

Taxonomía para la clasificación de los Modelos Analíticos Deterministas para la Planificación Colaborativa de Redes de Suministro / Distribución (RdS/D). Modelos basados en PLC y PEM *

**David Pérez Perales¹, Faustino Alarcón Valero², Maria del Mar Alemany Díaz³,
Francisco-Cruz Lario Esteban⁴**

¹ Dpto. de Admón. de Empresas, Economía Financiera y Contabilidad. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia. dapepe@omp.upv.es

² Dpto. de Admón. de Empresas, Economía Financiera y Contabilidad. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia. faualva@omp.upv.es

³ Dpto. de Admón. de Empresas, Economía Financiera y Contabilidad. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia. mareva@omp.upv.es

⁴ Dpto. de Admón. de Empresas, Economía Financiera y Contabilidad. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia. fclario@omp.upv.es

Resumen

En esta comunicación se presenta una Metodología para realizar un análisis estructurado de la bibliografía acerca de la utilización de Modelos Analíticos Deterministas (sólo los Modelos lineales, fundamentalmente de PLC y PEM) para el Proceso de Negocio de la Planificación Colaborativa en Redes de Suministro / Distribución. Sólo se detallarán los dos últimos pasos de dicha Metodología, correspondientes a la propuesta de una taxonomía de clasificación y la posterior inclusión de los diferentes Modelos analizados.

Palabras clave: Planificación Colaborativa, Modelos Analíticos Deterministas

1. Introducción

Los Modelos Analíticos Deterministas pueden servir de Ayuda a la Toma de Decisiones para la Planificación Colaborativa de Redes de Suministro/Distribución (MAD para la PC de RdS/D). Esta comunicación tiene como objetivo analizar el Estado del Arte de los mismos, a partir de una taxonomía propuesta para su clasificación, puesto que algunas de las taxonomías que algunos autores habían propuesto, no contemplaban algunos de los múltiples casos analizados. A continuación se explicita cuál ha sido la Metodología que se ha utilizado para un análisis estructurado de la bibliografía.

2. Metodología para el Análisis de la Bibliografía

Para realizar un análisis estructurado de la bibliografía se realizaron los siguientes pasos:

* Este trabajo se deriva de la participación de sus autores en un proyecto de investigación Feder-Cicyt titulado RdS-2V.RDSINC "De la Planificación a la Ejecución en la Cadena (Red) de Suministro. Dos visiones diferentes y sus herramientas".

Primeramente se determinó con precisión cual era el ámbito en el cuál se iba a realizar dicho análisis, clarificando los términos Planificación Colaborativa y Modelos Analíticos Deterministas.

En segundo lugar se analizaron múltiples propuestas de otros autores en las que se justifica la utilización y en algunos casos se clasifican los Modelos Analíticos Deterministas para la Planificación Colaborativa de Redes de Suministro/Distribución (MAD para la PC de RdS/D).

En tercer lugar se analizaron un número importante de MAD concretos para la PC de RdS/D (algunos ya analizados en el apartado anterior).

Posteriormente, en cuarto lugar, se observó, que para una mejor clasificación, convenía realizar una Propuesta propia, pues muchos de los MAD no eran fácilmente clasificables.

Finalmente se clasificaron y explicaron brevemente los diferentes artículos analizados inicialmente aparte de otros que también lo fueron posteriormente, algunos de los cuáles hicieron que se redefinieran algunos aspectos de la Propuesta.

3. Propuesta para la Clasificación de los MAD para la PC

Una vez llevados a cabo los tres primeros pasos de la Metodología, los cuales no se explicitan en la presente comunicación, se procedió en cuarto lugar a elaborar una Propuesta propia que sirviera de marco para una mejor clasificación de todos los MAD analizados y todos los que se analizarían posteriormente. Dicha Propuesta incluía los siguientes atributos:

