5th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management
XV Congreso de Ingeniería de Organización
Cartagena, 7 a 9 de septiembre de 2011

Estrategias de cumplimentación de pedidos en el sector de fabricación de bienes de equipo. Un estudio empírico

Order fulfilment strategies in the manufacturing capital goods sector. An empirical study

Raquel Sanchis [1], Eduardo Saiz [2], Eduardo Castellano [2], Raul Poler [1]
[1] Centro de Investigación en Gestión e Ingeniería de Producción (CIGIP). Universidad Politécnica de Valencia.
Plaza Ferrándiz y Carbonell, 2. 03801 Alcoy-Alicante.
rsanchis@cigip.upv.es rpoler@cigip.upv.es
[2] Ikerlan-IK4. Centro de Investigaciones Tecnológicas. Paseo JM Arizmendiarrieta, 2. 20500 Arrasate-Mondragón.
esaiz@ikerlan.es ecastellano@ikerlan.es

Fecha de recepción: 7-9-2011
Fecha de aceptación: 19-9-2011

Resumen: El sector de bienes de equipo se caracteriza por fabricar productos complejos y con un alto grado de personalización. La elección de la estrategia de cumplimentación de pedidos que permita satisfacer de forma eficiente las necesidades específicas de sus clientes se convierte en una decisión estratégica de gran importancia. Como respuesta a esta demanda, el presente estudio analiza la relación entre diferentes estrategias de cumplimentación de pedidos (Ingeniería Bajo Pedido, Fabricación Bajo Pedido, Montaje Bajo Pedido y Fabricación Contra Stock) y el tipo de producto según su grado de personalización (único, personalizado, configurable y estándar).

Palabras Claves: estrategias de cumplimentación de pedidos, punto de desacople, personalización, estandarización, bienes de equipo.

Abstract: The capital goods sector is characterized by manufacturing complex products and with a high customization degree. The choice of the most appropriate Order Fulfilment Strategy to satisfy the specific needs of customers in an efficient way, is a very important strategic decision. In response to this demand, this study analyzes the relationship between the different order fulfilment strategies (Engineer-to-order, Make-to-order, Assemble-to-order, and Make-to-stock) and the type of products, depending on their customization degree (standard, configurable, customizable and unique).

Key words: order fulfilment strategies, customer order decoupling point, customization, standardization, capital goods

1. Introducción

Durante los últimos años, el mercado del sector de bienes de equipo se ha caracterizado por demandar productos que incorporan mayores niveles de personalización. Este hecho ha obligado a las empresas del sector a mejorar la eficiencia de sus procesos tratando de ofrecer productos a medida de las necesidades de sus clientes y, al mismo tiempo, mantener unos costes competitivos. Por ello, se debe buscar un equilibrio adecuado entre flexibilidad y productividad, de forma que los productos se puedan suministrar con la rapidez, agilidad y eficiencia requerida. En este contexto, el concepto de Punto de Desacople (PD) (Customer Order Decoupling Point–CODP) tiene un papel relevante en la elección de la estrategia de cumplimentación de pedidos. La posición del PD, también denominado Punto de Penetración de Pedidos (Order Penetration Point-OPP), indica el punto de la cadena de suministro donde el pedido del cliente se asigna al flujo de materiales (Hoekstra y Romme, 1992) ayudando a la identificación del punto óptimo de equilibrio entre flexibilidad y productividad (Rudberg and Wikner, 2004).

Este punto separa actividades que se realizan a partir de las características de los pedidos de los clientes (aguas abajo del flujo de materiales), de aquellas resultantes de previsiones (aguas arriba del flujo de materiales). El PD suele coincidir con un punto importante de almacenamiento, a partir del cual se personaliza el producto que se ha de suministrar al clien-

te. En la literatura existen numerosas definiciones del término de PD tal y como se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1
Definiciones de PD

