

Herramienta informática para el proceso de planificación colaborativa en cadenas de suministro (1ª Parte)



A computer tool for the collaborative planning process in supply chains (1st Part)

- María del Mar Eva Alemany-Díaz* Dra. Ingeniera Industrial
- Faustino Alarcón-Valero* Dr. Ingeniero Industrial
- Francisco Cruz Lario-Esteban* Dr. Ingeniero Industrial
- Jorge Juan Boj-Viudez* Ingeniero Industrial

* Centro de Investigación en Gestión e Ingeniería de la Producción (CIGIP), Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n, Valencia 46022.

Recibido: 17/12/08 • Aceptado: 24/02/09

ABSTRACT

- **Introduction:** Collaborative Planning (CP) in Supply Chains (SCs) is concerned with the coordination of planning and control operations across different members of the SC. Collaboration implies a simultaneous coordination of decisions made by Decision Centers (DCs) of the same temporal level (spatial integration) and those made by DCs of different temporal levels (temporal integration). The present paper describes the characteristics of a computer tool developed for CP in SCs with one or more DCs that make their decision based on Mathematical Programming Models (MPM). In this context it will be necessary to properly define the coordination mechanisms in such a way that both, the SC efficiency and the customer service level, increases.
- **Methods:** The computer tool sequentially collects those relevant SC information for the design phase of the MPMs, that will support the decision making of every DC, in a guided, intuitive and friendly way for the user. The identification of the information needed by the computer tool is based on an existing Conceptual Framework for the CP that considers that SCs are characterized by the specification of five views (Physical, Organization, Decision, Function and Information View). The collection information sequence is based on a methodology for the design of the CP process in SCs. During the execution phase, the resolution sequence of the MPMs of each DC is obtained from the information contained in functional view.
- **Results:** The result is a computer tool that supports the user in the analysis, characterization and decision making in CP of any SC. The computer tool assists the model-maker in the development of the corresponding mathematical programming models (MPMs) of each DC, including the interdependences among them in an easily and structured fashion. Then, the resolution of each DC MPM is made in the real sequence defined in the CP Process through the Function View.
- **Discussion:** The main contributions of the developed application are: to make possible both spatial and temporal integration simultaneously for any SC, in a context of either centralized or distributed decision-making in CP; to facilitate the development of the MPMs that contribute to the optimization of the SC through a more rational decision-making; to allow the analysis and evaluation of different coordination mechanisms among DCs, redefining, with little effort, either the information flows among them and/or the sequence of execution of the DCs MPMs.
- **Keywords:** Collaborative Planning, Supply Chain, Temporal and Spatial Integration, Mathematical Programming Models, Computer Tool.

RESUMEN

Introducción: La Planificación Colaborativa (PC) en un contexto de Cadena de Suministro (CdS) se centra en la coordinación de la planificación y el control de las operaciones de los distintos miembros de la CdS. La colaboración implica una coordinación simultánea de las decisiones efectuadas por centros decisionales (CDs) del mismo nivel temporal (integración espacial) y por CDs de niveles temporales diferentes (integración temporal). El presente artículo describe las características de una herramienta informática para la PC en CdS en la que intervienen uno o varios CDs que toman sus decisiones apoyándose en Modelos de Programación Matemática (MPM). En

esta situación será necesario definir adecuadamente los mecanismos de coordinación de manera que se incremente la eficiencia de la CdS y se aumente el nivel del servicio al cliente.

Material y Métodos: La herramienta informática recoge secuencialmente aquella información de la CdS relevante para la fase de diseño de los MPMs de ayuda a la toma de decisiones en PC de una forma guiada, muy intuitiva y amigable para el usuario. La identificación de la información necesaria por parte de la herramienta se basa en la existencia previa de un Marco Conceptual para la PC que considera que la CdS queda definida a través de la descripción de cinco vistas (Física, Organizacional, Decisional, Funcional e Informacional). La secuencia de obtención de dicha información se basa en una Metodología para el diseño de procesos de PC en CdS. Durante la fase de ejecución, la secuencia de resolución de los MPMs asociados a cada CD se obtiene a partir de la información recogida de la vista funcional durante la fase de diseño.

Resultados: El resultado es una herramienta informática que da soporte al usuario en el análisis, caracterización y posterior toma de decisiones en PC de CdS de cualquier tipo. Además, la herramienta asiste al usuario de forma amigable y estructurada en el desarrollo de los correspondientes MPMs de cada CD incluyendo los mecanismos de coordinación entre ellos. Posteriormente, la resolución de los MPM de cada CD se realiza de la misma manera que ocurriría en la realidad en base a la secuencia definida en la Vista Funcional.

Discusión: Las principales contribuciones de la herramienta son: posibilitar simultáneamente la integración espacial y temporal para cualquier CdS, en un contexto tanto centralizado como distribuido de toma de decisiones en PC; facilitar el desarrollo de MPMs que optimizarán el funcionamiento de la CdS a través de una toma de decisiones más racional; permitir el análisis y evaluación de diferentes mecanismos de coordinación entre los CDs, redefiniendo, con poco esfuerzo, tanto los flujos de información entre ellos y/o la secuencia de ejecución de los MPMs de los CDs.

Palabras Clave: Planificación Colaborativa, Cadena de Suministro, Integración Espacial y Temporal, Modelos de Programación Matemática, Herramienta Informática.

1. INTRODUCCIÓN

El término *Gestión de la Cadena de Suministros* (GCdS) ha recibido diversas definiciones en la literatura: Cox (2004) la define como una técnica de abastecimiento

que implica el desarrollo de actividades proactivas entre el comprador y los proveedores no sólo en el primer nivel de la CdS, sino también en todas las etapas de la CdS desde el primer nivel hasta el suministro de materia prima. Cox (2004) establece que, aunque la GCdS es el enfoque "ideal", requiere que entre el comprador y el proveedor sea posible desarrollar relaciones proactivas y colaborativas a largo plazo, siendo recomendable su implementación cuando existe dominancia por parte del comprador o bien relaciones de interdependencia equitativas entre comprador y proveedor.

