

PLANIFICACIÓN JERÁRQUICA DE LA PRODUCCIÓN (HIERARCHICAL PRODUCTION PLANNING) EL ESTADO DEL ARTE Y PRESENTACIÓN DE EXPERIENCIAS

Tulio Gerardo Motoa Garavito

*Profesor Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística Universidad del Valle, Colombia.
Contacto: gmotoa@univalle.edu.co*

Juan Carlos Osorio Gómez

*Profesor Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística Universidad del Valle, Colombia.
Contacto: josorio@pino.univalle.edu.co*

Juan Pablo Orejuela Cabrera

*Profesor Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística Universidad del Valle, Colombia.
Contacto: juanp77@pino.univalle.edu.co*

Resumen:

Los sistemas de planificación jerárquicos de la producción surgen como un enfoque que resuelve muchos de los problemas y limitaciones de los actuales sistemas. Este modelo de planificación se caracteriza porque define un conjunto de niveles de planificación, cada uno de ellos con un modelo de toma de decisiones asociado, una representación de las entidades del sistema (productos y recursos) y del tiempo, acorde con la ubicación jerárquica del nivel, además de las relaciones entre los diversos niveles, que le dan coherencia al modelo. En este documento se presentan los principales desarrollos teóricos y aplicaciones prácticas disponibles en la literatura sobre el tema.

Palabras Clave: Planificación jerárquica, planificación de la producción, Sistemas de planificación de producción, Sistemas de soporte a la decisión.

Abstract:

Hierarchical production planning systems emerge as an approach to solve most of the problems that current production planning systems have. This planning model defines a set of planning levels, each with an associated decision making model. It also comprises a representation of the system entities (products and resources) and time, according to the hierarchical level, in addition to the relationships among levels, which leads to the model consistency. This paper presents the available main theoretical developments and practical applications in the area in the literature.

Keywords: Hierarchical planning, Production planning, Production Planning Systems, Decision Support Systems.

1. Introducción

Para cualquier tipo de organización, la planificación resulta de vital importancia. Avizorar los horizontes y establecer derroteros para avanzar en la dirección señalada, debe comprometer mucha de la inteligencia organizacional. La calidad de los resultados de la planificación en una institución o empresa, sea esta de carácter público o privado, es un factor determinante en la supervivencia y crecimiento de la misma.

En particular, la planificación de la producción es reconocida como un problema complejo, que implica el manejo de un gran cantidad de variables y restricciones. Una buena planificación de las operaciones asociadas a la producción u obtención de bienes, constituye uno de los grandes retos de las empresas manufactureras.

El grado de dificultad que implica la construcción de un buen plan de producción, ha motivado que durante muchos años, estudiosos de diversa procedencia dediquen mucho esfuerzo a proponer alternativas que permitan tratar adecuadamente con este problema. Es dado reconocer aproximaciones al problema a partir de propuestas con un enfoque fundamentalmente construido desde la práctica y muy orientado a expresiones particulares del mismo, tales como MRP (ERP), JIT y TOC. Igualmente se identifican trabajos con un carácter eminentemente académico, es decir, posibilidades de modelación y solución al problema con enormes dificultades al intentar introducir una representación cercana a la realidad y que suelen señalarse como modelos de planificación monolíticos, casi siempre modelos matemáticos. Estas propuestas académicas en muchos casos tienen como propósito básico explorar nuevos métodos para modelar el problema y/o nuevas técnicas de solución a los modelos planteados.

Como una aproximación intermedia entre los enfoques con una expresión afianzada principalmente en la visión práctica y las soluciones mucho más de orden teórico, surge una corriente relativamente nueva con un grado de desarrollo importante en los últimos años y que se apoya en una visión jerárquica del sistema objeto de trabajo. Tal aproximación, denominada Planificación Jerárquica de la Producción (PJP), reconoce en el sistema de gestión de la producción diversos niveles u horizontes con problemas de decisión particulares, con un manejo agregado del tiempo y de los datos de las diversas entidades identificables,

y con la exigencia fundamental de lograr sinergia entre las diferentes decisiones que se toman en tal sistema.

