

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

2.1. INTRODUCCIÓN

El propósito de esta primera sección es analizar y describir el marco teórico en el que se va a llevar a cabo el proyecto fin de máster. Para ello, sobre la base de la revisión de la literatura existente en el ámbito en cuestión, se van a desarrollar los siguientes puntos:

- Mostrar la importancia del sector manufacturero en la economía mundial.
- Presentar los sistemas productivos como las plataformas en las que se desarrolla la manufactura de bienes en el ámbito industrial.
- Exponer la evolución histórica y las bases teóricas de las diferentes concepciones o modelos existentes en la forma de interpretar y organizar los sistemas productivos.
- Revelar la Producción Ajustada como un modelo de organización de sistemas productivos adaptado a las cada vez mayores exigencias del mercado global.
- Analizar los resultados reales obtenidos por la aplicación de los conceptos y técnicas propuestas por la Producción Ajustada, así como profundizar en las causas de tales resultados.
- Analizar las necesidades actuales de las empresas manufactureras en cuanto a la mejora y adaptación de los sistemas productivos.
- Exponer la técnica *Value Stream Mapping* (VSM) desarrollada al amparo de la Producción Ajustada como alternativa para la resolución de las necesidades mostradas por las empresas.

2.2. EL SECTOR MANUFACTURERO

La manufactura, o proceso de transformación, está relacionada con las operaciones requeridas para producir bienes, servicios o una combinación de ambas. En el proceso de transformación se emplean recursos para cambiar el estado o condición de objetos para convertirlos en *outputs*. En otras palabras, las operaciones manufactureras parten de unos recursos *inputs*, que se emplean tanto para transformarse a sí mismos como para transformar otros elementos en *outputs* de bienes y/o servicios (Slack et al., 1998).

Si bien el proceso de transformación puede referirse tanto a productos como a servicios, el presente trabajo fin de máster se limitará al marco los sistemas productivos o manufactureros relacionados principalmente con la producción de bienes. Como se puede observar en la tabla 1, las empresas o compañías dedicadas a la producción de bienes tienen ciertas diferencias respecto a las productoras de servicios (Krajewski et al., 1996); aunque hoy en día muchas firmas ofrecen tanto productos como servicios y estas distinciones no son claras ni se cumplen del todo, sirven para referenciar el contexto del estudio.

<i>Empresas manufactureras (productos)</i>	<i>Empresas de servicios</i>
<i>Producto físico y duradero</i>	<i>Producto intangible y perecedero</i>
<i>Las salidas pueden ser inventariadas</i>	<i>Las salidas no pueden ser inventariadas</i>
<i>Poco contacto con el cliente</i>	<i>Alto contacto con el cliente</i>
<i>Largo tiempo de respuesta</i>	<i>Tiempo de respuesta corto</i>
<i>Mercados regionales, nacionales o internacionales</i>	<i>Mercados locales</i>
<i>Plantas productivas de relativo tamaño</i>	<i>Plantas de menor tamaño</i>
<i>Grandes inversiones en capital</i>	<i>Grandes inversiones en trabajo</i>
<i>Calidad fácilmente medible</i>	<i>Calidad no tan fácilmente medible</i>

Tabla 1. Características de empresas manufactureras y de servicio (Krajewski et al., 1996).

La manufactura se integra dentro del sector secundario o industrial. Dicho sector comprende tres conjuntos diferenciados de actividades: el sector energético, las industrias extractivas y las industrias manufactureras objeto del estudio (Ikei S.A., 2002).

Los sectores manufactureros se pueden clasificar de acuerdo a subsectores:

desde industria textil a construcción de maquinaria, desde productos relacionados con la madera, a cuero y zapatos, desde industria papelera a química, desde electrónica a aeronáutica, desde instrumentos y sistemas de control a vehículos a motor (European Commission, 2004).

A pesar del incremento del sector servicios en virtualmente todas las economías en las recientes décadas, durante la mayor parte de los últimos 50 años la producción manufacturera ha sido el principal conductor de la economía global. Todo esto ha sido especialmente cierto para aquellos países que se han ido integrando progresivamente en la economía global. Así pues, el sector manufacturero es a nivel mundial el mayor contribuyente a la economía global, suponiendo casi tres cuartas partes del comercio mundial (Oyarbide, 2003).

Tan sólo en EEUU aproximadamente la mitad del Producto Interior Bruto (PIB) y del empleo depende del sector manufacturero (Hopp et al., 2000). En cuanto a la Unión Europea (UE) se refiere, existen más de 26 millones de empresas de las que el número de negocios manufactureros es el 10% del total (unos 2,5 millones), de los cuales el 99% son Pequeñas y Medianas Empresas (PYME-s) o aquellas que emplean a menos de 250 trabajadores. La actividad manufacturera representa aproximadamente el 22% del Producto Nacional Bruto (PNB) de la UE. Se estima que el 75% del PIB y el 70% del empleo dependen de la manufactura, ya que por cada empleo directo en la industria hay otros dos relacionados pertenecientes al sector servicios. La tendencia muestra que a pesar de que cada vez menos empleos directos dependen de la industria, cada vez hay más indirectos relacionados con el sector servicios conectados con ésta (European Commission, 2004).

Por tanto, y tal y como los datos aportados indican, la manufactura, integrada en el sector industrial, es un gran generador de actividad y empleo tanto en el marco global como en el europeo.

2.3. LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS

El proceso de transformación o manufactura se realiza sobre la base de los denominados sistemas productivos específicamente diseñados para tal fin.

Un sistema productivo o manufacturero es una red de procesos orientada a un objetivo a través de la cual fluyen entidades. (Hopp et al., 2000)

- Tiene un **objetivo** principal, que generalmente será el de ganar dinero.
- Contiene **procesos**. Estos pueden ser los procesos físicos de fabricación habituales (corte, taladrado, soldadura...), pero también se incluyen otros procesos que soportan y apoyan a los procesos directos de fabricación o transformación de los productos (gestión de pedidos, expediciones, mantenimiento...).
- Las **entidades** no incluyen solamente las piezas o productos fabricados, sino que también la información que se emplea para controlar el sistema.
- El **flujo** de entidades a través del sistema describe como se procesan los materiales y la información. La gestión de este flujo es la tarea más importante de un responsable de producción.