Otras definiciones de GCdS son menos restrictivas y más adecuadas para el ámbito del presente trabajo. Así, el *Global Supply Chain Forum* define la GCdS como la integración de los procesos clave de negocio desde los clientes finales hasta los proveedores originales que proporcionan productos, servicios, e información que aportan un valor añadido para los clientes y otros accionistas (Lambert y Cooper, 2000). Entre los anteriores procesos clave, Lambert y Cooper (2000) identifican la gestión de la demanda (Alemany et al. 2008a) y la gestión del flujo de fabricación y aprovisionamiento. Para abordar este último proceso, cabe resaltar el enfoque de planificación colaborativa (PC) en un contexto de CdS, mediante el cual se coordina la planificación y el control de las operaciones a través de la CdS, como por ejemplo, los procesos de producción, almacenamiento y distribución (Dudek y Stadtler, 2007). Otras definiciones del término PC se pueden encontrar en (Stadtler, 2007). Cabe destacar que, en el ámbito del presente trabajo, el término "colaborativo" en planificación hace referencia a la necesaria coordinación entre los planes de los diferentes miembros de la CdS entre los que se dan relaciones de interdependencia. Las relaciones de interdependencia en el contexto de la GCdS pueden ser de diferente naturaleza en función de la confianza, toma de decisiones, información intercambiada y congruencia de objetivos (Lejeune y Yakova, 2005) de sus miembros. La especificación de cada uno de los anteriores aspectos se traduce en un mayor o menor grado de colaboración entre los miembros de la misma. A través de la colaboración, el beneficio total alcanzado por la CdS es superior al obtenido en situaciones en las que los miembros de la CdS buscan el beneficio propio de manera competitiva. Dicho incremento en el beneficio de la CdS deberá repartirse adecuadamente entre los miembros de la misma con el objetivo de incentivar su participación.

En el contexto de la PC de la CdS, cada vez se hace más necesario el desarrollo de herramientas de apoyo a la toma de decisiones y de optimización que posibiliten la exploración y análisis de alternativas, así como la predicción de las acciones oportunas para la operación de la CdS, con el objetivo de optimizar los resultados económicos y obtener altos niveles de satisfacción de los clientes. Grossmann (2005) señala, como uno de los

grandes desafíos en el campo de la planificación de la CdS, el modelado simultáneo de la integración temporal y espacial:

1. La integración temporal implica la coordinación de las decisiones a través de diferentes escalas temporales o de varios niveles decisionales como son el estratégico, táctico y operativo.
2. La integración espacial implica la coordinación de las actividades de los distintos subsistemas de una empresa, es decir, la integración y coordinación de la toma de decisiones bien a través de las diversas funciones en una empresa (compras, fabricación, distribución, ventas), bien a través de las distintas organizaciones distribuidas geográficamente (proveedores, plantas productivas, distribuidores, etc.)

En la literatura existen dos enfoques claramente diferenciados para conseguir la integración temporal: el enfoque monolítico (planificación simultánea de los diferentes niveles) y el enfoque de planificación jerárquica de la producción (PJP). El enfoque monolítico considera un único modelo que integra todos los tipos de decisiones (Dzielinski et al., 1963; Dzielinski y Gomory, 1965; Kanyalkar y Adil, 2005). El resultado es un modelo de gran tamaño, costoso de implementar, optimizar e interpretar (Shapiro, 1993) y que no considera la estructura organizativa de la empresa. La PJP surge como una alternativa para superar las anteriores limitaciones de la visión monolítica. La PJP divide el proceso de planificación en diferentes subproblemas con diferentes características (horizonte, objetivos, restricciones, etc) que son asignados coherentemente a diferentes niveles de la estructura organizativa de la empresa. Los primeros trabajos en el campo de PJP fueron realizados por Hax y Meal (1975). Otros trabajos más recientes en dicho campo son los realizados por Neureuther et al. (2004), Yan et al. (2004); Christou et al. (2007) y Pastor et al. (2009). Aunque generalmente la PJP se ha aplicado a una única empresa, son diversos los autores (Fleishmann y Meyr 2003; Schneeweiss, 2003) que abogan por una organización de las diferentes tareas de PC de la CdS siguiendo un enfoque jerárquico.

Cuando se planifica colaborativamente en un determinado nivel temporal de toma de decisiones, la integración espacial hace referencia a la necesidad de establecer conexiones con los planes del resto de miembros de la CdS, especialmente con aquellos que se hayan situados inmediatamente aguas arriba o aguas abajo (Equi et al 1997; Erengüç 1999; Neiro y Pinto 2003). Para lograr la integración espacial es posible adoptar un enfoque centralizado o descentralizado (distribuido). En la Tabla 1 aparecen las principales características de ambos enfoques.

Así, en un proceso de toma de decisiones centralizado, existe un único decisor que posee toda la información de la CdS (información simétrica) y con la suficiente autoridad

para gestionar las operaciones de todas las entidades que conforman la red con el objetivo de determinar la solución óptima para todo el sistema. Algunos ejemplos de modelos centralizados para la planificación de la CdS se pueden encontrar en: Timpe y Kallrath (2000), Berning et al. (2002), Lavoie y Abdul-Nour (2003), Lin y Chen (2004), Keipl y Pinedo (2004) y Spitter et al. (2005a, 2005b).

Por su parte, un proceso de toma de decisiones descentralizado considera la CdS integrada por varias entidades gestionadas individualmente por miembros (decisores) que pueden comportarse como un equipo o no (Schneeweiss, 2003). El caso "equipo" es muy similar al caso centralizado (objetivos alineados e información simétrica) pero, a diferencia de éste, es necesario definir mecanismos de coordinación entre los diversos decisores. En el caso "no-equipo" cada entidad persigue sus propios intereses y objetivos, en muchas ocasiones incluso conflictivos, no estando dispuestos a revelar cierta información confidencial al resto de entidades (información asimétrica por parte de los decisores), como por ejemplo, capacidades de fabricación o estructuras de costes.

En el caso distribuido, cada decisor puede tomar sus decisiones en base a previsiones, sin considerar las decisiones de los demás. Esta falta de coordinación en la CdS ocasionaría el denominado efecto "bullwhip" (Forrester, 1976) que consiste en un fenómeno de distorsión de la demanda percibida por los diferentes nodos de la CdS cuya amplificación es más pronunciada conforme más alejados se encuentran éstos del consumidor final. En una CdS las decisiones de cada entidad se encuentran influenciadas o influyen en decisiones de otras entidades (Hong et al., 2008). Para gestionar estas relaciones de interdependencia, es necesario definir mecanismos capaces de coordinar las decisiones sobre producción, inventario y transporte de las diferentes entidades de la CdS, así como la información intercambiada entre ellas. De hecho, la eficiencia alcanzada por la CdS dependerá, en gran medida, de la idoneidad de dichos mecanismos como un medio para implementar la colaboración entre las entidades de la CdS. A través de una adecuada colaboración, la CdS como un todo, verá incrementado su beneficio que deberá ser repartido entre las diversas entidades (incentivos y mecanismos de compensación). Uno de los mecanismos de coordinación más sencillos es la coordinación "upstream" (Bhatnagar et al., 2003), en el que primero se obtienen los planes de los miembros de la CdS más cercanos a los clientes. Los requerimientos resultantes de dichos planes se traspasan como previsiones a la etapa situada inmediatamente aguas arriba. Simpson y Erengüç (2001) estudiaron el grado de suboptimalidad de esta visión en comparación con la opción centralizada. Barbarosoglu y Özgür (1999) y Dudek y Stadler (2005), entre otros, propusieron extensiones de la planificación "upstream" con el objetivo de mejorar la calidad de los planes resultantes. En este caso, se propuso un mecanismo basado en la negociación para la PC entre dos

entidades (un proveedor y un comprador). En él se extiende el simple mecanismo de planificación “upstream” a través de la posibilidad de que las entidades colaboradoras puedan modificar los patrones de pedidos/aprovisionamiento de manera iterativa. Otros mecanismos de coordinación más sofisticados pueden consultarse en Dudek y Stadtler (2007) y Pibernik y Sucky (2007). Sin embargo, cabe destacar que las CdS consideradas en la mayoría de estos trabajos son relativamente sencillas en comparación a la realidad empresarial.

