

Metodología para el Diseño y Operación de los Sistemas de Ayuda a la Toma de Decisiones en Planificación Jerárquica de la Producción

Vicens Salort E¹, Alemany Díaz M.E.²

¹Universidad Politécnica de Valencia, evicens@omp.upv.es

²Universidad Politécnica de Valencia, mareva@omp.upv.es

RESUMEN

Una revisión de la literatura existente sobre Planificación Jerárquica de la Producción (PJP) muestra como la investigación en este campo se ha centrado principalmente en el diseño de tales Sistemas para entornos productivos particulares o bien se han tratado aspectos muy concretos como los temas de agregación/desagregación en circunstancias específicas. El presente trabajo trata de generalizar las anteriores aplicaciones a través del desarrollo de una Metodología de Diseño y Operación de estos Sistemas. En cada etapa de la Metodología se tratan algunos de los aspectos más conflictivos y se proponen algunas soluciones.

1 Introducción

Debido a las ventajas aportadas por la Visión PJP [1] frente a la Visión Monolítica, ésta ha sido aplicada en diferentes entornos productivos [2], [3], [4], [5], etc. Sin embargo, existen una serie de limitaciones que han frenado su difusión entre los managers: (a) no existe un procedimiento general para el desarrollo de la filosofía PJP, (b) las dificultades intrínsecas de los modelos cuantitativos, y (c) la propia naturaleza de la visión jerárquica que puede conducir a infactibilidades e inconsistencias entre niveles y a una solución subóptima. Para subsanar algunas de estas limitaciones, se propone una Metodología de Diseño y Operación de los Sistemas de Ayuda a la Toma de Decisiones en PJP (SATDPJP).

2 Etapas de la Metodología para el Diseño y Operación de los SATDPJP.

El objetivo perseguido con la propuesta de esta Metodología es proporcionar unas directrices para el desarrollo y operación de los SATDPJP, independientemente del entorno productivo. La Metodología consta de cinco etapas, cada una de ellas formada por diferentes fases durante cuya descripción se abordan algunos aspectos problemáticos de la visión PJP con mayor profundidad. Las etapas que componen la Metodología propuesta son las siguientes [6]: Etapa de Diseño Detallado, Etapa de Construcción de la Jerarquía, Etapa de Operación, Etapa de Rediseño y Etapa de Desmantelamiento.

2.1 Etapa de Diseño Detallado

Se trata de una etapa de análisis, constituida por una única fase, que proporciona las entradas al proceso de diseño de la jerarquía.

2.1.1 Fase 1. Análisis del Sistema de Planificación y Programación de la Producción de la Empresa.

El objetivo en esta fase consiste en desarrollar un Modelo Descriptivo Detallado de la Función de Planificación de la Empresa (DEPFDM). Este proceso requiere Información sobre el Sistema Físico y el Sistema de Decisión:

- **Sistema Físico:** las Características del Sistema de Fabricación en un determinado nivel pueden clasificarse en las siguientes categorías: detalles sobre los centros de trabajo, sobre los trabajadores, los productos y su demanda. Es necesario establecer las relaciones entre cada una de estas categorías.
- **Sistema de Decisión:** las Características de Gestión pueden clasificarse en **Objetivos** (cuantitativos y no cuantitativos), **Controles** o Decisiones (caracterizadas por su *tiempo de ciclo* (tiempo que transcurre desde que se toma una decisión hasta que los resultados de la misma se observan) *su periodicidad* (tiempo que transcurre entre dos tomas de decisiones consecutivas) y el *decisor* responsable del valor del control) y las **Restricciones** y **Criterios** (cuantitativos y no cuantitativos). También entre cada una de estas características existen diversas relaciones.
- **Sistema de Información:** para reflejar adecuadamente las características detalladas del sistema físico y de gestión se debe establecer un Sistema de Información capaz de soportar la correcta toma de decisiones.

