

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

**Departamento de Organización de Empresas,
Economía Financiera y Contabilidad**



**“COORDINACIÓN DE INVENTARIOS EN UNA CADENA DE SUMINISTRO
A TRAVÉS DE ÉPOCAS COMUNES DE RESURTIDO BAJO DEMANDA
DINÁMICA CONSIDERANDO DIVERSOS MODOS DE TRANSPORTE Y
DIFERENTES POLÍTICAS DE DESCUENTO EN LOS PRECIOS DE LOS
PRODUCTOS Y EN LAS TARIFAS DE TRANSPORTE”**

TESIS DOCTORAL

José Elías Jiménez Sánchez

Directores:

Dr. Juan Gaytán Iniestra

Dr. José Pedro García Sabater

Valencia, 2006

“Coordinación de inventarios en una cadena de suministro a través de
Épocas Comunes de Resurtido bajo demanda dinámica considerando
diversos modos de transporte y diferentes políticas de descuento en
los precios de los productos y en las tarifas de transporte”

Índice

Índice	i
Cuadros	ix
Figuras	xii
Resumen	xix
Resum	xx
Abstract.....	xxi

Capítulo 1 Introducción

1.1 Presentación.....	1
1.2 Preguntas de investigación	3
1.3 Objetivo general	5
1.4 Justificación.....	6
1.5 Alcance	6
1.6 Contexto general de los modelos propuestos	7
1.7 Metodología.....	8
1.8 Esquema general de la tesis	10
Referencias	12

Capítulo 2 Marco teórico conceptual de la coordinación en la cadena de suministro

2.1 Introducción.....	15
2.1.1 Gestión de la cadena de suministro	16
2.1.2 Problemas y barreras de gestión	19
2.1.3 Modelos de gestión de la cadena de suministro	22
2.2 Coordinación de la gestión logística de la cadena de suministro	24
2.2.1 El concepto “Coordinación”	24
2.2.2 Las relaciones de colaboración, como elemento facilitador de la coordinación de la cadena de suministro	27
2.2.3 Integración empresarial, facilitador de la coordinación de los procesos clave en la cadena de suministro	29
2.2.4 Medio ambiente operativo de la coordinación empresarial.....	31
2.2.5 Mecanismos de coordinación empresarial.....	34

2.2.6	Estrategias de coordinación en la cadena de suministro.....	36
2.2.7	Estrategias de coordinación para la gestión de inventarios	40
2.2.7.1	Estrategia de desarrollo conjunto de órdenes (<i>DCO</i>)	41
2.2.7.2	Estrategia “Justo a Tiempo” (<i>JIT: Just in Time</i>)	41
2.2.7.3	Respuesta Rápida (<i>QR: Quick Response</i>)	42
2.2.7.4	Estrategia de Reaprovisionamiento Eficiente (<i>ER: Efficient Replenishment</i>)	43
2.2.7.5	Reaprovisionamiento Continuo (<i>CR: Continuous Replenishment</i>)	45
2.2.7.6	Planeación, Pronóstico y Reabastecimiento Colaborativo (<i>CPFR: Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment</i>) ...	46
2.2.7.7	Inventario Administrado por el Proveedor (<i>VMI: Vendor Managed Inventory</i>).....	47
2.2.7.8	Estrategia “Gestión de la Disponibilidad por el Proveedor” (<i>SMA: Supplier Managed Availability</i>)	49
2.2.7.9	Estrategia “Épocas Comunes de Resurtido” (<i>ECR</i>) (<i>CRE: Common Replenishment Epochs</i>).....	50
2.3	Coordinación de inventarios en la cadena de suministro	50
2.3.1	Sistema jerárquico de inventarios en la cadena de suministro	52
2.3.2	Relevancia de la coordinación cliente-proveedor en el sistema de inventarios	56
2.3.3	Modelos de coordinación centralizada y descentralizada cliente-proveedor	58
2.4	Gestión de Inventarios	61
2.4.1	Problemática y relevancia de los inventarios	61
2.4.2	Los costes relevantes del inventario	63
2.4.3	El modelo básico para la gestión de inventarios.....	65
2.5	Gestión y operación del transporte	69
2.5.1	Importancia del transporte en la cadena de suministro.....	69
2.5.2	Transporte combinado y la importancia de su coordinación.....	72
2.5.3	Los factores relevantes del transporte multimodal	75
2.5.4	Evaluación y selección de las cadenas multimodales de transporte.....	78
2.5.4.1	Análisis del intercambio (<i>trade-off</i>) coste-nivel de servicio entre las alternativas de transporte.....	79
2.5.4.2	Evaluación competitiva de las opciones multimodales de transporte ...	80
2.6	El transporte en la cadena suministro y su influencia en el sistema de los inventarios	81
2.6.1	El sistema de inventario y su relación con el transporte	82