La planificación jerárquica se propone inicialmente con trabajos que aparecen en los años 70's del siglo XX. Posteriormente, surgen muchas publicaciones asociadas a esta temática con enfoques variados, generando contrastes y planteamientos que señalan la potencialidad de desarrollo de este campo. Como modelo de planificación, los sistemas jerárquicos constituyen hoy por hoy un gran espacio de trabajo académico, con diferentes aplicaciones y con perspectivas de crecimiento notables.

Se presenta a continuación, el marco conceptual y una revisión de la bibliografía más importante sobre la planificación jerárquica de la producción. El apartado 1 presenta el problema de la planificación y control de la producción. El apartado 2 hace referencia a la estructura conceptual y teórica del modelo jerárquico. En el apartado 3 se describen las principales aproximaciones generales de este modelo. El apartado 4 presenta aplicaciones específicas, estudios de caso y trabajos desarrollados en la cadena de suministro, junto con otros tipos de aplicaciones. Finalmente, en el apartado 5 se desarrollan las conclusiones y algunas líneas actuales y futuras de investigación en el tema.

2. El Problema de la Planificación de la Producción.

La adquisición y asignación de recursos escasos a las actividades de producción para satisfacer la demanda de los clientes sobre un horizonte de tiempo específico, define el problema de la planificación de la producción. Es decir, este problema está relacionado con las decisiones de adquisición, asignación y utilización de los recursos de producción en la satisfacción de los requerimientos de los clientes, de la forma más eficiente y eficaz. Típicamente, estas decisiones entre otras cosas incluyen la definición del nivel de la fuerza de trabajo, la determinación de los tamaños de lotes, asignación de horas extras y secuenciación de las corridas de producción (Graves, 1999). En un lenguaje propio a los problemas de optimización, este problema se resuelve desarrollando un plan que en el sentido de la fabricación contra inventario atienda la demanda a un mínimo costo o con el beneficio máximo, y en el sentido de la fabricación contra pedido permita responder por unos trabajos en el menor tiempo posible o con la menor variación

alrededor de la fecha de entrega. Parece claro que este problema puede variar de acuerdo con los diferentes sistemas de fabricación y con el tipo de mercado a atender.

Los sistemas de fabricación pueden clasificarse en continuos y discretos. Los sistemas continuos suelen manufacturar muy pocos productos de manera ininterrumpida, tal como ocurre con la fabricación por ejemplo de azúcar o cemento. Los sistemas discretos fabrican productos en cantidades preestablecidas y pueden ir desde producir pocos productos en grandes volúmenes (sistemas masivos) a la fabricación de muchos productos en poca cantidad (sistemas de fabricación por encargo), pasando por diversas mezclas de estos dos extremos (sistemas de fabricación por lotes y series cortas). Para los sistemas masivos y de fabricación por lotes y series cortas, las preguntas a contestar casi siempre están relacionadas con el qué, cuánto, cuándo y dónde producir. Por el contrario en la fabricación por encargo o contra pedido, las preguntas suelen ser además del cuándo, el quién y el cómo (Domínguez Machuca y otros, 1995, Krajewski y Ritzman, 2000, Motoa, 2001).

En todo caso, cada sistema de producción presenta una dimensionalidad determinada por los tipos de productos que se fabrican, las cantidades de los mismos, los centros de trabajo considerados y su organización (orientada al flujo, orientada a la tarea, celdas flexibles), todo ello enmarcado en los problemas de toma de decisiones que surgen en los diversos niveles del sistema de gestión de la producción. En otra dirección, añade complejidad al tratamiento de la Planificación de la Producción (PP), las características asociadas a la demanda como son su dinámica (estacionalidad, tendencia), su comportamiento estocástico y otros factores no menos importantes como el manejo de los horizontes de tiempo a considerar en los pronósticos y la confiabilidad de los mismos.