El Sistema Físico debe trabajar para optimizar los Objetivos propuestos a través de un adecuado valor de los Controles o Decisiones y respetando siempre las Restricciones y Criterios a lo largo de todo el Horizonte de Planificación. En definitiva, se trata de un Problema de Decisión Global Complejo, D^0 , representado por un determinado modelo M^0 , que se pretende resolver a través del establecimiento de una jerarquía. Como es bien conocido, un Modelo de Decisión (M^0) se caracteriza por un Campo de Decisión (A^0) y una Estructura de Preferencia (O^0) (en ocasiones representada por múltiples objetivos) y un intervalo de tiempo (H^0) durante el que D^0 debe resolverse. El campo de decisión está compuesto por el conjunto de restricciones y criterios derivados del sistema físico y de las políticas de empresa modelizables o no matemáticamente (T^0 , NT^0) y las decisiones (U^0) que pueden tomarse respetando las anteriores limitaciones (decisiones factibles)).

2.2 Etapa de Construcción de la Jerarquía

Esta etapa necesita de una estrecha y profunda comunicación entre el diseñador y los planificadores. Una adecuada construcción de la jerarquía debe integrar correctamente los elementos constituyentes de los SATDPJP en cada nivel: (1) Un Modelo Descriptivo de la Función de Planificación de la Empresa en cada nivel, (2) Módulo PJP (Modelos de Planificación de la Producción en cada Nivel), (3) el/los Decisor/es y (4) el Sistema de Información.

2.2.1 Fase 2. Proceso de Diseño de la Jerarquía

A partir de la definición de los Niveles Jerárquicos y del Modelo Descriptivo Detallado de la Función de Planificación de la Empresa (DEPFDM) se deriva el Modelo Descriptivo de la Función de Planificación de la Empresa en los diferentes Niveles (EPFDM(i)). Éste último

constituye el punto de partida para la definición del Módulo PJP con los Modelos Cuantitativos de Ayuda a la Toma de Decisiones en cada Nivel.

Definición de los Niveles Jerárquicos

Cada nivel en la jerarquía tiene dos características temporales fundamentales: el Horizonte y el Periodo. Si bien no existe un número de niveles de la jerarquía fijo y válido para cualquier caso, si que se cumple con carácter general que cuanto más alto se encuentra un nivel en la jerarquía mayor es la longitud del horizonte y del periodo de planificación. Una manera natural de definir el Número de Niveles de la Jerarquía es la que se describe a continuación:

- En base al análisis de la periodicidad con la que se toman cada una de las decisiones (variables de decisión) se establecen las posibles magnitudes de los periodos de tiempo.
- Las decisiones con la misma periodicidad deben pertenecer al mismo nivel jerárquico. Esta última regla proporciona el número de niveles jerárquicos.
- Definición del Horizonte de Planificación en cada Nivel. Éste puede venir condicionado bien por la complejidad del problema, por el tiempo de resolución permisible o por factores de planificación (p.e. el deseo de abarcar la estacionalidad en la demanda).

Definición del EPFDM en cada Nivel

Una vez definido el número de niveles jerárquicos, su horizonte y periodo de planificación, la siguiente fase consiste en la determinación de los Subproblemas de Ayuda a la Toma de Decisiones correspondientes en cada uno de ellos. Formalmente, el Problema de Toma de Decisión Global (D^0) representado por su Modelo Detallado (M^0) puede definirse como D^0 (O^0 (QO^0 , NQO^0), A^0 (T^0 , NT^0), U^0), H^0). Pero, debido a la complejidad inherente al Problema de Toma de Decisiones Detallado y la propia Estructura Organizacional de la Empresa, es recomendable llevar a cabo una Descomposición Jerárquica que se aproxime al Modelo Detallado a través de una jerarquía con n niveles. En cada nivel se desarrolla un Modelo Descriptivo Detallado de la Función de Planificación de la Empresa. Las Características del Sistema Físico de Fabricación deben tratarse con un determinado grado de abstracción (agregación). Por ejemplo, en lugar de productos se puede hablar de familias, en lugar de máquinas de células, en lugar de minutos de meses. En cada nivel, por tanto, se puede establecer un Problema de Toma de Decisiones definido como D^i (O^i (QO^i , NQO^i), A^i (T^i , NT^i), U^i), H^i). La unión de todos estos subproblemas deberá cubrir el problema original.