Definición	Autor(es)
El PD separa la parte de la red de suministro orientada a satisfacer directamente los pedidos de los clientes de la parte de la red basada en la previsión/planificación. También es el punto donde el inventario estratégico es utilizado como búfer entre las fluctuaciones de los pedidos de los clientes y /o la variedad de productos y capacidad de producción.	Mason-Jones *et al.* (2000)
El PD se define como la fase en la cadena de producción en la que un producto se conecta a un pedido específico de un cliente.	Olhager (2003)
Es el punto físico en la cadena de valor de un sistema de producción, que separa la fase de inversión de la etapa de realización. Es el punto límite entre fabricación bajo pedido y fabricación contra stock.	Sun *et al.,* (2008)

El posicionamiento de los PD es un elemento clave para la elección de la Estrategia de Cumplimentación de Pedidos (ECP) más adecuada. Las ECP abarcan las actividades de producción necesarias para cumplir con los requisitos específicos de los clientes así como el control de dichas actividades. En su revisión bibliográfica, Brabazon y MacCarthy (2005) identifican las siguientes formas estructurales de cumplimentación de pedidos:

Cumplimentación contra stock

En la fabricación contra stock (Make-to-stock - MTS), los planes de producción se basan en información histórica de la demanda, junto con las previsiones de ventas. La estrategia MTS es apropiada para la fabricación de grandes volúmenes de productos donde la demanda es estacional, fácilmente predecible, o ambas cosas.

Cumplimentación desde un solo PD fijo

La literatura indica tres estrategias dependiendo de dónde se encuentre posicionado el PD:

— Ingeniería bajo pedido (Engineer-to-order -ETO). Mediante esta estrategia se ofrece un rango de productos estándares pero incluyen la disponibilidad de modificaciones y personalizaciones. Los productos requieren de ingeniería y cada pedido de un cliente resulta en un único conjunto de elementos, materiales, procedimientos y procesos (Amaro *et al.,* 1999).

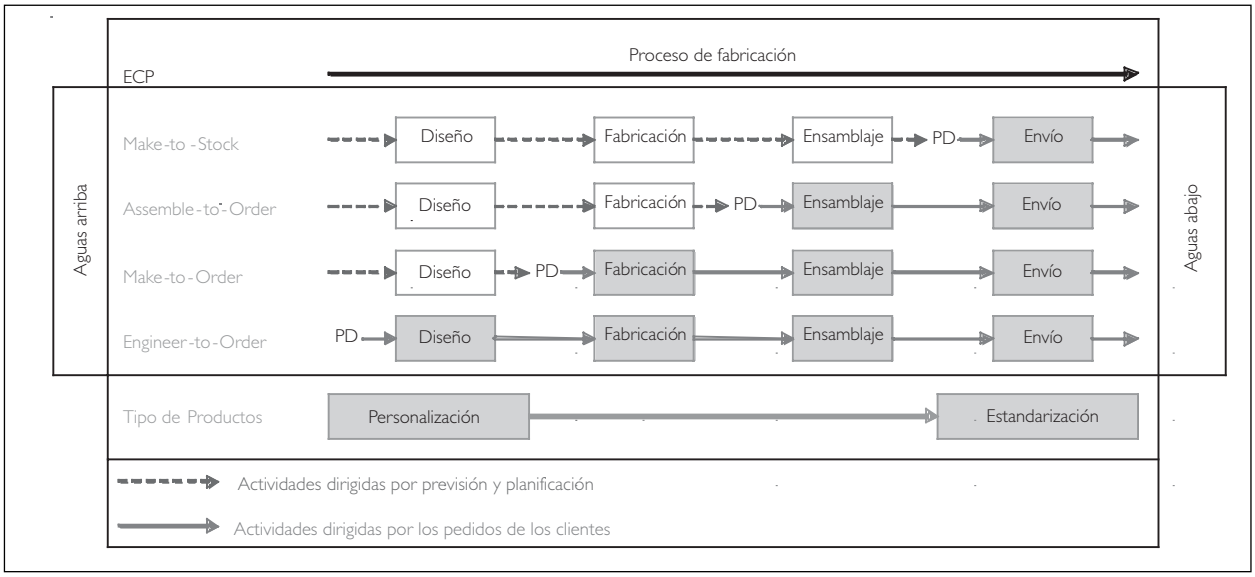
— Fabricación bajo pedido (Make-to-order - MTO). Las operaciones necesarias para fabricar un producto se llevan a cabo después de la recepción del pedido del cliente. En algunos casos incluso los materiales y los componentes que conforman el producto son adquiridos a la recepción de un pedido en particular (Amaro *et al.,* 1999).