Es importante resaltar que la planificación de la producción es parte de lo que suele denominarse corrientemente como Sistema de Gestión de la Producción y las Operaciones (SGP). En ese sentido, la planificación está relacionada con otros componentes de este sistema tales como la programación (para algunos autores incluida en la planificación), la dirección y el control. A pesar de que se reconoce la importancia de la interrelación entre los diversos componentes del SGP, y que por ser un sistema, la integración de los mismos tiene un impacto muy destacado en los resultados de las

organizaciones (Shobrys y White, 2002), este trabajo está concentrado fundamentalmente en la planificación de la producción desarrollada con un enfoque jerárquico y que en opinión de los autores, facilita de manera importante la integración señalada.

3. Planificación Jerárquica de la Producción (PJP). Conceptualización.

La PJP es una respuesta al esfuerzo académico de resolver el problema de planificación de la producción mediante complejos y limitados modelos matemáticos denominados monolíticos. Estos modelos intentan resolver todo el problema de planificación de la producción en un solo esfuerzo. Es evidente que el modelo propuesto entonces resulta extraordinariamente pesado, no solo en el sentido de su formulación sino en lo relacionado con encontrarle una solución. Algunos ejemplos de tales modelos pueden ser vistos en (Speranza y Woerlee, 1991, Buzacott y Shanthikumar, 1993, Huang y Xu, 1998, Albitron y otros, 1999, Gazmuri y Maturana, 2001 y Riane y otros, 2001).

En otro sentido, cuando se aborda la literatura existente relacionada con la PJP, se encuentra que muy pocos autores han tratado el tema desde un punto de vista conceptual y teórico. Entre los aportes más sobresalientes se cuenta el realizado por Schneeweiss quien ha presentado una estructura sólida y coherente de los modelos jerárquicos en las organizaciones, llevando su enfoque al contexto de los modelos de toma de decisiones distribuidas y a los modelos de soporte a la toma de decisiones (Schneeweiss, 1995, Schneeweiss, 2003a). También se pueden mencionar algunos esfuerzos por parte de Nagi y Harhalakis en trabajos que involucran el enfoque jerárquico de una manera más particular en la solución del problema de planificación y control de la producción (Nagi, 1991, Harhalakis y otros, 1992).

Los trabajos realizados en este campo coinciden en proponer el modelo de planificación jerárquica como un proceso que permite descomponer un problema, de una manera sistémica, en subproblemas interrelacionados de menor complejidad. Con los subproblemas puede construirse una estructura de niveles que refleja una cierta jerarquía entre ellos, de manera tal que los niveles superiores suelen estar asociados a decisiones de muy largo y largo plazo, y los niveles inferiores comprenden las decisiones de mediano y corto plazo, inclusive hasta de un muy

corto plazo (Hax y Meal, 1975; Meal, 1984). Los niveles superiores suelen a través de sus decisiones restringir a los niveles inferiores. Cada nivel se describe por un modelo y tiene asociado un problema de toma de decisión propio. La interrelación de los diversos niveles conlleva a que la solución del problema general de planificación solo se da cuando se resuelven todos los subproblemas. La descomposición del problema general o global de planificación de producción en subproblemas interrelacionados reduce notablemente la complejidad del mismo (Nagi, 1991, Harhalakis y otros, 1992). Esto último hace que el enfoque jerárquico sea una buena alternativa frente a los modelos monolíticos (casi siempre de optimización matemática) en la solución del problema de planificación de la producción, dado que estos últimos pretenden resolver dicho problema de planificación en un solo esfuerzo, generando entonces modelos muy complejos de difícil solución (Schneeweiss, 1995).

El enfoque jerárquico se fundamenta en la agregación de tres elementos principales: los productos (tipos, familias, productos, componentes), los recursos (personal, equipos) y la escala de tiempo. Generalmente, la estructura considera que los niveles superiores tengan mayor grado de agregación y se manejen horizontes de planificación mayores; es decir, pueden estar más relacionados con niveles estratégicos. A su vez, los niveles inferiores consideran información más detallada en horizontes de tiempo más cortos; pueden corresponder más a los niveles táctico y operativo (Domínguez Machuca y otros, 1995, Chase y Aquilano, 1995).