2.6.2	El inventario y los costes del transporte	85
2.6.2.1	El tamaño del pedido y su impacto en el coste de transporte	86
2.6.2.2	Coste de transporte considerando restricciones de capacidad	89
2.6.2.3	Impacto del coste de transporte en el precio de venta según el tipo de <i>Incoterm</i>	93
2.6.2.4	Envíos en “ <i>contenedor completo</i> ” (FCL) contra “ <i>contenedor consolidado</i> ” (LCL) y sus implicaciones en los costes de transporte	95
2.6.2.5	Relación del modo de transporte y la política de pedido.....	97
2.7	Conclusiones.....	99
	Referencias	102

Capítulo 3 Modelos matemáticos para la coordinación de los inventarios: Estado del Arte

3.1	Introducción.....	113
3.2	Generalidades de los modelos de inventarios.....	114
3.3	Planteamiento general del problema de coordinación de inventarios.....	115
3.3.1	Política individual del cliente	116
3.3.2	Política individual del proveedor.....	117
3.3.3	Política conjunta de coordinación cliente-proveedor	118
3.4	Estructuras básicas de los modelos de coordinación de inventarios.....	121
3.4.1	Coordinación entre un proveedor y un cliente.....	121
3.4.2	Coordinación entre un proveedor y múltiples clientes	129
3.4.3	Coordinación entre múltiples proveedores y un cliente	133
3.4.4	Coordinación entre más de dos eslabones de la cadena de suministro.....	134
3.4.5	Características principales de los modelos de coordinación de inventarios.....	136
3.5	Modelos de coordinación de inventarios considerando las variables fundamentales del transporte	138
3.5.1	Coordinación entre un proveedor y un cliente.....	140
3.5.2	Coordinación entre un proveedor y varios clientes	169
3.5.3	Características principales de los modelos de coordinación de inventarios considerando las variables fundamentales del transporte.....	182
3.6	Conclusiones.....	184
3.6.1	Sobre los modelos de coordinación de inventarios	184

3.6.2	Sobre los modelos de inventarios y las variables fundamentales del transporte	187
	Referencias	189

Capítulo 4 El sector de la automoción y su gestión en el suministro de las autopartes

4.1	Introducción.....	193
4.2	Tendencias recientes del sector de la automoción.....	194
4.2.1	Dinámica de los mercados internacionales.....	194
4.2.2	Los factores del mercado que han revolucionado el sector	199
4.2.3	Estrategias de los ensambladores de automóviles	203
4.3	La cadena de suministro del sector de la automoción	206
4.3.1	Estructura y dimensiones de la cadena	207
4.3.2	Proveedores directos o de primer nivel	212
4.3.3	Proveedores indirectos o sub-proveedores (segundo nivel, y subsecuentes)	214
4.3.4	Redefinición de los proveedores y nuevos conceptos	218
4.3.5	El control de la cadena a través de los contratos	219
4.4	Gestión del suministro en el sector de la automoción	221
4.4.1	Relaciones espaciales y el abasto de componentes y autopartes	221
4.4.2	Las relaciones fabricante-proveedor y su efecto en el suministro.....	226
4.4.3	El aprovisionamiento ajustado y el programado	230
4.5	El sector de la automoción en México	238
4.5.1	La industria terminal.....	242
4.5.2	El sector de las autopartes	246
4.5.3	Operatividad del mercado mexicano	253
4.6	Conclusiones.....	257
	Referencias	263

Capítulo 5 Modelos propuestos para la coordinación de inventarios utilizando diversos modos de transporte para el abastecimiento

5.1	Introducción.....	269
5.2	Modelos de referencia para la coordinación de inventarios	272
5.2.1	Modelo de Viswanathan y Piplani (2001)	273
5.2.2	Modelo de Chang y Tsai (2002).....	277
5.2.3	Modelo de Reyes y Gaytán (2003).....	280
5.2.4	Sinopsis de los modelos analizados.....	286

