

# Herramienta informática para el proceso de planificación colaborativa en cadenas de suministro (2ª y última parte)



## *A computer tool for the collaborative planning process in supply chains (2nd and last part)*

Maria del Mar Eva Alemany-Díaz\*

Faustino Alarcón-Valero\*

Francisco Cruz Lario-Esteban\*

Jorge Juan Boj-Viudez\*

Dra. Ingeniera Industrial

Dr. Ingeniero Industrial

Dr. Ingeniero Industrial

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

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. DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA

La herramienta se ha desarrollado empleando el lenguaje de programación *Visual Basic 6* y se ha utilizado la herramienta informática *Access 2003* de Microsoft Office para la creación y gestión de la base de datos, así como el

programa MPL 4.11, desarrollado por la empresa **Maximal Software** que incorpora el motor de resolución CPLEX, para la ejecución de los MPMs. Los principales objetivos que persigue el desarrollo de la aplicación informática son los siguientes:

- Servir de apoyo en el análisis y caracterización del proceso de PC para cualquier tipo de CdS real y compleja. Por medio de la descripción de las cinco vistas definidas en el Marco Conceptual la aplicación guía al usuario paso a paso (en base a la Metodología) en la recopilación de la información relevante para la definición del proceso de PC de la CdS.
- Proporcionar soporte al usuario en la formulación de los MPMs asociados a cada uno de los CDs considerando tanto la integración espacial como temporal a través de la definición de los diferentes mecanismos de coordinación.
- Una vez definidos los MPMs y los correspondientes mecanismos de coordinación entre ellos, la herramienta soporta la resolución de los MPMs asociados a cada CD en la secuencia real de operación que tiene lugar en el proceso real de PC e implementando ambos tipos de integración.
- Dado el carácter de herramienta de ayuda a la toma de decisiones, los valores de las decisiones obtenidos de la resolución de los MPMs de cada CD, pueden ser modificados por el decisor, introduciendo su conocimiento sobre la realidad. Así, sólo aquellas decisiones validadas por el correspondiente CD serán transmitidas al resto de CDs con los que guarda algún tipo de relación de interdependencia.

La validez del Marco Conceptual, de la Metodología y de la herramienta informática ha sido contrastada a través de su utilización para el análisis y caracterización de una CdS del sector cerámico español en el marco de un proyecto de investigación. La CdS analizada consta de una serie de nodos en la etapa de proveedores, fabricación-montaje y distribución. Algunos de estos nodos pertenecen a un importante Grupo Industrial, aunque también existen otros que no pertenecen al mismo. El Grupo Industrial está integrado por proveedores de materias primas y componentes y diversas plantas productivas, aunque la CdS analizada contempla a otros proveedores de materias primas y de productos finales no pertenecientes al Grupo. Con respecto a la etapa de distribución la CdS contempla tanto la propia del Grupo (formada por varios centros logísticos y tiendas de distribución propia) como la ajena a éste.

A través de la herramienta el marco conceptual se ha utilizado para analizar, mediante sus diferentes vistas, los diversos aspectos complejos de la CdS y para obtener la información necesaria para caracterizar el proceso de toma de decisiones que en los diferentes niveles de la CdS son llevados a cabo. De esta manera, se ha obtenido un modelo de la situación actual AS-IS. El siguiente paso, consiste en