En general, se acepta que la toma de decisiones centralizada alcanza mejores resultados que la descentralizada, pero no siempre es posible implementar la opción centralizada por dos razones (Pibernik y Sucky, 2007): la necesidad de alinear las decisiones individuales con los objetivos globales de la CdS y el necesario intercambio de información entre los diferentes miembros de la CdS. Por tanto, la elección de un enfoque centralizado o descentralizado en PC en un determinado nivel temporal dependerá, en gran medida, de las características de la propia CdS. En el caso distribuido, la calidad de los planes

que combinan el enfoque de programación matemática con la toma de decisiones descentralizada. Además, sólo unos pocos modelos jerárquicos de programación matemática centralizados (Yazgaç y Özdamar, 1999) y otros descentralizados (Schneeweiss et al., 2004) tratan simultáneamente la integración temporal y espacial. Por tanto, se puede concluir que existe una carencia de estudios que aborden la integración temporal y espacial al mismo tiempo. Sin embargo, ambos tipos de integración son necesarias para la toma de decisiones en los procesos reales de PC. Además el/los modelo/s de programación matemática planteados sólo son válidos para situaciones concretas, no explicitándose qué características de la CdS han llevado a la formulación de dichos modelos y no de otros diferentes.

El presente artículo describe la herramienta informática desarrollada por los autores con el objetivo de cubrir algunas de las necesidades identificadas anteriormente en la revisión de la literatura:

- La herramienta informática puede utilizarse para la PC de CdS que tomen sus decisiones en diversos niveles

Características	Toma de Decisiones Centralizada	Toma de Decisiones Descentralizada/Distribuida
Número de Decisores	Uno	Varios
Autoridad de cada Decisor	Sobre toda la CdS	Sobre su parte correspondiente de la Cds
Objetivos	Alineados con los de la CdS como un todo	Alineados (equipo) / Conflictivos (no equipo)
Conocimiento de la información por parte de las entidades de la SC	Simétrico	Simétrico (equipo)/ Asimétrico (no equipo)
Mecanismos coordinación	No necesarios	Necesarios
Calidad de la Solución	Óptima para la CdS	Equivalente o inferior a la Centralizada

Tabla 1: Principales características de la toma de decisiones centralizada frente a la distribuida.

de cada entidad y el grado de colaboración entre éstas (definido por los mecanismos de coordinación) será esencial para la eficiencia de la CdS y para cada entidad. En consecuencia, si se pretende diseñar una herramienta de soporte en el proceso de toma de decisiones de PC para cualquier tipo de CdS, dicha herramienta deberá contemplar la posibilidad de una toma de decisiones en varios niveles temporales y, para cada nivel temporal, una toma de decisiones tanto centralizada como distribuida. Además, dicha herramienta deberá proporcionar el soporte adecuado para la simultánea integración temporal y espacial, que vendrá condicionada por el reparto de poder entre los diferentes miembros de la CdS.

En el campo de PC, existen numerosos trabajos que abordan la necesaria integración de la CdS a través una visión optimizadora basada en modelos de programación matemática centralizados, siendo más escasos los trabajos

temporales tanto de forma centralizada como distribuida. Por tanto, la herramienta posibilita y guía en la implementación de la necesaria integración temporal y espacial a través de la definición de mecanismos de coordinación entre los decisores, siendo posible implementar cualquier grado de colaboración entre los mismos. De esta manera, se conseguirá un incremento en la eficiencia de la CdS que redundará en mejores resultados para todos sus miembros.

- La herramienta supone que cada decisor toma sus decisiones con ayuda de modelos de programación matemática (MPMs) de naturaleza lineal entera mixta y no lineal. Este tipo de modelos permite optimizar los resultados económicos de la CdS y obtener elevados niveles de satisfacción de los clientes. La mejora obtenida deberá distribuirse adecuadamente

En el campo de PC, existen numerosos trabajos que abordan la necesaria integración de la CdS a través una visión optimizadora basada en modelos de programación matemática centralizados

entre todas las entidades de la CdS para que se encuentren motivadas a participar colaborativamente.

- A partir de un proceso guiado y estructurado, la herramienta informática recoge aquellas características e información (vista informacional) relevantes para la PC proveniente de las vistas física, organizacional, decisional y funcional. La manera de requerir la información por parte de la herramienta, obliga al usuario a definir el problema bajo consideración de manera natural e intuitiva. Toda la información obtenida es convenientemente plasmada en la parte de definición de los MPMs de cada decisor, que constituye una de las salidas proporcionadas por la herramienta. Por tanto, la herramienta guía al modelador en el proceso de obtención de dichos modelos, considerando las características propias de la CdS objeto de estudio.
- Una vez definidos los MPMs de cada decisor y los mecanismos de coordinación, la herramienta permite la resolución de cada uno de los MPMs conforme a la secuencia real de toma de decisiones de dicho proceso. De esta manera, la herramienta proporciona soporte, no sólo en la formulación de los MPMs, sino también en su ejecución.

El resto del artículo queda estructurado de la siguiente manera: en la sección 2 se muestra el marco conceptual tomado como base por la herramienta para describir la PC en CdS; en la sección 3 se describe la aplicación informática atendiendo a las entradas necesarias para formular los MPMs, la definición de los mismos y las salidas proporcionadas por la herramienta; por último, en la sección 4 se exponen algunas de las conclusiones más relevantes del trabajo desarrollado.

2. MARCO CONCEPTUAL PARA LA DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PLANIFICACIÓN COLABORATIVA

Los conceptos y terminología referente a la PC en CdS utilizados por la aplicación informática así como la estructura de la misma, se basan en el Marco Conceptual para el proceso de PC propuesto por Alarcón et al. (2007) y la Metodología para el Diseño de Modelos de Ayuda a la



Toma de de Decisiones en PC propuesta por Lario et al. (2007) y Pérez et al. (2008). La elección del anterior Marco Conceptual como fundamento para el desarrollo de la herramienta informática, se basó en su capacidad para recoger todos aquellos aspectos relevantes para la caracterización el proceso de PC de forma estructurada. Aspectos de especial relevancia característicos de problemas reales en contextos de CdS y que no eran contemplados por otros modelos existentes. De esta manera, se consigue simplificar el análisis de la complejidad inherente a las CdS reales focalizando el esfuerzo en lo realmente importante.

