

Aplicabilidad de los sistemas de planificación y control de la producción en los entornos de ingeniería-bajo-pedido

Miguel Gutiérrez¹, Francisco A. Rivera¹, Alfonso Durán¹, Francisco Sastrón²

¹ Área de Ingeniería de Organización. Escuela Politécnica Superior. Universidad Carlos III de Madrid. Avenida de la Universidad, 30. 28911 Leganés (Madrid). mgfernan@ing.uc3m.es, farivera@ing.uc3m.es, duran@ing.uc3m.es

² DISAM. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid. José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid. sastron@etsii.upm.es

Resumen

Los sistemas de planificación y control de la producción que se han propuesto para gestionar entornos de ingeniería bajo pedido pueden clasificarse en tres grupos: sistemas convencionales bien MRP o bien de gestión de proyectos basados en las técnicas PERT/CPM; sistemas de gestión de proyectos en el nivel de planificación general y sistemas de gestión de producción en el nivel de detalle y ejecución; y utilización simultánea de sistemas de gestión de proyectos y de producción en todos los niveles. Los resultados obtenidos con la aplicación de estos sistemas no han sido todo lo buenos que se esperaba. En esta comunicación se utiliza un marco teórico de referencia, que considera la relación existente entre las características del flujo de materiales de un sistema productivo y las características de su sistema de gestión de la producción, para conceptualizar los tres grupos de sistemas de planificación y control propuestos y justificar de forma teórica por qué los resultados obtenidos han sido inferiores a lo esperado.

Palabras clave: Planificación y Control de la Producción, Ingeniería-Bajo-Pedido (ETO)

1. Introducción

De acuerdo con el diccionario de la APICS, la industria de ingeniería-bajo-pedido (ETO, *Engineer-To-Order*) se dedica a “productos cuyas especificaciones del cliente requieren un diseño de ingeniería único o una personalización significativa. Cada pedido del cliente resulta por tanto en un conjunto único de referencias, listas de materiales y rutas” (Cox y Blackstone, 2002). Aunque el estudio de los entornos ETO es minoritario en la literatura de producción (Amaro *et al.*, 1999), los autores que han tratado su problemática coinciden mayoritariamente en señalar la inadecuación de los sistemas de planificación y control de la producción (MPC, *Manufacturing Planning and Control*) tradicionales. También dejan patente la confluencia en la industria ETO de características de entornos de proyectos y de fabricación, como consecuencia de la propia naturaleza de su actividad (Harhalakis y Yang, 1988; Bertrand y Muntslag, 1993; Schragenheim y Walsh, 2002).

Con esta situación como punto de partida, en esta comunicación se analizan conceptualmente los principales intentos de aplicación de los sistemas MPC tradicionales a los entornos ETO. Se comienza presentando brevemente el marco teórico propuesto por Rivera y Durán (Rivera, 2001), bajo el cual se realiza el análisis desarrollado en el tercer apartado. Finalmente, se recogen las conclusiones fundamentales del trabajo realizado, que resumen los aspectos principales de la falta de resultados satisfactorios del sistema MPC en los entornos ETO.

2. Marco teórico de referencia

Al revisar la literatura de gestión de la producción, se observan múltiples propuestas de asignación de sistemas de gestión de la producción a sistemas productivos, basándose en características del flujo de materiales (Schonberger, 1983; Vollmann *et al.*, 1997, p.8; Silver *et al.*, 1998, p.43; etc.). Al analizar estas propuestas se detecta que se apoyan en un enfoque de gestión subyacente —del que se puede encontrar una formulación precisa en Van der Linden y Grünwald (1980)—, que tiene una hipótesis implícita y una simplificación implícita (Rivera, 2001, pp. 128-129).

La **hipótesis implícita** es que existe una dependencia entre el conjunto de valores de alguna de las características relevantes del flujo de materiales de un sistema productivo —como el volumen de producción, tiempo entre unidades sucesivas, disposición en planta, etc.— y el sistema de gestión de la producción adecuado para dicho flujo. Esta hipótesis implícita supone que cada uno de los sistemas de gestión de la producción proporciona resultados adecuados en un conjunto preestablecido de valores de las características del flujo de materiales.

La **simplificación implícita** es que los valores de la(s) característica(s) empleada(s) para asignar el sistema de gestión pertenecen al conjunto asociado a un único sistema de gestión de la producción, en todos los tramos del flujo, niveles jerárquicos del sistema de planificación y control de la fabricación y períodos de tiempo para los que es válido el diseño del sistema. Esta simplificación implícita supone que las características del flujo de materiales toman valores que pertenecen a uno solo de los conjuntos preestablecidos.