A continuación se presenta el proceso de obtención de cada uno de los Modelos Descriptivos de la Función de Planificación de la Empresa de cada Nivel que servirán como base para el desarrollo de los Modelos Matemáticos de Ayuda a la Toma de Decisión en cada nivel:

- Las Características del Sistema Físico difieren en el grado de detalle dependiendo del nivel al que se encuentren asociadas. Un decisor posee una visión diferente del Sistema Físico dependiendo del nivel en el que se halle. P.e., con respecto a la dimensión producto se puede hablar de componentes, artículos, grupos de artículos; con respecto a la dimensión capacidad de máquina, grupo de máquinas, segmento, planta; con respecto al tiempo; minutos, semanas, meses, años.
- Establecimiento de los Controles o Variables de Decisión considerados en cada nivel: un control debe aparecer como variable de decisión al menos en el nivel en el que el periodo de replanificación coincide con la periodicidad asociada al control. Para niveles inferiores,

el valor de este control debe considerarse fijo. Por el contrario, si aparece en niveles con un periodo de replanificación mayor será necesario proceder a su desagregación.

- En base a los Controles y la Visión del Sistema Físico de un Nivel se deben derivar sus correspondientes Objetivos, Restricciones y Criterios.

De lo dicho anteriormente, se deduce que los Subproblemas de Ayuda a la Toma de Decisiones de cada Nivel no son disjuntos sino que comparten algunos objetivos, controles, restricciones y vistas del sistema físico. Los controles comunes serán sometidos a una posterior desagregación generando las ecuaciones de consistencia.

2.2.2 Fase 3. Módulo PJP. Modelos de Ayuda a la Toma de Decisiones en cada Nivel

El Marco de Decisión (Características de Gestión) establecido en los distintos Niveles, proveniente del Modelo Descriptivo de la Función de Planificación de la Empresa, proporciona el punto de partida para el desarrollo de los Modelos Matemáticos en cada Nivel. El método de construcción de estos Modelos sigue un procedimiento de arriba-abajo:

1. Sea $i=1$.
2. La traducción del Marco Decisonal (Objetivos, Controles, Criterios y Restricciones) de un nivel a un lenguaje cuantitativo proporciona el modelo cuantitativo para este nivel.
3. Los Controles comunes al nivel i e $i+1$ son candidatos a una posterior desagregación. Aquellos controles privados de un nivel, no se desagregan y sus valores (en caso de utilizarse en otros niveles) se pasan como cantidades fijas. Las ecuaciones de consistencia, normalmente consisten en la igualación del valor de las variables de decisión agregadas con la suma de las cantidades detalladas a través de las dimensiones tiempo, productos y/o capacidad.
4. Conocido el modelo cuantitativo en cada nivel se está en situación de determinar su complejidad asociada. Si el horizonte propuesto en la fase de definición de la jerarquía no se adecua al tiempo de resolución permisible, sería necesario proceder a su reducción.
5. Si $i=n$, fin. En caso contrario hacer $i=i+1$ e ir a paso 2.

2.2.3 Fase 4. Definición del Sistema de Información en cada Nivel

El EPDFM Detallado define los requerimientos de información para el nivel de decisión más bajo. Sin embargo, no toda la información necesaria para los niveles superiores existe. Ésta debe elaborarse a partir de información detallada por medio del denominado Proceso de Agregación. Para abordar este tema se pueden utilizar dos visiones: la primera supone que cada nivel de toma de decisiones dispone de su propia base de datos, recibe información del sistema proveniente del nivel de decisión inferior, agrega la información y envía esta información agregada al nivel de decisión superior. La segunda visión contempla una única base de datos con toda la información necesaria para la toma de decisiones de cualquier nivel.

La información necesaria para cada nivel jerárquico debe ser elaborada a partir de la información detallada por medio del denominado proceso de agregación [7]. El análisis de agregación [8] incluye la determinación de: Entidades a agrupar (tiempo, [4]), productos [1] y/o recursos ([7]); Medida de Similitud, Procedimiento de Agrupación, Nivel de Agrupación y Método de Combinación. Este último normalmente consiste en la definición de unos pesos con el que las diferentes entidades detalladas entran a formar parte de la agregada.

