

Arquitectura para la previsión, planificación y reaprovisionamiento colaborativo en un entorno de personalización en masa

Architecture for collaborative planning, forecasting and replenishment in a mass customization environment

Manuel Díaz-Madroñero, Raúl Poler

Centro de Investigación Gestión e Ingeniería de Producción (CIGIP)

Universitat Politècnica de València

Plaza Ferrandiz y Carbonell, 2, 03801 Alcoy (Alicante)

fcodiana@cigip.upv.es, rpoler@cigip.upv.es

Fecha de recepción: 11/07/2017

Fecha de aceptación: 08/11/2017

Resumen: En este trabajo se propone una arquitectura para la previsión, planificación y reaprovisionamiento colaborativo en un entorno de personalización en masa. Para ello, se identifican las actividades principales de los modelos colaborativos más destacados y los procesos principales asociados a los entornos de personalización en masa. Para llegar a ésta, se proponen un conjunto de interfases asociados a la definición de productos y servicios adicionales, a la fabricación y expedición, así como a actividades de transporte y recepción. La propuesta se compone de un modelo conceptual, una metodología de implantación, así como por posibles soluciones tecnológicas asociadas para su desarrollo en empresas industriales.

Palabras clave: Planificación colaborativa, CPFRR, personalización en masa, previsión, planificación y reaprovisionamiento

Abstract: In this paper, an architecture for collaborative planning, forecasting and replenishment in a mass customization environment is proposed. For this, on one hand, the main activities of the most important collaborative models and, on the other hand, the main processes related to mass customization environments. In order to achieve it, a set of interfaces are proposed, associated with the definition of products and additional services, the manufacturing and shipping of products, as well as transport and reception. The proposal is composed of a conceptual model, an implementation methodology, as well as possible technological solutions for its development in industrial companies

Keywords: Collaborative planning, CPFRR, mass customization, forecasting, planning, replenishment.

1. Introducción

La personalización en masa (PM) supone un desafío para el proceso de planificación de la producción en la industria actual, siendo una tendencia a implantar por parte de los fabricantes en los últimos años debido a la creciente necesidad del cliente final de productos novedosos y personalizados según sus preferencias. Los sistemas de producción con PM llegan a los clientes de igual manera que en los sistemas de producción en masa, pero tratándolos de forma individual, al igual que en las economías preindustriales.

El término PM aparece en la literatura en la década de los 80 como una continuación natural a los procesos cada vez más flexibles posibilitando un incremento de los niveles de calidad y una reducción de los costes. Además, la PM aparece como una alternativa para diferenciar las empresas en un mercado altamente competitivo y segmentado (Da Silveira et al. 2001). El concepto de PM, inicialmente introducido por Da-

vis (1989), hace referencia a la capacidad de ofrecer productos y servicios diseñados individualmente para cada cliente a través de procesos con gran agilidad, flexibilidad e integración (Pine et al. 1993; Eastwood 1996; Hart 1995).

Para Blecker y Abdelkafi (2006) el término PM puede ser concebido como un concepto que enlaza las técnicas de producción en masa y producción artesanal o totalmente personalizada. Sin embargo, diferentes investigadores en el campo de la estrategia empresarial han defendido la incompatibilidad de ambas estrategias de producción basándose en el trabajo de Porter (1985) en el que se argumenta que la diferenciación y el liderazgo en costes de forma simultánea no permite lograr el éxito estratégico. Sin embargo, para Blecker y Abdelkafi (2006), la aparición del concepto de PM ha hecho desaparecer dichos postulados, convirtiéndose en un campo de estudio robusto y maduro, y pudiéndose considerar como una estrategia de negocio de amplia relevancia y aceptación (Kumar et al. 2007).

En este contexto, la necesidad de disponer de sistemas de fabricación ágiles, la sincronización de operaciones con proveedores y clientes, la necesidad de reducción del tiempo de fabricación y desarrollo de productos, entre otros, hace necesaria la colaboración entre los diferentes miembros de la cadena de suministro (CS) implicada en la fabricación de productos personalizados. Según Poler et al. (2007), las empresas han evolucionado desde la cooperación (compartir información para mejorar los procesos de negocio internos) a la colaboración (ejecución conjunta de algunos procesos de negocio para reducir costes). Así pues, se han propuesto diferentes modelos para llevar a cabo la colaboración en la CS. El modelo Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR) ha sido propuesto por la Voluntary Interindustry Commerce Standards Association (VICS 1998), mientras que Chapman y Petersen (2000) proponen una coordinación centralizada de la CS, según los principios de la arquitectura DAMA (Demand Activated Manufacturing Architecture). Sin embargo, a pesar de que existen diferentes trabajos científicos que abordan la aplicación del modelo CPFR en diferentes contextos (Panahifar et al. 2105; Fu 2016), ninguno de ellos tiene en cuenta la opción de personalización en masa. Por lo tanto, la contribución principal de este trabajo es la propuesta de una arquitectura para la previsión, planificación y reaprovisionamiento colaborativo en un entorno de personalización en masa, en consonancia con el contexto actual, caracterizado por la búsqueda de soluciones colaborativas para mejorar la competitividad de las CS y el desarrollo de productos atractivos, con ciclos de vida cada vez más breves y adaptados a la demanda individualizada de los clientes. La propuesta se compone de un modelo conceptual, una metodología de implantación, así como por posibles soluciones tecnológicas asociadas para su desarrollo en empresas industriales.

Aunque la colaboración entre los diferentes miembros de una CS es una opción estratégica, ésta ha de construirse de forma paulatina, con el paso del tiempo, incrementando los niveles de colaboración, información compartida, integración y toma de decisiones conjunta. Por supuesto, todas estas actividades y procesos deberían particularizarse para cada miembro de la relación en función de su funcionamiento interno y cultura. Por lo tanto, la arquitectura propuesta tiene como objetivo servir de guía u orientación para aquellas empresas y profesionales que deseen implantar el modelo CPFR para la fabricación y venta de productos personalizados, adaptándose a sus propias peculiaridades, sin intención de ser un conjunto de indicaciones inflexibles que hagan que pierda su validez ante un entorno cada vez más cambiante.

La estructura del resto del artículo es la siguiente. En la sección 2 se presenta una revisión bibliográfica sobre el concepto de PM, sus enfoques y la identificación de los procesos fundamentales, mientras que, en la sección 3 se revisan los conceptos fundamentales del modelo CPFR y la arquitectura DAMA para la colaboración en la CS. En la sección 4, se presenta una arquitectura para la previsión, planificación y reaprovisionamiento colaborativo en un entorno de PM para la que se propone un modelo conceptual de CPFR en entornos de PM, así como una metodología de implantación y las posibles soluciones tecnológicas asociadas. Por último, se presentan las conclusiones y futuras líneas de investigación.