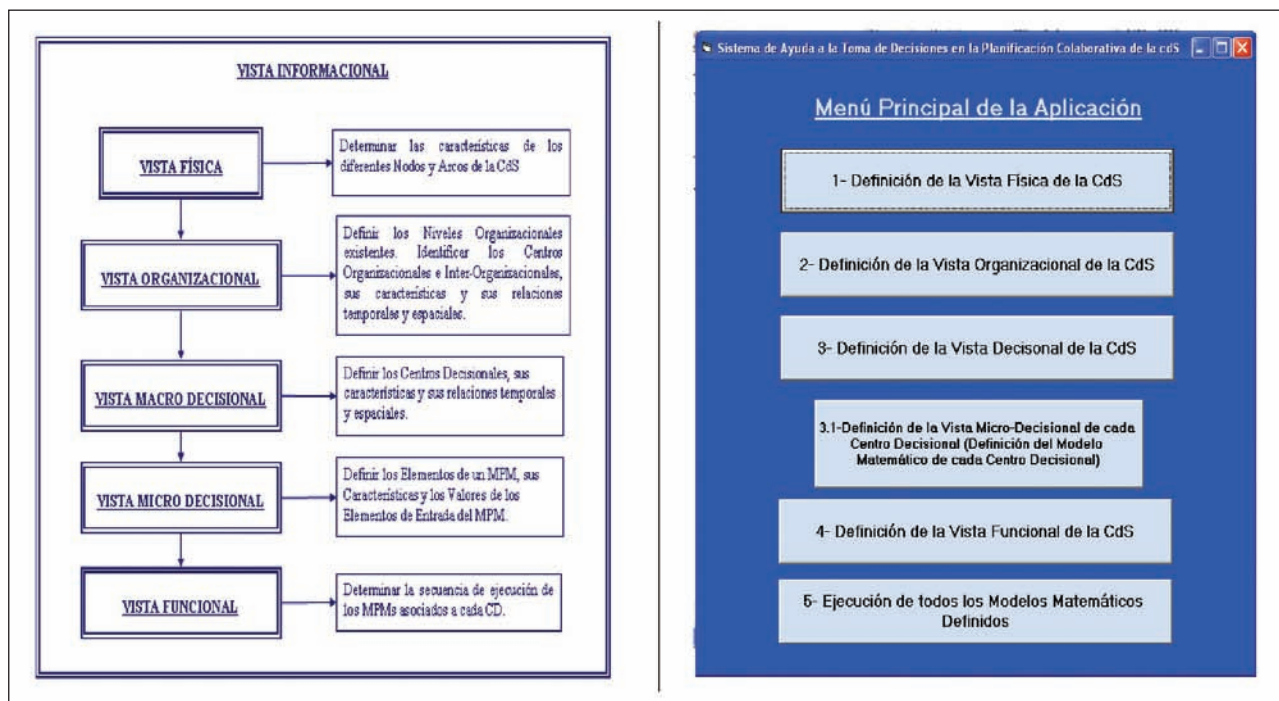


Figura 5-a: Secuencia de recopilación de la información de las 5 vistas

Figura 5-b: Menú Principal de la Herramienta

detectar posibles mejoras, para desarrollar un modelo futuro mejorado (TO-BE). Este nuevo modelo puede reflejar modificaciones tanto en la estructura decisional (definición de CDs; centralización y descentralización) como en la formulación de los MPMs de cada CD y/o sus mecanismos de coordinación (información intercambiada). La implementación de ambas situaciones (AS-IS y TO-BE) a través de la herramienta, posibilitará una evaluación cuantitativa de las mejoras obtenidas.

A continuación pasa a describirse la herramienta exponiendo en primer lugar la información de entrada a la misma, cómo esta información es utilizada para facilitar el modelado de los MPMs y finalmente, cuáles son las salidas proporcionadas por ésta.

**1.1. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA PC DE CDS**

La primera etapa para llegar a la formulación de los MPMs de cada CD consiste en la caracterización de la CdS bajo consideración. Para lograrlo, la herramienta informática no persigue recopilar toda la información necesaria para definir cada una de las vistas identificadas en el Marco Conceptual, sino toda la información relevante para definir el proceso de PC y ayudar al modelador a desarrollar y resolver los correspondientes MPMs asociados a los CDs identificados en la vista decisional. Como puede observarse en la Figura 5-a, la vista informacional engloba a todas las demás vistas puesto que requiere información de todas ellas.

La recopilación de la información de cada vista se lleva

a cabo de una manera guiada y amigable para el usuario, comenzando por los aspectos más tangibles de la CdS (vista física) y terminando por los aspectos más dinámicos (vista funcional), pasando por la vista organizacional y la decisional. En la Figura 5-a se muestra la secuencia en la que la herramienta informática, a través de plantillas que deben ser completadas por el usuario, recopila la información de las diferentes vistas así como los detalles requeridos de cada una de ellas. Toda la información queda recogida en tablas generadas por la herramienta para tal fin y que conforman la Base de Datos. Esta información es solicitada por la aplicación informática de forma natural e intuitiva para el usuario y será posteriormente utilizada para la parte de definición (índices, conjuntos de índices, parámetros y variables de decisión) de cada MPM. En la Figura 5-b se muestran las diferentes opciones del menú principal de la herramienta informática que muestra el paralelismo existente con la secuencia de recopilación de información descrita en la figura 5 a).