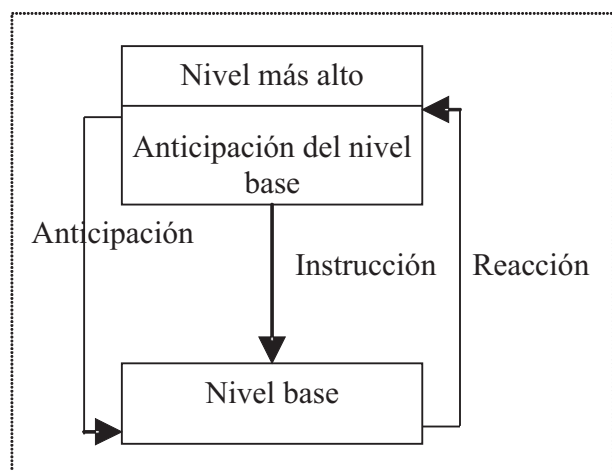


Figura 1. Interdependencia de los sistemas jerárquicos (Schneeweiss, 1995).

En la búsqueda de una solución para el problema global a partir de las soluciones de cada nivel, se debe garantizar que las soluciones que se planteen en los niveles más independientes o niveles superiores sean factibles en los niveles más dependientes o inferiores. Este esfuerzo de valorar el impacto de las decisiones de los niveles superiores en los niveles inferiores se denomina anticipación. Un nivel inferior anticipado, es un nivel que ha sido considerado en el nivel superior en su correspondiente toma de decisiones. En cualquier caso, el nivel superior a partir de sus decisiones emite una instrucción para el nivel inferior. Además de la anticipación y las instrucciones, entre los niveles superior e inferior existe también la reacción, es decir, la posibilidad de los niveles más bajos de responder frente a las decisiones tomadas en los niveles más altos generándose una retroalimentación en la estructura. En la figura 1 se presenta el esquema de estas interdependencias.

El enfoque jerárquico de planeación y control de la producción va más allá de la simple división del problema en subproblemas, intentando diferenciarse con respecto a los sistemas de planificación por niveles, de uso mucho más generalizado (Motoa y Sastrón, 2000). Los sistemas de planificación por niveles, básicamente dividen el problema de acuerdo a los niveles jerárquicos de las organizaciones y resuelven cada nivel por separado sin considerar las limitantes de los otros niveles. A lo sumo los niveles superiores generan una insipiente instrucción que debe ser cumplida por los niveles inferiores a toda costa, generando esto grandes inconvenientes y conflictos entre niveles. En el mejor de los casos los sistemas de planificación por niveles consideran algunos bucles de retroalimentación que generalmente giran hacia el control de la capacidad, mediante la cual se intenta conseguir algún grado de integración. Un ejemplo de dichos sistemas es presentado por Schroeder (Schroeder, 1992).

En ese sentido, en la planificación jerárquica las interdependencias entre los niveles y las características de coordinación juegan un papel fundamental; la interrelación de los niveles es realmente llevada a cabo por la anticipación que representa la influencia del nivel inferior en el superior y la instrucción que representa la influencia del nivel superior al inferior (Motoa y Sastrón, 2000).

