- c) Para los modelos desarrollados, una extensión propicia será también el de cambiar ciertas condiciones del problema; por ejemplo, contemplar más eslabones en la cadena de suministro; es decir, tener en cuenta fabricantes y distribuidores “*río arriba*” y “*río abajo*” del cliente y del proveedor, ubicados en diferentes sitios; estos también pueden ser del tipo multieslabón (múltiples clientes); modificar los parámetros de costo (por ejemplo, ordenar, almacenar, transporte, etc.); modelar otros esquemas del comercio internacional (*incoterms*); explicitar los costos de envío (*outbound*) y de recibo (*inbound*), entre otras.
- d) Aunque los modelos de optimización lineal pueden resolverse mediante paquetes computacionales como Cplex, es conveniente desarrollar algún método heurístico para resolverlos, en especial cuando la complejidad de los modelos aumenta debido a las dimensiones del problema.

Referencias

1. Baker, K. R. (1993). "Requirements Planning". Chapter 11, S C Graves, et al. Eds. Handbooks in OR & MS; Vol. 4. pp. 123-157.
2. Bandte, Oliver (2000). "A Probabilistic Multi-Criteria Decision Making Technique for Conceptual and Preliminary Aerospace Systems Design". Doctor of Philosophy in Aerospace Engineering Georgia Institute of Technology; september.
3. 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.
4. Banerjee, A. "A Joint Economic Lot Size Model for Purchaser and Vendor". Decision Sciences; Vol. 17, pp. 292-311; 1986.
5. Banomyong, Ruth y Beresford, Anthony K.C. (2001). "Multimodal Transport: the Case of Laotian Garment Exporters". International Journal of Physical Distribution & Logistics Management; Vol. 31. Num. 9.
6. Bazaraa, M. S. y Jarvis, J.J. (1990). "Linear Programming and Network Flows". Wiley, New York.
7. Beamon, B. (1998). "Supply Chain Design and Analysis: Models and Methods". International Journal Production Economics; Vol 55, pp. 281-294.
8. Benayoun, R. de Montgolfier, J; Tergny, J; y Larichev, O.I. (1971). "Linear Programming with Multiple Objective Functions: STEP Method (STEM)". Mathematical Programming; Vol. 1. Num. 3, pp. 366-375.
9. Beresford, A.K.C. (1999). "Modelling Freight Transport Costs: A Case Study of the UK-Greece Corridors". International Journal of Logistics: Research and Applications; Vol. 2. Num. 3, pp. 229-246.
10. Beyer, Dirk y Ward, Julie (2000). "Network Server Supply Chain at HP: A Case Study". Software Technology Laboratory. HP Laboratories Technical Report, HPL-2000-84; Hewlett Packard Company, Palo Alto, CA.
11. Braglia, M y Zavanella, L. E. (2003). "An Industrial Strategy for Stock Management in Supply Chain: Modelling and Performance Evaluation". International Journal of Production Research, Forthcoming.
12. Brunnermeier, Smita B. y Martin, Sheila A (1999). "Interoperability Cost Analysis of the U.S. Automotive Supply Chain". Research Triangle Institute Center for Economics Research. Research Triangle Park, NC 27709 (Final Report).
13. Caballero F. R, Hernández H. M y Luque, G M. (2003). "Métodos interactivos en programación fraccional". Departamento de Economía Aplicada (Matemáticas). Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad de Málaga, España.
14. Cachon, Gerard P. y Netessine, Serguei (2004). "Game Theory in Supply Chain Analysis". En "Supply Chain Analysis in the eBusiness Era". David Simchi-Levi, S. David Wu, and Z. Max Shen (Eds.); Publicado por: Kluwer Academic Publishers. Capítulo 2. pp 13-59.
15. Carter J. R. y Ferrin B. G. (1995). "The Impact of Transportation Costs on Supply Chain Management". Journal of Business Logistics; Vol. 16 (1), pp.189-212.