- Es una **red** de partes que interactúan. La gestión de estas interacciones es tan importante como la gestión de los procesos o entidades individuales.

Los entornos manufactureros o productivos varían de una forma importante dependiendo de la estructura de sus procesos, es decir, de la manera en que los productos fluyen por la planta fabril. Una posible clasificación genérica de los entornos manufactureros se refiere a la distinción de cuatro categorías principales (Hayes et al., 1979a, 1979b), (White et al., 2001)

Talleres funcionales o job-shops

Se fabrican lotes pequeños de productos discretos con una gran variedad de rutas a través de la planta. El flujo a través de la planta es complicado, son comunes las diferentes preparaciones de máquinas, y el entorno se asemeja más a una atmósfera de proyecto que a una producción seriada.

Líneas de flujo desconectadas

Los lotes de productos discretos son fabricados en un número limitado de rutas identificables. Las estaciones individuales entre las líneas no están conectadas por un sistema rítmico de manutención de materiales, por lo que se puede acumular inventario entre las estaciones. Se puede afirmar que los sistemas productivos dedicados a la manufactura en serie de lotes de piezas discretas responden a esta configuración.

Líneas de flujo conectadas

La línea de montaje hecha famosa por Henry Ford responde a esta configuración. El producto es fabricado y montado a lo largo de una ruta rígida conectada por un sistema de movimiento de materiales rítmico. Hoy en día, estas líneas están muy extendidas en las plantas de montaje de automóviles, pero no son muy comunes entre otros sectores.

Procesos de flujos continuos

Productos continuos (comida, productos químicos, aceites, materiales para la construcción...) fluyen automáticamente a través de una ruta fija para conseguir grandes eficiencias y uniformidad de producto.

La tabla 2 muestra la relación que existe entre el tipo de configuración del sistema productivo y el tipo de producto.

Etapa ciclo de vida de producto. Estructura de proceso.	I.- Volumen y estandarización baja, una unidad de cada tipo.	II.- Multiplicidad de productos. Bajo volumen.	III.- Pequeño catalogo, volumen más alto.	IV.- Alto volumen y estandarización, productos de consumo.
Taller funcional (job-shop)	Imprenta comercial			No permisible
Línea de flujo desconectada (lotes)		Equipamiento pesado		
Línea de flujo conectada (línea de ensamblaje)			Montaje de automóviles	
Flujo continuo	No permisible			Refinería de azúcar

Tabla 2. La matriz producto-proceso (Hayes et al., 1979a1979b).

El presente trabajo fin de máster se centra en el marco de la mejora de los sistemas productivos en la propia planta y principalmente en el entorno de la producción basadas en la línea de flujo continuo por ser las más habituales en el sector manufacturero.

2.4. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS

Desde el siglo XIX los sistemas productivos empleados en el sector industrial han ido evolucionando. Se podrían definir tres sistemas o modelos que han marcado las características principales de los métodos de producción, objetivos de la compañías, roles de los empleados y los tipos de productos a fabricar. Esto son: el sistema de Producción Artesana, la Producción en Masa y la Producción Ajustada.

Dichos cambios han venido impulsados sobre todo por el nacimiento y desarrollo de la industria de la automoción, “la industria de las industrias” según Peter Drucker, una de las que mayor actividad manufacturera ha generado y genera en el mundo (Womack et al., 1990). Las características definitorias de cada sistema o filosofía de producción se resumen a continuación en base a la evolución de la industria de construcción de automóviles.

2.4.1. LA PRODUCCIÓN ARTESANA

La Producción Artesana es la que inicialmente se aplicó al inicio del desarrollo de la industria automovilística a finales del siglo XIX. Aún hoy en día subsisten unos pocos constructores muy selectos en el mundo con no pocas

dificultades para seguir adelante con el sistema.

Las características principales se resumen estructuradas en (Dicken, 2003), (Woll, 2003), (Peaucelle, 2000):

Roles y capacidades de los trabajadores

- Profesionales altamente cualificados.
- Comprensión de los principios mecánicos, de diseño y de materiales con los que trabajan.
- En numerosos casos no existe división de trabajo entre mandos y mano de obra.
- Existencia de la figura del ajustador, quien se dedica a ajustar las piezas entre sí.
- Curva de carrera larga desde aprendiz a maestro artesano.

Métodos de producción

- Herramientas y maquinaria flexible y multipropósito.
- Gran variedad de trabajos.
- Disposición fija del producto base en la planta de fabricación y montaje.

Tipo de producto

- Personalizado para cada cliente.
- Chofer y mecánico necesario para el uso.
- Bajo volumen de producción.
- Alto coste.
- Gran cantidad de variantes.
- Notable calidad del producto.

Objetivos

- Hacer exactamente lo que el cliente demanda.
- Lograr las características del producto demandadas y personalización del mismo.

Problemas

- Altos costes de fabricación.
- El coste se incrementa proporcionalmente al volumen de producción.
- Discontinuidad en la producción.
- Ningún sistema estándar de montaje.
- Poca consistencia y fiabilidad del producto.

- Dificultad de adoptar innovaciones tecnológicas.

2.4.2. LA PRODUCCIÓN EN MASA

El gran impulsor de este sistema fue Henry Ford con el lanzamiento al mercado del modelo *Ford T* en 1908. Coche diseñado para la fabricación y de fácil uso y mantenimiento. "La clave de la Producción en Masa no fue la cadena de montaje móvil o continua, como creía y cree mucha gente, sino la total y coherente intercambiabilidad de las partes y la sencillez de su ensamble. Estas fueron las innovaciones que hicieron posible la cadena de montaje" (Womack et al., 2002). La Producción en Masa alcanza su cenit con la firma *General Motors* aproximadamente en 1955.