2.2.4 Fase 5. Definición de las Interdependencias Jerárquicas

La desagregación de la solución agregada [9] no garantiza ni la optimalidad ni la factibilidad con respecto a las soluciones del problema detallado original. El tema de la (in)factibilidad en la agregación/desagregación ha sido tratado intensivamente en la agregación perfecta [10]. Sin embargo, ésta sólo se cumple bajo condiciones muy específicas, la desagregación de un plan agregado factible no garantiza un plan detallado factible, y además no se considera el tema de la optimalidad y suboptimalidad. La visión tradicional pura de arriba-abajo intenta resolver este problema restringiendo la agregación a entidades con características casi idénticas, resultando en un procedimiento de agregación superfluo y limitando la aplicación de la PJP. Se propone un procedimiento de agregación / desagregación iterativo basado en una estrategia de actualización de los pesos utilizados para la agregación y una anticipación por parte de los niveles superiores de los inferiores [11]. Creemos que los atributos de una entidad agregada no sólo dependen de las entidades elementales que la forman, sino también de la cantidad con la que cada una de ellas entra a formar parte de la entidad agregada. P.e., para obtener los pesos (g_i) con los que entra a formar parte un producto (i), perteneciente a un cierto grupo de productos (k), con un tiempo de procesamiento (pr_i), y, por tanto, obtener el tiempo de procesamiento agregado, se utiliza la ecuación (1) basada en la cantidad a producir (X_{it}) para cada producto i :

$$\hat{p}r_{kt} \hat{X}_{kt} = \sum_i pr_i X_{it} \Rightarrow \hat{p}r_{kt} = \frac{\sum_i pr_i X_{it}}{\hat{X}_{kt}} = \frac{\sum_i pr_i X_{it}}{\sum_i X_{it}} \Rightarrow g_{it} = \frac{X_{it}}{\sum_i X_{it}} \quad (1)$$

Si se conociese la solución detallada óptima sería posible derivar los pesos óptimos a través de (1). Pero, en ese caso, el proceso de agregación se convertiría en algo innecesario. Si los parámetros detallados fuesen iguales, el valor de los pesos sería irrelevante. Sin embargo, si esta condición no se da el proceso de definición de los pesos cobra una mayor importancia. Las diferencias entre la visión presentada y la visión tradicional con respecto a la definición de los pesos son las siguientes: para derivar los parámetros agregados de una determinada entidad, no se considera unos pesos de agregación únicos, sino que dependen del parámetro que se vaya a agregar, y, para una entidad y un parámetro dados, la definición de los pesos depende del tiempo. Para llegar al establecimiento de estos pesos es necesario una solución explícita del/los modelos detallados. Se propone el siguiente procedimiento iterativo de agregación/desagregación:

1. Inicialización . Sea $j=0$

Empezar con pesos iguales para cada grupo y para cada parámetro (2) o establecer unos pesos iniciales en función de la demanda del artículo (3). Establezca la función de anticipación para el nivel inferior.

$$g_i^k = \frac{1}{n_k} \quad (2)$$

$$g_i^k = \frac{\sum_i d_{it}}{\sum_i \sum_t d_{it}} \quad (3)$$

2. Construya el problema agregado a partir de los pesos actuales y resuelva el problema agregado del nivel superior, obteniendo el valor de las variables de decisión.
3. Desagregación. A partir de la solución agregada y de la función de anticipación del nivel inferior obténgase una solución desagregada.
4. Actualización de los pesos. Se debe diferenciar entre la parte del horizonte del nivel superior (T^T) cubierto y no cubierto por el horizonte del nivel inferior (T^B).

$$g_{it}^n(y) = \frac{\sum_{\tau \in t} y_{i\tau}}{\sum_{i \in k(i)} \sum_{\tau \in t} y_{i\tau}} \quad \forall t \leq T^B \quad (4)$$

$$g_{it}^n(y) = \frac{\sum_{t=1}^{t=T^T} d_{it} - \sum_{t=1}^{t=T^B} \sum_{\tau \in t} x_{i\tau}}{\sum_{i \in l(k)} \left(\sum_{t=1}^{t=T^T} d_{it} - \sum_{t=1}^{t=T^B} \sum_{\tau \in t} x_{i\tau} \right)} \quad \forall t, T^B \leq t \leq T^T \quad (5)$$