— Montaje bajo pedido (Assemble-to-order - ATO). Los productos finales, a pesar de presentar un cierto grado de personalización, son producidos con partes estandarizadas, que pueden ensamblarse mediante la elección de una serie de opciones. La recepción de un pedido inicia el montaje del producto. Los componentes utilizados en el montaje de los productos, han sido planificados mediante previsión de la demanda y se encuentran ya en el almacén (Amaro *et al.,* 1999). La capacidad de personalización del producto es menor que en MTO.

Muchos autores han estudiado los factores que influyen en el posicionamiento del PD. Olhager (2003) divide los factores más importantes en tres categorías: (i) factores de mercado, (ii) factores del tipo de producto y (iii) factores de producción. Yang y Burns, (2003) explican que la localización del PD depende del «equilibrio entre el tipo de producto, mercado, procesos y características del inventario». Rudberg y Wikner (2004) ofrecen un análisis del papel del PD en un contexto de personalización de productos. Cuanto más aguas abajo del flujo de materiales se encuentra el PD, más se pospone la diferenciación de los productos (productos estándares o configurables). Del mismo modo, cuanto más aguas arriba del flujo de materiales se posiciona el PD, antes se realiza la diferenciación del producto (productos personalizados y únicos). La Figura 1 ilustra esta situación.

La elección de la ECP más adecuada a las características de los procesos y de los productos de cada empresa es vital para el correcto funcionamiento del proceso de comprometer pedidos, de modo que puedan satisfacerse los requisitos específicos de los clientes con el menor coste y plazo de entrega posible (Alemany *et al.,* 2008 y Alarcón *et al.,* 2009). Por ello, el objetivo principal del estudio que se presenta consiste en analizar la relación existente entre las

Figura 1
Relación entre las ECP y sus PD (adaptada de Olhager, 2003; y Yang y Burns, 2003)



diferentes posiciones del PD y, por ende, la elección de la ECP más apropiada en compañías pertenecientes al sector de bienes de equipo, con los diferentes tipos de productos en escenarios de personalización. Basándose en este contexto, los tipos de productos han sido agrupados en 4 categorías según su grado de personalización, siendo estos:

— Productos Estándares. Son aquellos productos que no presentan ningún tipo de personalización, sus propiedades y características son invariables.

— Productos Configurables. Son productos fabricados a partir de un catálogo donde el cliente puede elegir diferentes atributos estándares para la configuración de los mismos.

— Productos Personalizados. Productos de catálogo que son fabricados a partir de componentes estándares pero que incorporan ciertas opciones de ingeniería en su diseño y producción.

— Productos Únicos. Presentan un diseño original y por tanto su proceso de fabricación también presenta características exclusivas ya que incluye opciones individuales y distintivas.

La clasificación anterior tienen sus orígenes en la revisión realizada por Gutiérrez *et al.* (2005), la cual se basa en los estudios de Lampel y Mintzberg (1996). Dichos autores apuntan a tres tipos de personalización por parte del cliente y un cuarto implícito de ausencia de personalización, que abarcaría los productos clasificados como estándares en el presente estudio. Los otros tipos de personalización que indican Lampel y Mintzberg (1996) son, la personalización pura; que serían los productos únicos de este estudio, la personalización a medida; que corresponderían con la tipología de productos personalizados y por último, la personalización estándar; que cubriría a los productos configurables de la clasificación realizada en este trabajo.

2. Hipótesis

Autores como Olhager (2003); Rudberg y Wikner (2004); y Brabazon y MacCarthy (2005) afirman que la posición del PD, y por tanto, la elección de la ECP, depende de la diferenciación del tipo de producto, es decir, de su grado de personalización.