16. Centinkaya, S., Mutlu, F., y Lee, C. (2006). "A Comparison of Outbound Dispatch Policies for Integrated Inventory and Transportation Decisions". European Journal of Operational Research, Vol. 171, Issue 3, pp 1094-1112.

17. 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.
18. Chan, Chi Kin y Kingsman, Brian G. (2005). "A Co-ordinated Single-Vendor Multi-Buyer Supply Chain Model – Synchronisation of Ordering and Production Cycles". En "Successful Strategies in Supply Chain Management", Chapter 1. Eds. Chin-Kin Chan y H.W.J Lee; Idea Group Publishing. 258 pages.
19. 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.
20. Chankong y Haimes (1978). "The Interactive Surrogate Worth Tradeoff (ISWT), Method Multiobjetive Decisión Making". En Zionts (ed.) "Multiple Problem Solving, Lecture Notes en Economics and Mathematical Systems; Vol. 155, pp. 42-67.
21. Chankong y Haimes (1983). "Multiobjetive Decision Making: Theory and Methodology". North-Holand, New York.
22. Charnes, A., y Cooper, W. W. (1961). "Management Models and Industrial Applications of Linear Programming". New York: John Wiley and Sons.
23. Chase, R.B., Aquilano, N.J. y Jacobs, F.R. (1998). "Production and Operations Management: Manufacturing and Services". 8th ed. Irwin, McGraw-Hill.
24. Choi, Lei, Wang y Fan Cx (2004). "Channel Coordination with Price-Quality Sensitive Demand and Concave Transportation Cost". Working Paper on Rutgers Center Operations Research.
25. CIDEM - Centro de innovación y desarrollo empresarial (2004). "Guías de gestión de la innovación: Producción y logística". Departamento de Trabajo, Industria, Comercio y Turismo. Catalunya, España. 1ª edición en castellano: marzo de 2004, ISBN 84-393-6186-6. Autores: equipo de profesores de ESADE. Coordinador: Xavier Ferràs, CIDEM. p 10.
26. Claramunt, Ana; Giner, Elena; Marsonet, Pedro; Tomassetti, Zulema; Pasteris, Elizabeth y Koleda, Andrés (1996). "Consideraciones sobre la demanda por transporte de carga". Trabajo presentado en la Asociación Argentina de Economía Política. Página web: <http://www.aaep.org.ar/espa/anales/pdf/claramunt.pdf>.
27. (Constable y Whybark, 1978) Constable, G. K. y Whybark, D. C. (1978). "The Interaction of Transportation and Inventory Decisions". Decision Sciences; Vol. 9, pp. 688-699.
28. Córdoba, Vladimir (2001). "¿Cómo fijar costes y precios?". Banco del Comercio Exterior en Venezuela. Programa de capacitación del comercio exterior, Venezuela.
29. Cournot, Augustin (1838). "Recherches sur les Principes Mathématiques de la Théorie des Richesses". París, Hachette.
30. Cplex, 2005, Solver Ilog Cplex, ver. 9.0; Ilog, Inc.
31. Daganzo, Carlos F. (1996). "Logistics Systems Analysis". Srpringer. 2ª Edition.
32. Davis, T. (1993). "Effective Supply Chain Management". Sloan Management Review (Summer); pp. 35-46.
33. Davis, Herbert W. (2005). "Logistics Costs and Service". Establish, Inc.
34. Deb, Kalyanmoy (2001) "Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms". John Wiley & Sons (ASIA); Pages 515; ISBN: 9814-12-685-3.
35. Dell'Agnolo, Marco A. (2006). "Costos de inventarios, planificación de stocks y aprovisionamiento". Disponible en <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/fin/planstock.htm>.

36. Dimand, Mary A (1996). "History of Game Theory Vol. 1: From the Beginnings to 1945". London, UK: (Biblioteca digital de la Universidad Politécnica de Valencia) Routledge <http://site.ebrary.com/lib/bibliotecaupv/Doc?id=10058113&ppg=55>.