2. Enfoques y procesos de la personalización en masa

En la literatura diferentes existen diferentes clasificaciones y taxonomías relativas a las prácticas de personalización en masa, generalmente basadas en el nivel de personalización de los productos ofrecidos y en el nivel de implicación del cliente en el proceso de producción (Blecker y Abdelkafi, 2006). Muchos autores toman el punto de la cadena de valor en el que la personalización es llevada a cabo para realizar la clasificación. Uno de los trabajos pioneros según este criterio es el de Lampel y Mintzberg (1996) quienes dividen la cadena de valor en cuatro fases (diseño, fabricación, ensamblado y distribución) creando una serie de estrategias diferentes para cada una de éstas. Así pues, conforme el nivel de personalización se incrementa, el punto de la cadena de valor en el que entra la petición del cliente se mueve aguas arriba. Lampel y Mintzberg (1996) definen cinco estrategias: estandarización pura, estandarización segmentada, estandarización personalizada, personalización a medida y personalización pura. El nivel más bajo de personalización (estandarización pura) ocurre cuando todas las fases de la cadena de valor son estándar. Por otro lado, se alcanza el mayor grado de personalización (personalización pura) si los clientes llegan a alcanzar impacto en el proceso de diseño del producto a ofrecer. El resto de estrategias son de carácter intermedio entre los extremos anteriormente citados. Dentro del contexto de cadena de valor, Gilmore y Pine (1997) identifican cuatro niveles de personalización basados mayoritariamente en la observación empírica: (1) colaborativa (los diseñadores del producto dialogan con los clientes); (2) adaptativa (productos estandarizados pueden ser adaptados por los clientes durante su uso); (3) cosmética (productos estandarizados son empaquetados de forma especial para cada cliente); y (4) transparente (los productos son adaptados a necesidades individuales de cada cliente).

Ross (1996) ofrece un conjunto de cinco enfoques para ofrecer a los clientes un gran abanico de oportunidades mediante la descripción de ejemplos de productos asociados a cada uno de ellos. Ross distingue entre: (1) core mass customization (el cliente puede modificar elementos principales del producto); (2) personalización en masa post-producción (un servicio de personalización adicional permite convertir un producto estándar en uno personalizado); (3) personalización en masa realizada en el minorista; (4) productos autopersonalizados (como, por ejemplo, software o teléfonos móviles); y (5) productos de gran variedad (como, por ejemplo, relojes de pulsera). Asimismo, Ross (1996) también propone diferentes niveles de personalización, que van desde la personalización cosmética (de tipo sencillo, basada en ofrecer diferentes colores, superficies o acabados en los productos), pasando por la posible selección de opciones funcionales, hasta la core mass customization.

Por otro lado, Pine (1993) propone cinco niveles de producción modular: servicios personalizados (se añaden servicios de valor añadido a productos de carácter estándar), personalización embebida (los clientes pueden alterar las propiedades de productos estándares durante su uso), personalización en el punto de entrega (se añade ciertas labores de personalización en el punto de entrega del producto), productos de respuesta rápida (tiempo de entrega reducido) y producción modular (componentes estándares pueden combinarse para dar lugar a una gran variedad de productos y servicios). Asimismo, Spira (1993) propone una estructura similar con cuatro tipos de personalización: personalización de embalaje, servicios personalizados, labores de personalización adicionales y ensamblado modular.

En el contexto de la industria del automóvil, Alford et al. (2000) distingue entre tres estrategias diferentes de personalización: core customization, optional customization y form customization. Según Alford et al. (2000), en la core customization el cliente está implicado en el proceso de diseño del vehículo como ocurre en la fabricación de los automóviles de lujo cuya fabricación es de tipo artesanal. En la optional customization el cliente es capaz de elegir su vehículo entre una gran variedad de opciones, mientras que en la form customization el cliente puede modificar con ciertas limitaciones el vehículo ofrecido mediante pequeños añadidos que pueden ser ejecutados por el distribuidor concesionario.

Da Silveira et al. (2001) realiza una revisión detallada de la literatura relativa a aspectos de la personalización en masa, proponiendo ocho niveles genéricos de personalización que se extienden desde la person-

alización pura hasta la estandarización pura, dentro de una visión de cadena de valor. Los niveles propuestos por Da Silveira et al. (2001) son diseño, fabricación, ensamblado, labores adicionales de personalización, servicios adicionales, empaquetado y distribución, uso y estandarización, siendo similares en denominación y significado a los niveles propuestos por el resto de autores.

El proceso de PM puede ser definido como un conjunto de actividades enlazadas necesarias para capturar las especificaciones individuales, trasladarlas al producto en el proceso de fabricación y distribuirlo al cliente final (Blecker y Abdelkafi 2006). MacCarthy et al. (2003) identifica los siguientes procesos fundamentales dentro de la PM: (1) Coordinación y toma de pedidos; (2) Desarrollo y diseño del producto; (3) Validación del producto e ingeniería de fabricación; (4) Gestión del cumplimiento de pedidos; (5) Realización del cumplimiento de pedidos; y (6) Proceso post-pedido. Este modelo de procesos es propuesto por MacCarthy et al. (2003) a partir de la identificación de tres factores principales: (1) la relación temporal entre actividades; (2) variabilidad o fijeza de los recursos para el cumplimiento de pedidos; y (3) tipo de personalización realizada (once-only o call-off). Según MacCarthy et al. (2003), la relación temporal entre actividades afecta a los procesos de diseño y validación del producto, los cuales pueden ser realizados por familias, por producto o por pedido. La variabilidad o fijeza de los recursos influye sobre el proceso de realización del cumplimiento de pedidos. Por último, el tercero de los factores tiene relación con la relación temporal entre actividades y en cómo los procesos son implementados, por lo que afecta especialmente a las actividades de control del proceso de gestión del cumplimiento de pedidos.

Blecker y Kaluza (2005) identifican seis subprocesos diferentes, dentro del proceso global de personalización en masa: subproceso de desarrollo, subproceso de interacción, subproceso de compras, subproceso de producción, subproceso logístico y subproceso de información. Los cuatro primeros subprocesos guardan cierta similitud con los propuestos por MacCarthy et al. (2003) mientras que introducen como elemento novedoso la logística y las tecnologías de la información. Para Blecker y Kaluza (2005), el subproceso logístico está formado por las actividades logísticas upstream, o con proveedores, y por las actividades logísticas downstream, o con clientes. La logística upstream se encarga del transporte, consolidación y almacenaje de materias primas y componentes necesarios para la fabricación de los productos. Por otro lado, la logística downstream se relaciona con las actividades de empaquetado y entrega de productos finales a los consumidores. Según Blecker y Kaluza (2005), la logística

permite enfrentarse a grandes desafíos de la personalización en masa: la logística upstream asegura que los componentes y los módulos son entregados a tiempo según la programación del fabricante y la logística downstream permite distribuir y entregar individualmente productos directamente al consumidor. Para Riemer y Totz (2001) la logística downstream puede llevar a cabo parte del proceso de personalización si el cliente puede elegir entre diferentes opciones de empaquetado o transporte. Debido a las grandes inversiones en transporte y almacenes asociadas a las actividades logísticas, y en los altos costes de una distribución personalizada, existe la tendencia creciente de externalizar las actividades logísticas en operadores 3PL, capaces de ofrecer servicios de valor añadido como el empaquetado o ensamblaje final (Blecker y Abdelkafi 2006; Lee 2004; Hoek 2000)

3. Modelo de referencia CPFR y arquitectura DAMA para la colaboración en la cadena de suministro

El modelo de referencia CPFR provee un marco general para los aspectos colaborativos de los procesos de Planificación, Previsión y Reaprovisionamiento. Los participantes que colaboran son un comprador y un vendedor, los cuales persiguen satisfacer las demandas de un cliente final, localizado en el centro del modelo. El modelo puede ser aplicado a cadenas de suministro de venta minorista (en las que el papel del vendedor corresponde al fabricante, y el del comprador al detallista) o a cadenas de suministro OEM (Original Equipment Manufacturer), en las que el papel del vendedor corresponde al proveedor de componentes y

el del comprador al ensamblador final.