Meredith y Akinc (2007) afirman que la teoría de producción en la gestión de operaciones carece de una estrategia de producción para un segmento importante de la industria manufacturera, el sector de bienes de equipo. Ante este sector se enfrentan diariamente ante una mayor personalización de sus productos y tienen que dar respuesta de manera rápida, eficaz y eficiente, ofreciendo productos que se ajusten a los requisitos personalizados del cliente final.

Las características del sector en el contexto actual en el que operan son las siguientes (Raturi *et al,* 1990; McCutcheon *et al,* 1994; Meredith y Akinc, 2007):

— Los productos son habitualmente grandes, precisan de actividades de diseño e ingeniería y tienen un coste elevado.

— Los volúmenes de productos, con una combinación particular de características, son pequeños y su demanda es muy difícil de predecir.

— El tiempo requerido para el aprovisionamiento de componentes y las operaciones fabricación y montaje del producto final puede ser superior al plazo de entrega demandado por el mercado.

— Los clientes desean características personalizadas del producto que deberían ser establecidas al inicio de la fabricación del producto.

— El mantenimiento de ciertos niveles de inventario es imposible, tanto desde el punto de vista financiero como de espacio físico.

El posicionamiento de PD en las empresas pertenecientes al sector de bienes de equipo es crucial para la fabricación de productos en escenarios de personalización. Teniendo en cuenta las características del sector mencionadas, se ha realizado el siguiente análisis conjunto:

— Para productos estándares, las ECP consideradas en este estudio has sido MTS, ATO y MTO.

— Para productos configurables, ATO y MTO han sido las estrategias analizadas.

— En el caso de productos personalizados, el estudio se ha centrado en MTO y ETO.

— Finalmente, para productos únicos, la principal ECP analizada ha sido ETO.

Teniendo en cuenta estas consideraciones y en base a la revisión bibliográfica anterior, las hipótesis propuestas son las siguientes:

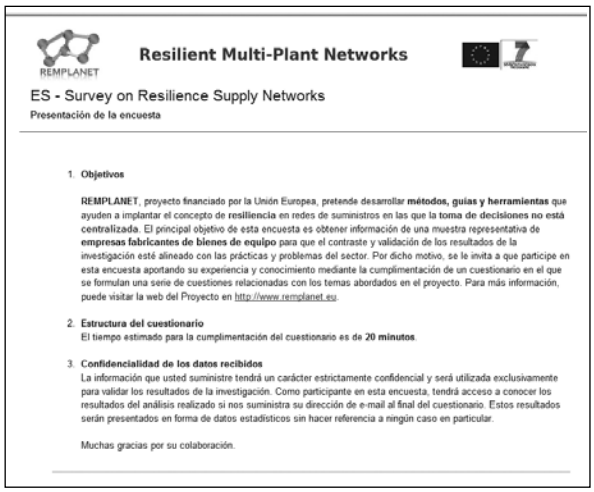
H1. Existe una relación directa entre el tipo de producto, según su nivel de personalización, y las diferentes ECP elegidas por los productores de bienes de equipo.

H2. Los productores del sector fabrican productos personalizados y/o únicos y para ello suelen adoptar las estrategias de MTO y ETO.

3. Resultados y Discusión

Para estudiar la relación existente entre las diferentes ECP y la complejidad de los productos resultante de los distintos grados de personalización, se ha elaborado un estudio empírico a partir de los datos recogidos en una encuesta realizada a través de Internet sobre una muestra representativa del sector. La encuesta se dividía en siete secciones con 37 preguntas. Para facilitar la distribución del cuestionario a las diferentes empresas, así como la accesibilidad y la sencillez en su cumplimentación, se desarrolló en cinco idiomas (inglés, alemán, francés, italiano y español). Además, también se incluyó un glosario de términos para facilitar la comprensión de ciertos conceptos que usualmente no resultan familiares para las empresas. Después de evaluar el número de preguntas y la complejidad del cuestionario, se estimó que el tiempo para su cumplimentación era de entre 25 y 30 minutos. La distribución de la encuesta se realizó a través de contactos con las principales asociaciones europeas de fabricantes de bienes de equipo, consultas a base de datos de empresas del sector objetivo, como por ejemplo, CNAE y DUNS en España así como contactos directos por correo electrónico. Al final del análisis, cada empresa ha recibido un informe comparativo de su estado con el del resto de los participantes. Los análisis comparativos se han realizado teniendo en cuenta factores como el tamaño, subsector y país de cada empresa para proporcionar la información de manera segmentada.

