

## **Metodología para el desarrollo de Modelos basados en Programación Matemática en un contexto jerárquico de Planificación Colaborativa de una Red de Suministro / Distribución (RdS/D)**

**David Pérez<sup>1</sup>, Francisco-Cruz Lario<sup>1</sup>, Maria del Mar Alemany<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Gestión e Ingeniería de Producción (CIGIP), Universidad Politécnica de Valencia, Calle Camino de Vera s/n. Edificio 8G. Valencia 46071, dapepe@omp.upv.es, fclario@omp.upv.es, mareva@omp.upv.es

### **Resumen**

*La Metodología desarrollada tiene como objetivo el desarrollo de Modelos basados en Programación Matemática que ayuden a la Toma de Decisiones en el proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D, todo ello en un contexto jerárquico. Dicha Metodología se justifica debido a la ausencia de trabajos que propongan Modelos de Programación Matemática para el Proceso de Planificación Colaborativa en entornos realistas, por lo que por una parte se considerarán las distintas clases de jerarquías (temporales y espaciales) a las que puede estar supeditado un Centro de Decisión y por otra las relaciones con el resto de Visiones (Recursos, Organizacional e Informacional) de dicho Proceso.*

**Palabras Clave:** Metodología, Planificación Colaborativa, Modelado, Programación Matemática

### **1. Introducción**

Para establecer la Metodología para el desarrollo de Modelos basados en Programación Matemática para la Planificación Colaborativa de RdS/D en un contexto jerárquico, es importante partir del Nivel Macro (Lario *et al*, 2007), en el que se identificaron un conjunto de Centros de Decisión (Actividades Decisionales) que componían el Proceso de Planificación Colaborativa. Dichos Centros de Decisión actuaban sobre unos Recursos Físicos estructurados organizacionalmente sobre los cuáles se tomaban Decisiones en forma de Planes Operacionales (Tácticos y Operativos). Para ello fue necesario describir previamente la Estructura Física y Organizacional del Ámbito de Aplicación considerado.

Se pueden resumir en tres los aspectos que se identificaron con el Nivel Macro:

- Los Centros de Decisión / Actividades Decisionales que intervenían en el Proceso de Planificación Colaborativa (Alcance Decisional).
- Las Interacciones Decisionales a Nivel de Planificación Táctico-Operativa entre los distintos Centros de Decisión (Entorno Decisional)
- El Orden en el que los Centros de Decisión “ejecutaban” las distintas Actividades Decisionales de las cuales eran “propietarios”.

Los tres aspectos anteriores (Nivel Macro), conjuntamente con la Metodología también desarrollada a Nivel Micro, en este caso para el Modelado Analítico “general” de un Centro de Decisión genérico (Pérez *et al*, 2008) serán las dos entradas principales de la Metodología que a continuación se presenta, la cuál tiene como objetivo el desarrollo de Modelos basados en Programación Matemática que ayuden a la Toma de Decisiones en el proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D, todo ello en un contexto jerárquico.

## **2. Estructura de un Modelo basado en Programación Matemática.**

El Modelado basado en Programación Matemática constará de dos partes; parte de Definición y parte de Modelado (Figura 1).

Tanto la parte de Definición como la parte de Modelado se basan en el Modelo de Referencia Analítico Decisional de un Centro de Decisión genérico desarrollado también metodológicamente en Pérez *et al* (2008).

La parte de Definición equivaldría a la Estructura de Soporte descrita en el Modelo de Referencia Decisional, la cual venía dada por la definición de dos componentes, las Variables de Decisión  $X^M$  y la Información de Entrada  $Ie^M$  (la cual se identificará mediante una serie de “Parámetros”). Además, como ayuda a la definición de dichos Parámetros y Variables de Decisión, se definirán previamente dos componentes más, los Índices y los Conjuntos.

La parte de Modelado equivaldría a la Estructura Principal descrita en el Modelo de Referencia Decisional. Dicha parte de Modelado estaría compuesta a su vez por dos componentes más, el Criterio y el Campo de Decisión.