La identificación del ámbito físico de la PC, implica el establecimiento del número de nodos en cada etapa, los arcos que unen los nodos y sus características (por ejemplo, la capacidad de producción y de almacenamiento de los nodos y la capacidad de transporte y los costes de los arcos) sobre los que actúa la PC. A continuación, se debe definir los niveles organizacionales, así como el número de COs y CIOs emplazados en cada nivel organizacional, sus características y las relaciones de interdependencia espacial y temporal entre ellos. En el nivel organizacional más bajo es necesario definir qué nodos y arcos de la vista física

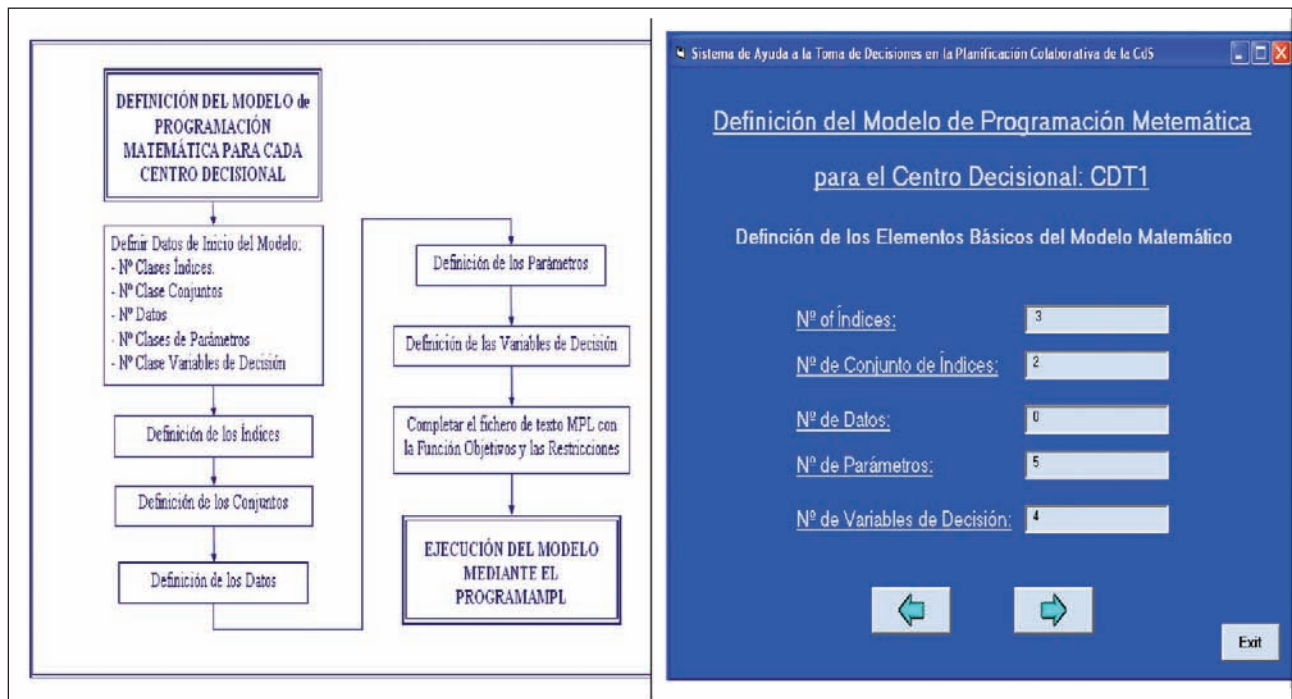


Figura 6-a: Secuencia de definición de un MPM genérico para un CD genérico

Figura 6-b: Pantalla de la Herramienta para la Definición de los Elementos Básicos de un MPM genérico para un CD genérico