Figura 2
Imagen del cuestionario accesible a través de Internet en www.remplanet.eu


Resilient Multi-Plant Networks

ES - Survey on Resilience Supply Networks

Presentación de la encuesta

1. **Objetivos**

REMPLANET, proyecto financiado por la Unión Europea, pretende desarrollar **métodos, guías y herramientas** que ayuden a implantar el concepto de **resiliencia** en redes de suministros en las que la **toma de decisiones no está centralizada**. El principal objetivo de esta encuesta es obtener información de una muestra representativa de **empresas fabricantes de bienes de equipo** para que el contraste y validación de los resultados de la investigación esté alineado con las prácticas y problemas del sector. Por dicho motivo, se le invita a que participe en esta encuesta aportando su experiencia y conocimiento mediante la cumplimentación de un cuestionario en el que se formulan una serie de cuestiones relacionadas con los temas abordados en el proyecto. Para más información, puede visitar la web del Proyecto en http://www.remplanet.eu.

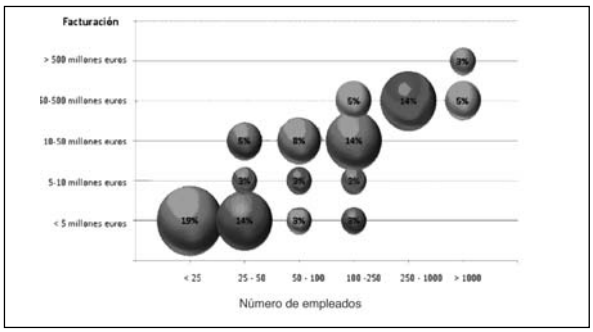
2. **Estructura del cuestionario**
El tiempo estimado para la cumplimentación del cuestionario es de **20 minutos**.

3. **Confidencialidad de los datos recibidos**
La información que usted suministre tendrá un carácter estrictamente confidencial y será utilizada exclusivamente para validar los resultados de la investigación. Como participante en esta encuesta, tendrá acceso a conocer los resultados del análisis realizado si nos suministra su dirección de e-mail al final del cuestionario. Estos resultados serán presentados en forma de datos estadísticos sin hacer referencia a ningún caso en particular.

Muchas gracias por su colaboración.

El perfil de las empresas encuestadas incluye tanto a Pequeñas Y Medianas Empresas (PYMEs) como a grandes empresas constituyendo una muestra suficientemente representativa del sector.

Figura 3
Perfil de las empresas del sector de bienes de equipo encuestadas



Con el fin de validar la hipótesis H1, se estableció una escala lineal para cada tipo de producto (Estándar = 1, Configurable = 2, Personalizado = 3, Único = 4) y para cada ECP (MTS = 1, ATO = 2, MTO = 3, ETO = 4), transformando los porcentajes de ambas variables en valores entre 1 y 4. Se realizó el análisis del coeficiente de correlación de Pearson sobre las escalas anteriores de tipo de producto y ECP, y el resultado obtenido se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2
Coeficiente de correlación de Pearson

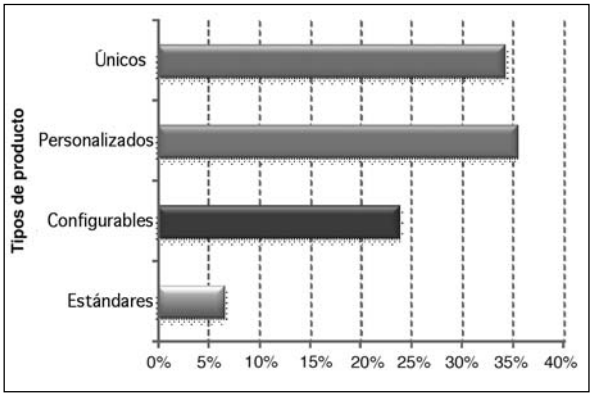
Coeficiente de correlación de Pearson (r)	0.345
Parámetro de significancia estadística (Sig.).	0.042

El nivel de confianza se fijó en el 95%, coincidiendo con la convención del 5% de significancia estadística en pruebas de hipótesis. En este caso, el parámetro de significación estadística (Sig.) es inferior al 5%. El coeficiente de correlación de Pearson muestra que existe una correlación positiva de 0.345 entre las variables: tipo de producto y ECP.