## **3. Metodología**

A continuación se detallan los pasos a seguir para obtener de forma metodológica cada uno de los Componentes, tanto de la Parte de Definición como, posteriormente, la Parte de Modelado.

### **3.1. Parte de Definición**

#### **3.1.1. Índices**

Para la definición de los Índices de un Centro de Decisión  $CD^M$  genérico:

1. Considerar el Alcance de  $CD^M$  (resuelto ya a Nivel Macro)

- Considerar la Categoría “Períodos de Planificación”
- Identificar/definir 1 ó 2 Índices Locales Básicos en función de si el Alcance abarca Funciones/Subfunciones de Planificación sólo del Nivel Organizacional/Decisional Táctico u Operativo o en ambos, respectivamente.
- Nombrar dicho/s Índice/s Local/es Básico/s.
- Definir el Campo de Existencia de dicho/s Índice/s Local/es Básico/s.
- Considerar la Categoría “Recursos” y para cada uno de los dos Niveles Organizacionales/Decisionales anteriores :

- Identificar/definir uno o más Índices Locales Básicos y en su caso Complementarios (estos últimos normalmente debidos a que el Alcance abarca Funciones/Subfunciones de Planificación de más de una Etapa).
- Nombrar dicho/s Índice/s Local/es Básico/s.
- Definir el Campo de Existencia de dicho/s Índice/s Local/es Básico/s.
- Considerar la Categoría “Ítems en General” y para cada uno de los dos Niveles Organizacionales/Decisionales anteriores:
  - Identificar/definir uno o más Índices Locales Básicos y en su caso Complementarios (estos últimos normalmente debidos a que el Alcance considera Productos Finales, Productos Intermedios y Materia Prima).
  - Nombrar dicho/s Índice/s Local/es Básico/s.
  - Definir el Campo de Existencia de dicho/s Índice/s Local/es Básico/s.
- 2. Considerar el Entorno de  $CD^M$  (resuelto ya a Nivel Macro)
  - Para cada  $CD^{Tt}$ 
    - Identificar/definir los Índices por Interdependencia, es decir, aquellos que permitirán desagregar las decisiones tomadas por  $CD^{Tt}$  (enviadas a modo de Instrucción)
    - Nombrar dicho/s Índice/s por Interdependencia.
    - Definir el Campo de Existencia de dicho/s Índice/s por Interdependencia.
  - Para cada  $CD^{Te}$ 
    - Identificar/definir los Índices por Interdependencia, es decir, aquellos que permitirán agregar/desagregar o simplemente relacionar las decisiones tomadas por  $CD^{Tt}$  y enviadas a modo de Instrucción
    - Nombrar dicho/s Índice/s por Interdependencia.
    - Definir el Campo de Existencia de dicho/s Índice/s por Interdependencia.
  - Para cada  $CD^{Bt}$ 
    - Identificar/definir los Índices por Interdependencia, es decir, aquellos que permitirán anticipar la desagregación que realice posteriormente  $CD^{Bt}$  respecto de las decisiones enviadas a modo de Instrucción por parte de  $CD^M$ .
    - Nombrar dicho/s Índice/s por Interdependencia.
    - Definir el Campo de Existencia de dicho/s Índice/s por Interdependencia.
  - Para cada  $CD^{Be}$

- Identificar/definir los Índices por Interdependencia, es decir, aquellos que permitirán anticipar la agregación/desagregación o simplemente relacionar las decisiones enviadas a modo de Instrucción por parte de  $CD^M$  respecto de las decisiones tomadas (posteriormente) por  $CD^{Be}$ .
- Nombrar dicho/s Índice/s por Interdependencia.
- Definir el Campo de Existencia de dicho/s Índice/s por Interdependencia.