Las principales particularidades se podrían sintetizar en (Dicken, 2003), (Woll, 2003), (Peaucelle, 2000), (Duguay et al. 1997):

Roles y capacidades de los trabajadores

- Trabajadores muy especializados, profesiones de creación específica (ingenierías industriales, producción, calidad...).
- Mano de obra de calificación baja o media.
- Cada trabajador cumple una única tarea.
- Trabajadores intercambiables.

Métodos de producción

- Herramientas de funcionalidades rígidas.
- Máquinas caras de un solo propósito.
- Trabajo aburrido y poco motivador.
- Intercambiabilidad completa y consistente de componentes y simplicidad de montaje.
- Las piezas y componentes son entregados a cada trabajador.
- Se emplea una cadena de montaje móvil.

Tipo de producto

- Productos estandarizados.
- Cualquier usuario puede conducir y mantener un coche.
- Altos volúmenes de producción.
- Bajo coste por producto. A mayor volumen de producción menor coste.
- Baja variedad del producto.
- Baja calidad.

Objetivos

- Marcar metas limitadas para permitir un número aceptable de defectos, una cantidad máxima de inventario y un estrecho margen de productos estándares.
- Altos costes para la mejora de la metas fijadas.
- Reducción de componentes necesarios para la fabricación del coche.

Problemas

- Trabajo poco motivador, curva de carrera corta para los trabajadores.
- Baja calidad de los productos.
- Se elimina el énfasis de la Producción Artesanal en la calidad y en el orgullo del trabajo.

Hoy en día, el mundo industrial se encuentra en un periodo en el que el modelo de Producción en Masa, a pesar de sus desventajas y su cuestionamiento generalizado, sigue imperando en gran cantidad de industrias a lo largo y ancho del planeta. Si bien muchas de ellas han adoptado nuevas técnicas, experiencias o proyectos de mejora en técnicas de producción, su filosofía sigue basándose en los preceptos de la Producción en Masa (Womack et al., 1990), (Holweg et al., 2004).

2.4.3. LA PRODUCCIÓN AJUSTADA

También denominada con *Lean Production* o **Lean Manufacturing**. Surge en Japón tras la segunda guerra mundial mientras los Estados Unidos seguían produciendo en masa, en Japón, la escasez de recursos, tanto de material, como de mano de obra y de recursos financieros, hicieron nacer una nueva forma de producir que representara menos costes. Fueron los directivos de Toyota, Taiichi Ohno y Shingeo Shingo, quienes desarrollaron un nuevo sistema llamado "Toyota Production System", o "Lean Manufacturing." El objetivo de este sistema era minimizar el consumo de recursos que no añadían valor a un producto y una continuada búsqueda de mejoras. Este nuevo sistema hizo que Toyota se convirtiera en una industria muy eficiente y muy competitiva.

Como se describe en "*The Machine That Changed the World*", este sistema fue popularizado en América en los años 80 y 90 por el "Massachusetts Institute of Technology" que estudió la enorme diferencia del sistema de producir automóviles en Estados Unidos, que apenas había cambiado desde la producción en masa de Henry Ford y el nuevo sistema japonés. Muchas empresas decidieron transformar su sistema de producción en Lean Manufacturing lo que les llevó a ser mucho más eficientes. Hoy en día el Lean Manufacturing es un sistema conocido en todo el mundo y que cada día tiene más adeptos.

El Lean Manufacturing puede ser definido como una aproximación para la identificación y la eliminación de pérdidas (actividades de no valor añadido) a través

de una mejora continua haciendo fluir el producto en un modo de "pull" desde el cliente en búsqueda de la perfección.

Toyota, Nissan y otras marcas decidieron afrontar esta tesitura en base a producir coches con variedad de modelos nuevos bajo un enfoque diferente al imperante en el mundo occidental. Taiichi Ohno, ingeniero de *Toyota* y uno de los artífices del proyecto, denominó al nuevo enfoque **Sistema de Producción Toyota** (TPS) (Ohno, 1993), (Womack et al., 1990), (Womack et al., 1994), (Holweg et al., 2006).

El TPS se sustenta en dos claves: El Justo a Tiempo o *Just in Time* (JIT) y la "autonomatización", *Jidoka* en japonés.

- La "autonomatización" significa la automatización con un toque humano; las máquinas han de ser capaces de detectar errores y defectos y actuar automáticamente en consecuencia.

- El JIT se refiere a la producción y entrega de los productos correctos, en la cantidad adecuada y en el preciso momento en el que se necesitan en el punto de consumo. El sustento en el que se basa el JIT es el uso del *kanban* (tarjeta en japonés) como sistema de petición de materiales aguas arriba en el proceso, o sistema de tirón *pull* (Ohno, 1993) junto con la nivelación de la producción (Hopp et al., 2002). El JIT es un término que ha sufrido cierta evolución que se expondrá en el punto 2.4.3.2.

Uno de los factores del éxito de *Toyota* consistió en la mejora en la reducción de los tiempos de preparación de maquinaria; lo que supuso una reducción significativa en los tamaños de lotes de fabricación, una mejora en la calidad de los productos al ser detectadas las piezas defectuosas antes y con menor coste en las partidas más pequeñas, y una adaptación a la demanda del mercado con diferentes modelos. Por otro lado, la reducción de los tiempos de cambio también supuso la simplificación de los mismos cambios y la posibilidad de que el propio operario pudiera efectuarlos involucrándose en la solución de los problemas que pudieran surgir.

Otros de los factores determinantes, fueron el logro del empleo vitalicio y la consecución de un salario gradual basado más en la antigüedad que en las funciones; a cambio de flexibilidad ante los cambios de puestos e implicación en las iniciativas de mejoras. De este modo, los trabajadores se convirtieron en miembros de la comunidad *Toyota*. Así, al convertir el coste de la mano de obra en coste fijo, adquirió sentido el aumentar la capacitación de los trabajadores.