5.3	Fundamentos teóricos	292
5.3.1	Teoría de juegos en el sistema de abastecimiento	293
5.3.1.1	Modelos de Oligopolio	295
5.3.1.2	El modelo de Stackelberg en la gestión de inventarios	296
5.3.2	La producción y el balance de los inventarios.....	298
5.3.3	El algoritmo de Wagner y Whitin.....	301
5.4	Exposición y planteamiento del problema de estudio	303
5.4.1	Visión general del problema.....	304
5.4.2	La cadena de suministro y la cadena de transporte	305
5.4.3	Los costes y las medidas de desempeño.....	306
5.4.4	La coordinación de los inventarios y el uso combinado del transporte en el contexto internacional.....	308
5.4.4.1	<i>Incoterm Ex Work</i> -en fábrica-	310
5.4.4.2	<i>Incoterm DDP (Delivery Duty Paid)</i> –en el local del cliente-	311
5.4.5	El concepto de eficiencia de la combinación modal.....	313
5.4.6	Planteamiento del problema desde el punto de vista multicriterio.....	315
5.5	Formulación de los modelos para la coordinación de inventarios utilizando la estrategia ECR	320
5.5.1	Modelo semántico	321
5.5.2	Formulación matemática de los modelos	323
5.5.2.1	Supuestos	323
5.5.2.2	Notación empleada en la formulación matemática	325
5.5.2.2.1	Parámetros del modelo	326
5.5.2.2.2	Variables de decisión.....	326
5.5.3	Formulación del problema sin coordinación	327
5.5.4	Formulación del problema coordinado en el contexto del <i>Inconterm ExW</i>	329
5.5.5	Modelado de la coordinación “ <i>Épocas Comunes de Resurtido</i> ” (<i>ECR</i>)	331
5.5.6	Formulación del problema coordinado en el contexto del <i>Inconterm DDP</i> ..	333
5.5.7	Tipificación de los modelos propuestos	336
5.6	Conclusiones	338
	Referencias	341
 Capítulo 6 Elección del método de solución de problemas multiobjetivo y diseño del esquema de modelado		
6.1	Introducción.....	345
6.2	Conceptos fundamentales	346

6.2.1	Soluciones no dominadas	348
6.2.2	Propiedades de la relación de dominancia.....	350
6.2.3	Definición del conjunto no dominado	351
6.2.4	Eficiencia.....	352
6.2.5	Definición del óptimo Pareto y su frontera	353
6.2.6	Intercambios (<i>Trade off</i>).....	354
6.2.7	Objetivos sin conflicto.....	354
6.2.8	Vector débilmente no dominado	355
6.2.9	Vector ideal de los objetivos	355
6.2.10	Vector objetivo utópico	357
6.2.11	La matriz de pagos.....	358
6.2.12	Otras definiciones relevantes.....	359
6.2.13	Métodos de solución en la programación multiobjetivo	360
6.2.14	Generación de soluciones no dominadas.....	360
6.2.15	Función lineal escalada.....	361
6.2.16	Función escalada tipo Tchebycheff	361
6.3	Clasificación de métodos de solución de problemas multiobjetivo	363
6.3.1	Técnicas que requieren "a priori" una definición de las preferencias por parte del tomador de decisiones.....	365
6.3.1.1	Método de la función de valor (utilidad).....	365
6.3.1.2	Método de orden lexicográfico.....	366
6.3.1.3	Programación por metas (Charnes y Cooper, 1961)	367
6.3.1.4	Programación por metas lexicográficas.....	368
6.3.1.5	Método de los intercambios de valor y las tasas marginales de sustitución (<i>SWT, Surrogate Worth Trade-off</i>)	369
6.3.1.6	Conclusión final sobre esta clase de métodos	370
6.3.2	Técnicas que requieren "a posteriori" una definición progresiva de las preferencias por parte del centro decisor.....	371
6.3.2.1	Método de los pesos (Zadeh, 1963).....	371
6.3.2.2	Método de las restricciones	373
6.3.2.3	Método del criterio global (Zeleny, 1973).....	375
6.3.2.4	Conclusión general de estos métodos	377
6.3.3	Técnicas que requieren una definición progresiva de las preferencias por parte del tomador de decisiones.....	377
6.3.3.1	Método STEP o STEM (Benayoun, de Montgolfier, Tergny y Larichev, 1971)	378

6.3.3.2	Método de Geoffrion (GDF) (Geoffrion-Dyer-Feinberg, 1972).....	380
6.3.3.3	Método Z-W (Zionts-Wallenius, 1976).....	383
6.3.3.4	Método SEMOPS (<i>Sequential Multiobjective Problem Solving</i>).....	385
6.3.3.5	Método de intercambio del valor de las sustituciones (ISWT) (Chankong y Haimes, 1978 y 1983).....	386
6.3.3.6	Método interactivo de Thebycheff (Steuer y Choo, 1986).....	388
6.3.3.7	Método de Dirección de Referencia para problemas de programación múltiples objetivos lineal entero (MOILP). (Vassilev y Narula, 1993).....	390
6.3.3.8	Método NIMBUS (<i>Nondifferentiable Interactive Multiobjective Burdel-based optimization System</i>). (Miettinen y Mäkelä, 1996).....	393
6.4	Perfil del algoritmo general de los métodos de solución de MOLP.....	395
6.5	Selección del método de solución multiobjetivo.....	397
6.5.1	Criterios de selección	398
6.5.2	Elección del método	399
6.6	Metodología para la solución de los modelos propuestos	401
6.7	Conclusiones.....	402
	Referencias	404