### 3.1.2. Conjuntos

Para la definición de los Conjuntos de un Centro de Decisión  $CD^M$  genérico:

#### 1. Considerar el Alcance de $CD^M$ (Nivel Macro)

- Considerar Conjuntos Locales Simples
  - Identificar/definir un Conjunto Local Simple por cada uno de los Índices Locales (tanto Básicos como Complementarios) definidos previamente.
  - Nombrar dicho/s Conjunto/s Local/es Simple/s.
  - Definir el Campo de Existencia de dicho/s Conjunto/s Local/es Simple/s.
- Considerar posibles Conjuntos Locales Relacionales
  - Identificar/definir un Conjunto Local Relacional por cada par de Índices Locales que estén interrelacionados (Vista Físico-Organizacional), dependiendo de las “categorías” en los cuales se definieron:
    - “Ítems en General” / “Ítems en General”
    - “Recursos” / “Recursos”
    - “Períodos de Planificación” / “Períodos de Planificación”
    - “Ítems en General” / “Recursos”
    - “Ítems en General” / “Períodos de Planificación”
    - “Recursos” / “Períodos de Planificación”
  - Nombrar dicho/s Conjunto/s Local/es Relacionale/s.
  - Definir el Campo de Existencia de dicho/s Conjunto/s Local/es Relacionale/s.
- 2. Considerar el Entorno de  $CD^M$  (Nivel Macro)
  - Para cada  $CD^{Tt}$ ,  $CD^{Te}$ ,  $CD^{Bt}$ , y  $CD^{Be}$ 
    - Identificar/definir un Conjunto por Interdependencia por cada Índice por Interdependencia definido previamente (se realizará de manera idéntica a los

Conjuntos Locales Relacionales, con la única diferencia que uno de los Índices será Local y el otro por Interdependencia).

- Nombrar dicho/s Conjuntos/s por Interdependencia.
- Definir el Campo de Existencia de dicho/s Conjunto/s por Interdependencia.

### 3.1.3. Variables de Decisión

Para la definición de las Variables de Decisión  $X^M$  de un Centro de Decisión  $CD^M$  genérico:

#### 1. Considerar el Alcance de $CD^M$ (Nivel Macro)

- Considerar Funciones/Subfunciones en la Etapa de Distribución con esta secuencia: Distribución, Almacenamiento, Aprovevisionamiento (si existen sub-Etapas, aquella más cercana al Consumidor Final)
- Indicar qué “variables”, de entre las mencionadas en la Metodología, tiene sentido incluir.
- Indicar sobre qué Índices Locales tiene sentido definir las anteriores “variables”.
- Definir/nombrar las Variables Locales, a partir de las “variables” e Índices Locales anteriores, tal y como se ha explicado en la Metodología, teniendo en cuenta que habrá que definir una Variable Local más cuando en una Función /Subfunción concreta haya cambiado alguno de los Índices Locales sobre los cuales se haya definido alguna “variable” .
- Considerar Funciones/Subfunciones en la Etapa de Fabricación/Montaje con esta secuencia: Distribución, Almacenamiento, Producción-Operaciones, Aprovevisionamiento
- Ídem Etapa de Distribución
- Considerar Funciones/Subfunciones en la Etapa de Aprovevisionamiento con esta secuencia: Distribución, Almacenamiento, Aprovevisionamiento (si existen sub-Etapas, aquella más cercana a la Etapa de Fabricación/Montaje)
- Ídem Etapa de Distribución
- Considerar Funciones/Subfunciones en la Etapa de Proveedores con esta secuencia: Distribución, Almacenamiento, Producción-Operaciones, Aprovevisionamiento (si existen sub-Etapas, aquella más cercana a la Etapa de Aprovevisionamiento)
- Ídem Etapa de Distribución

#### 2. Considerar el Entorno de $CD^M$ (Nivel Macro)

- Para cada  $CD^{Tt}$  y  $CD^{Te}$

- Identificar qué Variables Locales de  $CD^M$  de las definidas anteriormente, “conectan” con las Variables Globales “enviadas” (a modo de IN), desde cada  $CD^{Ti}$  ó  $CD^{Te}$  (Variables por Interdependencia)
- Identificar, en su caso, desviaciones positivas o negativas sobre las Variables Globales No-Finales “enviadas” a modo de IN por parte de  $CD^{Ti}$  ó  $CD^{Te}$  (Variables de Interdependencia)
- Para cada  $CD^{Bt}$  y  $CD^{Be}$
- Identificar qué Variables Locales de  $CD^M$  de las definidas anteriormente, se “enviarán” (a modo de IN) a  $CD^{Bt}$  ó  $CD^{Be}$  una vez ejecutado su Modelo Decisional  $Z^M$  (Variables por Interdependencia)
- Identificar, en su caso, desviaciones positivas o negativas anticipadas sobre las mismas (Variables por Interdependencia)