Los operarios fueron organizados en equipos dirigidos por un líder en vez de un capataz, estos equipos se implicaban en procesos continuos y acumulativos de mejora llamados *kaizen* ⁽¹⁾ en japonés. Otra de las mejoras fue otorgar a los trabajadores la posibilidad de parar las líneas de montaje en el momento en que surgiese un problema para involucrarse directamente en la resolución del mismo, lo que trajo consigo grandes mejoras de calidad de los productos fabricados. Hoy

en día, *Toyota*, a diferencia de otras marcas, sigue empleando este sistema en sus cadenas de montaje final de automóviles, ya que divide toda la línea en segmentos de 20 estaciones con *buffers* de 5 unidades entre ellas para que los trabajadores puedan parar el segmento sin comprometer a toda la línea (Baudin, 2002).

La implantación plena del TPS derivó en las siguientes mejoras en estos diferentes aspectos (Womack et al., 1990).

Las innovaciones realizadas en la mejora de toda la cadena logística fueron:

- Organización de proveedores en filas funcionales. Se lanzan proyectos de mejora a la fila anterior de la cadena. Los proveedores de dicha fila colaboran entre ellos.

- Los proveedores participan en el lanzamiento y desarrollo de los productos dando soluciones al requerimiento de especificaciones funcionales por parte de *Toyota*. Mientras tanto, los productores en masa se dedican al diseño detallado de las piezas a suministrar.

- Hay participación accionarial y financiera entre las diferentes empresas que participan en la red.

- Se comparte personal entre las compañías.

⁽¹⁾ → Conceptos como *kaizen*, *kanban*, *pull*, *takt time*, flujo continuo, producción nivelada, *heijunka*, etc. serán analizados más detalladamente en el apartado 2.7.1. correspondiente al estudio del *Value Stream Mapping*.

- Se crea un nuevo modo de coordinar el flujo diario de las piezas dentro del sistema de suministro.

La ingeniería de producto abarcará también a la ingeniería de proceso y a la industrial. Se llevará a cabo el trabajo en equipo con recompensas al trabajo duro dentro del equipo más que en un área funcional en concreto.

El sistema *Toyota* supuso adaptarse a muchos segmentos de productos siendo la alta fiabilidad del mismo el mayor argumento de venta.

Toyota buscó una relación a largo plazo con los clientes tratando de fidelizarlos mediante diferentes gamas de productos de acuerdo a la necesidad concreta de cada cliente; para ello se valió de técnicas de venta agresiva y de bases de datos con información pormenorizada de cada cliente. Otra decisión importante, debida a la flexibilidad lograda en las plantas de producción y en la cadena de suministro, fue el tratar de producir coches bajo pedido en lugar de contra stock.

2.4.3.1. DIVULGACIÓN DE LA PRODUCCIÓN AJUSTADA

Para inicio de la década de los sesenta *Toyota* ya había puesto en práctica su nuevo sistema. Otras firmas japonesas también adoptaron los mismos preceptos años más tarde, aunque no en el mismo grado.

Lo cierto es que para mediados de los años sesenta, el promedio de las firmas japonesas ya habían obtenido una enorme ventaja sobre las de Producción en Masa en todas partes del mundo y eran capaces de elevar constantemente su cuota de producción mundial de vehículos a motor.

Tal éxito, no fue corroborado en occidente hasta inicios de la década de los ochenta, que es cuando se comienzan a divulgar sus bases bajo los nombres de TPS o JIT mediante la sucesiva publicación de libros tanto por autores estadounidenses y japoneses tales como Hall (1981), Schonberger (1982, 1986), Monden (1983), Shingo (1981,1985), Ohno (1993).

Para finales de la misma década, la fama adquirida comenzó a verse eclipsada por la divulgación de los Sistemas de Información ERP o *Enterprise Resource Planning*; hasta 1990, año en el que es publicado el libro "La máquina que cambió el mundo" (Womack et al., 1990), en el que el TPS es rebautizado por el término de Producción Ajustada. Este libro, resultado del denominado *Programa Internacional de Vehículos de Motor* (PIVM) desarrollado por el *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) desde 1985 a 1990, recoge en un estudio pormenorizado las claves del éxito japonés en el sector de la automoción y asienta las bases teóricas para que los fabricantes de automóviles situados en el paradigma de la Producción en Masa comiencen su transición hacia la Producción Ajustada (Holweg et al., 2004).

Por otro lado, el TPS también derivó en un movimiento paralelo aún mayor si cabe, denominado *Total Quality Management* (TQM) o Gestión Total de la Calidad, que adquirió gran notoriedad al estar muy relacionada con las certificaciones ISO-9000. Un enfoque más moderno del TQM es el sistema *Seis Sigma* basado en el desarrollo de técnicas estadísticas para la mejora de la calidad. Hoy en día también hay cierta tendencia a la confluencia entre la Producción Ajustada y el *Seis Sigma* mediante el desarrollo y divulgación de literatura específica (George, 2002), (Drickhamer, 2006).

Si bien discutida en ciertos ámbitos, tal y como se expone el apartado 2.6., la Producción Ajustada sigue vigente en el marco de la divulgación científica y empresarial en esta primera década del siglo XXI.

2.4.3.2. JIT VS. PRODUCCIÓN AJUSTADA

El término JIT recoge diferentes acepciones que conducen a equívocos y que conviene aclarar mediante un repaso de las definiciones declaradas por autores de renombre. Asimismo, es necesaria fijar la relación existente entre ambos términos: JIT y Producción Ajustada.

Autores relacionados con la Producción Ajustada, a partir de confirmar que el TPS se sustenta en el JIT y en la "autonomatización", matizan que el JIT es "un sistema para producir y entregar los productos correctos en el preciso momento y en la cantidad adecuada (...) los elementos clave del JIT son: flujo continuo (lotes de transferencia de pieza unitarios), sistemas de tirón o *pull*, trabajo estandarizado (con inventario en curso estándar) y *takt time* o producción rítmica" (Rother et al., 1998), (Marchwinski et al., 2003).