Capítulo 7 Aplicación de los modelos propuestos a una empresa del sector de las autopartes: Análisis numérico

7.1	Introducción.....	407
7.2	Marco empírico	408
7.2.1	La empresa proveedora.....	408
7.2.1.1	Los productos	410
7.2.1.2	Autopartes para la suspensión: rótulas y estabilizadores.....	410
7.2.1.3	Autopartes para la suspensión: mazas	411
7.2.2	Servicios Logísticos proporcionados por el Operador Logístico, SA (OLSA)	411
7.2.2.1	Características de los flujos de abasto	412
7.2.2.2	El proceso de adquisición del cliente (proveedor de primer nivel)	413
7.2.2.3	Flujos de abasto en el mercado internacional y doméstico	413
7.2.2.4	Términos del comercio internacional (<i>Incoterms</i>)	415
7.2.3	Empresa cliente bajo estudio	415

7.2.3.1	Productos seleccionados y demanda anual	415
7.2.3.2	Costes por ordenar y de almacenamiento	416
7.2.3.3	Costes y modos de transporte utilizados	418
7.2.3.4	Distancia y tiempo de entrega	420
7.2.3.5	Coste de inventario en tránsito	420
7.2.4	Parámetros de los modelos	422
7.3	Diseño de la experimentación	425
7.3.1	Descripción de los escenarios de evaluación.....	427
7.3.2	Medidas de desempeño para evaluar los beneficios de la estrategia ECR	430
7.4	Análisis operativo de los modelos y comparación de las fronteras Pareto.....	431
7.4.1	Análisis operativo del modelo y frontera Pareto. Escenario 0	432
7.4.2	Análisis operativo del modelo y frontera Pareto. Escenario 1	435
7.4.3	Análisis operativo del modelo y frontera Pareto. Escenario 2	438
7.4.4	Análisis operativo del modelo y frontera Pareto. Escenario 3	440
7.4.5	Análisis operativo del modelo y frontera Pareto. Escenario 4	442
7.4.6	Análisis operativo del modelo y frontera Pareto. Escenario 5	444
7.4.7	Análisis operativo del modelo y frontera Pareto. Escenario 6	446
7.5	Análisis de las soluciones no dominadas en torno a los beneficios logrados con la estrategia ECR	449
7.5.1	Alternativas no dominadas. Escenario 1.....	449
7.5.2	Alternativas no dominadas. Escenario 2.....	459
7.5.3	Alternativas no dominadas. Escenario 3.....	467
7.5.4	Alternativas no dominadas. Escenario 4.....	474
7.5.5	Alternativas no dominadas. Escenario 5.....	484
7.5.6	Alternativas no dominadas. Escenario 6.....	489
7.6	Uso combinado y costes del transporte por tipo de <i>Incoterm</i>	493
7.7	Soluciones no dominadas creadas con el método interactivo de Vassilev y Narula.....	498
7.7.1	Operativa del método interactivo para encontrar soluciones no dominadas	498
7.7.2	Soluciones no dominadas reveladas con el método interactivo en el contexto del <i>Incoterm</i> ExW	500
7.7.3	Soluciones no dominadas reveladas con el método interactivo en el contexto del <i>Incoterm</i> DDP	501
7.8	Conclusiones.....	502
	Referencias	504

Capítulo 8 Conclusiones y líneas de futuro de investigación

8.1	Introducción.....	507
8.2	Conclusiones sobre el problema de la coordinación de los inventarios	507
8.3	Conclusiones acerca de las preguntas de investigación o hipótesis	510
8.3.1	Pregunta de investigación 1	510
8.3.2	Pregunta de investigación 2.....	512
8.3.3	Pregunta de investigación 3.....	513
8.3.4	Pregunta de investigación 4.....	514
8.4	Implicaciones para la teoría.....	514
8.5	Implicaciones para las políticas y prácticas.....	515
8.6	Limitaciones	516
8.7	Líneas futuras de investigación	517
	Referencias	518