están bajo la responsabilidad de que CO o CIO pertenecientes a este nivel. De esta forma, se logra una vinculación entre ambas vistas. A continuación, en la vista decisional, se definen los CDs existentes en cada nivel decisional y las relaciones espaciales y temporales existentes entre ellos ("vista macro-decisional"). En la "vista micro-decisional", se especifican las características decisionales propias de cada CD (por ejemplo, el horizonte y periodo de planificación, las decisiones a tomar, los objetivos y las restricciones). Además, para conectar la vista organizacional y la decisional, es necesario identificar para cada CD cuales son los diferentes COs y/o CIOs que serán encargados de implementar las decisiones por éstas tomadas. Por último, a través de la vista funcional se establece la secuencia de ejecución de las actividades decisionales que dependerá en gran medida de las relaciones de interdependencia espaciales y temporales definidas en la vista macro-decisional. De esta manera, se establece la secuencia de ejecución de los MPMs de ayuda a la toma de decisiones de cada CD.

## 1.2. DEFINICIÓN DE LOS MODELOS DE PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA DE LOS CENTROS DECISIONALES

Con toda la información anterior, representada y estructurada en la vista informacional, es el momento de pasar a definir los MPMs de ayuda a la toma de decisiones en PC de cada CD. Previamente al inicio por parte del

modelador de la definición de los MPMs asociados a cada CDs, la definición del Marco Conceptual, y, en concreto la vista decisional, facilita al modelador la comprensión del proceso de toma de decisiones de cada CD y sus relaciones de interdependencia entre los CDs situados tanto en el mismo nivel temporal de decisión (integración espacial) como en diferentes niveles temporales (integración temporal). Por tanto, la vista decisional también permite al modelador identificar, en cada nivel decisional, si el proceso de toma de decisiones es centralizado o distribuido, y, en este segundo caso, la necesidad de establecer diferentes mecanismos de coordinación.

La herramienta informática permite la formulación de MPMs deterministas y de carácter lineal entero mixto y no lineal. Se supone que cada MPM consta de una parte de definición (índices, conjuntos, parámetros y variables de decisión) y una parte de modelado (función objetivo y restricciones) (Alemany et al., 2007). Durante la definición de un MPM específico (Figura 6-a), la aplicación solicita al usuario la información relacionada con el número de los elementos considerados en dicho MPM (las clases de índices, conjuntos de índices, datos, parámetros y variables de decisión) y las características y los valores de los elementos de entrada del MPM (índices, datos y parámetros) (Figura 6-b). La herramienta no requiere los valores de las variables de decisión porque éstas son parte de los resultados de la ejecución del MPM, razón por la que el usuario sólo debe definir sus características. En este punto,

## La existencia de relaciones espaciales y temporales entre los CDs requiere del intercambio de información entre ellos

la aplicación crea automáticamente un archivo de texto con la estructura de un archivo en MPL en la que aparece completa la parte de definición del mismo, debiendo completar el usuario la parte de modelado del fichero por medio de la introducción de la función objetivo y las restricciones que definen el proceso de toma de decisiones de cada CD. A la hora de completar la parte de modelado del MPM de cada CD será de especial importancia no sólo aquellos objetivos y restricciones locales del CD sino también los objetivos y restricciones a través de los que se reflejan y modelan las relaciones de interdependencia con otros CDs. Todo ello utilizando la sintaxis del MPL y siendo coherente con la nomenclatura establecida en la parte de definición. Una vez que el archivo MPL está completamente definido la aplicación es capaz de ejecutar el MPM, obteniendo los valores de las variables de decisión

Los valores de salida de un MPM de un fabricante pueden ser el plan de producción y los requerimientos de materias primas y/o componentes necesarios para lograr la producción de productos finales