La observación del grado en el que los flujos de materiales de los sistemas productivos reales se ajustan o no a esta simplificación implícita permite plantear un marco teórico que explique las distintas situaciones. En este marco teórico, los flujos de materiales se clasifican en homogéneos, heterogéneos e híbridos (éste último con las variantes de horizontal y vertical), según el tipo de discrepancia que presenten con dicha simplificación.

2.1. Concepto de flujo homogéneo

Un flujo se denomina **flujo homogéneo** si se cumplen la hipótesis y la simplificación implícitas. Un ejemplo de este caso se da en un taller de tareas clásico con fabricación por lotes y gestionado mediante un sistema MRP, o en una empresa dedicada a la construcción de puentes y gestionada mediante técnicas convencionales de gestión de proyectos.

En la Figura 1 se representa esquemáticamente un flujo homogéneo en el que se ha considerado una única característica genérica relevante del flujo de materiales. En esta representación se considera una tipología también genérica de n sistemas de planificación y control de la fabricación (MPC 1 a MPC n), cada uno de ellos con tres niveles jerárquicos (planificación general, planificación detallada y ejecución), de acuerdo a la concepción clásica de sistema MPC de Vollmann, Berry y Whybark (1997). El prisma vertical oscuro de la figura representa los valores de la característica del flujo de materiales en los tres niveles del sistema MPC. La posición de este prisma permite seleccionar el sistema de gestión más adecuado para este flujo. De este modo, en la Figura 1 se ha seleccionado el sistema MPC 3, cuyos módulos aparecen sombreados. El hecho de que el sistema MPC 3 contenga completamente al prisma que representa el flujo de materiales, implica que se cumplen tanto la hipótesis implícita como la simplificación implícita y, por tanto, el flujo representado es un flujo homogéneo.

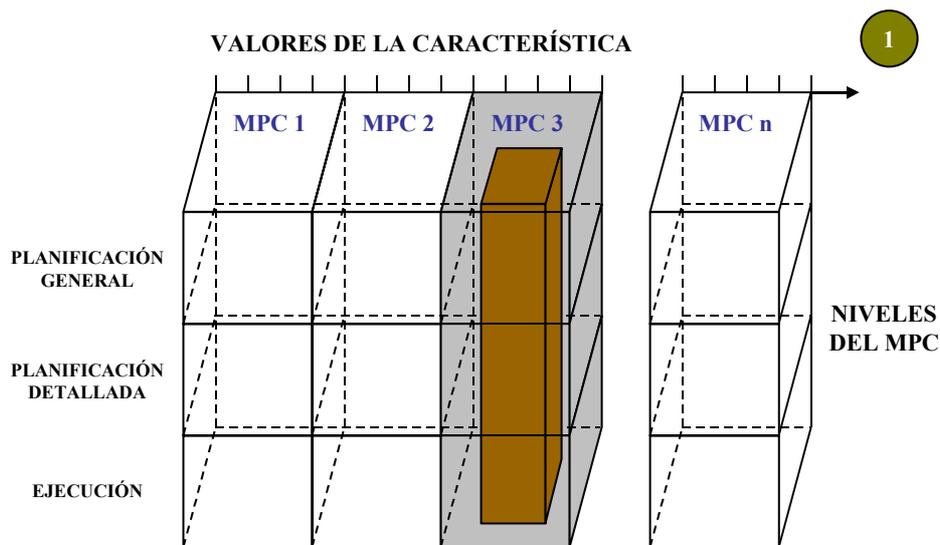


Figura 1. Representación esquemática de un flujo homogéneo (con una característica del flujo)
(Rivera, 2001, página 130)

2.2. Concepto de flujo heterogéneo

Un flujo se denomina **flujo heterogéneo** si sus características relevantes toman valores pertenecientes a más de uno de los conjuntos preestablecidos correspondientes a los sistemas MPC tipificados, en distintas zonas del flujo o en distintos momentos del tiempo.

Un ejemplo de flujo de materiales heterogéneo aparece en sistemas productivos en los que hay materiales que se gestionan adecuadamente con un sistema MRP y otros materiales con un sistema de punto de pedido (Liberatore, 1979; Anton y Malmberg, 1985). Se trata de sistemas con materiales que requieren un control detallado, que se concreta en actividades tales como registro de transacciones de inventario, liberación y recepción manual de órdenes, recuentos de inventario, seguimiento del estado de las órdenes abiertas..., que coexisten con otros materiales para los que ese grado de control no es necesario, o incluso puede ser perjudicial, por el coste administrativo asociado o las posibles discontinuidades en el flujo. La coexistencia de materiales con necesidades de gestión tan diferentes da lugar a un flujo heterogéneo.