- Nivel de Gestión: si el problema de PC de la RdS/D se sitúa a un Nivel Táctico (distinguiendo entre Táctico a Medio Plazo o a Nivel de Plan Maestro de la RdS/D y Táctico a Corto Plazo o a Nivel de Plan Maestro de un nodo de una etapa de la RdS/D), ó a un Nivel Operativo o si se considera también la integración temporal de algunos de los Niveles.
- Aspectos Físicos: si el problema de PC se establece entre una o más etapas de la RdS/D, distinguiendo entre el caso Unietapa, Bietapa y Multietapa (cuando la integración se establece entre dos o más etapas).
- Aspectos Legales: si el problema de PC se origina entre nodos pertenecientes a una única Organización o como si de ella se tratara (ya sean de una única etapa o de varias) o bien se origina entre nodos pertenecientes a diferentes Organizaciones (Rudberg y Olhager 2003).
- Toma de Decisiones: si el problema de PC lo realiza un único decisor de forma Centralizada o si bien intervienen varios decisores y se realiza de forma Descentralizada. En algunos casos se consideran ambos.
- Información Compartida: si en el problema de PC los diferentes nodos facilitan toda la información relevante (Información Completa) o si bien por diferentes razones, sólo se facilitan algunos datos pero se esconden otros (Información Limitada).
- Modelo Analítico Determinista (MAD) utilizado: Programación Lineal Continua (PLC), Programación Lineal Entera Mixta (PLEM), Programación basada en Procesos Jerárquicos Analíticos (PJA).

4. Clasificación y Aspectos principales de los MAD analizados

En la Tabla 1 se puede observar dicha clasificación:

Tabla 1. Clasificación de los artículos analizados en base a la Propuesta

Artículos	Nivel de Gestión	Aspectos Físicos	Aspectos Legales	Toma Decisiones	Información Compartida	MAD Utilizado
McDonald M. y Karimi A. (1997)	Tactico (M)	Multietapa	¿?	Centralizada	Completa	PLEM
Ryu J. et al. (2004)	Táctico (M)	Bietapa	Varias Organiz.	Descentralizada	Limitada	PJA
Timpe Ch. y Kallrath J. (2000)	Táctico (M)	Bietapa	¿?	Centralizada	Completa	PLEM
Lin J. y Chen Y. (2004)	Táctico (C)-Operativo	Multietapa	¿?	Centralizada	Completa	PLE
Escudero L. et al. (1999)	Táctico (C)	Multietapa	Varias Organiz.	Centralizada	Completa	PLC
Lavoie C. y Abdunour G. (2003)	Táctico (C)	Unietapa	Varias Organiz.	Centralizada	Completa	PLEM
Jayaraman y V. y Pirkul H. (2001)	Estratégico-Táctico (M)	Multietapa	¿?	Centralizada	Completa	PLEM
Wu S. y Golbasi H. (2004)	Táctico (M)	Unietapa	¿?	Centralizada	Completa	PLEM
Chan F. y Cheng S. (2005)	Táctico (M)-Táctico (C)	Bietapa	¿?	Centralizada	Completa	PJA
Dudek G. y Stadtler H. (2005)	Táctico (C)	Bietapa	Varias Organiz.	Descentralizada	Limitada	PJA*
Duni S. (2002)	Táctico (M)	Unietapa	¿?	Centralizada	Completa	PLEM
Erengüc et al., (1999)	Táctico (M)-Táctico (C)	Bietapa	Varias Organiz.	Centralizada	Completa	PJA
Lei L. et al. (2003)	Táctico (M)	Bietapa	Única Organiz.	Centralizada	Completa	PLEM
Schulz et al. (2005)	Táctico (C)	Multietapa	Varias Organiz.	Centralizada	Completa	PNLEM
Sahin and Robinson, (2005)	Táctico (C)	Bietapa	Varias Organiz.	Centralizada-Descentralizada	Completa-Limitada	PLEM
Lejeune M.A (2004)	Táctico (M)	Multietapa	¿?	Centralizada	Completa*	PLEM*
Park (2005)	Táctico (M)	Bietapa	Varias Organiz.	Centralizada-Descentralizada	Completa-Limitada	PLEM

Además de clasificar cada uno de los artículos analizados en base a la propuesta anterior, se procedió a desarrollar los aspectos principales del MAD utilizado, en concreto, qué tipo de datos, variables de decisión, función objetivo y restricciones incluían, así como en algunos casos, los posibles procedimientos de resolución.