Norman Gaither y Greg Frazier (2002) recogen la definición del JIT del diccionario de la asociación APICS (*American Production and Inventory Control Society*):

"Una filosofía de producción basada en la planificada eliminación del despilfarro y en la mejora continua de la productividad. Busca la ejecución correcta de todas las actividades de fabricación requeridas para producir un producto final, desde el diseño de ingeniería hasta la entrega, e incluye todos los estados de transformación desde la materia prima en adelante. Los principales elementos del JIT son: el tener sólo el inventario requerido en el momento en el que se precise; mejorar la calidad hasta el cero defectos; reducir los periodos de maduración mediante la reducción de los tiempos de preparación, longitudes de colas, y tamaños de lotes; revisar las operaciones constantemente; y conseguir todo lo citado al mínimo coste. En el sentido más amplio, se puede aplicar a todo tipo de fabricación: talleres funcionales, orientadas al proceso y fabricación seriada, incluso a numerosas empresas de servicios también."

Dicho diccionario habla de la Producción Ajustada como:

"Una filosofía de producción que enfatiza la minimización de todos los recursos (incluido el tiempo) empleado en varias actividades de la empresa. Incluye la identificación y eliminación actividades que no añaden valor en el diseño, producción, gestión de la cadena de suministro, y la entrega a los clientes. Los productores ajustados emplean equipos interdisciplinados de trabajadores a todos los niveles de la organización y emplean maquinaria muy flexible y cada vez más automatizada para producir volúmenes de productos con cada vez mayor variedad."

Gaither y Frazier no encuentran diferencias reseñables entre ambos términos. Por otro lado, autores como Hyer y Wemmerlöv identifican la Producción Ajustada como un nombre más moderno para el JIT, aunque reconocen que la Producción Ajustada está más enraizada en el sector de la automoción y que la literatura relevante hace mayor hincapié en conceptos como la producción rítmica (relacionada con el concepto *takt time*), el empleo de células, y la aplicación del concepto de la cadena o flujo de valor como comienzo para la renovación organizacional (Hyer et al., 2002).

Por otro lado, Hopp y Spearman citan que la Producción Ajustada es un concepto más amplio (2000) y más moderno (2002) que el JIT. Argumento

también referido por Huson y Nanda (1995).

Por lo expuesto, el presente trabajo fin de máster coincide con los autores anteriores en reseñar que no hay diferencias significativas entre el sistema JIT y la Producción Ajustada. Por tanto, dicho trabajo empleará el término de Producción Ajustada para englobar ambos términos.

2.4.4. OTROS ENFOQUES

Durante los últimos años, junto con el desarrollo de la Producción Ajustada, otras tendencias o escuelas han creado y divulgado sus particulares estrategias para la mejora de los sistemas productivos y cadenas de suministro. Algunas de ellas se presentan como herederas de la Producción Ajustada ante las actuales tesituras y condicionantes del mercado y otras se muestran como estrategias alternativas para empresas y/o sectores que en teoría no se adaptan del todo a la posibilidad de implantar la Producción Ajustada de una forma muy purista.

En este apartado 2.4.4. se exponen aquellas teorías que tituladas con su acrónimo correspondiente han logrado mayor resonancia a nivel mundial.

2.4.4.1. TEORÍA DE LAS LIMITACIONES (TOC)

La TOC (*Theory Of Constraints*) es un método para el cambio organizacional desarrollado en los años 80 por Eliyahu Goldratt. Sus principios se basan en la adecuada gestión de la limitación del sistema, *constraint* o cuello de botella. La limitación es aquel factor que impide al sistema la consecución del beneficio (Lean Enterprise Institute, 2004).

Inicialmente diseñada para entornos productivos sobre todo funcionales (*Job-Shops*), al cabo de los años dicha teoría ha ido más allá del entorno productivo (Rahman, 1998), (Watson et al. 2006).

La TOC asemeja los procesos que conforman un entorno productivo a una cadena y afirma que una cadena es tan fuerte como su eslabón más débil. Por tanto, propugna un sistema basado en 5 etapas para reforzar el eslabón más débil y por ende todo el sistema. Al focalizarlo todo en un solo punto del sistema, se pueden conseguir sustanciales mejoras sin un gran consumo de recursos y en un plazo corto de tiempo (Goldratt, 1986, 1993, 2003), (Rahman, 1998), (Ochoa, 1991), (Ochoa et al., 1996).

Las 5 etapas son las siguientes:

1. Identificar la limitación del sistema. En el caso de entornos productivos, éste estará normalmente fijado en un proceso.
2. Decidir como explotar dicha limitación. Mejorar la eficiencia de la limitación mediante la optimización de la programación de dicho recurso.
3. Subordinar el resto de recursos a la limitación. La programación del

resto de recursos estará condicionada por el recurso crítico.

4. Aliviar la limitación. Realizar mejoras de eficiencia en el cuello de botella hasta eliminarlo.

5. Volver a la primera etapa sin dejar que la inercia se convierta en una limitación.

Para trasladar estas 5 etapas a la planificación de la producción a nivel de planta fabril, Goldratt propone el sistema DBR (*Drum, Buffer, Rope*) o tambor, pulmón y cuerda (Crespo, 1993), ver ejemplo de figura 1.

El **tambor** significa que el ritmo productivo del sistema ha de estar marcado por la capacidad del cuello de botella. En el apartado del presente trabajo fin de máster en el que se analiza el *Value Stream Mapping*, y más en concreto los puntos de programación de referencia propuestos por la Producción Ajustada, se ven diferencias significativas respecto de los cuellos de botella propuestos por la TOC.