2.3. Concepto de flujo híbrido

Un flujo se denomina **flujo híbrido** si la combinación de valores de sus características relevantes no se ajusta bien a ninguno de los conjuntos de valores preestablecidos. Esta falta de ajuste permite distinguir dos tipos de hibridez: horizontal y vertical.

Un flujo de materiales tiene **hibridez horizontal** cuando la combinación de valores de sus características relevantes no se ajusta a ninguno de los conjuntos preestablecidos, y la falta de ajuste afecta a todos los niveles del sistema MPC. En la Figura 2 se representa esquemáticamente un flujo de materiales con hibridez horizontal. En la situación representada en la figura, los valores de la característica relevante del flujo son intermedios entre los ámbitos de aplicación de los sistemas MPC 2 y MPC 3.

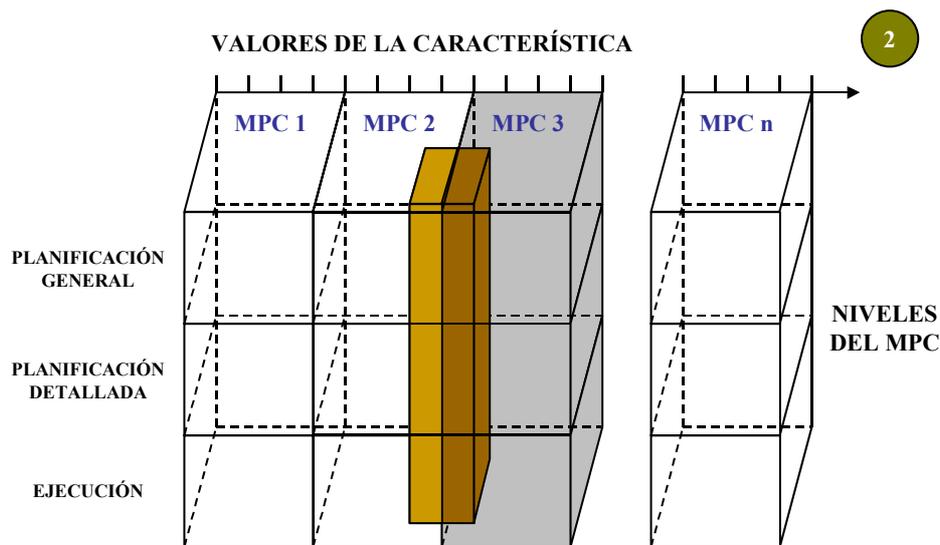


Figura 2. Representación esquemática de un flujo con hibridez horizontal (con una característica del flujo) (Rivera, 2001, página 137)

Un ejemplo de flujo de materiales con hibridez horizontal se presenta en los entornos productivos que se gestionan de forma adecuada con sistemas combinados *push-pull* (Rees *et al.*, 1987; Groenevelt y Karmarkar, 1988) o con sistemas CONWIP (trabajo en curso constante, *CONstant Work-In-Process*) (Spearman *et al.*, 1989; Spearman *et al.*, 1990). Se trata de flujos cuyas características toman valores que los sitúan en el límite del ámbito de aplicación de los sistemas *pull* o que hacen que no se ajusten bien a dicho ámbito: demanda con variaciones en volumen y combinación de productos; necesidades selectivas de control detallado y gestión de prioridades en distintos centros de trabajo; elevado número de materiales, algunos con baja tasa de producción.

Un flujo de materiales tiene **hibridez vertical** cuando la combinación de valores de sus características relevantes no se ajusta a ninguno de los conjuntos preestablecidos, y la falta de ajuste afecta de diferente forma en los distintos niveles jerárquicos del sistema MPC. En la Figura 3 se representa esquemáticamente un flujo de materiales con hibridez vertical. En este caso, los valores de la característica son tales que la planificación general puede hacerse adecuadamente con el sistema MPC 3 y la ejecución con el sistema MPC 2.

Un ejemplo de flujo de materiales con hibridez vertical se encuentra en los sistemas productivos en los que la gestión adecuada del flujo de materiales requiere una planificación con un cierto nivel de detalle, como la que realiza un sistema MRP, y una ejecución con un control en planta menos detallado, como el de un sistema JIT. Se describen ejemplos de este tipo de sistemas productivos en Discenza y McFadden (1988), Flapper *et al.* (1991).

2.4. Combinaciones de tipos de sistemas MPC y tipos de flujos de materiales

El marco conceptual que se utiliza en esta comunicación para analizar los problemas observados en ciertos sistemas productivos considera dos posibles valores para el tipo de sistema MPC (convencional y combinado) y dos posibles valores para el tipo de flujo de materiales (homogéneo y no homogéneo) (Rivera, 2001, pp. 146-160).