Pueden identificarse en este modelo, de forma general, un conjunto de actividades diferenciadas, detalladas en la Tabla 1, en las que pueden establecerse la colaboración entre las partes, pudiendo darse en todas o en sólo algunas de ellas. Así mismo, el modelo CPFR desarrolla estas tareas en diversas actividades asignadas al fabricante o al detallista, así como aquellas en las que se ha de establecer la colaboración. Se remite al lector a VICS (2004) para la identificación de estas actividades.

Por otro lado, el proyecto para Arquitectura de Fabricación Activada por la Demanda (DAMA) propone una arquitectura empresarial y un modelo de colaboración para las cadenas de suministro que permite la mejora de negocios colaborativos a lo largo de la cadena de suministro, con la consiguiente reducción en tiempo y en costes (Chapman et al. 2000). El modelo de referencia CPFR (VICS 1998) proporciona el punto de partida para la definición de esta arquitectura. DAMA define una arquitectura de información para la cadena de suministro compuesta por cinco elementos dispuestos en configuración top-down (Chapman et al. 2000; Chapman y Petersen 2000): (1) Actividad o proceso; (2) Información; (3) Aplicación; (4) Datos; y; (5) Infraestructura.

Según Chapman y Petersen (2000), el proceso de negocio para la ejecución de DAMA debe estar orientado al cliente e implicar a todos los miembros de la cadena de suministro. Este proceso se compone de diez actividades principales, indicadas en la Tabla 1 y descritas detalladamente en Chapman et al. (2000) y Chapman y Petersen (2000):

Tabla 1. Actividades de colaboración y para la ejecución de DAMA

Actividades de colaboración (VICS 2004)		Actividades para la ejecución de DAMA (Chapman et al. 2000; Chapman y Petersen 2000)
Estrategia y Planificación	Acuerdo de Colaboración: es el proceso de fijar los objetivos de negocio de la relación colaborativa. Se define el alcance de colaboración, se asignan responsabilidades, etc	Desarrollo de acuerdos para planes de negocio Inicialización de la Utilidad de la cadena de suministro
	Plan de Negocio Conjunto: se identifican los elementos que afectan al suministro (promociones, política de inventario, horarios de operación, etc.)	
Gestión de la Demanda y el Suministro	Previsión de Ventas: se estima la demanda del consumidor final en el punto de venta	Definición de producto
	Planificación de Pedidos Previsionales: se determinan las necesidades futuras y los requerimientos de entrega basados en la previsión de las ventas, tiempos de tránsito, etc.	Resolución/Colaboración en excepciones para la definición de productos Previsión y acuerdos para la capacidad de fabricación
Ejecución	Generación de las Órdenes: con la transición de las previsiones a pedidos en firme	Resolución/Colaboración en excepciones para la Previsión y acuerdos para la capacidad de fabricación Programación de la producción y entrega de productos
	Entrega de las Órdenes: producción, envío, entrega y almacenamiento de los productos para la compra por parte del consumidor.	Resolución/Colaboración en excepciones de fechas de expediciones de productos Aceleración de producción y entrega
Análisis	Gestión de Excepciones: supervisión activa de las actividades de planificación y ejecución.	Ejecución de entrega de productos
	Medición del Rendimiento: cálculo de los parámetros clave para evaluar el cumplimiento de las metas del negocio.	

4. Propuesta de una arquitectura para la previsión, planificación y reaprovisionamiento colaborativo en un entorno de personalización en masa

Una vez expuestas en el apartado anterior las actividades principales de los modelos colaborativos más destacados (CPFR y DAMA) y por otro lado, los procesos principales asociados a los entornos de personalización en masa (MacCarthy et al. 2003), se realiza

un mapeo entre ellos, de tal forma que se puedan identificar aquellas actividades pertenecientes a los modelos colaborativos que coincidan, en más o menos medida, con los procesos asociados a los sistemas de producción en masa.

En primer lugar se realiza la comparación con las actividades colaborativas del modelo CPFR de 2004. Para ello, se identifican las actividades definidas para este modelo de referencia mediante las siglas contempladas en la Tabla 2.

Tabla 2. Siglas actividades CPFR

Sigla	Actividad CPFR
AC	Acuerdo de Colaboración
PNC	Plan de negocio conjunto
PV	Previsión de ventas
PPP	Planificación de pedidos previsionales
GO	Generación de órdenes
EO	Entrega de las órdenes
GE	Gestión de excepciones
MR	Medición del rendimiento

El mapeo correspondiente a las actividades del modelo de referencia CPFR respecto de los procesos clave en los sistemas de personalización en masa se muestra en la Tabla 2, mediante la identificación de relaciones intensas (++) o débiles (+), teniendo en cuenta la descripción ofrecida en VICS (2004) y MacCarthy et al. (2003).

Tabla 3. Identificación de relaciones entre actividades CPFR y procesos clave en sistemas de personalización en mas

	CPFR							
	AC	PNC	PV	PPP	GO	EO	GE	MR
Coordinación y toma de pedidos			+					
Desarrollo y diseño del producto								
Validación del producto e ingeniería de fabricación								
Gestión del cumplimiento de pedidos					++	+		
Realización del cumplimiento de pedidos						+		
Proceso post-pedido								+

Según las relaciones identificadas en la Tabla 3, las actividades de colaboración definidas según el modelo CPFR 2004 no se adaptan, a priori, tal y como están definidas a los procesos de personalización en masa. El bloque de actividades en el que los vínculos entre ambos modelos es más notable corresponde a las actividades de fabricación (GO, EO y MR parcialmente) y de forma menos intensa con la actividad de previsión de demanda. Destaca, la ausencia de relación con los procesos de desarrollo y diseño de producto, así como con las tareas de ingeniería de fabricación, dado que el

modelo CPFR está principalmente orientado a bienes de consumo mayoritario, en las que las tareas operativas de fabricación y entrega de productos son más o menos comunes a cualquier sistema de fabricación genérico. Debido a este hecho, se opta por realizar el mismo proceso de identificación de relaciones con las actividades de la arquitectura colaborativa DAMA, basada en los principios de CPFR (VICS 1998), y orientada hacia la demanda. Las actividades correspondientes a DAMA se codifican según las siglas indicadas en la Tabla 4:

Dada la granularidad en la descripción de las actividades de DAMA, y principalmente su orientación hacia la demanda, posibilita la existencia de relaciones más estrechas con los procesos definidos por MacCarthy et al. (2003). Destaca la relación estrecha con el proceso de definición y diseño de producto, así como con la validación e ingeniería de éste. Por otro lado, la parte relativa a la fabricación y distribución también presenta relaciones de carácter intenso con los procesos de la personalización en masa, y de forma menos directa con la gestión de excepciones asociadas a éstos. Por otro lado, destaca la ausencia en DAMA de una tarea relacionada con las actividades posteriores a la entrega del producto, como el servicio post-venta, gestión de garantías o repuestos, etc.