El anterior marco conceptual considera que la PC es, fundamentalmente, un proceso de toma de decisiones, ya que la mayor parte de las actividades de dicho proceso poseen un marcado carácter decisional. Puesto que las decisiones en PC (vista decisional) se toman en una secuencia predeterminada (vista funcional) sobre los diferentes elementos físicos y los recursos humanos, ítems, etc (vista física), organizados de una manera específica (vista organizacional) en base a una información específica (vista informacional) sobre ellos, para modelar adecuadamente el proceso de PC, en primer lugar es necesario describir las diferentes vistas (física, organizacional, decisional, funcional e informacional), para, posteriormente, poder establecer las relaciones entre los elementos pertenecientes a cada una de ellas. Se debe

tener en cuenta que como consecuencia de la complejidad de la realidad empresarial y, aún más, de la CdS, existe una atención científica y técnica importante sobre los temas de modelado intra e inter-empresarial. Aparece allí el interés y la necesidad de considerar las diferentes vistas, su análisis y representación y su conexión.

Por su parte, la Metodología establece la secuencia de recopilación de la información de cada una de las vistas anteriores, para derivar, de manera natural e intuitiva, en la formulación de los modelos de ayuda a la toma de decisiones (MPMs) de cada uno de los decisores implicados en la PC de la CdS.

- **Vista Física** (Alemany et al. 2008b): la Vista Física representa como se encuentra configurada (diseñada) una determinada red, es decir, qué recursos existen, cómo se encuentran estructurados y cuáles son los flujos de materiales entre ellos. La vista física se encuentra integrada por dos dimensiones: la “macro-física” y la “micro-física”. La vista “macro-física” muestra cómo está configurada la red y cuáles son los flujos de materiales que circulan a través de ella. A nivel macro se considera que la red se encuentra compuesta por un conjunto de nodos representantes de las instalaciones físicas y un conjunto de arcos que unen los nodos uno a uno y que representan el flujo de materiales entre nodos. La vista “micro-física” muestra cómo están estructurados internamente los recursos de cada nodo y cuál es la composición de los arcos (modos de transporte) que unen dos nodos diferentes de la red. En este sentido, los elementos a modelar en la vista “macro-física” son los siguientes: etapas (proveedores, aprovisionamiento, fabricación-montaje y distribución), nodos pertenecientes a cada una de las etapas, tipo de nodo (en función del tipo de actividad desarrollada dentro del nodo: operaciones de producción, almacenamiento, punto de venta o una combinación de cualquiera de ellos). Además, en esta vista, los arcos representan las actividades relacionadas

con la logística externa y representan el flujo de materiales entre un nodo origen y un nodo destino.

La Figura 1 muestra un ejemplo ilustrativo de los diferentes elementos físicos considerados en la vista “macro-física” de una CdS compuesta por 2 nodos Proveedores (Sp1, Sp2), 2 nodos de Aprovisionamiento (Pm1, Pm2), 3 nodos de Fabricación-Montaje (Ma1, Ma2, Ma3) y 4 nodos de Distribución (Ds1, Ds2, Ds3, Ds4). Los arcos de la vista “macro-física” están representados por flechas y definen los flujos de entrada y de salida de materiales entre los nodos.

- **Vista Organizacional** (Alemany et al. 2008b): a través de ella se identifican las relaciones entre los recursos considerados en la vista física. Estas relaciones tienen una gran influencia en como se tomarán las decisiones (vista decisional). Análogamente a la vista física, la vista organizacional también se divide en dos dimensiones: la “macro-organizacional” y la “micro-organizacional”. La vista “macro-organizacional” muestra cómo se organizan los diferentes nodos/etapas de la red. Mientras que la vista “micro-organizacional” representa cómo se organiza internamente cada nodo y cada arco.

En la vista “micro-organizacional” podrán existir varios niveles organizacionales (típicamente el Estratégico, Táctico y Operativo), aunque a efectos del proceso que se desea modelar, el de PC, sólo se consideran los niveles organizacionales táctico y operativo. En cada nivel organizacional de un nodo (vista “micro-organizacional”), podrá haber uno o varios COs. Los COs son entidades con una función determinada, formadas por personas/recursos que realizan tareas diferenciadas y coordinadas que contribuyan a los objetivos de la organización. Se supone que los recursos están vinculados mediante la función que desempeñan y que esta función es coordinada a través de un centro responsable, llamado CO; se supone que existen relaciones de interdependencia entre los COs pertenecientes al mismo nivel organizacional (relación

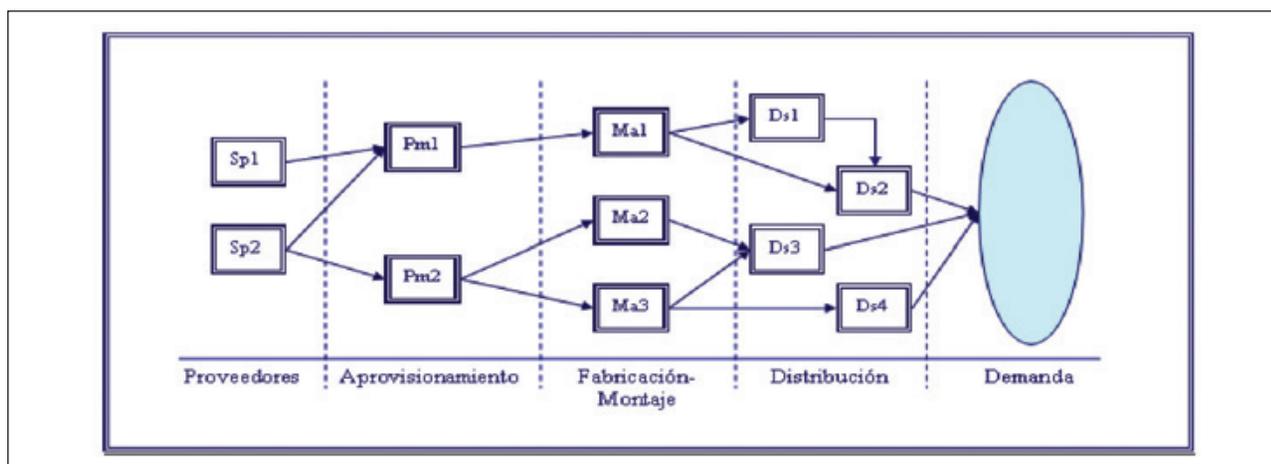


Figura 1: Ejemplo de vista “macro-física” de una CdS genérica

espacial) o a distintos niveles (relación temporal).