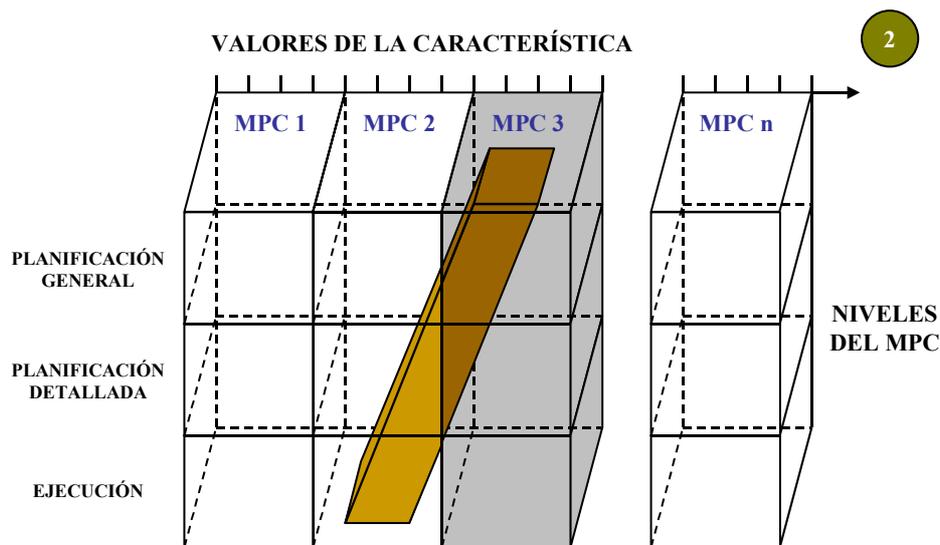


Figura 3. Representación esquemática de un flujo con hibridez vertical (con una característica del flujo)
(Rivera, 2001, página 139)

En este marco, se utiliza el término “sistema convencional” para denominar a los sistemas MPC ampliamente aceptados, con un grado elevado de utilización en la industria y de presencia en la literatura, tales como MRP, JIT y PERT/CPM. El término “sistema combinado” se utiliza para denominar a los sistemas que son combinación de sistemas convencionales o que han sido diseñados de modo que tengan características de varios sistemas de gestión convencionales. Los posibles valores considerados para el tipo de sistema MPC y el tipo de flujo dan lugar a cuatro combinaciones, que se representan en la Figura 4.

Como muestran los números de la esquina superior derecha de las figuras anteriores, la situación representada en la Figura 1 corresponde a la combinación ①, es decir, a la aplicación de un sistema de gestión convencional a un flujo de materiales homogéneo, mientras que las situaciones representadas en las figuras 2 y 3 corresponden con la combinación ②, es decir, la utilización de un sistema convencional para la gestión de un flujo de materiales que no cumple la simplificación implícita. En estos dos últimos casos, es razonable pensar que los resultados que se obtienen no son todo lo buenos que podrían ser, puesto que no existe un buen ajuste entre las características del sistema MPC y las del flujo de materiales. En las figuras 2 y 3, el desajuste puede asociarse con las zonas del prisma que simboliza el flujo de materiales que no están englobadas por el prisma que representa el sistema MPC seleccionado.

Este marco conceptual permite distinguir las combinaciones estables de las inestables. Una combinación se considera estable cuando no hay incentivo para desplazarse a otra posición, mientras que una combinación es inestable si existe una tendencia hacia otras posiciones. La estabilidad de una combinación se produce cuando hay adecuación entre las características del sistema de gestión y del flujo de materiales (combinaciones ① y ③). En estos casos, los resultados que pueden obtenerse hacen que no haya tendencia a cambiar de posición. Por el contrario, en las posiciones inestables (combinaciones ② y ④), la búsqueda de coherencia entre sistema de gestión y flujo de materiales provoca la existencia de tendencias (señaladas en la figura con las letras A a D) hacia otras combinaciones.