En función de las características y procesos típicos en los sistemas de personalización en masa, y tomando como base la arquitectura DAMA y parte del modelo de referencia CPFRR, se propone un modelo colaborativo para entornos de mass customization (Figura 1). En este modelo se referencia con un rombo rosado los interfases en los que se realiza la personalización en masa en función de las preferencias del cliente. Las actividades de las que se compone el modelo propuesto son las siguientes:

1. Desarrollo del acuerdo de colaboración: se trata de la misma actividad que en el modelo CPFRR. En esta actividad deben participar todos los miembros pertenecientes a la CS que deseen pertenecer al acuerdo de colaboración. En el caso de la personalización en masa, se determina la participación del detallista, del ensamblador o fabricante OEM, de los proveedores de componentes, así como de las empresas de transporte implicadas en la distribución del producto al cliente final
2. Creación del plan de negocio conjunto: análogo a CPFRR participando todos los componentes de la CS implicados en la tareas colaborativas
3. Desarrollo de la infraestructura tecnológica necesaria: consiste en la planificación y puesta en marcha de la infraestructura de fabricación, de almacenaje, de comunicaciones y de transporte necesarias para soportar las actividades a lo largo de toda la CS.
4. Definición de productos y servicios adicionales: Se trata de una fase similar a la homónima en la arquitectura DAMA. En esta actividad, a partir de la demanda y de las necesidades de los clientes finales, obtenidas mediante sondeos de preferencias del mercado o mediante una gestión de la misma vía marketing, se definen los productos finales a fabricar y los posibles servicios adicionales asociados al mismo (por ejemplo

empaquetado o transporte especial). En la definición de los nuevos productos se deberá atender a la arquitectura de los mismos, de tal forma que posibilite la generación de múltiples variedades de productos finales a partir de variaciones en la combinación de módulos y componentes. La modularidad permite alcanzar economías de escala, así como reducir los tiempos de desarrollo y de producción (Blecker y Kaluza 2005), aspecto de especial importancia en un entorno con demanda inestable. La actividad denominada Gestión de la Demanda, tiene por objeto influir en la demanda del cliente final, mediante ofertas, promociones y publicidad de los productos de forma que pueda influir en las preferencias de los clientes finales en función de las capacidades de producción en cada periodo de tiempo.

5. Gestión de excepciones en la definición de productos y servicios adicionales: Si uno de los productos, componentes o de sus atributos no está disponible o es técnicamente inviable se genera una excepción. La resolución de ésta puede suponer la iniciación de un proceso de comunicación entre los diferentes miembros de la cadena de suministro por diferentes medios (teléfono, correo electrónico, etc). La resolución de la excepción puede suponer añadir un producto, aumentar la capacidad de fabricación, el cambio del product mix o la externalización hacia proveedores no incluidos dentro de la relación de colaboración, al igual que en la arquitectura DAMA.
6. Previsión de ventas: se realizan pronósticos sobre la demanda de producto final a partir de la información proporcionada por el minorista. Esta previsión realizada por el ensamblador final del producto, es explotada mediante la lista de materiales y el sistema MRP, y es enviada a los proveedores de componentes y módulos para que generen sus previsiones. Por otro lado, los proveedores también reciben la información relativa al producto final por parte del minorista, a partir de la cual generan sus propias previsiones, comparándolas con las recibidas por del ensamblador, generando sus previsiones definitivas. Por otro lado, los proveedores de transporte a partir de las previsiones realizadas por el ensamblador, por los proveedores de componentes, y de la información recibida del minorista genera sus propias previsiones de igual forma.
7. Gestión de excepciones en la previsión de ventas: en el caso de grandes desajustes entre las previsiones realizadas por cada una de las partes, debería activarse un mecanismo de corrección para conocer la fuente de incertidumbre, de tal forma, que se pueda generar una nueva previsión más homogénea y que responda mejor a la realidad existente.

8. Previsión y planificación de capacidades: Una vez conocida la demanda y generadas las previsiones, todos los miembros de la CS tienen visibilidad de esta información. Basándose en las previsiones, cada miembro debe proveer una capacidad de fabricación y transporte acordada con el resto de miembros, de forma que sea suficiente para poder cumplir con las previsiones, al igual que en DAMA. En esta fase, es esencial la previsión de los inventarios necesarios para satisfacer la demanda en el menor tiempo posible, así como las capacidades de almacenamiento necesarias, dada la posibilidad de necesitar almacenar gran cantidad de módulos y componentes diferentes, tanto en las instalaciones del ensamblador como en las de los proveedores. Una previsión y planificación de capacidad insuficiente puede activar un mecanismo para la gestión de excepciones, lo que puede suponer colaborar y buscar nuevos proveedores para el caso del incremento de la demanda o compartir el riesgo asociado a una reducción de las previsiones. Los acuerdos de colaboración deben proporcionar directrices para el manejo de estas excepciones para facilitar la resolución.

9. Fabricación: se generan los órdenes de fabricación y expedición de productos a partir de las capacidades calculadas en la fase anterior. En este caso, existirá un flujo de productos desde los proveedores de módulos hacia el ensamblador (en donde se ensamblarán los componentes en función de la personalización deseada) y puede existir también un flujo de productos finales y componentes hacia las empresas de transporte (especialmente operadores logísticos 3PL, que pueden añadir valor al producto final mediante ensamblados previos al reparto).

10. Gestión de excepciones en fabricación: en caso de que se genere algún problema en el proceso de fabricación, el sistema debe responder para resolverlo de forma ágil. La existencia de sistemas de producción flexible, de sistemas de información interconectados y sincronizados, y la planificación y programación de la producción de forma dinámica puede ayudar a resolver este tipo de conflictos.

11. Entrega Final: Una vez finalizada la fabricación del producto, es repartido por el transportista (operador logístico) según las especificaciones recibidas por el cliente final (fecha, hora de recepción, forma de pago,

etc.) de tal forma que se añade la personalización al transporte del producto (Durán Encalada y Duhamel 2014).