37. Dong, Yan y Xu, Kefeg (2002). "A Supply Chain Model of Vendor Managed Inventory". *Transportation Research Part E*; Vol. 38, pp. 75-95.
38. Dong, Yan, Dressner, M. y Shankar, V. (2001). "The Impact of Efficient Replenishment and Continuous Replenishment on Supply Chain Outcomes". Documento de trabajo, Disponible en: <http://bmgt2-notes.umd.edu/Faculty/KM/papers.nsf/6de61a84f4107c9d852567f2006c7c0e/cf6fb3d37c2a411a85256b640054613f?OpenDocument>.
39. Duma, Lázló (1999). "The Measurement of the Performance of Freight Transportation". *Periodical Polytechnica Ser. Transp. Eng*; Vol. 27. Num. 1-1, pp. 83-92.
40. Dyer, J.H. y Shing, H. (1998). "The Relational View: Cooperative Strategy and Sources of Interorganizational Competitive Advantage", *Academy of Management Review*, Vol. 23. Num. 4, pp. 660-79.
41. Ehrgott, Matthias (2002). "Multiple Criteria Optimization: State of the Art Annotated Bibliographic Surveys". Secaucus, NJ, USA: Kluwer Academic Publishers.
42. Eskigun, E, Uzsoy, R, Preckel, P, Beaujon, G, Krishnan, S, y Tew, J. (2005). "Outbound Supply Chain Network Design with Mode Selection, Lead Times and Capacited Vehicle Distribution Centers". *European Journal of Operations Research*; Vol. 165, pp. 182-206.
43. Fukuda, Y. (1964). "Optimal Policies for the Inventory Problem with Negotiable Leadtime". *Management Science*; Vol. 10, pp. 690-708.
44. Feng, Q, Gallego, G, Sethi, S. P, Yan, H. y Zhang, H. (2005). "Periodic-Review Inventory Model with Three Consecutive Delivery Modes and Forecast Updates¹". *Journal of Optimization Theory and Applications*: Vol. 124. Num. 1, pp. 137-155, January.
45. Fernández, S. Esteban, Avella, C. Lucía, y Fernández, B. Marta (2006). "Estrategia de producción". McGraw Hill. 2ª. Ed.
46. Fisher, M. L. (1997). "What is the Right Supply Chain for your Product?" *Harvard Business Review*; Vol. 75, pp. 105-116, Mar-April.
47. 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. Num. 3, pp. 83-93, May-June.
48. Fukuda, Y. (1964). "Optimal Policies for the University Problem with Negotiable Leadtime", *Management Science*; Vol. 10, pp. 607-708.
49. Gallego, G. y Özer, Ö. (2001). "Integrating Replenishment Decisions with Advanced Demand Integration". *Management Science*; Vol. 47, pp. 1344-1360.
50. Ganeshan, Ram; Jack, Eric; Magazine, M.J. y Stephens, Paul (1998). "A Taxonomic Review of Supply chain Management". En "Quantitative Models for Supply Chain Management". Editores: Tayur, Ganeshan, and Magazine; Kluwer Academic Publishers, pp 839-879.
51. García-Menéndez L., I. Martínez-Zarzoso y D. Piñero-De Miguel (2004). "Determinants of Mode Choice (Road/Shipping) for Freight Transport: Evidence from Four Spanish Exporting Sectors", *Journal of Transport Economics and Policy* (aceptado y pendiente de publicación).
52. Garrett J. y van Ryzin (2001) "Analyzing Inventory Cost and Service in Supply Chains". Columbia Business School. Disponible en: <http://www.columbia.edu/~gjr1/invnote4.PDF>.
53. Gaytán, J. y Pliego, B (2002). "Vendor - Multibuyers Coordination through Common Replenishment Epochs under Dynamic Demand". *INFORMS*, San Jose, California, USA; pp. 17-20.

54. Gaytán, J. y Pliego, B. (2002). "Vendor - Multibuyers Coordination through Common Replenishment Epochs under Dynamic Demand". *INFORMS*, San Jose, California, USA, 17-20.