Cuadros

Cuadro 2.1	Problemas de gestión de la cadena de suministro a nivel estratégico	20
Cuadro 2.2	Problemas de gestión de la cadena de suministro a nivel táctico.....	21
Cuadro 2.3	Problemas de gestión de la cadena de suministro a nivel operativo	22
Cuadro 2.4	Costes relevantes con acuerdo típico y bajo una política de abasto a consignación	48
Cuadro 2.5	Elección y evaluación de rutas multimodales no dominadas	81
Cuadro 2.6	Costes de transporte por tipo de <i>Incoterm</i>	94
Cuadro 2.7	Impacto en el precio de las mercancías por tipo de <i>Incoterm</i>	95
Cuadro 3.1	Características principales de los modelos de coordinación de inventarios.....	137
Cuadro 3.2	Características principales de los modelos de coordinación de inventarios considerando las variables fundamentales del transporte.....	183
Cuadro 4.1	Participación porcentual en la producción mundial de automóviles en los países seleccionados	196
Cuadro 4.2	Ventas mundiales de automóviles por región (miles de unidades).....	197
Cuadro 4.3	Participación mundial de las ventas anuales de automóviles para los países seleccionados	198
Cuadro 4.4	Industria Terminal en México	242

Cuadro 4.5	Participación de México en la exportación mundial de autopartes	250
Cuadro 4.6	Valor de la producción en la industria autopartes por clase de actividad para automóviles y camiones	252
Cuadro 4.7	Apoyos que reciben los proveedores del segundo nivel de los del primero	254
Cuadro 5.1	Resumen de las características de los modelos de referencia.....	292
Cuadro 5.2	Características de los modelos propuestos	338
Cuadro 5.3	Comparación de las características de los modelos de referencia y los modelos propuestos.....	339
Cuadro 7.1	Precio y demanda anual de los productos seleccionados para el estudio.....	416
Cuadro 7.2	Coste por ordenar	417
Cuadro 7.3	Coste unitario de almacenamiento por tipo de producto	418
Cuadro 7.4	Porcentaje del coste logístico de transporte y coste promedio de transporte por componente movilizado entre México y Alemania	419
Cuadro 7.5	Tiempo de viaje y velocidad de entrega como atributo principal del nivel de servicio del transporte.....	420
Cuadro 7.6	Coste unitario de inventario en tránsito para los productos seleccionados	421
Cuadro 7.7	Parámetros del modelo	422
Cuadro 7.8	Demanda del cliente por tipo de componente o producto seleccionado (en miles)	423
Cuadro 7.9	Características de los datos de la demanda.....	423
Cuadro 7.10	Coste de compra o adquisición.....	424
Cuadro 7.11	Dimensiones del problema y tiempo de ejecución	425
Cuadro 7.12	Costes totales de transporte	426
Cuadro 7.13	Resumen de comparación de los escenarios propuestos	429
Cuadro 7.14	Costes del cliente-proveedor no coordinados (Soluciones no dominadas).....	433
Cuadro 7.15	Estructura de costes del cliente no coordinado.....	434
Cuadro 7.16	Costes del cliente coordinado en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 1: Soluciones no dominadas)	450
Cuadro 7.17	Descuento total en el precio de los productos (Escenario 1: valor de las z_{ij})	451
Cuadro 7.18	Ahorros o pérdidas del cliente en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 1)	452

Cuadro 7.19	Costes del proveedor coordinado en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 1)	453
Cuadro 7.20	Ahorros o pérdidas del proveedor en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 1)	455
Cuadro 7.21	Ahorros y pérdidas del sistema y nivel de servicio del transporte en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 1).....	456
Cuadro 7.22	Ahorros o pérdidas del cliente en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 2)	460
Cuadro 7.23	Estructura de costes del cliente no coordinado (Escenario 2)	461
Cuadro 7.24	Estructura de costes del cliente coordinado en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 2)	462
Cuadro 7.25	Ahorros o pérdidas del proveedor en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 2)	463
Cuadro 7.26	Coste total del sistema coordinado y nivel de servicio del transporte en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 2).....	465
Cuadro 7.27	Ahorros y pérdidas del sistema y nivel de servicio del transporte	468
Cuadro 7.28	Costes del cliente bajo el <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 3)	471
Cuadro 7.29	Ahorros o pérdidas del proveedor (Escenario 3).....	472
Cuadro 7.30	Estructura de costes del cliente coordinado (Escenario 3)	473
Cuadro 7.31	Costes del proveedor en el contexto del <i>Incoterm DDP</i> (Escenario 4)	475
Cuadro 7.32	Descuento total en el precio de los productos en el contexto del <i>Incoterm DDP</i> (Escenario 4).....	476
Cuadro 7.33	Ahorros o pérdidas del cliente bajo el <i>Incoterm DDP</i> (Escenario 4)	478
Cuadro 7.34	Estructura de costes del cliente (Escenario 4)	479
Cuadro 7.35	Ahorros y pérdidas del proveedor bajo el <i>Incoterm DDP</i> (Escenario 4)	480
Cuadro 7.36	Coste total del sistema coordinado y nivel de servicio del transporte (Escenario 4).....	482
Cuadro 7.37	Coste total del sistema y nivel de servicio del transporte (Escenario 5).....	485
Cuadro 7.38	Ahorros o pérdidas de cliente (Escenario 5).....	487
Cuadro 7.39	Estructura de costes del cliente (Escenario 5)	488
Cuadro 7.40	Ahorros o pérdidas del proveedor (Escenario 5).....	489
Cuadro 7.41	Coste total del sistema y nivel de servicio del transporte (Escenario 6).....	490
Cuadro 7.42	Ahorro o pérdidas del cliente (Escenario 6)	491
Cuadro 7.43	Ahorros o pérdidas del proveedor (Escenario 6).....	492