El **pulmón** es una protección de stock medido en tiempo o un *buffer* de tiempo llevado a la práctica con piezas o componentes que llegan con antelación al cuello de botella para que lo resguarden de cualquier incidencia que se dé en otro proceso anterior. Este pulmón también se pone delante de procesos de montaje en ramales donde no hay un cuello de botella. El propósito de estos *buffers*, es que una vez las piezas se terminan de procesar en el cuello de botella, éstas han de convertirse en facturación lo antes posible (Goldratt, 1986).

La **cuerda** es el sistema de información que une el programa del cuello de botella a los *buffers* de antelación y a los acopios de componentes. Salvo en casos particulares, no hay necesidad de programar el resto de recursos, con la simplificación que esto puede suponer (Goldratt, 2003).

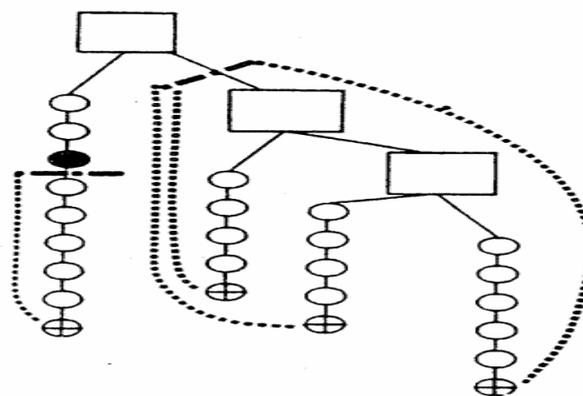


Fig. 1. Ejemplo de posicionamiento de cuello de botella, pulmones y lanzamiento de cuerda (Goldratt, 1986).

A pesar de tener elementos en común, tales como una visión sistémica de la organización y la búsqueda del máximo beneficio (Lean Enterprise Institute, 2004), la TOC tiene un enfoque de focalización en las limitaciones del sistema,

mientras que la Producción Ajustada se centra en la eliminación del despilfarro y en la consecución del flujo.

2.4.4.2. MANUFACTURA ÁGIL

La Manufactura Ágil tiene sus orígenes en EEUU, donde el término fue difundido por el *Instituto Iacocca*. Esta expresión fue creada para describir la versión adaptada del TPS en la industria automovilística estadounidense, últimamente el término "ágil" está también siendo suplantado por este otro: *responsiveness*, con el significado de sensibilidad o capacidad de respuesta. La Manufactura Ágil propugna tres conceptos principales para conseguir flexibilidad (Holweg, 2000):

- Introducir pulmones de respuesta.
- Posponer las decisiones en la producción.
- Retrasar la configuración de los productos. Las dos técnicas básicas son:
 - Posponer la configuración final del producto.
 - Mantener stock de componentes para responder a ordenes entrantes trabajando bajo el sistema de ensamblar bajo pedido.

La Manufactura Ágil Tiene que ser muy sensible a los cambios del mercado. Por un lado, se ha de reservar capacidad extra para un mercado volátil y por otro, es imperativo tener acceso a los datos reales del mercado. Como se ha podido observar, esta teoría también incide mucho en el propio diseño del producto (Christopher et al. 2000), (Duguay et al. 1997), (Yusuf et al. 2002), (Jin-Hai et al. 2003).

Los divulgadores de esta teoría afirman que este nuevo sistema es más adecuado para las nuevas tendencias del mercado competitivo y global del siglo XXI y lo consideran como la siguiente etapa a la Producción Ajustada. Asimismo, esta teoría, en contraste con la Producción Ajustada, muestra las diferencias que se exponen en la tabla 3:

Atributo	Producción Ajustada	Manufactura Ágil
Productos típicos	<i>Productos de consumo</i>	<i>Productos de moda.</i>
Demanda	<i>Predecible</i>	<i>Volátil</i>
Variedad	<i>Baja</i>	<i>Alta</i>
Ciclo de vida del producto	<i>Largo</i>	<i>Corto</i>
Requerimientos del cliente	<i>Coste</i>	<i>Disponibilidad</i>
Márgenes de beneficios	<i>Bajos</i>	<i>Altos</i>
Costes dominantes	<i>Costes físicos</i>	<i>Costes de lanzamiento</i>
Penalizaciones por roturas stock	<i>Contractuales a largo plazo</i>	<i>Inmediatos y volátiles</i>
Política de compras	<i>Comprar bienes</i>	<i>Asignar capacidad</i>
Información detallada	<i>Altamente deseable</i>	<i>Obligatoria</i>
Mecanismo para previsiones	<i>Algoritmos</i>	<i>Consulta con el mercado</i>

Tabla 3. Atributos de diferenciación entre Producción Ajustada y Manufactura Ágil (Christopher et al. 2000).

Por otro lado, también hay autores que consideran la Manufactura Ágil acomodable a la Producción Ajustada en el sentido en que esta última actuará mejor en los procesos aguas arriba de la cadena productiva, mientras que la Manufactura Ágil tendrá mayor aplicación en los procesos aguas abajo cercanos al cliente (Ball, 2004), (Bruce et al., 2004).

Por último, Narasinhham et al. (2006), sugieren que la Manufactura Ágil puede ser un estado avanzado de la Lean Production, aunque reconocen lo limitado de su estudio. También citan que las prácticas que se emplean bajo ambos paradigmas pueden llegar a ser los mismos.

2.4.4.3. PRODUCCIÓN DE RESPUESTA RÁPIDA (QRM)

La QRM (*Quick Response Manufacturing*), está orientada a compañías con demanda variable y con gran variedad de productos, o a aquellas que fabrican productos muy personalizados. Por tanto, dirigido a sectores o empresas donde los conceptos principales de la Producción Ajustada (flujo continuo, *takt time* y sistemas *pull*) no trabajan correctamente, "ya que estos están basados en una demanda relativamente estable y en productos de reposición" (Suri, 1998, 2003).

Su principio fundamental es la reducción del periodo de maduración desde pedido hasta entrega de producto y se basa en las siguientes prescripciones:

- Reservar capacidad de recursos para respuesta rápida a ordenes de

clientes.