55. Gentry, Julie (1995). "Role of Carriers in Buyer/Supplier Strategic Alliances". Center for Advanced Purchasing Studies-CAPS.
56. Geoffrion, A, Dyer, J, y Feinberg A. (1972). "An Interactive Approach for Multicriterion Optimisation with an Application to the Operation of an Academic Department". *Manage. Sciences*; Vol. 19. Num. 4, pp. 357-368.
57. Ghiassi, M. DeVor, R.E, Dessouky, M. I, y Kijowski, B. A. (1984). "An application of multiple criteria decision making principles for planning machining operations". *IIE Transactions*; Vol. 16. Num. 2, pp. 106-114.
58. Gökçen, Hadi, y Ağpak, Kürşad (2004) "A Goal Programming Approaches to Simple U-Line". *European Journal of Operational Research*, Received 27 January 2003; accepted 8 September 2004 (en impresión).
59. González G., Roberto (2002). "El Modelo de Plataforma Logística de Petróleo en Cuba". Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría – ISPJAE. Tesis para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. (La Habana).
60. 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.
61. Goyal, S. K. (1974). "Determination of Optimum Packaging Frequency of Items Jointly Replenished". *Management Science*; Vol. 6, pp. 1-22.
62. 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.
63. Goyal, S. K. (1988). "A Joint Economic-Lot-Size Model for Purchaser and Vendor: A Comment". *Decision Sciences*; Vol. 19, pp. 236-241.
64. Graves, S, Rinnooy Kan, A. y Zipkin, P. (Eds.). (1993). "Logistics of Production and Inventory". (Vol. 4). Amsterdam: Elsevier (North-Holland).
65. Gurnani, H., y Tang, C. S. (1999). "Optimal Ordering Decisions with Uncertain Cost and Demand Forecast Updating". *Management Science*; Vol. 45, pp. 1456-1462.
66. Hadley, G. y Whitin, T. M. (1963). "Analysis of Inventory Systems". Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
67. Haimes, Yacov Y., y Hall, Warren A. (1974). "Multiobjectives in Water Resources Systems Analysis: the Surrogate worth Trade-off Method". *Water Resources Research*; Vol. 10. Num. 4, August, pp. 615-624.
68. 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.
69. 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.
70. Hobbs B. F. (1986). "What Can We Learn From Ex-Periments in Multiobjective Decision Analysis?" *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics SMC*; Vol. 16, pp. 384-394.
71. Hoque, M. A. y Goyal, S. K. (2000). "An Optimal Policy for a Single-Vendor Single-Buyer Integrated Production-Inventory System with Capacity Constraint of the Transport Equipment". *International Journal Production Economics*; Vol. 65, pp. 305-315.
72. Hurink, Johann y Knust, Sigrid (2005). "Tabu Search Algorithms for Job-Shop Problems with a Single Transport Robot". *European Journal of Operational Research*; Vol 162, pp 99-111.

73. Jans, Raf y Degraeve, Zeger (2005). "Modeling Industrial Lot Sizing Problems: A Review". ERIM Report Series Research in, Erasmus Universiteit Rotterdam Management; Publisher: Series/Report no.: ERS-2005-049-LIS; <http://hdl.handle.net/1765/6912>.
74. Jansson, Molina, Axel (2000). "Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión". Ediciones Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago de Chile. ISBN: 956-7359-24-5.
75. Jayaraman, Vaidyanathan (1998). "Transportation, Facility Location and Inventory Issues in Distribution Network Design". International Journal of Operations & Production Management; Vol. 18. Num. 5, pp. 471-494.
76. Jemai, Zied y Karaesmen, Fikri (2005). "Decentralized Inventory Control in a Two-Stage Capacitated Supply Chain". Department of Industrial Engineering Ko_c University 34450, Istanbul TURKEY http://home.ku.edu.tr/~fkaraesmen/pdfpapers/JK_v2_05.pdf.