En McDonald y Karimi (1997) se describe un modelo de PLEM multiproducto, multietapa y multiperíodo cuyo objetivo es determinar las fuentes de los recursos limitados de una empresa y la asignación óptima a sus recursos de fabricación para satisfacer las demandas del mercado al mínimo coste. La RdS/D considerada consiste de múltiples plantas de producción, localizadas globalmente, y produciendo múltiples productos. La demanda de esos productos existe para un conjunto de clientes. El horizonte de planificación de medio plazo abarca de 1 a 2 años. Cada una de las plantas de producción se caracteriza por uno o más recursos de producción semi-continua con capacidad limitada. Los diversos productos, que se agrupan en familias de productos, compiten por la capacidad limitada de esos recursos. Este proceso de toma de decisiones puede dividirse en dos fases distintas: la fase de producción y la fase de distribución o logística. La fase de producción se centra en la asignación eficiente de la capacidad de producción en cada una de las plantas de producción con el objetivo de determinar las políticas operativas óptimas. En la fase de distribución, se consideran las actividades de post-producción tales como la satisfacción de la demanda y la gestión de inventarios para satisfacer la demanda. Este modelo asume una estructura determinista en la que la incertidumbre de la demanda es abordada mediante el uso de stocks de seguridad.

Ryu et al. (2004) describen un modelo de PLEM multiproducto, bietapa (fabricantes, distribuidores y consumidores) y multiperíodo de 2 niveles, en el que en el primero se resuelve un problema de producción a nivel de Planta, mientras que en el otro se resuelve un problema de distribución. Se resuelven mediante técnicas de programación paramétrica.

Timpe y Kallrath (2000) describen un modelo de PLEM multiproducto, bietapa (Fabricantes, Puntos de Venta y Consumidores) y multiperíodo. El Modelo considera aspectos relacionados con producción, distribución y marketing, considerando además diferentes escalas de tiempo y períodos de distinta longitud para la producción y para la distribución.

Lin y Chen (2004) describen un modelo de PLE multiproducto, multietapa y multiperíodo. Se trata de un Modelo Monolítico que tiene como objetivo satisfacer las demandas del mercado al mínimo coste y el que se consideran períodos de tiempo de diferente magnitud (diarios y mensuales). Se consideran además restricciones que representan la transformación de los diferentes productos, restricciones de capacidad, de aprovisionamiento de materiales, de balance de inventario, etc.

Escudero et al. (1999) describen un modelo de PLC multiproducto, multietapa y multiperíodo que tiene como objetivo optimizar las actividades de fabricación, montaje y distribución de una RdS/D. El citado modelo incluye entre otros aspectos: múltiples fuentes de demanda, listas de materiales alternativas, piezas de sustitución, fechas efectivas de utilización, restricciones de capacidad y modos diferentes de obtención de componentes (estándar y expeditivo). Se considera también la versión estocástica del mismo. Para resolverlo se utilizan técnicas de computación en paralelo basadas en escenarios.

Lavoie y Abdunour (2003) describen un modelo de PLEM en la que se consideran 4 proveedores (First-Tier Suppliers) y una Fábrica, los cuales intenta coordinarse a Nivel Táctico (Corto Plazo). Se supone pues que el Nivel Táctico (Medio Plazo) ya ha sido cubierto

previamente, ya que se supone que no existen problemas ni con capacidades requeridas por el fabricante ni con los volúmenes-mixes de productos asignados a cada uno de los 4 proveedores. Se trata de un Modelo Multiperíodo que trata de minimizar los costes totales de producción-inventario-distribución. EL modelo incluye un último apartado de Simulación, mediante el cual se ha analizado cómo influye al coste final cambios que afectan a la etapa de distribución. En concreto tres: uno considerando “vehicle routing”, otro con “direct shipping” y otro incluyendo un Centro de Consolidación intermedio.