La vista “macro-organizacional” considera todos los nodos y arcos de la vista física con el objetivo de definir sus relaciones de interdependencia, para establecer la forma de interacción y el grado de colaboración entre los mismos. Para ello, se definen los centros inter-organizacionales (CIOs) como unidades con una determinada función que actúan como responsables de centros organizacionales (COs) pertenecientes a diferentes nodos. Al mismo tiempo, estos CIOs pueden mantener relaciones de interdependencia con CIOs de niveles temporales o espaciales jerárquicamente superiores.

Para concluir, la definición de la vista organizacional necesita establecer las relaciones de interdependencia y el reparto del poder entre los COs y/o CIOs pertenecientes a un mismo nivel organizacional (jerarquía espacial) o entre los COs y/o CIOs que pertenecen a diferentes niveles organizacionales (jerarquía temporal).

La Figura 2 muestra un ejemplo de la vista “macro-organizacional” de la CdS del ejemplo anterior, compuesta por diferentes CIOs y COs que pertenecen a tres niveles organizacionales. Aquí, a Nivel Operativo cada etapa tiene el mismo número de COs, que nodos integran la vista “macro-física” de la Figura 1. A nivel táctico existe un CIO, en la etapa de Fabricación-Montaje, que coordina el proceso de PC de los siete COs del nivel operacional situados en las etapas de Proveedor, Aprovisionamiento y Fabricación-Montaje. En la etapa de Distribución existe un CIO encargado de coordinar todos los COs del Nivel Operativo de la etapa de Distribución. Finalmente, en el nivel estratégico existe un único CIO que coordina los procesos de la CIOs ubicados en el nivel táctico. Las flechas continuas representan las relaciones temporales entre los COs y/o CIOs de diferentes niveles

organizacionales, mientras que las flechas discontinuas representan las relaciones espaciales entre los COs y/o CIOs situados en el mismo nivel organizacional. Para una descripción exhaustiva ver Alemany et al. (2008b).

- **Vista Decisional** (Alemany et al., 2007): está estrechamente relacionada con la vista organizacional, ya que la toma de decisiones en el proceso de PC de la CdS depende de cómo los diferentes recursos están organizados y también de las interdependencias espacial y temporal existentes entre los COs y/o CIOs. Al igual que en las anteriores vistas, la vista decisional también se compone de dos sub-vistas: “macro-decisional” y “micro-decisional”.

En la vista “macro-decisional” se identifican aquellas entidades capaces de tomar decisiones, es decir, los centros decisionales (CDs) implicados. Un CO o un CIO puede convertirse en un CD en la vista decisional, siempre y cuando este centro tome decisiones que afecten a la función de planificación (aprovisionamiento, producción, almacenamiento y distribución). Una vez se han identificado los diferentes CDs y se han asignado a su correspondiente nivel temporal (Táctico u Operativo) es el momento de establecer la jerarquía temporal (entre los CDs de distintos niveles temporales) y la espacial (entre CDs del mismo nivel temporal). Para cada CD se deben determinar: sus relaciones de interdependencia con otros CDs del mismo (integración espacial) o diferente nivel temporal (integración temporal), la información intercambiada, las especificaciones temporales de la planificación (horizonte, periodo de planificación y revisión) y las actividades de decisión.

En la vista “micro-decisional” se detallan aquellos aspectos que caracterizan internamente el proceso de toma de decisiones de cada CD y que son relevantes para la