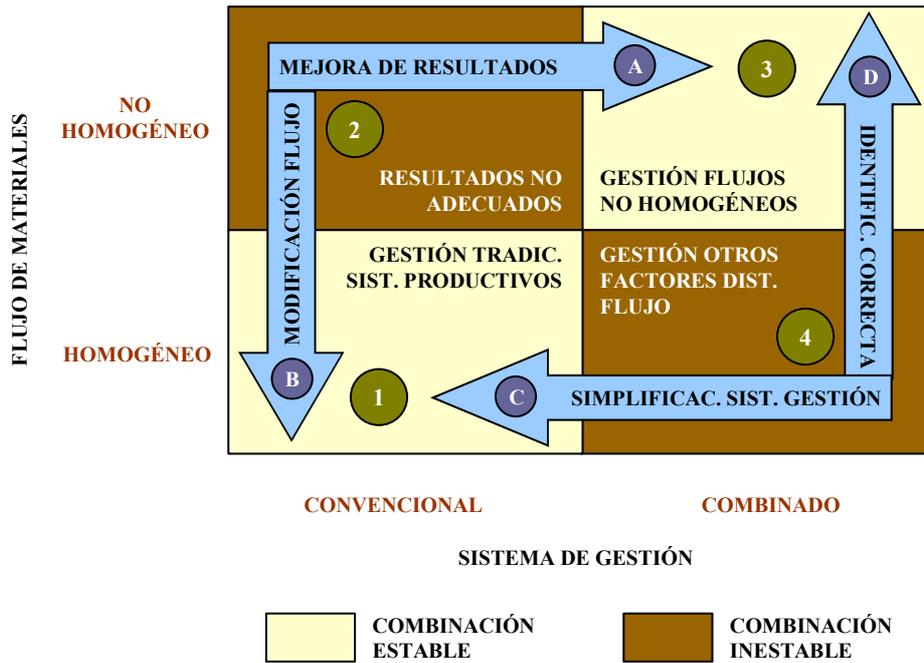


Figura 4. Estabilidad de las combinaciones y tendencias (Rivera, 2001, página 157)

3. Análisis de los intentos de aplicación de sistemas MPC a los entornos ETO

Los sistemas MPC que se han propuesto para gestionar los entornos ETO pueden clasificarse en tres grupos. En los siguientes puntos se analizan cada uno de estos grupos con el marco teórico de referencia.

3.1. Sólo sistema MRP o sólo sistema PERT/CPM

El primer grupo de sistemas MPC propuesto para gestionar entornos ETO consiste en la utilización de sólo un sistema MRP o sólo un sistema de gestión de proyectos del tipo PERT/CPM. Esta propuesta consiste en intentar gestionar un flujo de materiales que no es homogéneo con un sistema de gestión convencional, es decir, se trata de una combinación ② de la Figura 4. La no homogeneidad del flujo se debe a que, como se indicó en la introducción y así lo dejan patente múltiples autores en la literatura, se trata de un sistema productivo que tiene características de fabricación y características de proyectos.

La combinación ② es inestable, puesto que hay incentivos para desplazarse a otras posiciones. Hay dos posibles tendencias desde esta combinación. La tendencia B de la Figura 4 supone modificar el flujo de materiales de modo que sea homogéneo y, de esta forma, pueda ser gestionado correctamente con un sistema MPC convencional. Esta tendencia simplifica mucho la gestión del sistema productivo, pero es viable en muy pocos casos. La tendencia natural desde la combinación ② es la tendencia A, que implica pasar a utilizar un sistema combinado para gestionar un flujo no homogéneo (combinación ③). Se trata de una opción plenamente justificada desde un punto de vista económico en aquellos entornos, como ocurre en los entornos ETO, en los que no es viable simplificar el flujo de materiales hasta que sea un flujo homogéneo y la búsqueda de mejores resultados de gestión compensa la aplicación de un sistema MPC más complejo que un sistema convencional. En consecuencia, los intentos de gestión de entornos ETO en la práctica han seguido este camino natural hacia la combinación ③, como se explica en los siguientes puntos.

3.2. Planificación general con técnicas de proyectos y planificación detallada y ejecución con técnicas de producción

El primer intento de sistema combinado para gestionar entornos ETO consiste en hacer la planificación general, en la zona superior del sistema MPC, con técnicas de proyectos, y el detalle y la ejecución, en la zona inferior, con técnicas de producción tipo MRP.

En los entornos ETO hay al menos una fase de ingeniería después de recibir el pedido del cliente, previa a la fabricación de componentes, submontajes y montaje del producto final, lo que le confiere un carácter de unicidad y hace que pueda ser considerado como un proyecto. Las similitudes con la gestión clásica de un proyecto son grandes en los niveles superiores del sistema MPC, en el que se realiza la planificación general del proceso productivo. Consecuentemente, comparten muchas de las tareas como el análisis de la aceptación o no del pedido, la estimación del presupuesto y del plazo de ejecución o la realización de ofertas. Además, típicamente se asigna un responsable del proyecto, que cruza sus responsabilidades con el Departamento de Producción (estructura matricial), y que realiza el seguimiento de avance sobre la red de precedencias, que se convierte en el elemento básico de interacción con Producción. De este modo, se favorece que la ordenación de tareas en el tiempo se haga principalmente atendiendo a dicha red de precedencias, y de ahí que se apliquen en el nivel de planificación técnicas PERT/CPM.