“El modelo propuesto amplía el alcance de la propuesta de la arquitectura DAMA, diferenciando los diferentes actores que pueden participar en personalización en masa en un contexto de CPFR. Aunque esta propuesta sólo considera detallista, ensamblador, proveedores de componentes y de transporte, podría ser fácilmente extensible a nuevas tipologías de participantes que puedan aparecer o participar en el proceso de personalización en masa. En ese caso, la identificación de los productos asociados a cada uno de éstos, como producto final, componentes y/o servicios adicionales, tal y como se detalla en el presente modelo, se tendría que indicar claramente. Puede considerarse que el actor principal en el proceso de personalización en masa es el cliente final, que es incluido en la presente propuesta, a diferencia del modelo CPFR y de DAMA. La participación de éste en el proceso está representada por los puntos de comunicación con los actores anteriores, o interfases, que permiten la comunicación y la transmisión de los requerimientos de los clientes al proceso de producción colaborativa.”

4.1 Metodología para la implantación de CPFR en un entorno de personalización en masa

La definición de la metodología para la implantación de CPFR en entornos de PM se realiza en base a la metodología propuesta por VICS (VICS 1999; ECR Europe y Accenture 2001), mediante la adaptación de las peculiaridades propias de esta estrategia de fabricación y según el modelo definido según la Figura 1

La metodología propuesta por VICS (1999) consta de 4 fases principales: (1) preparación; (2) modelos de implementación; (3) plan de desarrollo de CPFR; y (4) evaluación de los resultados de la colaboración. Básicamente, la fase 2 será la que más se verá modificada respecto a la metodología propuesta por VICS, dado que el resto corresponden a tareas de carácter más estratégico.

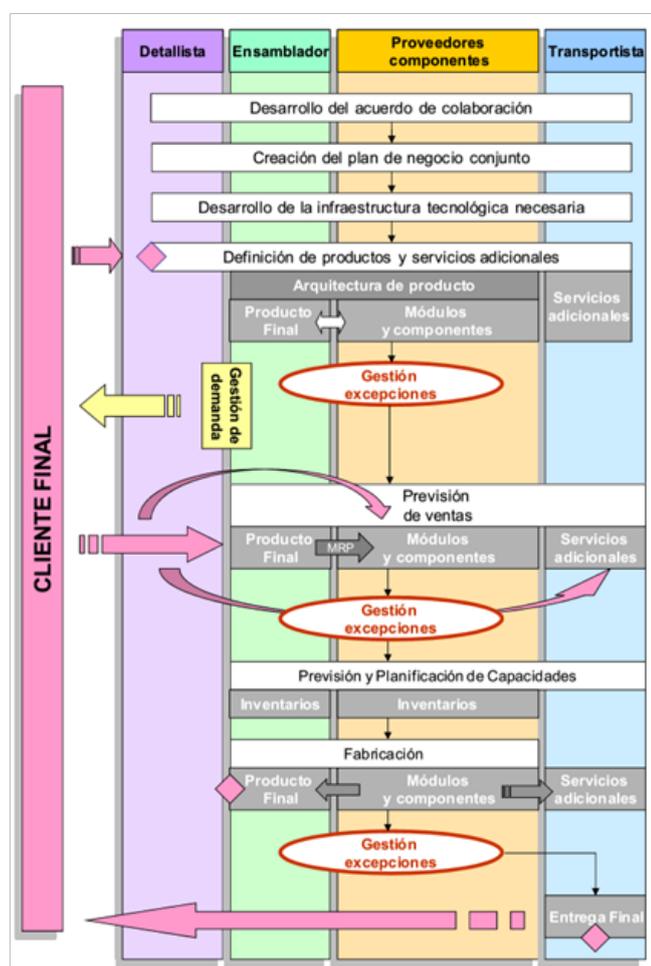


Figura 1. Modelo de CPFR en entornos de personalización en masa

La propuesta de adaptación de la anterior metodología de implantación corresponde con las siguientes fases:

1. Fase de Preparación

En esta fase comienza con análisis de las necesidades y las capacidades internas con el fin de determinar la disposición de la empresa hacia CPFR. Además de las capacidades indicadas en la metodología de VICS (1999) se debería hacer especial hincapié en la valoración de capacidades como el diseño de productos con arquitectura modular en el caso del ensamblador, la capacidad de fabricante y proveedor de componentes de realizar previsiones de ventas de productos finales y de sus correspondientes submontajes, la capacidad de identificar posibles servicios adicionales demandados por el cliente final así como la capacidad de ejercer influencia sobre éste para controlar parcialmente la demanda a conveniencia de las capacidades de fabricación, por ejemplo, limitando la variedad de productos acabados. Asimismo, la selección de socios comerciales con los que establecer la colaboración,

además de los criterios aportados por la metodología de VICS (1999), en la que se recomienda una selección en función del nivel de relevancia del socio sobre nuestro negocio y del nivel de colaboración existente antes del proceso de iniciación del CPFR, debería basarse en las capacidades técnicas de los partners, en el caso del ensamblador, como por ejemplo, la flexibilidad en el sistema de producción, la posibilidad de suministro de una gran cantidad de submontajes diferentes. Por otro lado, también se pueden evaluar otras características como la posibilidad de añadir valor al producto, en el caso de los operadores logísticos 3PL o 4PL o los detallistas a los que se les puede confiar la realización de algún submontaje final en el que se pueda completar la personalización del producto. Por último, se selecciona la estrategia de implementación de CPFR en función de las capacidades internas de la compañía, en función de los recursos disponibles y en función del modelo que potencialmente cada socio pudiera aplicar. En todo caso, según ECR Europe y Accenture (2001) es aconsejable una adopción gradual de modelos CPFR, desde el básico hacia el avanzado.

2. Modelos de implementación

Los modelos propuestos en ECR Europe y Accenture (2001) tienen por objetivo facilitar la implementación de CPFR en cualquier situación posible mediante la oferta de tres opciones diferentes según su alcance, requerimientos e impacto. Estos modelos, según ECR Europe y Accenture (2001), pueden ser adaptados o ampliados en línea con el ámbito de relación con cualquier socio comercial. De los tres modelos propuestos, y en función del modelo CPFR para entornos de personalización en masa definido en la Figura 1, el modelo básico y en desarrollo son descartados, excepto como paso previo a la implantación del modelo avanzado, dadas las restricciones que presentan en cuanto a la capacidad de relación con los socios comerciales y la aplicación de los mismos a un número de productos limitados. El modelo CPFR avanzado implica colaborar en la planificación y la promoción de ventas y la previsión de pedidos a través del desarrollo y el mantenimiento de una estrecha relación con los socios comerciales. La integración completa de todos los procesos implicados puede efectuarse de forma gradual, comenzando en un ámbito limitado. El proceso de colaboración suele ser automatizado a través de una avanzada solución informática que se integre con los sistemas de back-office (ERP, APS, etc.) de la compañía (ECR Europe y Accenture 2001).