77. Jiménez S. J. Elías y Hernández, Salvador (2002). "Marco conceptual de la cadena de suministro: Un nuevo enfoque logístico". Instituto Mexicano del Transporte; Publicación Técnica No. 215. ISSN 0188-7297; Querétaro, México (<http://www.imt.mx>).
78. Jiménez, S. J. Elías (2004). "Los factores críticos de éxito de la cadena de suministro". Instituto Mexicano del Transporte; Publicación Técnica No. 237, ISSN 0188-7297; Querétaro, México, (<http://www.imt.mx>).
79. Jiménez, S. J. Elías (2005). "Estado del arte de los modelos matemáticos para la coordinación de inventarios en la cadena de suministro". Publicación Técnica No. 281, ISSN 0188-7297; Querétaro, México, (<http://www.imt.mx>).
80. Jiménez, S. J. Elías (2006a). "Modelos de coordinación de inventarios y su relación con las variables fundamentales de transporte". Publicación Técnica No. 283, ISSN 0188-7297; Querétaro, México, (<http://www.imt.mx>).
81. Jiménez, S. J. Elías (2006b). "Coordinación de inventarios en una cadena de suministro a través de épocas comunes de resurtido bajo una demanda dinámica considerando diversos modos de transporte y diferentes políticas de descuento en los precios de los productos y en las tarifas de transporte". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España. Programa en Gestión de la Cadena de Suministro e Integración Empresarial.
82. Jiménez, S. J. Elías (2006c). "Un análisis del sector automotriz y sus modelos de gestión en el suministro de las autopartes". Publicación Técnica No. 288; ISSN 0188-7297; Querétaro, México, (<http://www.imt.mx>).
83. Johnson, M. Eric y Pyke (1999). "Supply Chain Management". The Tuck School of Business, Dartmouth College, Hanover, NH 03755. 603 (646) 2136.
84. Kelly, Anthony (2003). "Decision Making Using Game Theory: An Introduction for Managers". West Nyack, NY, USA: Cambridge University Press.
85. Khouja, Moutaz (2003). "Optimizing Inventory Decisions in a Multi-Stage Multi-Customer Supply Chain". Transportation Research. Part E, pp. 193-208.
86. Kim, B., Leung, J.M.Y, Park, K. T; Zhang, G, y Lee, S. (2002). "Configuring a manufacturing Firm's Supply Network with Multiple Suppliers". IIE Transactions; Vol. 34 (8), pp. 663-677.
87. Klastorin, T. D, Moinzadeh, Kamran y Son, Joong (2002). "Coordinating Orders in Supply Chains through Price Discounts". Working paper. <http://faculty.washington.edu/kamran/TimingDiscPaper.pdf>.
88. Korhonen, Pekka (1998). "Multiple Objective Programming Support". International Institute for Applied Systems Analysis; INTERIM REPORT IR-98-010 /March, Austria.
89. Korhonen, P. y Halme, M. (1996). "Using Lexicographic Parametric Programming for Searching a Nondominated Set in Multiple Objective Linear Programming". Journal of Multi-Criteria Decision Analysis; Vol. 5. Num. 4, pp. 291-300.

90. Lambert, Emmelhainz, M y Gardner, J (1996). "Developing and Implementing Supply Chain Partnerships". *The International Journal of Logistics Management*; Vol. 7. Num. 2, p. 2.
91. Lambert, Emmelhainz, M y Gardner, J. (1996) "Developing and Implementing Supply Chain Partnerships". *The International Journal of Logistics Management*; Vol. 7. Num. 2.
92. Lamming, Richard (1993). "Beyond Partnership Strategies for Innovation and Lean Supply". Prentice Hall International, UK.
93. Langley, John (1999). "Evolución del concepto de logística", en Christopher, M. "Logística: Aspectos estratégicos". LIMUSA, 1999.
94. 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.
95. 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).
96. 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.