Javaraman y Pirkul (2001) describen un modelo de PLEM multiproducto, mutietapa (Proveedores, Fabricantes, Distribuidores, Consumidores), y multiperíodo. Trata de minimizar los costes totales, mediante un modelo integrado que tiene en cuenta al mismo tiempo aspectos estratégicos (estrategias de localización de plantas y almacenes) y aspectos tácticos a Medio Plazo (mix de producción asignados a cada Fabricante, envíos de material desde Proveedores a Fabricantes, envíos de productos finales desde las Fabricantes a Clientes finales a través de Distribuidores...). Se plantea una técnica heurística de resolución que utiliza la solución generada a partir de la Relajación Lagrangiana del problema original.

Wu y Golbasi (2004) describen un modelo de Programación multiproducto, unietapa (Fabricantes, Consumidores) y multiperíodo (tradicionalmente conocido como el “Multi-item Single-Stage Multi-Facility lot-sizing problem”). Trata de minimizar los Costes Totales (Producción, Inventario y Transporte). Para resolverlo se utiliza el método de Descomposición Lagrangiana, descomponiendo el problema original en dos subproblemas, uno que tiene en cuenta los recursos limitados y otro que permite dividir el subproblema en varios uni-producto sin restricciones de capacidad ni los costes de transporte. Los multiplicadores Lagrangianos se actualizan en las sucesivas iteraciones mediante el algoritmo “Subgradiente Search”. Por otra parte el algoritmo “Shortest Path” es eficiente para los subproblemas uni-producto.

Chan y Cheng (2005) describen un modelo multiproducto, bietapa (Fabricantes, Distribuidores, Consumidores) y uniperíodo. Trata de minimizar por una parte el Coste Total (Costes de producción, manejo de materiales en los Distribuidores, inventario en Fabricantes y Distribuidores, transporte de dos tipos) y por otra parte el “Lead Time”, la cantidad de demanda que se demora, la suma de todas las demoras, y la desviación absoluta media de las demandas que se demoran. Incide fundamentalmente en ver como las fechas de entrega de pedidos finales influyen a la RdS/D y en concreto a los Planes de Producción de los Fabricantes. Para facilitar la resolución de este problema Multi-objetivo, se utilizan por una parte Procesos Jerárquicos Analíticos descomponiendo el problema inicial en 2 etapas: una para la asignación de demandas a fabricantes y distribuidores, establecimiento de rutas de transporte entre Fabricantes y Distribuidores y entre Distribuidores y Mercado (con posibilidad de hacerlo de manera “lenta” o “rápida”) y otra para la Planificación de la Producción y por otra parte Algoritmos Genéticos: para resolver cada una de las 2 etapas anteriores.

Dudek y Stadtler (2005) describen un problema multiproducto, bietapa (Proveedor, Fabricante ó Vendedor, Consumidores), y multiperíodo. Trata de minimizar los Costes Totales mediante un proceso iterativo de negociación. Al final se llega a un acuerdo en el que ambas partes consiguen más beneficio que si actuaran de forma independiente y descoordinada. Los Planes generados en cada una de la iteraciones se basan en Modelos de PLEM. Pequeñas modificaciones de dichos Modelos permiten evaluar a ambas partes como les afecta los Planes generados por el otro, y posteriormente para lanzar una propuesta. Los resultados que

se obtienen son sustancialmente mejores que los obtenidos en el caso “upstream planning” (caso más descentralizado), sobre todo en lo que se refiere a la Gestión de la Capacidad. Sin embargo, es de destacar de manera positiva que los resultados no difieren excesivamente de los que se lograrían de manera optimizada mediante una Centralización total. Para la resolución se utilizó MS Visual Basic, utilizando el Solver Standard ILOG CPLEX 7.0.

Duni (2002) trata de resolver un problema de Lote Económico multiproducto, unietapa, (Fabricantes y Minoristas) y multiperíodo mediante un Modelo de PLEM. En realidad se trata del típico problema de producción-inventario-distribución en el que se trata de minimizar los costes totales satisfaciendo la demanda de todos los períodos, la cual es originada por los propios Minoristas, que en este caso no soportan inventario. Existen costes fijos y capacidad restringida tanto en producción como en transporte. No se permite el transporte entre fabricantes o entre minoristas. Su resolución es complicada incluso en el caso que fuera uniperíodo y uniproducto. No obstante, se plantea un procedimiento de resolución heurístico que se llama “Dynamic slope scaling (MCDSSP)”. También se plantea un algoritmo basado en la descomposición Lagrangiana que descompone el problema original en dos subproblemas. Uno de ellos puede ser posteriormente descompuesto en problemas de Lote Económico uniproducto, bietapa, multialternativa y multiperíodo que pueden ser resueltos de manera más o menos eficiente con el algoritmo primal-dual.