Siguiendo la propuesta de metodología de ECR Europe y Accenture (2001) se definen con más detalle los requerimientos del modelo CPFR para la personalización en masa en la Tabla 6, agrupados según los siguientes criterios:

- **Ámbito:** definición del volumen de información empleado en el modelo CPFR propuesto en cada una de sus fases
- **TICs:** define la necesidad de una herramienta tecnológica determinada y el nivel de integración requerido con los sistemas back-end.
- **Organizacional:** determina los departamentos implicados en las actividades correspondientes al modelo CPFR
- **Datos:** definición de los datos necesarios en cada una de las fases del modelo CPFR propuesto para entornos de personalización en masa
- **KPIs:** recomendación de los KPIs a ser medidos en cada una de las fases del modelo propuesto

La Tabla 6 se elabora teniendo en cuenta los procesos necesarios para la consecución de la personalización en masa en un entorno CPFR, según el modelo adaptado propuesto en la Figura 1. La metodología original propuesta por ECR Europe y Accenture (2001) se orienta a una modalidad CPFR genérica, es decir, sin personalización en masa, y por lo tanto debe modificarse para incluir las singularidades del modelo CPFR propuesto en este trabajo. Estas modificaciones se muestran mediante el sombreado de las celdas de la Tabla 5 que presentan novedades respecto a la propuesta original de metodología. En este sentido, las celdas sombreadas en gris hacen referencia a los nuevos procesos, en función del modelo CPFR mostrado en la Figura 1, mientras que la materialización de diferentes acciones propuestas a través del uso de sistemas APS, la generación de pre-

visiones tanto de productos finales como de componentes y configuraciones o la participación de personal de departamentos diferentes, se representa mediante un sombreado amarillo de las celdas correspondientes.

3. Plan de desarrollo de CPFR

El plan de desarrollo ayuda a las empresas a tomar las medidas adecuadas después de la primera etapa de una iniciativa CPFR. Su objetivo es definir los medios de apoyo para ampliar los beneficios de las actuales iniciativas de CPFR mediante el incremento del alcance, el nivel de colaboración o integración de sistemas TIC (ECR Europe y Accenture 2001). Se remite a los detalles de la propuesta de ECR Europe y Accenture (2001), en la que el plan de desarrollo estará compuesto por la evaluación de los resultados obtenidos de la implantación de CPFR, así como por una posible extensión de esta iniciativa.

4. Evaluación de los resultados de colaboración

Según ECR Europe y Accenture (2001), el objetivo de la evaluación de los resultados de la colaboración es garantizar que los beneficios obtenidos de las iniciativas CPFR están en consonancia con la estrategia de la empresa. Una correcta evaluación ayudará a las empresas que ya han llevado a cabo algunas iniciativas de colaboración a elegir los próximos pasos hacia la utilización óptima de CPFR en su entorno. El resultado de este proceso de examen periódico es ofrecer una guía para establecer la dirección de los esfuerzos CPFR dentro de la organización. Se remite a la metodología propuesta por ECR Europe y Accenture (2001) para completar los detalles correspondientes a esta fase.

Tabla 6. Detalles metodología de implementación modelo CPFR para personalización en masa

	Desarrollo acuerdo de colaboración	Creación plan de negocio conjunto	Desarrollo infraestructura tecnológica necesaria	Definición de productos y servicios adicionales	Gestión de excepciones en definición de productos	Previsión de ventas	Gestión de excepciones en previsión de ventas	Previsión y planificación de capacidades	Fabricación	Gestión de excepciones de fabricación	Entrega fina
Ámbito	Información de departamentos de todos los socios colaboradores	Información de todos los socios colaboradores	Información de la infraestructura de todos los socios colaboradores	Información de todas las referencias (SKUs) de todos los socios colaboradores							
TICS			Herramientas para la definición de arquitecturas de productos finales mediante sub-montajes (CAD), Herramientas para la gestión de la demanda eMKT	Herramienta automática de alerta integrada con los sistemas de información existentes - Comunicación via Internet o teléfono	Herramienta para la previsión automatizada en cada uno de los miembros	Herramienta automática de alerta integrada con los sistemas de información existentes - Comunicación via Internet o teléfono	Módulo de planificación de producción del sistema APS	Módulo de programación de la producción del sistema APS	Herramienta automática de alerta integrada con los sistemas de información existentes - Comunicación via Internet o teléfono	Módulo de planificación del transporte y satisfacción de la demanda APS	
Organizacional	Alta dirección, gerencia, finanzas, marketing, ventas, compras, TICs, ingeniería, producción		Marketing, ventas, ingeniería, compras	Marketing, ventas, compras		Marketing, ventas, compras	Ingeniería, Producción	Ingeniería, Producción	Ingeniería, Producción	Marketing, ventas, logística servicio al cliente	
Datos			Preferencias demandas por los clientes, informes de mercado, arquitectura de producto, BOM, posibles proveedores	Datos históricos de pedidos recibidos, informes de mercado, BOM/MRP para componentes		Capacidad disponible, inventarios, previsión de componentes y productos	Plan y programa de producción, configuraciones de productos		Indicaciones de recepción, servicios y montajes a realizar previos a la entrega		
KPIs				Precisión previsiones, inventarios, niveles de servicio, variabilidad de la demanda, ventas		Lead time, tiempos de cambio, productividad			Nivel de servicio, reclamaciones		

4.2 Tecnologías para el soporte de CPFR en un entorno de personalización en masa

A pesar de que la implantación de los modelos más básicos de CPFR puede realizarse sin herramientas especiales para el soporte de los procesos y actividades asociados, la especificidad y sofisticación del modelo CPFR para los entornos de personalización en masa requiere de una aplicación intensa de la tecnología entre los diferentes socios comerciales, así como de una integración de todos los sistemas existentes. Asimismo, la adopción de estándares o plataformas para asegurar la interoperabilidad entre los socios comerciales resulta de especial importancia para el funcionamiento adecuado de las prácticas CPFR.

Así pues, las funciones más importantes dentro de la planificación de la CS se pueden clasificar según dos dimensiones: el horizonte de planificación y el proceso, dando lugar a la Matriz SCP, propuesta por Meyr et al. (2015). Las tareas de planificación relativas a los diferentes módulos de APS pueden ser consideradas según la influencia de la decisión a tomar, es decir a largo, medio o corto plazo y según al proceso de negocio al que afecta, es decir, aprovisionamiento, producción, distribución o ventas. En base a los requerimientos de infraestructura tecnológica definidos en la Tabla 6, y según el modelo de sistemas APS (Advanced Planning and Scheduling) se propone el uso de este tipo de sistemas como elemento fundamental para el desempeño de las tareas del modelo CPFR propuesto. Según Kilger et al. (2015), los fabricantes de sistemas APS deben desarrollar módulos que permitan la integración y el acceso seguro a datos compartidos entre los diferentes participantes en la relación colaborativa, así como herramientas para la toma de decisiones conjunta a lo largo de la CS. Así pues, una integración eficiente de datos resulta de vital importancia ya que éstos podrán como entradas a las herramientas de carácter cuantitativo para la planificación colaborativa conjunta que optimice el resultado global de todos los participantes.