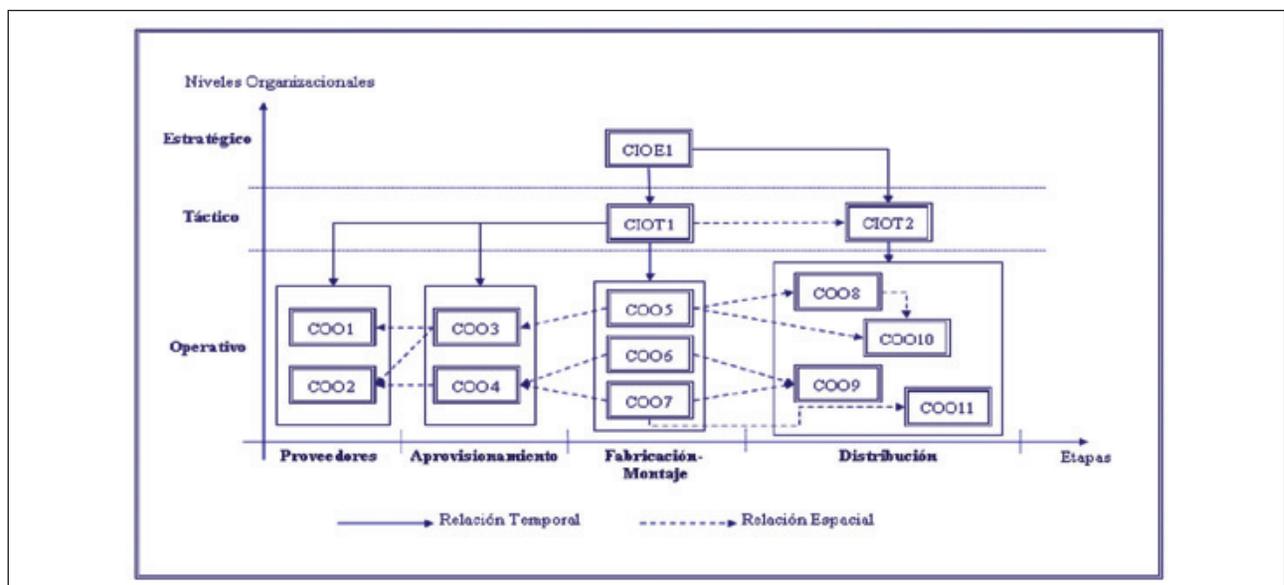


Figura 2: Ejemplo de una posible estructura de la vista organizacional

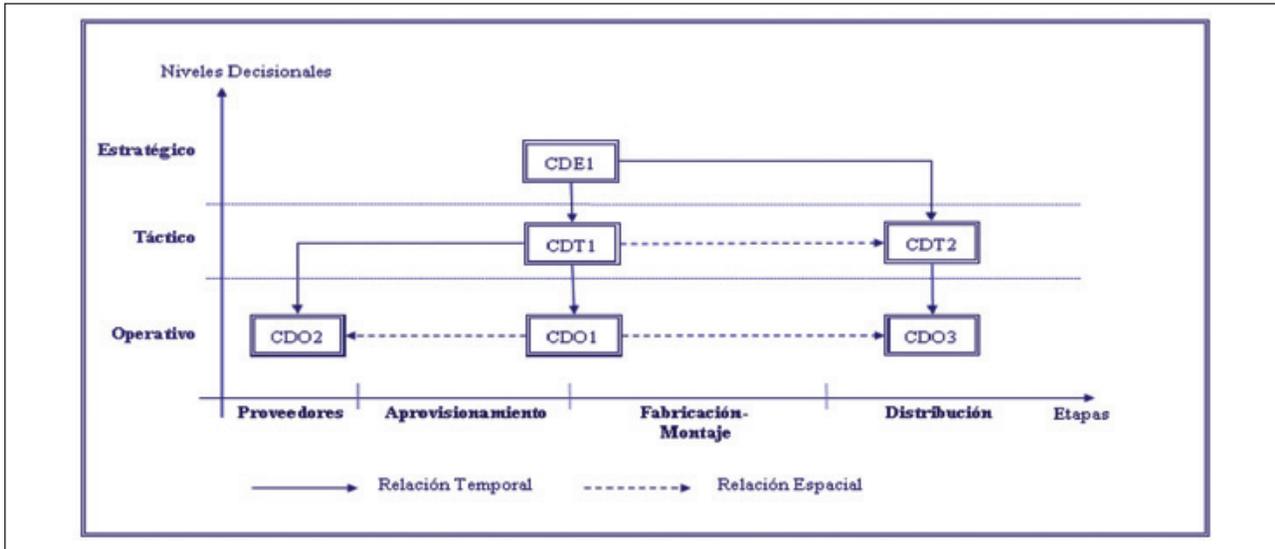


Figura 3: Ejemplo de una posible estructura de la vista macro-decisional

formulación de su correspondiente MPM. Por lo tanto, la vista “micro-decisional” debe reunir, entre otra información: las decisiones a tomar en cada CD, sus objetivos y sus restricciones (físicas, funcionales y de interdependencia).

Toda la información contenida en la vista “micro-decisional” (decisiones, objetivos, restricciones) junto con las interdependencias entre los CDs (restricciones de interdependencia) son la base para el desarrollo de los MPMs de ayuda a la toma de decisiones de cada CD. Es importante resaltar que las relaciones de interdependencia deben ser modeladas, puesto que representan los mecanismos de coordinación esenciales en las relaciones de colaboración. Estos mecanismos pueden introducir

modificaciones tanto en las restricciones como en la función objetivo del modelo de toma de decisiones de los diferentes CDs.

A modo de ejemplo, en la Figura 3 se muestra la vista macro-decisional de una CdS genérica, con diversos CDs pertenecientes a tres niveles temporales, así como las relaciones de interdependencia tanto espacial como temporal entre los CDs. Como puede observarse, en la vista macro decisional, pueden existir CDs, que no se puedan asignar una determinada etapa de la CdS debido a que un CD puede tomar decisiones que involucren actividades que tienen lugar en más de una etapa. Asimismo, el decisor de un CD puede no pertenecer a un nodo determinado, sino a una entidad virtual. Por ejemplo, el CDE1, CDT1 y CDO1

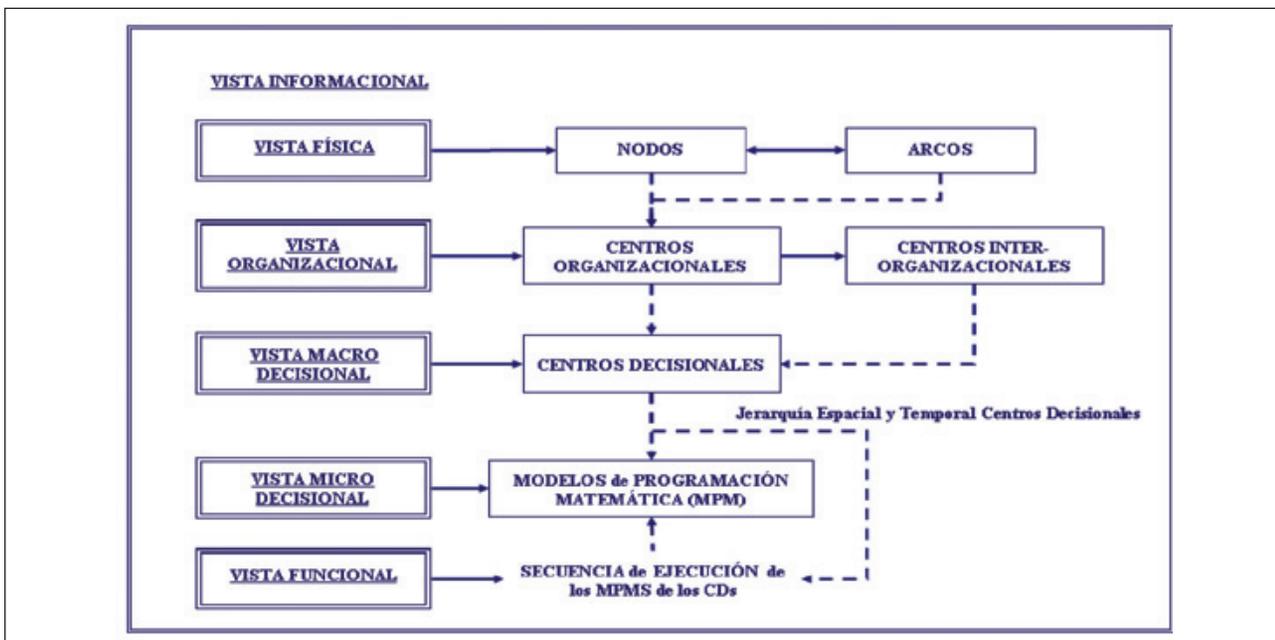


Figura 4: Integración de los diferentes elementos de las Vistas de la PC de la CdS

toman decisiones relacionadas con actividades desarrolladas en las etapas de Proveedores, Aprovisionamiento y Fabricación-Montaje. A Nivel Estratégico el proceso de toma de decisiones está centralizado en un CD (CDE1) que transmite los resultados de su proceso de toma de decisiones a los CDs situados en el siguiente nivel decisional inferior. A Nivel Táctico, existen dos CDs por lo que a este nivel, el proceso de toma de decisiones se considera descentralizado (distribuido), existiendo una relación espacial entre ellos. El CDT1, después de tomar sus decisiones, comparte parte de la información con los demás CDs situado en el mismo nivel temporal (integración espacial) y con dos de los tres CDs situados en el nivel temporal inmediatamente inferior (integración temporal). El CDT2, después de realizar su proceso de toma de decisiones, envía la información necesaria a los CDs que dependen de él en el próximo nivel decisional (CDO3). En el Nivel Decisional Operativo hay un CD (CDO1), que después de tomar sus decisiones, comparte la información necesaria con los CDs (CDO2 y CDO3), ubicados en el mismo Nivel Decisional. Por lo tanto el proceso de toma de decisiones también es descentralizado en este nivel.