### 3.1.4. Parámetros

Para la definición de los Parámetros  $Ie^M$  de un Centro de Decisión  $CD^M$  genérico:

#### 1. Considerar el Alcance de $CD^M$ (Nivel Macro)

- Considerar Funciones/Subfunciones en la Etapa de Distribución con esta secuencia: Distribución, Almacenamiento, Aprovisionamiento (si existen sub-Etapas, aquella más cercana al Consumidor Final)
- Indicar qué “atributos”, de entre los mencionados en la Metodología, tiene sentido incluir.
- Indicar sobre qué Índices Locales tiene sentido definir los anteriores “atributos”.
- Definir/nombrar los Parámetros Locales, a partir de los “atributos” e Índices Locales anteriores, tal y como se ha explicado en la Metodología, teniendo en cuenta que habrá que definir una Parámetro Local más cuando en una Función /Subfunción concreta haya cambiado alguno de los Índices Locales sobre los cuales se haya definido algún “atributo”.
- Considerar Funciones/Subfunciones en la Etapa de Fabricación/Montaje con esta secuencia: Distribución, Almacenamiento, Producción-Operaciones, Aprovisionamiento
- Ídem Etapa de Distribución
- Considerar Funciones/Subfunciones en la Etapa de Aprovisionamiento con esta secuencia: Distribución, Almacenamiento, Aprovisionamiento (si existen sub-Etapas, aquella más cercana a la Etapa de Fabricación/Montaje)
- Ídem Etapa de Distribución

- Considerar Funciones/Subfunciones en la Etapa de Proveedores con esta secuencia: Distribución, Almacenamiento, Producción-Operaciones, Aprovisionamiento (si existen sub-Etapas, aquella más cercana a la Etapa de Aprovisionamiento)
  - Ídem Etapa de Distribución
2. Considerar el Entorno de  $CD^M$  (Nivel Macro)
- Para cada  $CD^{Tt}$  y  $CD^{Te}$ 
    - Identificar/nombrar las Decisiones Finales y No-Finales ó Tentativas “enviadas” a modo de IN por parte de  $CD^{Tt}$  ó  $CD^{Te}$  (Parámetros por Interdependencia)
    - Identificar/nombrar los Costes, en su caso, por desviaciones positivas o negativas sobre las Decisiones No-Finales ó Tentativas (Parámetros por Interdependencia)
    - Identificar/nombrar los límites máximos o mínimos sobre las anteriores desviaciones (Parámetros por Interdependencia)
  - Para cada  $CD^{Bt}$  y  $CD^{Be}$ 
    - Identificar/nombrar qué Parámetros Locales de  $CD^{Bt}$  ó  $CD^{Be}$  se “anticiparán” antes de que  $CD^M$  ejecute su Modelo Decisional y les envíe una IN (Parámetros de Interdependencia)
    - Identificar/nombrar, en su caso, penalizaciones (costes) por desviaciones positivas y/o negativas sobre las Variables de Decisión por Interdependencia definidas explícitamente por  $CD^M$  para anticipar a  $CD^{Bt}$  (Parámetros de Interdependencia)
    - Identificar/nombrar, en su caso, límites máximos o mínimos sobre las anteriores desviaciones (Parámetros por Interdependencia)

### 3.2. Parte de Modelado

#### 3.2.1. Criterio

Para la definición del Criterio  $C^M$  de un Centro de Decisión  $CD^M$  genérico:

1. Considerar el Alcance de  $CD^M$  (Nivel Macro)
- Considerar Funciones/Subfunciones en la Etapa de Distribución con esta secuencia: Distribución, Almacenamiento, Aprovisionamiento (si existen sub-Etapas, aquella más cercana al Consumidor Final)
  - Identificar qué “conceptos” (Locales) tiene sentido incluir en cada una de dichas Funciones/Subfunciones .
  - Para cada “concepto” multiplicar el Parámetro Local que lo ha originado por la Variable de Decisión Local correspondiente sumadas a lo largo de los Índices Locales correspondientes.