Cuadro 7.44 Coste y nivel de servicio del transporte por tipo de <i>Incoterm</i> (Escenario 6).....	494
--	-----

Figuras

Figura 1.1 Marco metodológico para el desarrollo de la propuesta de investigación.....	9
Figura 2.1 Relación de los modelos de gestión en la cadena de suministro	23
Figura 2.2 Taxonomía de la coordinación	26
Figura 2.3 Factores de colaboración e integración empresarial.....	28
Figura 2.4 Proceso típico de reaprovisionamiento eficiente entre proveedor y cliente	44
Figura 2.5 Estrategias <i>VMI</i> y <i>SMA</i>	50
Figura 2.6 Características principales de la estrategia “ <i>Épocas Comunes de Resurtido</i> ”.....	51
Figura 2.7 Tipos de inventario	53
Figura 2.8 Ejemplo de configuraciones de cadena de suministro multi-eslabón.....	54
Figura 2.9 Segmento de estudio de la cadena de suministro	56
Figura 2.10 Disponibilidad de inventario con demanda constante	66
Figura 2.11 Nivel de inventario versus frecuencia de ordenar	67
Figura 2.12 Inventario anual y costes por ordenar como una función del tamaño del pedido.....	68
Figura 2.13 Relación del transporte y el inventario en las etapas de abastecimiento y distribución	71
Figura 2.14 Alternativa unimodal	76
Figura 2.15 Transporte combinado Autotransporte-Ferrocarril.....	76
Figura 2.16 Transporte Combinado Autotransporte-Ferrocarril-Marítimo	76
Figura 2.17 Transporte multimodal desde el origen hasta el destino.....	76
Figura 2.18 Óptimo de Pareto para la elección de rutas multimodales de carga	79
Figura 2.19 Relación del tamaño del envío y su coste de transporte	87
Figura 2.20 Punto de equilibrio de los costes de transporte.....	87
Figura 2.21 Esquema 1. Incorporación del coste de transporte al precio de compra	89
Figura 2.22 Esquema 2. Incorporación del coste de transporte al precio de compra	90
Figura 2.23 Esquema 3. Incorporación del coste de transporte al precio de compra	90
Figura 2.24 Punto de inflexión del ratio de los costes FCL y LCL	96
Figura 2.25 Efecto en el coste de transporte por una mejora en el sistema de consolidación de carga	97

Figura 2.26	Relación entre el tamaño del pedido y su coste por diferentes modos de transporte.....	98
Figura 2.27	Costes totales de transporte y de inventario en tránsito.....	99
Figura 3.1	Tipos de modelos de inventario.....	114
Figura 3.2	Ciclo del inventario conjunto cliente-proveedor	118
Figura 3.3	Funciones de coste.....	119
Figura 3.4	Cadena de suministro proveedor-transportista-cliente	147
Figura 3.5	Costes de abasto y entrega.....	165
Figura 4.1	Producción de automóviles y ventas en los Estados Unidos	195
Figura 4.2	Cambio de paradigma.....	203
Figura 4.3	Complejidad de la cadena de suministro del sector automoción.....	207
Figura 4.4	Cadena de suministro del sector de la automoción.....	211
Figura 4.5	Posición de la compañía de segundo nivel en la cadena de suministro	215
Figura 4.6	Involucramiento del proveedor en el proceso de ensamble.....	234
Figura 4.7	La combinación del suministro <i>justo a tiempo</i> y el programado	236
Figura 4.8	PIB del sector de la automoción, 2004.....	241
Figura 4.9	Empleo directo en el sector automotriz	241
Figura 4.10	Principales ensambladoras de vehículos en México.....	243
Figura 4.11	Volumen de la producción de automóviles por empresa y marca	243
Figura 4.12	Variación porcentual de la producción de automóviles por mercado	244
Figura 4.13	Índice del volumen físico del valor agregado bruto del sector de la automoción según rama de actividad	245
Figura 4.14	Distribución geográfica de las empresas de autopartes	246
Figura 4.15	PIB del sector de las autopartes.....	247
Figura 4.16	Participación anual del PIB de las autopartes respecto al PIB manufacturero.....	248
Figura 4.17	Exportación anual de vehículos y autopartes	249
Figura 4.18	Destino de las exportaciones de autopartes	251
Figura 4.19	Pirámide del sector de la automoción mexicana	255
Figura 5.1	Marco metodológico para el desarrollo de la propuesta.....	271
Figura 5.2	Red del problema del tamaño de lote	302
Figura 5.3	Términos generales en el contexto ExW	310