Erengüç et al. (1999) describen una RdS/D como formada por 3 grandes etapas: aprovisionamiento – producción – distribución. A su vez en cada una de ellas puede haber sub-etapas. Plantea primeramente para la etapa de producción un modelo táctico (C) de PLEM multiproducto, multietapa (con sólo un nodo en cada “subetapa”) y multiperíodo en el que la F. Objetivo trata de minimizar los costes de inventario en cada una de las sub-etapas más los costes de lanzamiento fijos en cada período para cada uno de los productos semielaborados y productos finales. Dicho Modelo sólo contempla inicialmente las restricciones típicas de balance de inventario en cada “subetapa” (con Lead Times). Posteriormente considerará el caso en el que puedan existir más de un nodo en cada “subetapa” y además con restricciones de capacidad, en la que se considerarán también los tiempos de cambio de partida, las horas extras y las horas ociosas. En segundo lugar plantea para la etapa de distribución (que sería lo mismo para la etapa de aprovisionamiento) un modelo táctico (L) de localización / asignación mediante PLEM multiproducto, bietapa (Fabricantes, Distribuidores y Consumidores) y uniperíodo. Se trata de minimizar los costes de transporte totales más los costes fijos (de posibles localizaciones) y variables en los Distribuidores. Todo ello sujeto a restricciones de capacidad máxima de los Fabricantes y de capacidad mínima-máxima para los Distribuidores. También se tiene en cuenta que a los Consumidores sólo se les sirva desde un Distribuidor. También en esta etapa de distribución considera un modelo táctico (C) en el que el Modelo de PLEM se convierte en multiperíodo. Este Modelo, partiría de las asignaciones realizadas en el modelo anterior. De alguna manera se podría considerar como un Proceso Jerárquico Analítico (PJA) puro de arriba abajo (integración vertical o temporal). La F. Objetivo trata de minimizar los costes totales de inventario (sólo en Distribuidores y Consumidores, aunque estos últimos podrían considerarse como minoristas) y de lanzamiento de pedidos en los distintos períodos. Se consideran restricciones de balance de inventario y de capacidad en Fabricantes y Distribuidores. También se apunta la posibilidad de incluir Lead Times (múltiplos de períodos) entre Fabricantes y Distribuidores y entre estos últimos y los Minoristas. No incluye costes de transporte ni costes de fabricación (Lot-Sizing) e inventario de los Fabricantes. En definitiva, se podría decir que se considera la integración temporal entre Nivel Táctico a Medio Plazo y a Corto Plazo (integración temporal), pero no se considera la integración espacial. Respecto a la

resolución de los Modelos, se tienen que utilizar técnicas de relajación y descomposición para llegar a soluciones satisfactorias en tiempos de computación razonables.

Lei et al. (2003) describen un modelo de PLEM que integra decisiones relacionadas con producción, inventario, transporte-distribución (con posibilidad de rutas o consolidación). Es un modelo uniproducción (aunque se puede generalizar para el caso multiproducción añadiendo complejidad a la ya existente en cuanto a la resolución), bietapa (Fabricantes y Distribuidores) y multiperíodo. Se trata de minimizar costes de producción y de inventario en cada uno de los Fabricantes, los costes de transporte (tanto normales como “extras”) y los costes de inventario en los Distribuidores. Se plantean restricciones de balance de inventario, de capacidades mínimas y máximas para la producción, transporte e inventario y también de conservación de flujo e integridad en cada uno de los “viajes” porque en un mismo período un transporte concreto puede realizar varios viajes (tanto directos como permitiéndose la consolidación). Para resolverlo se podría hacer directamente con el Solver general del CPLEX para resolver modelos de PLEM o bien utilizar un procedimiento que se describe basado en descomponer el problema original en 2 subproblemas, uno en el que no se permite la posible consolidación, que se puede resolver en tiempo relativamente rápido con el Solver general del CPLEX y otro que basándose en la solución factible generada por el anterior y su cota superior, realiza una búsqueda eficiente obteniéndose soluciones la mayoría de los casos mejores y además en mucho menos tiempo de computación.