En la coordinación de niveles, Schneeweiss (Schneeweiss, 2003a) propone dos pasos que describen el proceso. Primero, si hablamos de dos niveles, en el nivel superior se desarrollan dos

modelos: un modelo propio a su problema de toma de decisiones (función de toma de decisiones) y un modelo anticipado del nivel inferior (función de anticipación). El primer modelo (empírico, heurístico o matemático), debe ofrecer soluciones al problema de toma de decisiones que le son propias al nivel superior. El segundo modelo es una representación del nivel inferior observado desde el superior. En todo caso, obtenidos resultados de resolver la función de toma de decisiones, los mismos se valoran en la función de anticipación, de tal manera que se pueda establecer factibilidad o posibles reacciones en el nivel inferior a esos valores. Entonces, en el nivel superior se seleccionará aquel valor que refleje la mejor relación de toma de decisión propia y anticipación de efectos sobre el nivel inferior. Esta solución (buena u óptima) será transmitida como una instrucción al nivel inferior. En el segundo paso, el nivel inferior resuelve su propio modelo de toma de decisiones tomando como una de sus entradas la instrucción recibida del nivel superior. El nivel inferior puede reaccionar al nivel superior a partir de los resultados de resolver su propio modelo de toma de decisiones, solicitando ajustes o modificaciones a las instrucciones recibidas. De esa manera se cierra el ciclo: anticipación, instrucción, reacción. La interrelación de los niveles se formaliza en dos ecuaciones denominadas ecuaciones de acople (coupling equations), una para cada nivel. Tales ecuaciones expresan de manera general y verbal, el óptimo (o buena solución) de cada nivel en términos de los criterios, la anticipación, la reacción y el estado de la información.

Existen diferentes formas de anticipación que dependen del estado de la información, que a su vez depende de los criterios y los campos de decisión de ambos niveles. En todo caso, como se mencionó, las diferentes formas de anticipación juegan un rol significativo en la definición de la integración entre los niveles. En términos generales se distinguen dos tipos de anticipación: la reactiva que considera la posible reacción del nivel inferior frente a la instrucción del nivel superior y la no reactiva que no toma en cuenta la reacción específica. Dado que la anticipación reactiva puede ser de tres tipos, se pueden considerar cuatro prototipos de anticipación (Schneeweiss, 2003a):

La anticipación perfecta: en la cual, el nivel superior considera el efecto de sus decisiones en el nivel inferior, antes de definir la instrucción. En este caso, se modela completamente el comportamiento del nivel inferior para tomar la decisión del nivel superior.

La anticipación perfecta aproximada: el nivel superior considera algunos aspectos de su decisión en el nivel inferior antes de emitir la instrucción.

La anticipación implícita: igual que en la anterior, se contemplan algunos aspectos, en este caso más generales que los de la categoría anterior, antes de emitir la instrucción para el nivel inferior.

La anticipación no reactiva: no considera el efecto de las instrucciones en el nivel inferior antes de emitir las.

4. Aproximaciones generales de los modelos jerárquicos.

La primera aplicación del enfoque jerárquico en la planificación de la producción fue presentada por Hax y Meal en el desarrollo de un sistema jerárquico de planeación y programación de la producción para una empresa de múltiples plantas, múltiples productos, demanda estacional y sistema de producción por lotes (Hax y Meal, 1975).

Este trabajo desarrolla una jerarquía de cuatro niveles, con un modelo de toma de decisión asociado a cada nivel. En el caso del nivel superior por ejemplo, el modelo busca definir en qué planta se debe fabricar una familia de productos considerando las restricciones de demanda. Esto se resuelve mediante un modelo de programación entero mixto, y dado que el modelo solo considera la asignación de una familia cada que se resuelve, se debe correr tantas veces como familias existan y a medida que se van asignando se controla la capacidad en un proceso posterior fuera del modelo.

Para garantizar que solamente se considere producción en las plantas definidas, se incluye una no linealidad en la función objetivo y en la restricción de demanda; dicha no linealidad, aparece al multiplicar la variable de flujo (cantidad de fabricación de la familia de productos a enviar desde la planta hasta los centros de consumo) por una variable binaria asociada a la apertura de las plantas.

Considerando los adelantos computacionales actuales, es posible desarrollar un modelo de programación lineal entero mixto que permita resolver el mismo problema incluyendo dentro del modelo todas las familias al mismo tiempo y las restricciones de capacidad. Esto permitiría escribir el modelo en forma lineal ya que el flujo de plantas