- **Vista Funcional** (Alarcón et al., 2007): esta vista hace referencia al modelado de los procesos...Un modelo de procesos debe contener la información básica para responder a las siguientes preguntas: ¿qué hacer?, ¿cómo hacerlo?, ¿cuándo hacerlo?, ¿quién lo hace?, ¿con qué recursos e información? y ¿qué se obtiene?. Estas cuestiones relacionan la vista funcional con el resto de vistas mencionadas.
- **Vista Informacional** (Boza et al., 2007): hace referencia a la representación y modificación de la información que debe servir de apoyo al proceso de toma de decisiones de la PC de una CdS. Como se menciona en la vista decisional, el aspecto informacional de un CD depende de: el tipo de información (entrada o salida), su privacidad (local o global) y su granularidad (detallada o agregada).

Las anteriores vistas no son elementos aislados, sino que existe una integración entre ellas a través de la información que comparten. Por tanto, a través de la vista informacional, se logra la integración del resto de vistas definidas anteriormente. La Figura 4 muestra las relaciones entre los distintos elementos de cada vista.

Los elementos de la vista física que se han tenido en cuenta en la aplicación informática han sido: los nodos, los arcos y las relaciones existentes entre ellos. La organización de estos nodos y arcos es responsabilidad de COs y CIOs específicos que deben ser definidos en la vista organizacional conjuntamente con la relación existente entre ellos. En la vista decisional se establecen los CDs existentes y los COs y/o CIOs a los que transmiten sus decisiones, estableciendo las relaciones entre la vista organizacional y decisional. Además un CO o CIO puede

convertirse en un CD si una de sus funciones es la de tomar decisiones. En la vista “macro-decisional” se definen los diferentes CDs y las relaciones de interdependencia temporal y espacial entre ellos. Una vez llegado a este punto, es el momento de pasar a definir la vista “micro-decisional” en la que se formulan los MPMs de ayuda a la toma de decisiones en cada uno de los CDs. Por tanto, el modelador debe definir el MPM asociado a cada CD en función de las características propias de su proceso de toma de decisiones y sus relaciones con los demás CDs. Por último, en la vista funcional, se establece la secuencia de las actividades decisionales y el instante de ejecución de las mismas, que resulta equivalente a la ejecución de los MPMs. Dicha secuencia es función de la jerarquía espacial y temporal definida entre los CDs identificados.

Llegados a este punto, se ha descrito el Marco Conceptual para el proceso de PC y los diferentes elementos de cada una de las vistas consideradas como un paso previo que facilite la comprensión de las características de la aplicación informática desarrollada. En la siguiente sección se describe la herramienta informática y sus diferentes funciones utilizando la terminología expuesta anteriormente.

3. BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón-Valero F, Lario-Esteban FC, Bozà-García A, et al. "Propuesta de marco conceptual para el modelado del proceso de planificación colaborativa de operaciones en contextos de redes de suministro/distribución (RdS/D)". En: *Actas del Congreso de Ingeniería de Organización, (Madrid 5-7 de septiembre de 2007), v. XI*. [S.l.]: [s.n.], 2007. p 873-882. ISBN: 978-84-611-8244-2.
- Alemany-Díaz MME, Pérez-Perales D, Alarcón-Valero F, et al. "Planificación colaborativa en cadenas de suministro mediante programación matemática en entornos distribuidos". En: *Actas del International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, (Madrid 5-7 de septiembre de 2007), v. I*. [S.l.]:[s.n.], 2007. p 853-862. ISBN: 978-84-611-8244-2.
- Alemany-Díaz MME, Alarcón-Valero F, Ortiz-Bas A, et al. "Order promising process for extended collaborative selling chain". *Production Planning & Control*. 2008a. Vol.19-2 p.105-131.
- Alemany-Díaz MME, Verdecho-Saéz MJ, Alarcón-Valero F. "Graphical modelling of the physical-organization view for the collaborative planning process". En: *Actas International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, (Burgos 3-5 de septiembre de 2008), v. II*. [S.l.]:[s.n.], 2008. p 1673-1682. ISBN: 978-84-611-8244-2.
- Anderson C, Bartholdi JJ. "Centralized versus decentralized control in manufacturing: lessons from social insects. Complexity and Complex Systems in Industry". Proceedings, University of Warwick, 19th-20th September 2000, (McCarthy, I. P. and Rakotobe-Joel, T., Eds.). The University of Warwick, U.K. p. 652. ISBN 0 902683 50 0
- Barbarosoglu G, Özgür D. "Hierarchical design of an integrated production and 2-echelon distribution system". *European Journal of Operational Research*. 1999. Vol.118 p.464-484.
- Berning G, Brandenburger M, Gürsoy K, et al. "An integral system solution for supply chain optimization in the chemical process industry". *OR Spectrum*. 2002. Vol.24 p.371-402.
- Bhatnagar R, Chandra P, Goyal SK. "Models for multi-plant coordination". *European Journal of Operational Research*. 1993. Vol.67 p.141-160.
- Bitran GR, Haas EA, Hax AC. "Hierarchical production planning: A single stage system". *Operations Research*. 1981. Vol.29-4 p.717-743.