La ecuación (4) actualiza los pesos para la siguiente iteración utilizando información detallada relacionada con ciertas variables de decisión o controles (y_{it}). Este procedimiento de actualización permanece válido durante el horizonte del nivel superior cubierto por el nivel inferior. La ecuación (5) establece los mismos pesos para el resto de los periodos del horizonte del nivel superior no cubierto por el horizonte del nivel inferior, pero, en este caso, proporcionalmente a la demanda del producto i todavía no cubierta por la producción detallada durante el horizonte de planificación del nivel inferior.

5. Si se cumple algún criterio de parada, fin. En caso contrario hacer $j=j+1$ e ir a paso 2.

2.3 Etapa de Operación

Llegados a esta etapa el proceso de diseño habría finalizado, y se pasaría a la etapa de operación de la misma. Los elementos constituyentes de cada uno de los niveles se encuentran horizontal y verticalmente integrados como puede observarse en la Figura 1. El Sistema de Información contiene la información necesaria para cada nivel. Esta información se obtiene del Modelo Descriptivo de la Función de Planificación en cada Nivel (0) y hace referencia no sólo a la información necesaria para el Módulo PJP si no cualquier información interna o externa relevante para el proceso de toma de decisiones. El Marco Decisional es considerado por el Módulo PJP (1) (objetivos, controles, restricciones y criterios todos cuantitativos) y por el Decisor (2) (aquellos aspectos cualitativos). Los datos agregados de entrada al modelo (3) (obtenidos por medio del proceso de agregación (13)) necesarios para el Modelo en cada Nivel son proporcionados por el Sistema de Información. Los resultados del nivel superior también son transferidos a los del nivel inferior. El Decisor es consultado acerca de las opciones de modelización (5). Por tanto, el planificador de la producción (usuario final no necesita ningún conocimiento matemático para utilizar el sistema). (3) y (9) conjuntamente con las opciones de modelización elegidas por el decisor, constituyen las entradas al Modelo

Matemático del Nivel inferior. Después de anticipar los niveles inferiores (10) se activa el método de resolución. Los resultados obtenidos (4) se transfieren al Decisor a través de un Sistema de Diálogo, convirtiendo el proceso de ayuda a la toma de decisiones en un sistema no automatizado. Un sistema que sólo considere los aspectos cuantitativos del Marco de Decisión no permite la incorporación por parte del decisor de sus preferencias sobre el plan, especialmente cuando se encuentran implicados objetivos (NO_i) y restricciones (NT_i) intangibles. Sin la interacción con el planificador, todo el conocimiento relevante para la resolución del problema debería ser incorporada en el sistema de planificación, o en caso contrario los resultados obtenidos podrían encontrarse muy alejados de su aplicabilidad a problemas del mundo real. La idea es que el planificador tenga un control total del sistema. El Decisor considera (2) factores adicionales (aquellos cualitativos) y otra información disponible (8). Los anteriores factores podrían alterar la solución proporcionada por el Módulo PJP (5). En este caso, la solución modificada debe ser testeada de nuevo en términos de factibilidad (6). Si la solución adaptada es factible, los resultados modificados son almacenados en el Sistema de Información y transferidos al nivel inferior o a la Base de Datos Transaccional en caso de que se trate de decisiones finales que no requieran una posterior desagregación. A través de este proceso, los resultados obtenidos por las variables se desagregan. La participación del decisor, no sólo introduce factores no cualitativos, sino también aspectos de liderazgo (11 y 12).