Schulz et al. (2005) describen un modelo de PNLEM multiproducción, multietapa (Proveedores, Fabricantes, Distribuidores) y multiperíodo. Dicho modelo se aplica en una RdS/D de un complejo petroquímico a gran escala. También se tienen en cuenta los distintos modos de entrega de los productos.

Sahin y Robinson (2005) investigan el impacto de “compartir información” y de la “coordinación de los flujos de materiales” en una RdS/D multiproducción, bietapa (un proveedor y un fabricante) y multiperíodo. Se trata de una RDS/D en la que el Proveedor fabrica bajo pedido y por tanto no posee inventario en cada período. Según el grado de información compartida (si se trata de compartir previsiones, u órdenes ya planificadas, o niveles de inventario...) y de coordinación del flujo de materiales (planificación de la capacidad, reaprovisionamiento de materiales, cantidad transportada entre ambos...) se distinguen 5 estrategias diferentes. Estas estrategias van desde el caso más descentralizado (NI/NC) hasta el más centralizado (FI/FC). Para cada una de ellas se plantean Modelos de PLEM más o menos acoplados, cuya resolución permite extraer conclusiones en cuanto a la importancia de dichos factores en lo que se refiere a los Costes. Para cada estrategia se utiliza el concepto de “Rolling Schedule” para simularla y así detectar cuál es la dinámica del sistema. Se concluye que mientras “compartir información” reduce costes, la principal reducción viene de “coordinar los flujos de materiales”. Por otra parte el estudio anima a que las Empresas tiendan a unificar esfuerzos estratégicos y tecnológicos para emprender acciones de coordinación.

Lejeune (2004) describe un modelo Estocástico de PLEM uniproducción, multietapa (Proveedores, Fabricantes, Distribuidores y Consumidores) y multiperíodo. Se ha considerado en este apartado, pues se podría considerar determinista haciendo algunas simplificaciones. Trata de minimizar los Costes Totales a partir de un Nivel de Servicio dado. Permite obtener para cada período la producción en cada Planta, la cantidad enviada desde proveedores a fabricantes y desde los fabricantes a los distribuidores, el inventario requerido en cada uno de los nodos de las distintas etapas, y por último si se necesita o no cierto transportista y qué

ruta/s realizará. Además considera la posibilidad de reservar un período para mantenimiento de los distintos medios de transporte. Dicha RdS/D tiene una demanda estocástica, con una distribución probabilística discreta, considerándose que cuando ésta no se satisface en un período, no se puede satisfacer en períodos posteriores y se pierde. Se propone una Metodología de Resolución en la que se utiliza el lenguaje AMPL y el Solver CPLEX. El procedimiento de solución propuesto intenta mejorar la utilización de los recursos disponibles, reducir los inventarios y minimizar los incumplimientos de fecha de entrega. El algoritmo considera simultáneamente los programas de producción de todas las plantas involucradas y suministra una solución global mejor que la obtenida al optimizar individualmente los programas de producción.

Park (2005) propone primeramente un modelo de PLEM multiproducto, bietapa (fabricantes y distribuidores-minoristas) y multiperíodo que integra las decisiones de producción y distribución. Posteriormente desacopla el Modelo integrado original, resolviendo primero un Modelo de PLEM ligado a producción y luego a partir de las restricciones impuestas por éste, otro Modelo de PLEM ligado a la Distribución. El objetivo es maximizar las ganancias, sabiendo los ingresos de cada producto y los costes totales, los cuales consideran costes de set-up y variables de producción, de inventario en fábricas y distribuidores-minoristas, fijos y variables de transporte y finalmente de roturas de stock. Se desarrolla una heurística que resuelve el caso integrado y el desacoplado, demostrándose las mejoras del primero respecto del segundo.