En la Figura 2 se muestran los flujos de datos entre los diferentes actores (marcados como flechas) que alimentan los módulos que se deberían poner en marcha en cada uno de los socios comerciales implicados a lo largo de la CS. Estos módulos se configuran en función de las tareas asignadas en cada una de las fases definidas en el modelo de la Figura 1. Los módulos correspondientes a las tareas orientadas a medio y largo plazo son compartidos, de forma que sean posibles la colaboración estratégica entre las diferentes partes. El resto de módulos se distribuyen de dispar manera entre los diferentes socios, en función de las

responsabilidades asignadas según el modelo conceptual. Por ejemplo, el módulo de satisfacción de demanda estará adaptado a la tipología de cliente de cada participante. En el caso del minorista o del transportista, el cliente final es el foco del módulo de satisfacción de la demanda por estar en contacto directo con éste. En el caso del ensamblador, el cliente también sigue siendo el foco, ya que es quien formula los requerimientos y las especificaciones del producto personalizado a fabricar. Por otro lado, en el caso del proveedor de componentes y submontajes, el módulo de satisfacción de la demanda estará orientado a la satisfacción de la demanda derivada del ensamblador. El uso de sistemas APS para la puesta en práctica de relaciones según el modelo CPFR, a través de la integración de datos y herramientas de toma de decisiones colaborativas, puede generar una serie de ventajas tales como la mejora en la eficiencia en los referente al uso del tiempo y los recursos, el desarrollo de actividades de planificación y control más precisas, mejor orientadas a la demanda y al cliente, con respuestas más instantáneas y más flexibles, según documenta Thomassen et al. (2012).

Además de los módulos del APS, se propone la integración de sistemas CAD/CAM para ayuda en el diseño de productos y componentes, y la gestión de la fabricación y la previsión de capacidades a necesitar. Por otro lado, se sugiere el uso de herramientas de e-marketing que permitan la captación de las necesidades y preferencias de los clientes personalizados, así como la influencia sobre éstos en cuanto a la oferta de productos con una variedad limitada.

En la arquitectura propuesta los flujos de información son representados mediante flechas, según el modelo de CPFR indicado en la Figura 1. La fiabilidad de la comunicación entre los diferentes socios resulta de especial importancia para el éxito de la iniciativa CPFR. Existen diferentes estándares para la comunicación e intercambio de información de planificación en la CS, como por ejemplo RosettaNet, la Open Applications Group Integration Specification (OAGIS), Chemical Industry Data Exchange (CIDX) y GS1 eCOM (Dogac et al. 2008).

En lugar de optar por una red peer-to-peer que limita en cierta forma la extensión de la iniciativa CPFR a otros socios futuros, se propone el uso de aplicaciones interoperables a partir de protocolos de comunicación estándar que soporten el intercambio de información de planificación colaborativa entre los diferentes miembros de la CS. Según Blecker y Abdelkafi (2006) las arquitecturas orientadas a servicios pueden ayudar en la gestión e intercambio de información entre diferentes socios de una CS con productos a personalizar en

masa. Bajo esta premisa, destaca la plataforma interoperable iSURF para la planificación colaborativa de la CS propuesta por Dogac et al. (2008), basada en el uso de Universal Business Language (UBL) y servicios web que permiten la interpretación semántica de mensajes a intercambiar entre empresas con diferentes protocolos de comunicación como CIDX o RosettaNet. Según esta arquitectura, los mensajes y documentos existentes en los socios con diferentes estándares de comunicación son adaptados a una nomenclatura intermedia mediante el uso de una ontología UBL, de forma que el destinatario de estos mensajes sea capaz de comprenderlo a pesar de utilizar una representación diferente de la información en su ámbito.

5. Conclusiones

La colaboración entre organizaciones en la gestión de diversas actividades es una tendencia actual como posibilidad de aumentar la competitividad de las cadenas de suministro pudiendo ser definida como una relación establecida a largo plazo entre organizaciones que trabajan conjuntamente para la consecución de objetivos comunes (Mentzer et al. 2000). Una de las propuestas para la colaboración entre entidades de

una CS es la iniciativa CPFR (VICS 1998; VICS 2004). El presente trabajo propone una arquitectura para la previsión, planificación y reaprovisionamiento colaborativo (CPFR) en un entorno de personalización en masa, basado en la arquitectura DAMA. Asimismo, se propone una metodología de implantación adaptada al modelo propuesto a partir de la publicada por ECR Europe y Accenture (2001). Finalmente, se propone una solución tecnológica basada en la intercomunicación de módulos de sistemas APS mediante una arquitectura orientada a servicios web mediante protocolos estándar.

Como líneas futuras de investigación del presente trabajo se propone: (1) la validación de la arquitectura y la metodología de implantación propuesta en un entorno industrial real; (2) desarrollo de una plataforma tecnológica basada en servicios web o computación en la nube para gestionar de forma transparente las operaciones de planificación y el flujo de información entre los diferentes actores contemplados en el modelo CPFR propuesto; (3) consideración de factores asociados a la problemática de los actuales sistemas de producción como la incertidumbre o los ciclos de vida de productos cada vez más cortos.