Por otro lado, desde el punto de vista del taller, la problemática que surge es muy cercana a los clásicos entornos de taller de tareas (*job shop*), típicos de fabricación intermitente con poca repetitividad. El proceso productivo tiene centros de trabajo a los que llega un conjunto de órdenes cuya secuencia de proceso hay que establecer. La gestión de producción en los niveles de detalle y de ejecución se realiza esencialmente de acuerdo a la operativa clásica de estos talleres, con hojas de ruta, vales de material, etc.

La idea intuitiva que subyace a este intento es que el flujo de materiales en un entorno ETO es un flujo que presenta hibridez vertical, como el representado en la Figura 3. Sin embargo, los resultados obtenidos con estos sistemas MPC no resultan satisfactorios. La razón fundamental es que el flujo de materiales en dichos entornos no es realmente un flujo con hibridez vertical, sino que, como se desarrolla en los siguientes párrafos, tiene características de producción en los niveles superiores del sistema MPC, a pesar de que sean más evidentes las de proyectos, y tiene características de proyectos en los niveles inferiores del sistema MPC, a pesar de que en estos niveles estén más presentes las características de producción. La consideración errónea, al menos implícita, de que el flujo tiene hibridez vertical ha llevado a una integración entre los niveles superiores e inferiores del sistema MPC de estas propuestas menor que el requerido en los entornos ETO.

Aunque desde el punto de vista del Departamento de Ingeniería (de diseño) y de los responsables de proyecto, cada producto constituye un proyecto, de cara al nivel de planificación general del sistema MPC hay que casar los requerimientos de la totalidad de proyectos, los cuales compiten por unos recursos de fabricación compartidos y limitados. Es necesario, por tanto, hacer en estos niveles superiores una planificación agregada de la producción, en la que en determinados aspectos intervienen las principales áreas de la empresa —típicamente producción, finanzas, ingeniería y proyectos (que incluye el área comercial)—, de manera que se obtengan los niveles agregados de producción y los recursos con los que se va a contar para alcanzar estos niveles. Un ejemplo paradigmático es la determinación de la fecha de entrega a ofertar a un cliente. La fecha, que tiene que negociar el

Departamento de Proyectos con el cliente, dependerá de las estimaciones de tareas de Ingeniería y de la carga/capacidad de los recursos, en una acción coordinada de gestión de la demanda, planificación de los recursos y planificación de la producción.

Por otra parte, el resultado de la etapa de ingeniería de proceso de fabricación es una lista de materiales, elemento básico de los sistemas MRP. De manera que la información que se maneja para establecer el orden de inicio de los proyectos se asemeja a la de los entornos de fabricación clásicos, si bien la unicidad de los proyectos implica la definición de una lista de materiales por pedido, en la que no hay referencias compartidas. Cada proyecto parte de unas estimaciones de costes y duraciones, y su seguimiento por parte de los responsables externos a producción exige un control por proyecto.

En cuanto al nivel de ejecución, aunque la dinámica sea semejante a la de los entornos típicos *job shop*, existen una serie de particularidades que derivan del hecho de que cada producto constituye un proyecto. Las exigencias de control de costes por proyecto unidas a la necesidad de trazabilidad de componentes, muy habitual de los entornos ETO, acaban por imponer restricciones severas. Por ejemplo, se da la situación de eludir el tratamiento por lotes, incluso en los pocos casos en los que piezas de distintos productos pudieran agruparse. Como ya se ha mencionado, cada producto tiene una lista propia de materiales. Las posibles comunales exigirían un tratamiento específico y complejo para el sistema MPC. A ello se suma que el carácter a medida de las compras exige un control por proyecto, ya que de las fechas de los acopios depende la posibilidad de ejecución de las tareas de un determinado proyecto.

3.3. Utilización simultánea de un sistema MRP y de un sistema de gestión de proyectos

El segundo intento de sistema combinado es el adoptado en los últimos años por los principales sistemas ERP, que surge al detectar en los entornos ETO procesos propios de los entornos de fabricación no repetitiva y procesos propios de los entornos de proyectos, de manera que presenta como solución un sistema MPC que resulta de la adición de dos: se propone utilizar simultáneamente un sistema MRP y un sistema del tipo Proyectos- PERT/CPM.