Figura 5.4	<i>Incoterm DDP (Delivery Duty Paid)</i>	311
Figura 5.5	<i>Incoterms</i> que pueden ser modelados	312
Figura 5.6	Ejemplo del cambio en el precio de un producto según el tipo de <i>Incoterm</i>	312
Figura 5.7	Función del trabajo de transporte	315
Figura 5.8	Esquema de interrelación de los criterios coste y nivel de servicio del transporte y su impacto en los costes del cliente	318
Figura 5.9	Modelo semántico: estructura básica de la cadena de suministro modelada para un período t dado	321
Figura 5.10	Tiempo de ciclo y decisiones de ordenar.....	324
Figura 5.11	Pedidos lanzados en $t-m$ períodos antes	324
Figura 6.1	Representación del espacio de las decisiones y de los objetivos	347
Figura 6.2	Una población de cinco soluciones	350
Figura 6.3	Definición del conjunto no dominado N	352
Figura 6.4	Frontera Pareto	353
Figura 6.5	Resultado de objetivos sin conflicto.....	355
Figura 6.6	Espacio de los objetivos: punto ideal para el caso de maximización.....	356
Figura 6.7	Espacio de los objetivos: vector utópico para el caso de maximización.....	357
Figura 6.8	Matriz de pagos	358
Figura 6.9	Proyección del punto de nivel de aspiración factible o infactible	363
Figura 6.10	Método de los pesos con problemas convexos y no convexos	372
Figura 6.11	Diferentes cotas superiores en el método de las restricciones.....	375
Figura 6.12	Diferentes métricas	377
Figura 6.13	Diagrama de flujo del método STEP	379
Figura 6.14	Diagrama de flujo del método GDF	382
Figura 6.15	Método interactivo Z-W	384
Figura 6.16	Problema lexicográfico de los pesos Tchebycheff	389
Figura 6.17	Diagrama de flujo del algoritmo NIMBUS	395
Figura 6.18	Perfil del algoritmo general	397
Figura 6.19	Árbol de decisión para seleccionar la técnica de solución de problemas multiobjetivo	400

Figura 6.20	Metodología para la solución del modelo.....	402
Figura 7.1	Flujos típicos del suministro internacional de autopartes en el sector del automóvil de la empresa bajo estudio	414
Figura 7.2	Variabilidad de la desmanda	424
Figura 7.3	Estructura de costes del cliente (no coordinado) con énfasis en el coste (Escenario 0).....	433
Figura 7.4	Soluciones no dominadas del cliente sin coordinación	435
Figura 7.5	Frontera eficiente del cliente (Escenario 1) (No coordinado con énfasis en el coste).....	436
Figura 7.6	Frontera eficiente del proveedor (Escenario 1) (No coordinado con énfasis en el coste).....	436
Figura 7.7	Frontera eficiente del sistema (Escenario 1) (No coordinado con énfasis en el coste).....	437
Figura 7.8	Frontera eficiente del cliente (Escenario 2) (No coordinado considerando ambos criterios).....	438
Figura 7.9	Frontera eficiente del proveedor (Escenario 2) (No coordinado considerando ambos criterios).....	439
Figura 7.10	Frontera eficiente del sistema (Escenario 2) (No coordinado considerando ambos criterios).....	440
Figura 7.11	Frontera eficiente del cliente (Escenario 3) (No coordinado con énfasis en el nivel de servicio de transporte)	440
Figura 7.12	Frontera eficiente del proveedor (Escenario 3) (No coordinado con énfasis en el nivel de servicio de transporte)	441
Figura 7.13	Frontera eficiente del sistema (Escenario 3) (No coordinado con énfasis en el nivel de servicio de transporte)	442
Figura 7.14	Frontera eficiente del cliente (Escenario 4) (No coordinado con énfasis en el coste).....	443
Figura 7.15	Frontera eficiente del proveedor (Escenario 4) (No coordinado con énfasis en coste).....	443
Figura 7.16	Frontera eficiente del sistema (Escenario 4) (No coordinado con énfasis en coste).....	444
Figura 7.17	Frontera eficiente del cliente (Escenario 5) (No coordinado considerando ambos criterios).....	445
Figura 7.18	Frontera eficiente del proveedor (Escenario 5) (No coordinado considerando ambos criterios).....	445
Figura 7.19	Frontera eficiente del sistema (Escenario 5) (No coordinado considerando ambos criterios).....	446