4. Conclusiones

Primeramente destacar que aunque la mayoría de artículos analizados tratan directamente de modelizar, y en su caso, resolver, problemas ligados a la Planificación Colaborativa (Niveles Táctico y Operativo), existen algunos que incluyen un primer Nivel Estratégico, propio del Diseño inicial de la RdS/D, conjuntamente con un segundo nivel Táctico, jerárquicamente inferior (Javaraman y Pirkul, 2001)

Además ha sido interesante considerar en la clasificación cómo es físicamente la RdS/D, distinguiendo entre el caso Unietapa, Bietapa y Multietapa. Cuando se trata de abordar el problema de la Planificación Colaborativa, se considera muchas veces la RdS/D como compuesta únicamente de 2 etapas, incluso la mayoría de veces, con un solo nodo en cada una de ellas, por ejemplo la planificación conjunta entre un fabricante y un proveedor, o entre un fabricante y un distribuidor. En cambio, es más difícil encontrar en la bibliografía modelos que consideren el caso multietapa y la existencia de varios nodos en cada etapa. La mayoría de artículos analizados corresponden a este último caso, entendiendo que son los que más enlazarían con RdS/D en general.

En cuanto a cómo se realiza el proceso de Toma de Decisiones y muy ligado a este punto, qué información se comparte, la mayoría de los artículos analizados consideran el caso centralizado en el que un único Decisor “resolvería” un Modelo que trataría de optimizar un objetivo común de la RdS/D considerada. En este Modelo se compartiría información entre las partes sin límite alguno (o “información compartida completa” en la Tabla de Clasificación Propuesta).

En el caso Descentralizado, cada entidad de la RdS/D correspondería a un decisor individual, de manera que tendría la información necesaria (normalmente limitada) para realizar decisiones autónomas, mientras que el objetivo conjunto de la RdS/D se alcanzaría a través de

la cooperación entre los distintos decisores / entidades. Este caso es de especial importancia en cuanto a su aplicabilidad real, ya que aunque en principio no obtiene tan buenos resultados desde el punto de vista de la RdS/D en su conjunto, sí que es la mayoría de veces de mayor utilidad práctica, porque:

- no existe una Entidad que pueda actuar como único decisor (porque la RdS/D está formada por Empresas más o menos independientes).
- el supuesto único decisor encuentra excesivas dificultades en centralizar toda la información necesaria y relevante (por ejemplo no existe confianza absoluta el compartir cierta información que se considere estratégica).
- los costes operacionales y de mantenimiento son demasiado elevados.
- la capacidad de reacción (replanificación) es bastante baja.

Estos inconvenientes incitan a que algunos autores, sobre todo en los últimos años, hayan tratado de considerar el caso Descentralizado para abordar los Problemas de Coordinación en RdS/D. Sin embargo, el problema surge cuando se intenta aplicar a RdS/D complejas (como pueda ser el caso multiproducto, multietapa y además con varios nodos por etapa), en la que se han de inventar Metodologías y Tecnologías con un mínimo de eficacia y eficiencia, lo cual no es tarea fácil (de hecho la mayoría de ERP's, en su módulo de Gestión de RdS/D, consideran que las decisiones se realizan centralizadamente). Todo esto hace que el caso Descentralizado sea bastante menos tratado en la Bibliografía. Los Modelos Analíticos que se proponen son escasos, y basados principalmente en Programación Matemática. Se utilizan mayoritariamente Sistemas Multiagente y Contratos de diferente índole.

En cuanto a los Modelos Analíticos para el caso centralizado, cabe reseñar, como se ha dicho, que la mayoría de ellos se basan en Programación Matemática, sobre todo en la Programación Lineal Entera-Mixta. No se han considerado los no-lineales, excepto el de Schulz et al. (2005).

La mayoría de ellos tratan de averiguar (variables de decisión), qué cantidad se ha de producir cada período en cada una de los nodos (las que tengan actividades de producción), así como la cantidad a transportar entre las mismas y el inventario para hacer frente a la demanda (estacional). El objetivo suele ser la minimización de Costes Totales (de la RdS/d globalmente). La mayoría de ellos incluyen variables binarias para considerar costes fijos de producción y/o de transporte. Otros costes son los variables de producción, transporte e inventario.