Este resultado confirma la hipótesis H1, existiendo una correlación entre los diferentes tipos de productos y de la ECP adoptadas por los fabricantes.

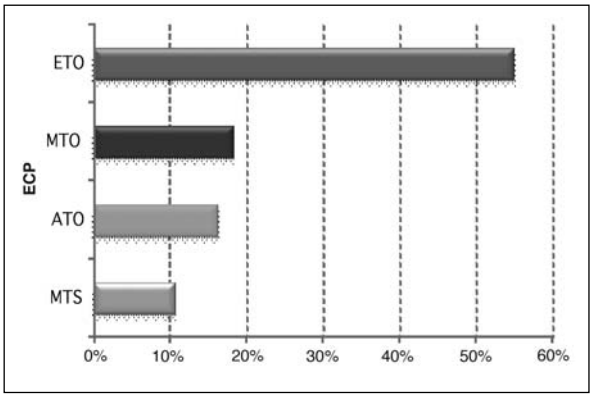
Debido a las características intrínsecas del sector (descritas anteriormente), la mayor parte de los productos fabricados son personalizados y únicos (70% en términos absolutos), tal y como se puede observar en la Figura 4. Este tipo de productos presentan características complejas y adaptadas a los requisitos específicos de los clientes. Por dicho motivo, son necesarias la incorporación de actividades de diseño y fabricación a medida para satisfacer dichos requisitos.

Figura 4
Porcentajes de los diferentes tipos de productos en el sector de bienes de equipo



Además, la estrategia ETO es la más ampliamente utilizada y representa, en términos absolutos, el 55 % de todas las ECP utilizadas en el sector de estudio. Todos estos resultados están gráficamente representados en la Figura 5:

Figura 5
Porcentajes de las ECP en el sector de bienes de equipo



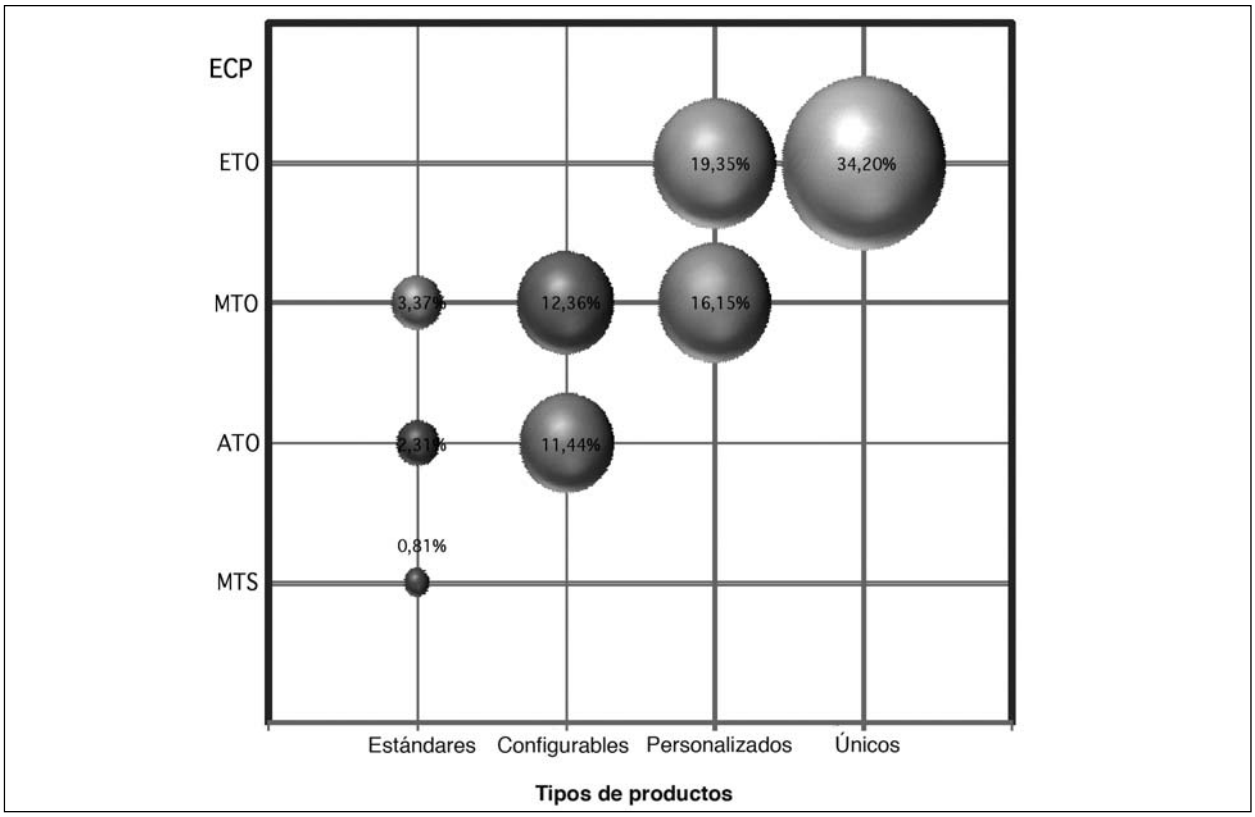
La relación existente entre los tipos de producto y las ECP adoptadas por las empresas del sector analizado, se encuentra representada en la Figura 6.