- Bitran GR, Haas EA, Hax AC. "Hierarchical production planning: A two stage system". *Operations Research*. 1982. Vol.30-2 p.232-251.
- Bonabeau E, Dorigo M, Thérault G. *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*. Santa Fe Institute on the Sciences of Complexity. Oxford University Press, New York. 1999.
- Boza-García A, Alarcón-Valero F, Vicens-Salort E, et al. "Propuesta Del Marco conceptual para el Modelado del proceso de Planificación Colaborativa de una Red de Suministro/Distribución (RdS/D). Visión Informacional". En: *Actas del International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, (Madrid 5-7 de septiembre de 2007)*, v. I. [S.I.]:[s.n.], 2007. p 883-892. ISBN: 978-84-611-8244-2.
- Christou IT, Lagodimos AG, Lycopoulou D, Cooper MC, Lambert DM, Pagh JD. "Supply chain management: More than a new name for logistics". *International Journal of Logistics Management*. 1997. Vol.8-1 p.1-13.
- Cow A. "The art of the possible: relationship management in power regimen and supply chains". *Supply Chain Management: An International Journal*. 2004. Vol. 9-5 p.346-356.
- Dudek G, Stadler H. "Negotiation-based collaborative planning between supply chains partners". *European Journal of Operational Research*. 2005. Vol.163 p.668-687.
- Dudek G, Stadler H. "Negotiation-based collaborative planning in divergent two-tier supply chains". *International Journal of Production Economics*. 2007. Vol.45-2 p.465-484.
- Dzieliniski BP, Baker CT, Mann AS. "Simulation Tests of Lot Size Program". *Management Science*. 1963. Vol.9-2 p.310-321.
- Dzieliniski BP, Gomory RE. "Optimal programming of lot sizes inventory and labor allocations". *Management Science*. 1965. Vol.11-9 p.874-890.
- Equi L, Gallo G, Marziale S. ". *European Journal of Operational Research*. 1997. Vol.1 p.94-104.
- Erengüc S, Simpson N, Vakharia A. "Integrated production-distribution planning in supply chains: and invited review". *European Journal of Operational Research*. 1999. Vol.115 p.219-236.
- Erschler J, Fontan C, Merce C. "Consistency of the disaggregation process in hierarchical planning". *Operations Research*. 1986. Vol.34-3 p.464-469.
- Fleischmann B. y Meyr H. "Planning hierarchy, modeling and advanced planning systems", in *Handbooks in OR&MS*, 2003, vol. 11, 457-523, Kok and Graves (eds.), Elsevier B.V.
- Forrester JW. "Principles of systems". Cambridge: Wiright - Allen Press. 1976.
- Grossmann I. "Enterprise-wide Optimization: A New Frontier in Process Systems Engineering". *American Institute of Chemical Engineers*. 2005. Vol.51-7 p.1846-1857.
- Hax AC, Meal HC (1973). [en línea]. Disponible en World Wide Web: <<http://www.dspace.mit.edu>>.
- Hong IH, Ammons JC, Realf MJ. "Centralized versus Decentralized Decision-Making for Recycled Material Flows". *Environmental Science & Technology*. 2008. Vol.42-4 p.1172-1177.
- Kanyalkar AP, Adil GK. "An integrated aggregate and detailed planning in a multi-site production environment using linear programming". *International Journal of Production Research*. 2005. Vol.43-20 p.4431-4454.
- Kreipl S, Pinedo M. "Planning and Scheduling in Supply Chains: An overview of issues in practice". *Production and Operations Management*. 2004. Vol.13-1 p.77-92.
- Lambert DM, Cooper M. "Issues in Supply Chain Management". *Industrial Marketing Management*. 2000. Vol.29 p.65-83.
- Lario-Esteban FC, Pérez-Perales D, Alemany-Díaz MME, et al. "Metodología para la determinación del Entorno Decisional de un Centro de Decisión genérico en un contexto jerárquico de Planificación colaborativa de una Red de Suministro/Distribución (RdS/D)". En: *Actas de International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, (Madrid 5-7 de septiembre de 2007)*, v. I. 2007. p 797-808. ISBN: 978-84-611-8244-2.
- Lavoie C, Abdul-Nour. SME, networking and supply chain improvement. *32nd International conference on computers and Industrial Engineering*. 2003. Limerick, Ireland.
- Lejeune M.A., Yakova N., "On characterizing the 4 C's in supply chain

- management", *Journal of Operations Management*, 2005, Vol. 23, p. 81-100.
- Lin J, Chen Y. "A Supply Network Planning Problem in a Multi-Stage and Multi-Site Environment". 35th International Conference on Computers and Industrial Engineering.
- Neiro SMS, Pinto JM. "Supply Chain Optimization of Petroleum Refinery Complexes". *Computers and Chemical Engineering*. 2003. Vol.28 p.871.
- Neureuther BD, Polak GG, Sanders NR. "A hierarchical production plan for a make-to-order steel fabrication plant". *Production Planning and Control*. 2004. Vol. 15 p.324-335.
- Özdamar L, Yazgaç T. "A Hierarchical Planning Approach for a Production-Distribution System". *International Journal of Production Research*. 1999. Vol.37-16 p.3759-3772.
- Pastor R, Altamiras J, Mateo M. "Planning production using mathematical programming: The case of a woodturning company". *Computers & Operations Research*. 2009. Vol. 36-7 p.2173-2178
- Pérez-Perales D, Alarcón-Valero F, Alemany-Díaz MME, et al. "Marco conceptual para el proceso de planificación colaborativa". Informe Interno del Centro de Investigación Gestión e Ingeniería de Producción (CIGIP), Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Pibernik R, Sucky E. "An Approach to Inter-Domain Master Planning in Supply Chains". *International Journal of Production Economics*. 2007. Vol.108 p. 200-212.
- Poundarikapuram S, Veeramani D. "Distributed Decision-Making in Supply Chains and Private E-Marketplaces". *Production and Operations Management*. 2004. Vol.13-1 p.111-121.
- Schneeweiss, C. "Distributed decision making - a unified approach". *European Journal of Operational Research*. 2003. Vol. 150 p.237-252.
- Schneeweiss Ch, Zimmer K, Zimmermann M. "The design of contracts to coordinate operational interdependencies within the supply chain". *International Journal of Production Economics*. 2004. Vol.92 p.43-59.
- Shapiro JF. "Mathematical Programming Models and Methods for Production Planning and Scheduling". En: S.C. Graves (eds.). *Handbooks in OR&MS Volumen 4: Logistics of Production and Inventory*. Elsevier Science Publishers B.V. 1993. p.523-568.
- Simpson NC, Erengüc SS. "Modelling the order picking function in supply chain systems: Formulation, experimentation, and insights". *IIE Transactions*. 2001. Vol.33 p.119-130.
- Spitter JM, de Kok AG, Dellaert NP. "Timing production in LP models in a rolling schedule". *International Journal of Production Economics*. 2005a. Vol.93-94 p.319-329.
- Spitter JM, Hurkens CAJ, de Kok AG, et al. "Linear programming models with planned lead times for supply chain operations planning". *European Journal of Operational Research*. 2005b. Vol.163 p.706-720.
- Stadler H. "A framework for collaborative planning and state-of-the-art". *OR Spectrum*. 2007. Vol.31-1 p.5-30.
- Timpe CH, Kallrath J. "Optimal planning in large multisite production networks". *European Journal of Operational Research*. 2000. Vol.126 p.422-435.
- Yan H, Zhang X, Jiang M. "Hierarchical production planning with demand constraints". *Computers & Industrial Engineering*. 2004. Vol. 46-3 p.533-551

ACRÓNIMOS UTILIZADOS

- CD: Centro Decisional
- CdS: Cadena de Suministro
- CIO: Centro Inter-Organizacional
- CO: Centro Organizacional
- GCdS: Gestión de la Cadena de Suministro
- MPM: Modelo de Programación Matemática
- PC: Planificación Colaborativa
- PJP: Planificación Jerárquica de la Producción