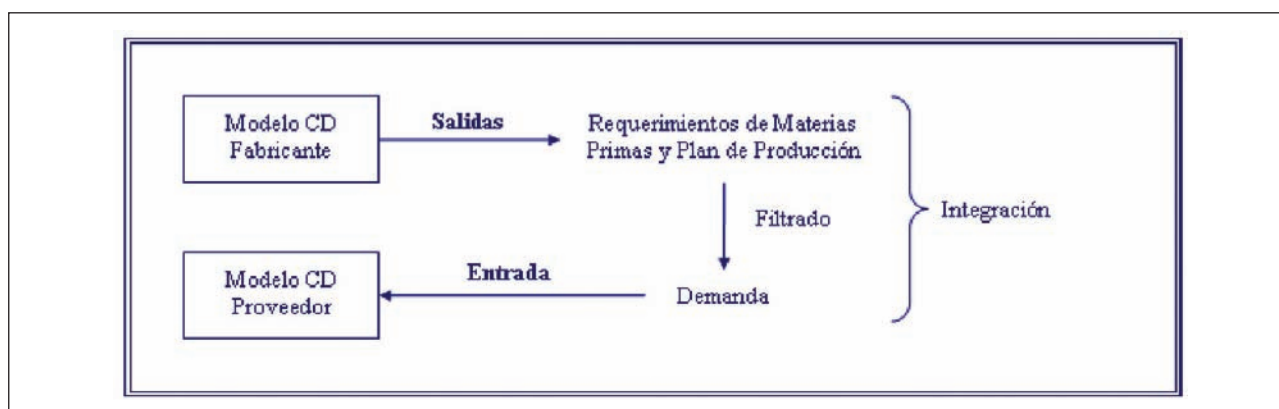


Figura 7: Integración de la información entre MPMs

establecidas y de la función objetivo del modelo.

La herramienta utiliza el programa informático MPL 4.11 para Windows, que incorpora el motor de resolución CPLEX, para ejecutar los MPMs y obtener la solución óptima. Una vez que un CD ha ejecutado su MPM asociado, los valores de sus correspondientes variables de decisión y de su función objetivo se almacenan en las correspondientes tablas de la Base de Datos generada, diseñadas y creadas para tal fin.

La existencia de relaciones espaciales y temporales

entre los CDs requiere del intercambio de información entre ellos. Aunque las decisiones de la PC requieren compartir información entre los diferentes miembros de la CdS, a menudo dicha decisiones se toman partiendo de información incompleta, ya que los miembros que pertenecen a una CdS, por lo general, están poco dispuestos a revelar toda su información al resto de los miembros (Poundarikapuram y Veeramani, 2004). Por esa razón ningún miembro de una CdS posee un conocimiento completo acerca de las restricciones y los objetivos de otros