La idea intuitiva que hay detrás de estas propuestas es que el flujo de materiales en un entorno ETO es un flujo que presenta hibridez horizontal, y, por tanto, la adición de varios sistemas MPC permite gestionar todo el conjunto de valores de las características del flujo de materiales. Si en todos los niveles del sistema MPC de un entorno ETO hay características de proyectos y de producción, la idea de buscar la solución por la vía de una caracterización de hibridez horizontal en lugar de una hibridez vertical, se presenta como una alternativa que podría ser adecuada. Sin embargo, la insatisfacción que ha provocado en la industria este tipo de soluciones pone de manifiesto que esta propuesta tiene carencias, como se justifica a continuación apoyándose en el marco teórico de referencia.

La utilización de un sistema de gestión que es la suma de varios parece que cubre todo el rango de valores de las características de un flujo de materiales cuando se considera una única característica del flujo. En la Figura 2, el prisma que representa los valores de las características del flujo queda perfectamente cubierto si se seleccionan simultáneamente los sistemas MPC 2 y MPC 3. Sin embargo, esta apariencia no corresponde en general con la realidad cuando son determinantes varias características del flujo. En la Figura 5 se muestra una representación genérica de una situación extrema en la que la adición de los sistemas MPC 2 y MPC 3 no cubre ninguna zona de los pares de valores de características del flujo.

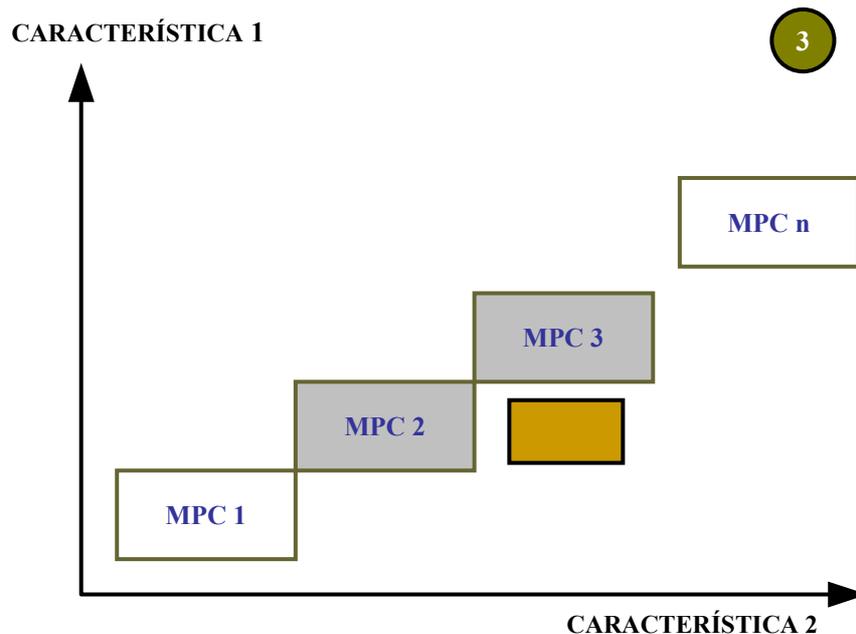


Figura 5. Gestión combinada inadecuada de un flujo con hibridez horizontal

En los entornos ETO se da la circunstancia de que la simple adición de un sistema MRP y uno PERT/CPM no cubre, pese a las apariencias, todos los valores de las características del flujo de materiales. Es necesario un sistema que surja de una integración efectiva entre los sistemas MPC que dan lugar a la hibridez. No se trata únicamente de disponer de un sistema MRP para gestionar los materiales y de un sistema PERT/CPM para el seguimiento. La cuestión estriba por ejemplo en cómo las actividades que se controlan con el sistema Proyectos-PERT/CPM comprenden las operaciones que se deben programar y ejecutar a capacidad finita, o cómo la planificación de las actividades resultante de la explosión MRP permite estimar unas fechas de entrega para los proyectos que se oferten, o cómo se puede gestionar el acopio de materiales de cara a imponer restricciones de inicio de otras actividades, etc.

4. Conclusiones

Los sistemas MPC propuestos para gestionar entornos ETO pueden clasificarse en tres grupos. En esta comunicación se utiliza un marco teórico de referencia para analizar estos sistemas MPC y justificar de forma teórica por qué los resultados que se han obtenido con su aplicación han sido inferiores a lo esperado.

El primer grupo de sistemas MPC consiste en utilizar sólo un sistema MRP o sólo un sistema del tipo Proyectos-PERT/CPM. La aplicación del marco teórico de referencia permite llegar a la conclusión de que este sistema ha fallado porque implica utilizar un sistema convencional en un entorno no homogéneo. Los otros dos grupos de sistemas MPC surgen como intentos de evolucionar el anterior hacia una combinación estable que gestione adecuadamente un entorno no homogéneo con un sistema combinado.