97. Lei, Lei, Wang, Quiang y Fan, Chunxing (2003). "Optimal Business Policies for a Supplier-Transporter-Buyer Channel with a Price-Sensitive Demand". Rutgers Center Operations Research. Research Report RRR-40-2003.
98. Li, Susan X. Huang, Zhimin y Asheley, Allan (1996). "Improving Buyer-Seller System Cooperation through Inventory Control". ELSEVIER; *International Journal Production Economics*; Vol. 43, pp. 37-46.
99. LINDO API User's Manual. Mathworks, Inc.
100. López, Yepes J. A. y Sabater, S. Ramón (1998) "La teoría de los recursos y capacidades de la empresa. una revisión.". Departamento de Organización de Empresas. Universidad de Murcia, España. Página web: <http://www.um.es/fee/documentos/dt2-00.pdf>.
101. Lozano, J. S; Larrañeta y L. Onieva (1991). "Planificación multinivel con limitaciones de capacidad" Dpto. de Organización de Empresas, ETSIIS, Universidad de Sevilla, *Revista QÜESTIÓ*, Vol. 15, núm. 2, pp. 211-229. http://io.us.es/Publicaciones/Art_RN.htm.
102. Lu, L. (1995). "A One Vendor Multi-Buyer Integrated Inventory Model". *European Journal Operational Research*; Vol. 81. Num. 2, pp. 312-322.
103. Maragos, Elias K. y Despotis, Dimitris K. (2003) "Comparing Multiobjective Mathematical Programming Methods in the Light of Data Envelopment Analysis". Department of Informatics, University of Piraeus, Greece.
104. Marglin, S. A. (1967). "Public Investment Criteria". MIT Press, Cambridge, MA.
105. Meca, Ana; Timmer, Judith; García –Jurado, Ignacio; y Borm, Meter (1991) "Inventory Games". *Journal of Economic Literature* Classification Number: C71. 1991 Mathematics Subject Classification Number: 90D12, 90B05.
106. Miettinen, K y Mäkelä, MM. (1999). "Comparative Evaluations of Some Interactive Reference Point Based Methods for Multi-objective Optimization". *Journal of the Operational Research Society*; Vol. 50. pp 949-959.
107. Miettinen, Kaisa (1999) "Nonlinear Multiobjective Optimization ". Kluwer Academic Publishers, Boston.
108. Mishra, Ajay K. (2004). "Selective Discount for Supplier-Buyer Coordination Using Common Replenishment Epochs". *Production, Manufacturing and Logistics. European Journal of Operational Research*; Vol 153, pp. 751-756.

109. Mishra, Ajay K (2004a). "Selective Discount for Supplier–Buyer Coordination Using Common Replenishment Epochs". *European Journal of Operational Research*; vol153, pp. 751–756.
110. 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.
111. Moinzadeh, K., Nahmias, S. "A Continuous Review Model for an Inventory System with Two Supply Modes", *Management Science*; Vol. 34, pp. 761-773.
112. Monahan, J. P. (1984). "A Quantity Discount Pricing Model to Increase Vendor's Profits", *Management Science*; Vol. 30, pp. 720-726.
113. Monarchi D, Kisiel C, y Duckstein L. (1973). "Interactive Multiobjective Programming in Water Resources: A Case Study", *Water Resources Research*; Vol. 9. Num. 4, pp. 837-850.
114. 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.
115. Nahmias, Steven (1999). "Análisis de la producción y las operaciones". CECSA, México.
116. Ortega, R. Isabel (2004). "México, en desventaja por los altos costos logísticos". Nota periodística en el *Economista.com.mx*; 23 de Septiembre.
117. Parks, L. (2001). "Wal-Mart Gets Onboard Early with Collaborative Planning", *Drug Store News*; Vol. 23. Num. 2, p. 14.
118. Pérez Serrano, Maria Gloria (1994). "Investigación cualitativa e interrogantes: Técnicas y Análisis de Datos". La Muralla, Madrid.
119. 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.