- Realizar mejoras en el sistema físico para reducir los tiempos de ciclo de fabricación.
- Crear células y adoptar sistemas de modelado rápido (CAD-CAM).
- Emplear trabajadores de alta calificación y polivalentes para minimizar tiempos de espera y maximizar la calidad.

Como se puede observar, el QRM tiene conceptos similares a la Manufactura Ágil pero se orienta más al sistema productivo que a la cadena de suministro (Holweg, 2000). Por otro lado Hyer y Wemmerlöv le reconocen un alto nivel de desarrollo (2002).

2.5. LOS PRINCIPIOS DE LA PRODUCCIÓN AJUSTADA

Muchos de los acercamientos citados son prescriptivos y en numerosos casos se declaran de aplicabilidad global. También es cierto que existen pocas diferencias entre varios de los sistemas citados y algunos tienden ser a demasiados simplistas o se mantienen en descripciones muy cualitativas. No obstante, hay que tener claro que la solución óptima para cada sistema productivo o logístico, provendrá de un análisis detallado de las variables de entrada, los procesos del sistema y de sus parámetros (Hopp et al., 2000).

2.5.1. EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN AJUSTADA

La filosofía de la Producción Ajustada ha evolucionado y se encuentra evolucionando a lo largo del tiempo (Hines et al., 2004). Este apartado 2.5.1. trata de dar una visión de los principales hitos históricos hasta dar con las propiedades del corpus actual. Dichas características básicas que ha adquirido como filosofía productiva serán descritas en el apartado 2.5.2. dedicado a desgranar el Pensamiento Ajustado o *Lean Thinking*.

La primera fase comprende las fechas de 1980 a 1990 aproximadamente y se podría identificar con el título de "toma de conciencia". La divulgación literaria de esta etapa se basa en la publicación de prácticas y técnicas a aplicar a nivel de planta productiva (Hall, 1981), (Shingo, 1981, 1985), (Schonberger 1982, 1986), (Monden, 1983), (Ohno, 1993). El enfoque de esta primera fase está centrado en técnicas como el SMED, 5S y Manufactura Celular, siempre buscando la reducción de despilfarros y costes productivos. Dichas técnicas iban dirigidas sobre todo a las plantas de montaje de automóviles u otro tipo de industrias de producción discreta con enfoques similares en términos de volumen, variedad de producto y naturaleza de montaje.

Una segunda fase centrada en el aspecto de la calidad, comienza en 1990 y finaliza aproximadamente a mediados de la misma década. La divulgación

bibliográfica se centra en la publicación de mejores prácticas para el desarrollo de *benchmarking* que motive a la emulación (Womack et al., 1990), (Hammer, 1990), (Stalk et al., 1990), (Harrison, 1992), (Sakakibara et al., 1993), (Flynn et al., 1997). El enfoque se ajusta no sólo a la reducción del coste, sino que también a los siguientes aspectos: formación y promoción de trabajadores, Gestión de la Calidad Total (TQM), Reingeniería de Procesos Productivos (BPR) y Gestión de Materiales. El sector industrial se amplía en una mayor medida a los proveedores de automoción.

La tercera fase está concentrada no solamente en el aspecto de la calidad, sino que también en coste y entrega; se desarrolla desde mediados de la década de los 90 hasta el año 2000 aproximadamente. La bibliografía se abre a temas como el flujo o la cadena de valor, las características de la empresa ajustada y a la colaboración de toda la cadena de suministro (Womack et al., 1994, 1996a, 1996b, 1997), (Rother et al., 1998), (Mac Beth et al., 1994), (Lamming, 1993). El enfoque de esta etapa se centra en aspectos de reducción de coste pero con una perspectiva de proceso para el logro de flujos ajustados. El proceso tratado de forma más importante es el de la cumplimentación de pedido. El sector industrial al que se dirige es el manufacturero en general pero frecuentemente centrado en producción repetitiva.

Por último, a partir del año 2000, la evolución del *lean* se encuentra en la fase que se puede denominar Sistema de Valor. La literatura se centra en aspectos como la capacidad de las organizaciones a nivel de sistema. (Hines et al., 2000), (Holweg et al., 2001). El enfoque de esta fase se despliega en aspectos como el valor y coste desde perspectivas tácticas a estratégicas, en la que se buscan potenciar las integraciones de cadenas de suministros como de procesos, tales como el de cumplimentación de pedido y el de desarrollo de nuevos productos. Los sectores de actividad económica se amplían a subsectores industriales como el de la producción de bajo volumen y al sector servicios.

Como se ha podido observar, la evolución de la Producción Ajustada parte de un enfoque más centrado a problemática de planta de producción seriada hasta llegar a convertirse en una filosofía más global de organización y cadena de suministro con unos pilares claros que serán expuestos en el siguiente apartado 2.5.2. Una de las razones de dicha evolución ha sido la respuesta necesaria a dar a las críticas recibidas a lo largo de su historia hasta llegar a convertirse en un modelo reconocido (Hines et al., 2004) y con amplia literatura en el área de conocimiento de la Dirección de Operaciones (Pilkington et al., 2006).

2.5.2. LAS CLAVES DE LA PRODUCCIÓN AJUSTADA: EL PENSAMIENTO AJUSTADO

El **Pensamiento Ajustado** (*Lean Thinking*) es un pivote o proceso de pensamiento que da sentido a todos los métodos y técnicas específicas, de cara a guiar a la dirección en la consecución de la Producción Ajustada avanzando más allá de la Producción en Masa (Womack et al., 1994, 1996a, 1996b, 1997). (Hines et al., 2000). El Pensamiento Ajustado puede ser estructurado en cinco principios:

Especificar que se entiende por “valor”

Es el concepto principal que sustenta la filosofía Lean. El valor únicamente se entiende desde el punto de vista del consumidor final. Es el productor de cualquier bien o servicio de consumo el que debe adaptarse a las necesidades del cliente y no a la inversa.