Así, el segundo grupo, que corresponde al primer intento de sistema combinado, consiste en la utilización de un sistema Proyectos-PERT/CPM en el nivel superior del sistema MPC y de un sistema MRP en los inferiores. Este grupo no proporciona buenos resultados, además de por la débil integración entre los niveles jerárquicos del MPC, porque supone implícitamente la existencia de hibridez vertical, cuando este entorno también tiene características de producción en los niveles superiores y características de proyecto en los inferiores.

Finalmente, el tercer grupo, segundo intento de sistema combinado, consiste en la utilización simultánea de un sistema MRP y un sistema Proyectos-PERT/CPM. Este grupo tampoco permite realizar una gestión satisfactoria porque supone implícitamente que el entorno tiene una hibridez horizontal que queda adecuadamente cubierta con la adición de los sistemas afectados por la hibridez, lo que no es cierto en general cuando resultan determinantes varias características del flujo de materiales. Esto ocurre en los entornos ETO, en los que se pone de manifiesto además la necesidad de una integración efectiva de los sistemas.

Referencias

- Amaro, G; Hendry, L.C.; Kingsman, B.C. (1999). Competitive advantage, customisation and a new taxonomy for non make-to-stock companies. *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 19, No. 4, pp. 349-371.
- Anton, C.J.; Malmborg, C.J. (1985). The Integration of Inventory Modelling and MRP Processing: A Case Study. *Production and Inventory Management*, Vol. 26, No. 2, pp. 79-90.
- Bertrand, J.W.M.; Muntslag, D.R. (1993). Production control in engineer-to-order firms. *International Journal of Production Economics*, Vol. 30-31 (1993), pp. 3-22.
- Cox III, J.F.; Blackstone J.H. (eds.) (2002). *APICS Dictionary*. 10th ed. APICS.
- Discenza, R.; McFadden, F.R. (1988). The Integration of MRP II and JIT Through Software Unification. *Production and Inventory Management*, Vol. 29, No. 4, pp. 49-53.
- Flapper, S.D.P.; Miltenburg, G.J.; Wijngaard, J. (1991). Embedding JIT into MRP. *International Journal of Production Research*, Vol. 29, No. 2, pp. 329-341.
- Groenevelt, H.; Karmarkar, U.S. (1988). A Dynamic Kanban System Case Study. *Production and Inventory Management*, Vol. 29, No. 2, pp. 46-51.
- Harhalakis, G.; Yang, S.S. (1988). Integration of Network Analysis systems with MRP in a make-to-order manufacturing environment. *Engineering Costs and Production Economics*, Vol. 14, No. 1, pp. 47-59.
- Liberatore, M.J. (1979). Using MRP and EOQ/Safety Stock for Raw Materials Inventory Control: Discussion and Case Study. *Interfaces*, Vol. 9, No. 2, pp. 1-7.
- Rees, L.P.; Philipoom, P.R.; Taylor, B.W.; Huang, P.Y. (1987). Dynamically Adjusting the Number of Kanbans in a Just in Time Production System Using Estimated Values of Leadtime. *IIE Transactions*, Vol. 19, No. 2, pp. 199-207.
- Rivera, F.A. (2001). *Heterogeneidad e Hibridez de Flujos de Materiales en Sistemas Productivos: Caracterización, Gestión e Implicaciones*. Tesis doctoral, Universidad Carlos III de Madrid.
- Schrageheim, E.; Walsh D.P. (2002). Multiproject or manufacturing? *APICS—The Performance Advantage*, (Feb. 2002).
- Schonberger, R.J. (1983). Selecting the Right Manufacturing Inventory System: Western and Japanese Approaches. *Production and Inventory Management*, Vol. 24, No. 2, pp. 33-44.
- Silver, E.A.; Pyke, D.F.; Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. 3rd ed. John Wiley and Sons.
- Spearman, M.L.; Hopp, W.J.; Woodruff, D.L. (1989). A Hierarchical Control Architecture for Constant Work in Process (CONWIP) Production Systems. *Journal of Manufacturing and Operations Management*, Vol. 2, No. 3, pp. 147-171.
- Spearman, M.L.; Woodruff, D.L.; Hopp, W.J. (1990). CONWIP: A Pull Alternative to Kanban. *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 5, pp. 879-894.
- Van der Linden, P.M.J; Grünwald, H. (1980). On the Choice of a Production Control System. *International Journal of Production Research*, Vol. 18, No. 2, pp. 273-279.
- Vollmann, T.E.; Berry, W.L.; Whybark, D.C. (1997). *Manufacturing Planning and Control Systems*. 4th ed. McGraw-Hill.