120. Polak y Payne (1976). E. Polak and A. N. Payne, "On Multicriteria Optimization". Published as: *Directions in Large Scale Systems*, Y. C. Ho and K. S. Mitter (eds.) Plenum Press, N.Y, pp. 77-94.
121. Qu, Wendy W, Bookbinder, James H. y Iyogun, Paul (1999) "An Integrated Inventory-Transportation System with Modified Periodic Policy for Multiple Products". *European Journal of Operational Research*; Vol. 115, pp. 254-269.
122. Rey, María (2001). "Supply Chain Collaboration". Latin America Logistics Center, Atlanta, GA USA.
123. Reyes y Gaytán (2003). "La coordinación del abastecimiento a través de épocas comunes de resurtido, evaluando dos modos de transporte". Tesis presentada para obtener el grado de Maestro en Ciencias con la Especialidad en Sistemas de Calidad y Productividad. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Toluca.
124. 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.
125. Sen, P. y J. B. Yang, (1998). "Multiple Criteria Decision Support in Engineering Design". Springer, London, New-York.
126. Sethi, S. y Sorger, G. (1991). "A theory of Rolling Horizon Decision Making". *Annals of Operations Research*; Vol. 29, pp. 387-416.
127. Sethi, Suresh T, Yan, Houmin, Zhang, Hanqin, Gallego, Guillermo y Huang, Ying (2005). "Periodic Review Inventory Model with Three Delivery Modes and Forecast Updates". *Journal of Optimization Theory and Applications*. Vol. 124. Num. 1, pp. 137–155.

128. 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.
129. Silver, E. A., Pyke, D. F., Peterson, R. (1998). "Inventory Management and Production Planning and Scheduling". Third Edition. John Wiley & Sons, Inc., New York. 754 pp.
130. Simatupang, T.M. y Sridharan, R. (2002). "The Collaborative Supply Chain". *The International Journal of Logistics Management*; Vol. 13. Num. 1, pp. 15-30.
131. Steuer, R. E. y Choo, E. U. (1983). "An Interactive Weighted Tchebycheff Procedure for Multiple Objective Programming". *Mathematical Programming*; Vol. 26. Num. 1, pp. 326-344.
132. Steuer, Ralph E. (1986) "Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Application". John Wiley & Sons, Inc.
133. Steuer, E. R (2000). "Multiobjective Programming". *Encyclopedia of Operations Research and Management Science*; Gass, Saul y Harris, Carl. (Eds.). Kluwer Academic Publishers.
134. Stewart, T.J. (1992). "A Critical Survey on the Status of Multiple Criteria Decision Making Theory and Practice". *OMEGA*, 20 (5/6), pp. 569-586.
135. 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.
136. Thomas, Douglas J. y Griffin, Paul M. (1996). "Coordinated supply chain management". *European Journal of Operational Research*; Vol. 94, pp. 1-15.
137. Toniolo Staggemeier, Andréa y Clark, Alistair R, Clark (2001). "A Survey of Lot-Sizing and Scheduling Models". 23rd Annual Symposium of the Brazilian Operational Research Society (SOBRAPO) Campos do Jordão, Brazil.
138. Toptal, Ayşgöl (2003). "Generalized Models and Benchmarks for Channel Coordination". Dissertation, Texas A&M University, Doctor of Philosophy.
139. Tyworth, J. E. (1992). "Modeling Transportation-Inventory Trade-Offs in a Stochastic Setting," *Journal of Business Logistics*; Vol. 13. Num. 2, pp. 97-124.
140. van Eijs, M. J. G. (1994). "Multi-Item Inventory Systems with Joint Ordering and Transportation Decisions". *International Journal Production Economics*; Vol. 35, pp. 285-292
141. van Hoesel y Wagelmans, Albert. (1990). "Sensitivity Analysis of the Economic Lot-Sizing Problem". *Econometric Institute, Erasmus University Rotterdam*; Disponible: <https://dspace.mit.edu/bitstream/1721.1/5146/1/OR-238-90.pdf#search=%22van%20hoesel%20and%20wagelmans%201990%22>.