En el caso de productos estándares, se destaca el reducido porcentaje de empresas que ofrecen este tipo de productos. Aunque sería previsible que la estrategia MTS fuese la más empleada, práctica habitual en otro tipo de fabricaciones, la complejidad del producto hace que el número de variantes «estándares» sea demasiado elevado dificultando la elaboración de previsiones de stock fiables como requiere esta estrategia. Por otra parte, el riesgo de tener productos

en stock sin vender y el elevado coste financiero que supone MTS lleva a que, siempre que exista un mercado que acepte plazos de entrega más largos, las estrategias MTO y ATO sean las más empleadas.

Por otro lado, los fabricantes del tipo de producto configurable, dependiendo del plazo de entrega demandado por el mercado, eligen la estrategia ATO mientras que otros se decantan por MTO. Cuando

Figura 6
Relación entre las ECP y los tipos de productos del sector de bienes de equipo



se requiere dar una respuesta rápida al cliente que sea inferior al plazo de fabricación, las empresas adoptan la estrategia ATO fabricando el producto final a partir de componentes modulares estándares existentes en stock. Esta estrategia requiere de una adecuada estructuración del producto y del proceso para reducir el riesgo que supone tener un volumen de activos fijos en stock que es necesario financiar. Si el plazo de entrega de mercado lo permite, MTO es la estrategia empleada.

Los productos personalizados son aquellos que incluyen ciertas opciones de ingeniería de producción así como un diseño parcial. En el caso de que las opciones de diseño e ingeniería de producción no sean especialmente relevantes, especialmente en lo referente al plazo de entrega, la mayoría de los productores utilizan el enfoque MTO. Sin embargo, si el grado de personalización de este tipo de productos es mayor, los fabricantes se decantan por utilizar ETO, para satisfacer las necesidades ingenieriles del producto.

Finalmente, los productos únicos siempre presentan un alto grado de desarrollo de ingeniería y por esta razón, ETO es la principal estrategia utilizada.

Por lo tanto, mediante el análisis estadístico descriptivo realizado con anterioridad, se valida la hipótesis H2. La mayoría de los productos fabricados en el sector analizado son personalizados o únicos. Los fabricantes posicionan su PD aguas arriba del flujo de materiales realizando la diferenciación del producto desde sus fases iniciales de fabricación empleando las estrategias MTO y ETO.