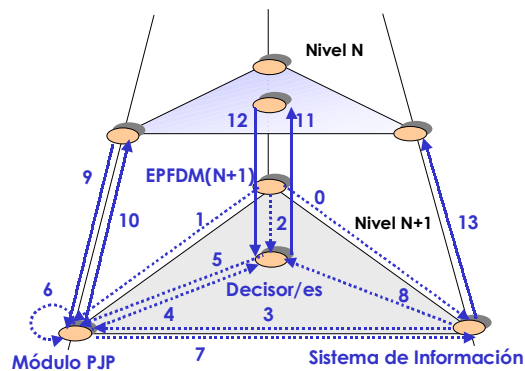


Figura 1: Interdependencias de los Elementos de los SATDPJP

2.4 Etapa de Rediseño

Con el objeto de adaptar el proceso de toma de decisiones al entorno dinámico, los decisores de cada nivel deben detectar si es necesario un rediseño y proponer a los diseñadores:

- Nuevas características del Sistema Físico (diferentes grupos de entidades) o nuevas Características de Gestión (objetivos, controles, etc.) (ir a fase 2).
- Una nueva jerarquía (ir a fase 2)
- Un nuevo Modelo Descriptivo de la Función de Planificación de la Empresa (ir a fase 1).
- Nuevos requerimientos de los Modelos Cuantitativos (ir a fase 3), etc.

2.5 Etapa de Desmantelamiento

Es más, el entorno dinámico de la empresa puede convertir el SATDPJP en obsoleto, siendo necesario establecer un procedimiento de desmantelamiento adecuado.

3 Conclusiones

Se ha desarrollado una Metodología para el Diseño y Operación de los Sistemas de Planificación Jerárquica de la Producción que intenta ser válida para cualquier entorno productivo. Se ha realizado una descripción de los elementos constituyentes el SATDPJP y se ha establecido la necesidad de su Integración Vertical y Horizontal. Para evitar las infactibilidades en niveles inferiores, se recomienda una anticipación de los niveles inferiores por parte de los niveles superiores y la utilización de esquemas de agregación/desagregación iterativos para la actualización de los pesos de agregación, en contraposición a la visión de PJP pura de arriba-abajo. Para proporcionar al SATDPJP de una mayor flexibilidad se propone la Integración Horizontal entre sus elementos (aspecto poco investigado).

Referencias

- [1] Hax and Meal. (1975), "Hierarchical Integration of Production Planning and Scheduling" In: Geisler (eds.), *Studies in the Management Sciences*, North Holland- American Elsevier, Logistics 1, pp.53-69.
- [2] Bowers M.R. and Jarvis J.P. (1992), "A Hierarchical Production Planning and Scheduling Model", *Decision Sciences* 23, pp. 144-159.
- [3] Caravilla M. and de Sousa J., " A Hierarchical Production Planning in a Make-to-Order Company: A Case Study", *European Journal of Operational Research* , 86, pp. 43-56.
- [4] Lario F.; Vicens E. and Ros L. (1994), "Application of an MRP Matrix-Based Hierarchical Planning Model to a Furniture Company", *Production Planning & Control*, 5/6, pp. 562-574.
- [5] Liberatore J.M. and Miller T. (1985), "A Hierarchical Production Planning System", *Interfaces*, 5, pp.1-11.
- [6] Vicens E., (1999), "Modelos de Planificación Jerárquica en Gestión de Sistemas de Operaciones, en un Contexto de Integración Empresarial. Su incidencia en los Sistemas de Ayuda a la Toma de Decisiones", *Trabajo de Investigación*, Alcoy.
- [7] Axsäter S. (1981), "Aggregation of Product Data for Hierarchical Production Planning", *Operations Research* 29, pp. 744-755.
- [8] Rogers D. F., Plante R. D., Wong R.T., Evans J. R. (1991), "Aggregation and Disaggregation Techniques and Methodology in Optimization", *Operations Research*, 39/4, pp. 553-578.
- [9] Leisten, R. (1998) , "An LP-aggregation view on aggregation in multi-level production planning", *Annals of Operations Research*, 82, pp. 413-434.
- [10]Axsäter S. (1986), "On the feasibility of aggregate production Plans", *Operations Research* 34.
- [11]Schneeweiß C. (1995), "Hierarchical Structures in Organizations: A Conceptual Framework" *European Journal of Operational Research* , 86, pp.4-31.