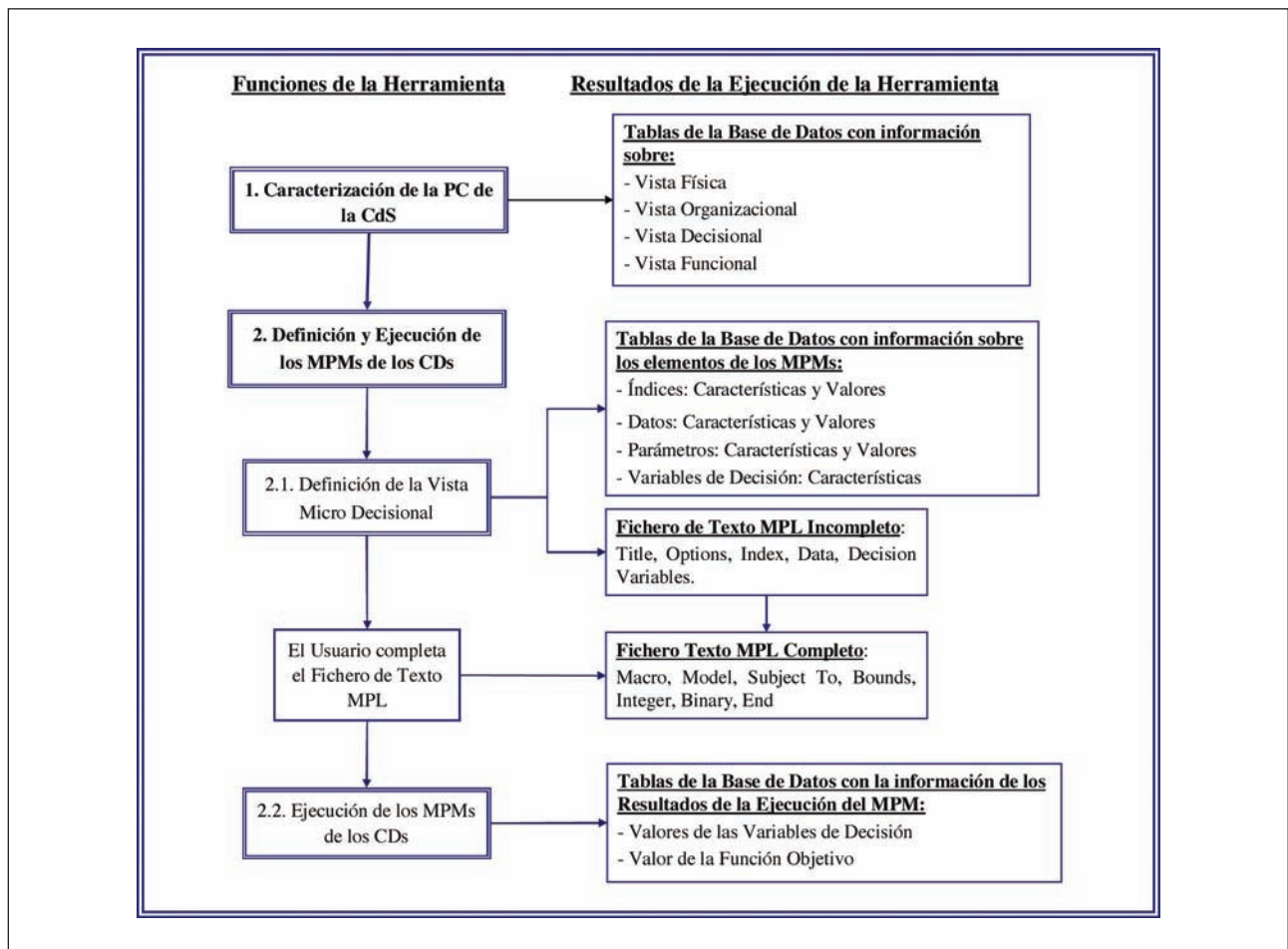


Figure 8: Salidas de la Herramienta Informática

membros e incluso ni de la CdS en su conjunto. Por esta razón, la aplicación informática permite al usuario filtrar los valores de las variables de decisión (información de salida), obtenidos de la resolución del MPM de un CD, que serán transmitidos a otro CD y utilizados por su correspondiente MPM como valores de determinados parámetros (información de entrada). Este hecho puede observarse en la Figura 7, donde, por ejemplo, los valores de salida de un MPM de un fabricante pueden ser el plan de producción y los requerimientos de materias primas y/o componentes necesarios para lograr la producción de productos finales. Debido a que al fabricante sólo le interesa transmitir sus necesidades de materias primas y/o componentes a sus proveedores (integración espacial), la aplicación informática realiza un filtrado de la información de salida del fabricante transmitiendo la información referente a las necesidades de materias primas y/o componentes a los modelos de sus proveedores como datos de entrada en su plan de demanda.

### 1.3. RESULTADOS GENERADOS POR LA HERRAMIENTA

La aplicación informática cumple dos funciones diferenciadas; por un lado, servir de apoyo en la definición del proceso de PC de una CdS genérica mediante las cinco vistas definidas en el Marco Conceptual y, por otro lado, facilitar la formulación y la ejecución de los diferentes MPMs como soporte al proceso de toma de decisiones en cada CD. Cada una de las funciones mencionadas genera diferentes salidas de la herramienta, las cuales se muestran en la Figura 8.

Finalizada la introducción de la información referente a la definición y diseño de la CdS, la aplicación genera una Base de Datos con tablas de datos especialmente diseñadas para almacenar toda la información requerida en relación a cada una de las cinco vistas. Estas tablas tienen una nomenclatura específica para indicar a que vista hace referencia cada una de ellas.

La segunda función principal de la aplicación informática se efectúa mediante dos pasos, el primero de

ellos consiste en la definición de la vista “micro-decisional”, lo que requiere de la definición del MPM que describe el proceso de toma de decisiones en cada CD. El segundo paso consiste en la ejecución, según la secuencia establecida en la vista funcional, de los diferentes MPMs.