Las restricciones típicas han sido de balance de inventario (por producto, nodo y período), de capacidad productiva y de capacidad de transporte (aunque en menos ocasiones que la productiva)

En cuanto a la resolución de los modelos, algunos más sencillos se podían resolver de manera óptima en tiempos de computación razonables (con Solvers utilizando algoritmos standard, como por ejemplo el CPLEX), y otros con más complejidad de manera heurística mediante técnicas especiales de descomposición (Bender, Lagrange...). A veces para disminuir la complejidad se procedía a relajar el Modelo al no considerar restricciones de capacidad o simplemente considerándolo Uniproducto, o a veces, Uniperíodo. En estos casos se facilitaba

al algoritmo de resolución propuesto llegar a soluciones satisfactorias en tiempos de computación razonables pero disminuyendo la aplicabilidad real de los mismos.

Referencias

- Park Y.B. (2005) "An integrated approach for production and distribution planning in supply chain management" *International Journal of Production Research*, Vol. 43, pp. 1205–1224
- Chan F.; Cheng S. (2005) "Multicriterion genetic optimization for due date assigned distribution network problems". *Decision Support Systems*, Vol. 39, pp. 661– 675
- Dudek G.; Stadtler H. (2005) "Negotiation-based collaborative planning between supply chains partners" *European Journal of Operational Research*, Vol. 163, pp. 668–687
- Duni S. (2002) "Integrated optimizing production, inventory and distribution problems in supply chain" *Tesis Doctoral*, Universidad de Florida.
- Erengüç S.; Simpson N.; Vakharia A. (1999) "Integrated production-distribution planning in supply chains: and invited review" *European Journal of Operational Research*, Vol. 115, pp. 219-236
- Escudero L.; Galindo A.; García G.; Gómez E.; Sabau V. (1999) "Schumann, a modeling framework for supply chain management under uncertainty". *European Journal of Operational Research*, Vol. 119, pp. 14-34
- Jayaraman V.; Pirkul H. (2001) "Planning and coordination of production and distribution facilities for multiples commodities". *European Journal of Operations Research*, Vol. 133, pp. 394-408.
- Lejeune M. (2004) "Probabilistic stockout in supply chain management: a stochastic programming approach"
- Lavoie, C.; Abdul-Nour. (2003) "SME, networking and supply chain improvement" *32nd International conference on computers and Industrial Engineering*. Limerick, Ireland.
- Lei L.,Liu S.; Ruszczynski A.; Sunju Park (2003) "On the Integrated Production, Inventory and Distribution Routing Problem". *Rutcor Research Report*
- Lin J.; Chen Y. (2004) A Supply Network Planning Problem in a Multi-Stage and Multi-Site Environment". *35th International Conference on Computers and Industrial Engineering*
- McDonald M.; Karimi A. (1997) Planning and Scheduling of Parallel Semicontinuous Processes. *Industrial Engineering Chemical Research*, Vol. 36, pp. 2691-2700
- Rudberg M.; Olhager J. (2003), "Manufacturing networks and supply chains: an operations strategy perspective"; *Omega*, Vol. 31.
- Ryu J.; Dua V.; Pistikopoulos E. (2004). "A bilevel programming framework for enterprise-wide process networks under uncertainty" *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 28, pp. 1121-1129
- Sahin F.; Robinson E. (2005) "Information sharing and coordination in make-to-order supply chains". *Journal of Operations Management*, Vol. 23, pp. 579–598
- Schulz E.; Diaz M.; Bandoni J. (2005) "Supply chain optimization of large-scale continuous processes" *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 29, pp. 1305-1316
- Timpe Ch.; Kallrath J. (2000) "Optimal planning in large multi-site production networks" *European Journal of Operational Research*, Vol. 126, pp. 422-435
- Wu D.; Golbasi H. (2004) "Multi-Item, multi-Facility supply chain planning: models, complexities, and algorithms". *Computational Optimization and Applications*, Vol. 28, pp. 325-356