Figura 7.20	Frontera eficiente del cliente (Escenario 6) (No coordinado con énfasis en el nivel de servicio de transporte)	447
Figura 7.21	Frontera eficiente del proveedor (Escenario 6) (No coordinado con énfasis en el nivel de servicio de transporte)	448
Figura 7.22	Frontera eficiente del sistema (Escenario 6) (No coordinado con énfasis en el nivel de servicio de transporte)	448
Figura 7.23	Tasa de descuento en el precio de los productos (<i>Incoterm ExW</i>)	450
Figura 7.24	Pérdidas del cliente en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 1)	453
Figura 7.25	Soluciones no dominadas del proveedor coordinado en el contexto del <i>Incoterm ExW</i>	454
Figura 7.26	Ahorros o pérdidas del proveedor en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 1)	454
Figura 7.27	Coste total del sistema en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 1)	455
Figura 7.28	Ahorros o pérdidas del sistema en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 1)	456
Figura 7.29	Nivel de servicio del transporte en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 1)	457
Figura 7.30	Índice de nivel de servicio del transporte con relación al coste (Escenario 1).....	457
Figura 7.31	Estructura de costes del cliente coordinado (Escenario 1)	458
Figura 7.32	Estructura de costes del proveedor coordinado (Escenario 1).....	458
Figura 7.33	Pérdidas del cliente en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 2).....	459
Figura 7.34	Ahorros o pérdidas del proveedor en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 2)	463
Figura 7.35	Coste total del sistema en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 2)	466
Figura 7.36	Ahorros o pérdidas del sistema en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 2)	464
Figura 7.37	Nivel de servicio del transporte en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 2)	466
Figura 7.38	Índice de nivel de servicio del transporte con relación al coste	466
Figura 7.39	Estructura de costes del cliente (sin coordinación)	467

Figura 7.40	Coste total del sistema en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 3)	468
Figura 7.41	Ahorros del sistema en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 3)	469
Figura 7.42	Nivel de servicio del transporte bajo el <i>Incoterm ExW</i>	469
Figura 7.43	Índice de nivel de servicio del transporte con relación al coste	470
Figura 7.44	Ahorro del cliente en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 3)	470
Figura 7.45	Ahorros y pérdidas del proveedor en el contexto del <i>Incoterm ExW</i> (Escenario 3)	472
Figura 7.46	Estructura de costes del proveedor coordinado en el contexto del <i>Incoterm ExW</i>	474
Figura 7.47	Tasa de descuento en el precio de los productos (<i>Incoterm DDP</i>).....	476
Figura 7.48	Comportamiento de la tasa de descuento en la tarifa de transporte	477
Figura 7.49	Ahorros del cliente	478
Figura 7.50	Ahorros y pérdidas del proveedor	479
Figura 7.51	Soluciones no dominadas del proveedor coordinado bajo el <i>Incoterm DDP</i> (Incluye costes de transporte y descuento en las tarifas).....	481
Figura 7.52	Soluciones no dominadas del proveedor coordinado bajo el <i>Incoterm DDP</i> (No incluye costes de transporte y descuento en la tarifas)	481
Figura 7.53	Índice de nivel de servicio del transporte con relación al coste	483
Figura 7.54	Nivel de servicio del transporte bajo el <i>Incoterm DDP</i> (Comparación No coordinado variable vs coordinado variable).....	483
Figura 7.55	Ahorros del sistema	484
Figura 7.56	Coste total del sistema (miles).....	485
Figura 7.57	Índice de nivel de servicio del transporte	486
Figura 7.58	Ahorros del sistema	490
Figura 7.59	Nivel de servicio del transporte	493
Figura 7.60	Índice de nivel de servicio del transporte	493
Figura 7.61	Costes de transporte por tipo de término de negociación.....	494
Figura 7.62	Reparto modal de la carga para un proceso no coordinado.....	495
Figura 7.63	Asignación de la carga al modo más rápido otorgando mayor énfasis al nivel de servicio.....	496
Figura 7.64	Reparto modal de la carga para un proceso coordinado ExW.....	496

Figura 7.65	Tamaño de la orden por tipo de negociación.....	497
Figura 7.66	Reparto modal de la carga para un proceso coordinado DDP.....	497
Figura 7.67	Frontera Pareto que contiene las soluciones no dominadas	499
Figura 7.68	Soluciones no dominadas en el contexto ExW generadas con el método de Vassilev y Narula	500
Figura 7.69	Soluciones no dominadas en el contexto DDP generadas con el método de Vassilev y Narula	501