Concluida la definición de la vista “micro-decisional”, la aplicación genera como salidas, dentro de la anterior Base de Datos creada, nuevas tablas de datos que contienen la información con respecto a las características de todos los elementos que definen el MPM (índices, datos, parámetros, variables de decisión) y los valores de los elementos que se consideran como inputs (índices, datos y parámetros). La aplicación también crea, para cada MPM, un archivo de texto con la sintaxis adecuada para ser ejecutado mediante la herramienta informática MPL. Este archivo de texto está incompleto, ya que la aplicación solo completa la parte de definición del MPM, es decir, la información referente a la definición de los índices, datos, parámetros, variables de decisión y sus conexiones a sus correspondientes tablas de datos, donde sus valores son almacenados o lo serán, en el caso de las variables de decisión. El usuario de la aplicación debe completar, empleando la sintaxis adecuada, la parte de modelado del MPM que se corresponde con las siguientes secciones del archivo de texto: *macro* (representa expresiones matemáticas), *model* (representa la función objetivo del MPM), *subject to* (representa las restricciones del MPM) y *bounds* (representa los valores límite de las variables de decisión, si es que existen). La introducción de esta información se puede hacer usando el editor de texto incorporado en la aplicación informática.

En el segundo paso se realiza la ejecución de todos los MPMs definidos de acuerdo con la secuencia establecida en la vista funcional. Las salidas de esta función son los valores de las variables de decisión definidas en cada MPM (por ejemplo: cantidad a producir en cada instalación, la cantidad a transportar de productos finales desde un fabricante a varios clientes, etc) y el valor correspondiente de la función objetivo (minimizar los costes globales o locales o maximizar los beneficios globales o locales) de cada modelo, que se almacenan en las correspondientes tablas de datos generada para tal fin. Como se mencionó anteriormente, en función de las relaciones de interdependencia espacial o temporal entre los CDs, algunos de los valores calculados de las variables de decisión de un determinado MPM de un CD pueden ser filtrados para que sirvan como datos de entrada en otro MPM de otro CD. La nomenclatura definida para la Base de Datos hace posible identificar el CD al que hace referencia cada tabla de datos.

## 2. CONCLUSIONES

En el entorno competitivo actual, cada vez es más necesaria la utilización de métodos de optimización para

una toma de decisiones en la que existan relaciones de colaboración entre los diferentes miembros de una CdS con el objetivo de lograr un funcionamiento eficiente y coordinado de la red desde el punto de vista de planificación. En este contexto, los MPMs deterministas de naturaleza lineal entera mixta y no lineal pueden ser de gran utilidad. Sin embargo, la mayoría de trabajos que utilizan estas herramientas de optimización son válidos para situaciones específicas bastante sencillas y no abordan la necesaria integración temporal y espacial simultánea que puede surgir durante el proceso de PC en situaciones reales. Y lo que es más importante de cara a su utilidad por otras CdS que deseen implementar la misma filosofía; no se explicita el proceso de obtención de dichos modelos a partir de la realidad analizada.

En vista de todo lo anterior, la herramienta informática descrita en este artículo tiene como objetivo facilitar la formulación de MPMs de ayuda a la toma de decisiones en el proceso de PC que considere las relaciones de interdependencia entre los decisores pertenecientes a una CdS de cualquier naturaleza. Una vez diseñados, la herramienta soporta su posterior ejecución para conseguir una toma de decisiones que incremente la eficiencia de la red y el nivel del servicio al cliente. De esta manera, el incremento de los beneficios de la red como un todo, deberá redundar en un incremento del beneficio de todos los miembros de la CdS que la componen. Para lograr todo lo anterior, las principales funcionalidades de la herramienta informática desarrollada son:

- Ayudar en el análisis y caracterización del proceso de PC de la CdS paso a paso de forma amigable e intuitiva mediante la descripción de las características de la vista física, organizacional, decisional, funcional e informacional.
- Guiar en el análisis de las relaciones de interdependencia espaciales y temporales existentes entre los CDs. Así, será posible, por un lado, establecer los mecanismos de coordinación apropiados entre los CDs y, por otro lado, implementar las anteriores relaciones según la secuencia real del proceso de PC recogida a través de la vista funcional.
- Asistir al modelador en el proceso de definición de los MPMs de cada CD, considerando las diferentes relaciones de interdependencia y explicitando a través del modelo la integración espacial y temporal necesaria. Dichos tipos de integración condicionarán los mecanismos de coordinación definidos que, en definitiva, son la base de la colaboración. Su inclusión en los MPMs a través de una adecuada formulación, ayudará a mejorar los resultados de todos los miembros de la red, en comparación a una toma de decisiones descoordinada.
- Resolver los MPMs definidos, analizando los resultados obtenidos del proceso de PC para cualquier CdS y ayudar a su implementación sobre el sistema