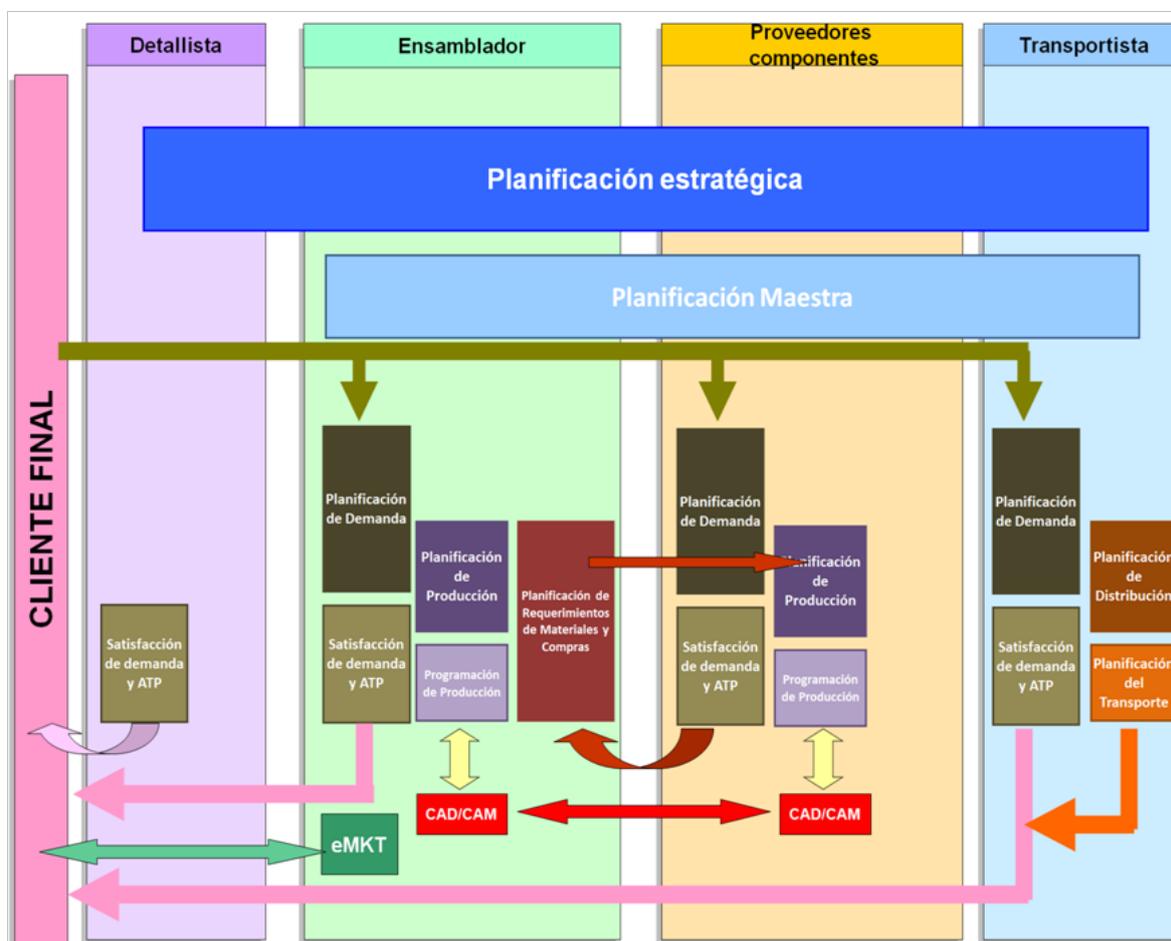


Figura 2. Propuesta de arquitectura para modelo CPFR para personalización en masa

6. Referencias

- Alford, D., Sackett, P. & Nelder, G., 2000. Mass customisation — an automotive perspective. *International Journal of Production Economics*, 65(1), pp.99–110.
- Blecker, T. et al., 2005. Information and Management Systems for Product Customization. *Information and Management Systems for Product Customization*, 7, pp.79–113.
- Blecker, T. & Abdelkafi, N., 2006. Mass Customization : State-of-the-Art and Challenges. *Mass customization challenges and solutions*, 87, pp.1–25.
- Chapman, L.D., Lathon, R. & Petersen, M., 2000. DAMA Model For Collaboration,
- Chapman, L.D. & Petersen, M.B., 2000. Demand activated manufacturing architecture (DAMA) model for supply chain collaboration, Sandia National Labs., Albuquerque, NM (US); Sandia National Labs., Livermore, CA (US).
- Davis, S.M., 1989. From “future perfect”: Mass customizing. *Strategy & Leadership*, 17, pp.16–21.
- Dogac, A. et al., 2008. iSURF: an interoperability service utility for collaborative supply chain planning across multiple domains. In the Proc. of the eChallenges Conference, Stockholm. pp. 948–955.
- Durán Encalada, J.A. & Duhamel, F.B., 2014. Logistics service characteristics and supply chain priorities for freight management. *Academia Revista Latinoamericana de Administración*, 27(2), pp.236–266.
- Eastwood, M.A., 1996. Implementing mass customization. *Computers in Industry*, 30(3), pp.171–174.
- ECR Europe & Accenture, K., 2001. A Guide to CPFR implementation, ECR Europe.
- Fu, H. P., 2016. Comparing the factors that influence the adoption of CPFR by retailers and suppliers. *The International Journal of Logistics Management*, 27(3), 931-946.
- Gilmore, J.H. & Pine, B.J., 1997. The four faces of mass customization. *Harvard business review*, 75(1), pp.91–101.
- Hart, C.W.L., 1995. Mass customization: conceptual underpinnings, opportunities and limits. *International Journal of Service Industry Management*, 6(2), pp.36–45.
- Hoek, R.I. Van, 2000. Role of third party logistic services in customization through postponement. *International Journal of Service Industry Management*, 11(4), pp.374–387.
- Kilger, C., Reuter, B., & Stadtler, H., 2015. Collaborative planning. In *Supply chain management and advanced planning* (pp. 257-277). Springer Berlin Heidelberg.
- Kumar, A., Gattoufi, S. & Reisman, A., 2007. Mass customization research: Trends, directions, diffusion intensity, and taxonomic frameworks. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 19(4), pp.637–665.
- Lampel, J. & Mintzberg, H., 1996. Customizing Customization. *Sloan Management Review*, 38(1), pp.21–30.
- Lee, H.L., 2004. The triple-A supply chain. *Harvard Business Review*, 82(10), pp.102–112.
- MacCarthy, B., Brabazon, P.G. & Bramham, J., 2003. Fundamental modes of operation for mass customization. *International Journal of Production Economics*, 85(3), pp.289–304.
- Mentzer, J.T., Foggin, J.H. & Golcic, S.L., 2000. Collaboration: the enablers, impediments, and benefits. *Supply Chain Management Review*, 4(4), p.52.
- Meyr, H., Wagner, M. & Rohde, J., 2015. Structure of advanced planning systems. In *Supply chain management and advanced planning*. Springer, pp. 99–106.
- Panahifar, F., Byrne, P. J., & Heavey, C., 2015. A hybrid approach to the study of CPFR implementation enablers. *Production Planning & Control*, 26(13), pp. 1090-1109.
- Pine II, B.J., 1993. Mass customizing products and services. *Strategy & Leadership*, 21, pp.6–55.
- Pine, B.J. & Davis, S., 1999. *Mass Customization*, Harvard Business School Press.
- Poler, R. et al., 2007. An Interoperable Platform to Implement Collaborative Forecasting in OEM Supply Chains. In *Enterprise Interoperability*. Springer, pp. 179–188.
- Porter, M.E., 1985. *Competitive Advantage*. Strategic Management, May-June, pp.1–580.

- Riemer, K. & Totz, C., 2003. The many faces of personalization – An integrative economic overview of mass customization and personalization. *The Customer Centric Enterprise*, pp.35–50.
- Ross, A., 1996. Selling uniqueness. *Manufacturing Engineer*, 75, p.260.
- Silveira, G. Da, Borenstein, D. & Fogliatto, H.S., 2001. Mass customization : Literature review and research directions. *International journal of production economics*, 72(49), pp.1–13.
- Spira, J.S., 1993. Mass customization through training at Lutron Electronics. *Strategy & Leadership*, 21, pp.23–24.
- Thomassen, M. K., Dreyer, H., & Jonsson, P., 2012. Exploring the Impact of ICT in CPFR: A Case Study of an APS System in a Norwegian Pharmacy Supply Chain. In *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems* (pp. 120-127). Springer, Berlin, Heidelberg.
- VICS, 2004. Modelo de Referencia CPFR 2004,
- VICS, 1999. Roadmap to CPFR: The case studies,
- VICS, 1998. Collaborative planning, forecasting and replenishment (CPFR). Disponible en: www.vics.org.