- Considerar Funciones/Subfunciones en la Etapa de Fabricación/Montaje con esta secuencia: Distribución, Almacenamiento, Producción-Operaciones, Aprovisionamiento
- Ídem Etapa de Distribución
- Considerar Funciones/Subfunciones en la Etapa de Aprovisionamiento con esta secuencia: Distribución, Almacenamiento, Aprovisionamiento (si existen sub-Etapas, aquella más cercana a la Etapa de Fabricación/Montaje)
- Ídem Etapa de Distribución
- Considerar Funciones/Subfunciones en la Etapa de Proveedores con esta secuencia: Distribución, Almacenamiento, Producción-Operaciones, Aprovisionamiento (si existen sub-Etapas, aquella más cercana a la Etapa de Aprovisionamiento)
- Ídem Etapa de Distribución

## 2. Considerar el Entorno de $CD^M$ (Nivel Macro)

- Para cada  $CD^{Tt}$  y  $CD^{Te}$ 
  - Identificar “conceptos” relativos en este caso a Costes por Desviaciones con respecto a Variables Globales (Decisiones) no Finales enviadas a modo de IN desde  $CD^{Tt}$  ó  $CD^{Te}$  (Variables de Decisión por Interdependencia debida a desviaciones para  $CD^M$ )
  - Para cada “concepto” multiplicar el Parámetro por Interdependencia que lo ha originado (normalmente propuesto por  $CD^{Tt}$  ó  $CD^{Te}$  para “controlar” las posibles desviaciones de  $CD^M$ ) por la Variable de Decisión por Interdependencia correspondiente, sumadas a lo largo de los Índices Locales y por Interdependencia correspondientes.
- Para cada  $CD^{Bt}$  y  $CD^{Be}$ 
  - Identificar “conceptos” relativos en este caso a Costes por Desviaciones con respecto a Variables Globales (Decisiones) no Finales enviadas a modo de IN desde  $CD^{Tt}$  ó  $CD^{Be}$  (Variables de Decisión por Interdependencia debida a desviaciones para  $CD^M$ )
  - Para cada “concepto” multiplicar el Parámetro por Interdependencia que lo ha originado por la Variable de Decisión por Interdependencia correspondiente, sumadas a lo largo de los Índices Locales y por Interdependencia correspondientes.

### 3.2.2. Campo de Decisión

Para la definición del Campo de Decisión  $A^M$  de un Centro de Decisión  $CD^M$  genérico:

#### 1. Considerar el Alcance de $CD^M$ (Nivel Macro)

- Considerar Funciones/Subfunciones en la Etapa de Distribución con esta secuencia: Distribución, Almacenamiento, Aprovisionamiento (si existen sub-Etapas, aquella más cercana al Consumidor Final)

- Identificar para cada Función/Subfunción y para cada uno de los tres Grupos identificados qué Restricción Local tiene sentido formular.
- Formular la Restricción Local a partir de los Parámetros y Variables de Decisión Locales según se explica en la Metodología.
- Considerar Funciones/Subfunciones en la Etapa de Fabricación/Montaje con esta secuencia: Distribución, Almacenamiento, Producción-Operaciones, Aprovevisionamiento
- Ídem Etapa de Distribución
- Considerar Funciones/Subfunciones en la Etapa de Aprovevisionamiento con esta secuencia: Distribución, Almacenamiento, Aprovevisionamiento (si existen sub-Etapas, aquella más cercana a la Etapa de Fabricación/Montaje)
- Ídem Etapa de Distribución
- Considerar Funciones/Subfunciones en la Etapa de Proveedores con esta secuencia: Distribución, Almacenamiento, Producción-Operaciones, Aprovevisionamiento (si existen sub-Etapas, aquella más cercana a la Etapa de Aprovevisionamiento)
- Ídem Etapa de Distribución