físico. La solución obtenida al ejecutar cada uno de los MPMs de los CDs requiere de la validación por parte del correspondiente decisor antes de ser implementada y/o transmitida a otros CDs. Mediante la aplicación informática es posible conocer qué decisiones de cada CD deben transmitirse a qué COs y/o CIOs de la vista organizacional. El correspondiente CO o CIO será el responsable de la implementación de la solución obtenida. Mediante la conexión establecida entre la vista organizacional y la vista física, es posible conocer los elementos físicos a los que afectan las decisiones tomadas.

Por tanto, una de las principales contribuciones de la aplicación informática es la de hacer posible la integración tanto espacial como temporal, de una forma simultánea, para cualquier tipología de CdS, en un contexto de toma de decisiones centralizado o distribuido. Además, la aplicación se puede utilizar como una herramienta de simulación para comprobar el impacto de diferentes mecanismos de coordinación entre los CDs, ya sea redefiniendo los flujos de información (valores de las variables de decisión de un CD que se transmiten como parámetros de entrada a otros CDs), o variando la secuencia de la ejecución de los MPMs de los CDs.

Por otro lado, la aplicación permite la evaluación y análisis de formas alternativas de planificación parcialmente centralizadas (Pibernik y Sucky, 2007). A través de esta visión, es posible considerar un enfoque interdominio de planificación, en el que un subconjunto de dominios de planificación acuerdan una planificación centralizada con el objetivo de mejorar la coordinación horizontal y vertical dentro de las redes de las que cada dominio es responsable. En este sentido, la aplicación desarrollada puede ayudar a la evaluación de diferentes configuraciones decisionales de la CdS con diferentes grados de descentralización que representen una o más alternativas para coordinar las decisiones de la planificación que pueden ser aceptables para los miembros implicados. La aplicación informática permite implementar este aspecto a través de la definición de diferentes CDs en cada nivel decisional. En base a la evaluación de los resultados obtenidos, será posible identificar la mejor configuración de los CDs para incrementar la eficiencia de la CdS.

La validez del Marco Conceptual, la Metodología y su implementación a través de la herramienta informática presentada en este artículo ha sido contrastada por medio de su aplicación a una CdS del sector cerámico español en el marco de un Proyecto de Investigación. Los resultados obtenidos han sido el análisis e implementación del proceso de PC actual de la CdS analizada (AS-IS). En estos momentos, se está trabajando en la mejora de dicho proceso actual (TO-BE) a través de la redefinición de los MPMs de cada CD y de los mecanismos de coordinación entre los mismos respetando la privacidad de la información deseada

por cada uno de los decisores. Finalmente, cabe destacar que la herramienta informática permite el análisis, evaluación y cuantificación de diversas posibilidades de mejora, comparando los resultados obtenidos entre ellas y con el proceso de PC actual. El resultado, será un nuevo proceso de PC en el que todos los miembros de la CdS podrán verse beneficiados.

### 3. FINANCIACIÓN

El presente artículo es fruto de la investigación efectuada dentro del proyecto financiado por el Ministerio de Educación y Ciencias, PDI2004-06916-C02-01, titulado "Metodología Jerárquica en contexto de Incertidumbre para la Planificación Colaborativa en Cadena/Red de Suministro/Distribución. Una aplicación al sector cerámico".

### 4. BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón-Valero F, Lario-Esteban FC, Bozá-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, Théraulaz 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.l.]:[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.
- Dzielinski BP, Baker CT, Mann AS. "Simulation Tests of Lot Size Program". *Management Science*. 1963. Vol.9-2 p.310-321.
- Dzielinski 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.
- Erengüç 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.
- Fleishmann 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: W. Wright - 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, Reaff 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, Altımiras 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, Erengüç 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