4. Conclusiones

En el sector de bienes de equipo, la elección de la ECP más adecuada depende del grado de personalización del producto. La investigación empírica ha corroborado que existe una correlación entre el grado de personalización del producto y las diferentes ECP adoptadas por las empresas. Por otra parte, la literatura muestra que los productos fabricados por empresas del sector como, por ejemplo, fabricantes de máquina-herramienta, maquinaria pesada de construcción o moldes de inyección de plástico, son de grandes dimensiones, técnicamente complejos, costosos y altamente personalizables incorporando un elevado grado de ingeniería. Los resultados del estudio empírico muestran que los principales productos del sector son personalizados y únicos, que dichos productos se caracterizan por poseer propiedades específicas de diseño e ingeniería de producción y que las empresas utilizan MTO y ETO como principales estrategias para su fabricación.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido parcialmente financiada por el Séptimo Programa Marco de la Comisión de las Comunidades Europea (FP7/2007-2013) mediante el acuerdo de subvención n.° NMP2-SL-2009-229333, Proyecto «Resilient Multi-Plant Networks» (REMPLANET).

Bibliografía

ALEMANY, M.M.E., ALARCÓN, F., ORTIZ, A. y Cruz Lario, F. (2008), «Order promising process for extended collaborative selling chain (ECOSELL)» Production Planning & Control, 19 (2), pp. 105-131.

ALARCÓN, F., ALEMANY, M.M.E. y ORTIZ, A. (2009), «Conceptual framework for the characterization of the order promising process in a collaborative selling network context» International Journal of Production Economics, 120 (1), pp. 100-114

AMARO, G., HENDRY, L. y KINGSDAM, B. (1999), «Competitive advantage, customisation and a new taxonomy for non make-to-stock companies» International Journal of Operations & Production Management, 19(4), pp. 349-371.

BRABAZON, P.G. y MACCARTHY, B.L. (2005), Review of order fulfilment models for Catalogue Mass Customization. En: Mass Customization: concepts, tools, realization, International Mass Customization Meeting 2005 (IMCM'05), del 2 al 3 de junio, Hamburg, Austria.

GUTIÉRREZ, M., RIVER, F.A. y DURÁN, A. (2005), «Paralelismo entre la Teoría Transformación-Flujo-Valor (TFV) y los Tipos de Fabricación» Dirección y Organización, 4, pp. 31- 38

HOEKSTRA, S. y ROMME, J. (1992), Integrated Logistics Structures: Developing Customer Oriented Goods Flow, Londres: Ed McGraw-Hill.

LAMPEL, J.; MINTZBERG, H. (1996), «Customizing customisation» Sloan Management Review, 38(1), pp. 21-30.

MASON-JONES, R., NAYLOR, B. y TOWILL, D.R. (2000), «Engineering the leagile supply chain» International Journal of Agile Management Systems, 2 (1), pp. 54-61

MCCUTCHEON, D.M., RATURI, A.S. y MEREDITH, J.R. (1994), «The customization-responsiveness squeeze» Sloan Management Review, 35 (2), pp. 89-99.

MEREDITH, J.R. y AKINC U. (2007), «Characterizing and structuring a new make-to-forecast production strategy» Journal of Operations Management, 25, pp. 623–642.

OLHAGER, J. (2003), «Strategic positioning of the order penetration point» International Journal Production Economics, 85, pp. 319-329.

RATURI, A.S., MEREDITH, J.R., MCCUTCHEON, D.M. y CAMM, J.D. (1990), «Coping with the Build-to-Forecast Environment» Journal of Operations Management, 9(2).

RUDBERG, M. y WIKNER, J. (2004), «Mass customization in terms of the customer order decoupling point» Production Planning & Control, 15(4), pp. 445-458.

SUN, X.Y., JI, O., SUN, L.Y. y WANG, Y.L. (2008), «Positioning multiple decoupling points in a supply network» International Journal Production Economics, 113, pp. 943–956.

YANG, B. y BURNS, N.D. (2003), «The implications of postponement for the supply chain» International Journal of Production Research, 41(9), pp. 2075-2090.