## 2. Considerar el Entorno de $CD^M$ (Nivel Macro)

- Para cada  $CD^{Tt}$  y  $CD^{Te}$
- Identificar qué Variables Globales Finales y no Finales son enviadas a modo de IN por parte de cada  $CD^{Tt}$  ó  $CD^{Te}$
- Formular la Restricción/es por Interdependencia a partir de los Parámetros y Variables de Decisión (tanto Locales como por Interdependencia) según se explica en la Metodología.
- Para cada  $CD^{Bt}$  y  $CD^{Be}$
- Identificar qué Parámetros correspondientes al Campo de Decisión Local de  $CD^{Bt}$  ó  $CD^{Be}$  se anticiparán, distinguiendo entre aquellos que se conocen con certeza y sólo de manera aproximada.
- Formular la Restricción/es por Interdependencia a partir de los Parámetros y Variables de Decisión (tanto Locales como por Interdependencia) según se explica en la Metodología.

## 4. Comentarios

En la presente comunicación se ha propuesto una Metodología detallada para el desarrollo de Modelos basados en Programación Matemática que ayuden a la Toma de Decisiones en el proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D, todo ello en un contexto jerárquico.

Destacar que dicha Metodología detallada tiene sentido en cuanto a que previamente se desarrolló un Marco Conceptual (Alarcón y otros, 2007) en el que se consideraron cuatro Visiones: Física, Organizacional, Decisional e Informacional, para modelar el Proceso de Planificación Colaborativa y posteriormente se desarrolló una Metodología estructurada en dos Niveles, Macro (Lario y otros, 2007) y Micro (Pérez y otros, 2008) para el Modelado Analítico de cualquier Centro de Decisión genérico que formara parte del Proceso anterior.

Por razones de espacio, la Metodología que se presenta en la comunicación simplemente ha descrito brevemente cada uno de los pasos para obtener los componentes del Modelo basado en Programación Matemática.

No obstante, cualquier concepto a los que se hace referencia pueden encontrarse detallados en Pérez (2008) y Alemany y otros (2008).

### **Agradecimientos**

Algunos contenidos del presente trabajo se derivan de la participación de sus autores en el Proyecto: DPI2004-06916-C02-01, “Metodología Jerárquica en contexto de incertidumbre en la Planificación Colaborativa de la Cadena/Red de Suministro-Distribución. Aplicación al sector cerámico.”, subvencionado por el Ministerio de Educación y Ciencia.

### **Referencias**

Alarcón, F., Lario, F.C., Boza, A., Pérez, D., (2007). “Propuesta de Marco Conceptual para el modelado del proceso de Planificación Colaborativa de Operaciones en contextos de RdS/D”. *XI Cong. Ingeniería Organización*, Vol. 1, pp. 873-882. Madrid.

Alemany, M.; Pérez, D.; Alarcón, F.; Boza, A. (2007). “Planificación Colaborativa en RdS/D mediante Programación Matemática en Entornos Distribuidos”. *XI Cong. Ingeniería Organización*, Vol. 1, pp. 853-862. Madrid.

Lario, F.C.; Pérez, D.; Alemany, M.; Alarcón, F. (2007). “Metodología para la determinación del Entorno Decisional de un Centro de Decisión genérico en un contexto jerárquico de Planificación Colaborativa de una RdS/D”. *XI Cong. Ingeniería Organización*, Vol. 1, pp. 797-808. Madrid.

Pérez, D. (2008). *Desarrollo de un Marco Conceptual y una Metodología para el desarrollo de Modelos basados en Programación Matemática para la Planificación Colaborativa de Redes de Suministro/Distribución en un contexto jerárquico. Aplicación a Empresas del Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos*. Tesis Doctoral pendiente de ser depositada en junio 2008.

Pérez, D.; Lario, F.C., Alemany, M. (2008). “Metodología para el Modelado Analítico Decisional de un Centro de Decisión genérico en un contexto jerárquico de Planificación Colaborativa de una RdS/D”. *Comunicación pendiente de aceptación para el XII Congreso de Ingeniería de Organización*. Burgos.