142. Vassilev, Vassil y Narula, Subhash (1993). "A Reference Direction Algorithm for Solving Multiple Objective Integer Linear Programming Problems". *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 44. Num. 12, pp. 1201-1209.
143. Villareal, Bernardo (2005). "Integración y coordinación logística". Universidad de Monterrey. Página web: <http://www.udem.edu.mx/paso/academico/profesorado/101411/logistica/presentaciones/integracion/INTEGRACION.ppt>.
144. Viswanathan, S. y Piplani, Rajesh (2001). "Coordinating Supply Chain Inventories through Common Replenishment Epochs". *European Journal of Operational Research*; Vol. 129, pp. 277-286.
145. Viswanathan, S. (1996). "A New Optimal Algorithm for the Joint Replenishment Problem". *Journal of Operational Research Society*; Vol. 47, pp. 936-944.
146. von Stackelberg, H. (1934). "Marktform und Gleichgewicht". Wien: Verlag von Julius Springer.

147. Wagner, H. y Whitin, T.M. (1958). "Dynamic Version of the Economic Lot Size Model". *Management Science*; Vol. 5. Num. 1, pp. 89-96.
148. Walker, B., Bovet, D. y Martha, J. (2000). "Unlocking the Supply Chain to Build Competitive Advantage". *The International Journal of Logistics Management*; Vol. 11. Num. 2, pp. 1-8.
149. Ward, J. E. y Zhai, X. (2004). "Joint Transportation-and-Inventory Problems in Supply Chains: A Review". Submitted to *Transportation Science*. Página web: <http://www.mgmt.purdue.edu/faculty/lee/Papers/Working%20Papers/JTIP.pdf>.
150. Whittmore, A. S, Saunders, S. C. (1977). "Optimal Inventory under Stochastic Demand with Two Supply Options". *SIAM J. Appl. Math.*; Vol. 32, pp. 293-305.
151. Wierzbicki, A. (1980), "The Use of Reference Objectives in Multiobjective Optimization", in G. Fandel y T. Gal (Eds.), "Multiple Objective Decision Making, Theory and Application". Springer-Verlag, New York.
152. Woo, Y.Y, Hsu, S. L, y 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.
153. Yokohama, Masao y Santos, Daryl (2005). "Discrete Optimization Three-Stage flow-Shop Scheduling with Assembly Operations to Minimize the Weighted Sum of Product Completion Times". *European Journal of Operational Research*; Vol. 161 pp. 754–770.
154. Zadeh, L (1963). "Optimality and Non-Scalar-Valued Performance Criteria". *IEEE Trans Autom Control*; Vol. 8, pp. 59–60.
155. Zeleny, M. (1973) "Compromise Programming". En J. L. Cochrane, M. Zeleny (Eds.): "Multiple Criteria Decision Making"; University of South Carolina Press, Columbia, pp 262-301.
156. Zhang, V. L. (1996). "Ordering Policies for an Inventory System with Three Supply Modes". *Naval Research Logistics*; Vol. 43, pp. 691-708.
157. Zhao, Qiu-Hong, Wangb, Shou-Yang, Laic, K. K. y Xiaa, Guo-Ping (2004). "Model and Algorithm of an Inventory Problem with the Consideration of Transportation Cost". *Computers & Industrial Engineering*; Vol. 46, pp. 389–397.
158. Zionts, S y Wallenius, J (1976). "An Interactive Programmig Method for Solving the Multiple Criteria Problem". *Management Science*; Vol. 22. Num. 6, pp. 652-663.



‡ Certificación ISO 9001:2000 según documento No 0109-2007-AQ-MEX-EMA,
vigente hasta el 24 de octubre de 2009 (www.imt.mx)

CIUDAD DE MÉXICO
Av Nuevo León 210, piso 2
Col Hipódromo Condesa
06100, México, D F
tel (55) 5265 3190
fax (55) 5265 3190 ext 4711

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

www.imt.mx
publicaciones@imt.mx