“Nuestras dudas sobre los productos que proponían eran con frecuencia contestadas con afirmaciones de que <<el consumidor lo querrá en cuanto se lo expliquemos>> en tanto que los fracasos de productos recientes se justificaban a menudo como casos en los que << los consumidores no eran lo suficientemente sofisticados como para apreciar las bondades del producto>>.” [1]

Esta cita es un claro ejemplo de cómo el productor puede llegar a carecer de visión para definir qué es lo que realmente interesa al cliente.

Identificar el flujo de valor (value stream)

El flujo de valor lo forma el conjunto de todas las actividades requeridas para diseñar, gestionar y producir un producto o servicio. Éstas deben ser entendidas para poder detectar la *muda* asociada.

Fluir

El producto debe moverse a lo largo del flujo de valor sin ninguna interrupción. Una vez determinado el valor y conocido el flujo de valor, el objetivo es conseguir que el valor fluya realmente. Para ello, hay que focalizarse en el producto o servicio que se está ofreciendo, hacer el ejercicio de obviar los límites relativos a los puestos de trabajo, las divisiones departamentales y finalmente replantear o revisar los procedimientos y técnicas utilizadas hasta el momento para poder eliminar re-procesos, esperas, interrupciones y flujos hacia atrás.

Atracción (pull)

El sistema de fabricación *pull* se basa en que el cliente es el que “atrae” la producción según sus necesidades. Mientras que en el clásico sistema *push*, es el productor el que “empuja” su producción hacia el cliente o consumidor. Mediante el sistema *pull* se reducen inventarios y se aumenta la versatilidad y reactividad de cara a la demanda.

Perfección

Una de las primeras consecuencias que se derivan de la aplicación de los

cuatro fundamentos anteriores es el conocimiento de que existe un amplio abanico de posibilidades de mejora y de reducción de esfuerzo, tiempo, espacio, coste etc. Es una filosofía que estimula la cooperación y el entendimiento global del sistema productivo. La transparencia de los implicados (distribuidores, subcontratistas, empleados, consumidores, etc.) resulta esencial para poder mejorar.

Mediante la comprensión de estos principios y la creación de una interconexión entre ellos, la Dirección puede hacer un uso completo de las técnicas *lean* y mantener un desarrollo de proyectos estable.

Los principales autores afirman que pasar de un sistema de lotes y colas a uno de flujo continuo con un tirón efectivo desde el cliente puede, con inversiones modestas o nulas (Womack et al., 1994, 1996a 1996b, 1997). (Hines et al., 2000):

- Doblar la productividad laboral.
- Reducir los periodos de maduración en un 90%.
- Reducir los inventarios en un 90%.
- Reducir los defectos a la mitad.
- Reducir los accidentes laborales a la mitad.
- Reducir el periodo de lanzamiento a la mitad.
- Ampliar las gamas de productos dentro de una misma familia con apenas incrementos de costes.

Estas mejoras serán el fruto inicial de un realineamiento radical del flujo de valor (proceso denominado *kaikaku* en japonés). Si se continua con un proceso de mejora continua (*kaizen*) en camino de la perfección, aún se puede:

- Doblar la productividad con mejoras incrementales en 2 o 3 años.
- Reducir a la mitad de nuevo los inventarios, los errores y el periodo de maduración en el mismo periodo.

En el apartado 2.6. se analizarán los resultados reales obtenidos por la implantación de la Producción Ajustada.

2.5.2.1. ESPECIFICACIÓN DE VALOR

Se entiende como **valor** a un producto específico (bien o servicio) que satisface las necesidades del cliente a un precio y en un tiempo determinado (Womack et al., 1994, 1996a 1996b, 1997). (Hines et al., 2000).

El concepto de valor sólo puede ser definido por el cliente final y el productor es el que debe crear tal valor. "La definición de valor es frecuentemente distorsionada por el poder de las organizaciones, tecnologías y/o activos depreciados, junto con pensamientos trasnochados sobre economías de escala" (Rother et al., 1998).

Especificar el valor exactamente, es el primer paso crítico del Pensamiento Ajustado. Este proceso debe comenzar con un intento consciente de definir el valor preciso en términos de productos específicos, con funcionalidades específicas, ofertados a precios específicos a través del diálogo con los clientes específicos.

2.5.2.2. IDENTIFICAR EL FLUJO DE VALOR

El flujo de valor está formado por la serie de acciones específicas que se requieren para convertir un producto y/o servicio desde: concepto a lanzamiento (flujo de resolución de problemas) o desde pedido a entrega (flujo de información), o desde materia prima a producto terminado (flujo físico). Identificar cada acción del flujo de valor para cada producto o familia de productos es el siguiente paso del Pensamiento Ajustado. Esta etapa mostrará que:

- Algunas pocas acciones o actividades que se hayan identificado son las que verdaderamente sirven para crear valor en el producto y/o servicio.
- Otras actividades no añaden valor pero hoy por hoy pueden ser necesarias con las tecnologías y activos de producción existentes.
- El resto de las actividades son claramente evitables

Los dos últimos tipos de actividades pueden ser consideradas como **muda**, que significa despilfarro o ineficiencia, es decir, toda actividad que consume recursos pero no genera valor. Según Taiichi Ohno (1993), los despilfarros en los que se puede incurrir en toda actividad productiva pueden ser siete:

1. Errores que requieren rectificación.
2. Sobreproducción.
3. Etapas del proceso que no son necesarias.
4. Movimiento de empleados.
5. Transporte de bienes.
6. Esperas.
7. Bienes que no cubren las necesidades del cliente.

Womack et al. (1996) añaden un octavo despilfarro que se define como "servicios que no cubren las necesidades del cliente".

La técnica del mapeado del flujo de valor o *Value Stream Mapping* (VSM) es un recurso valioso en esta etapa de identificación del flujo de valor. Aunque Womack y Jones no lo citen en su libro "*Lean Thinking*", ya que a fecha de la primera publicación el VSM no había sido diseñado, sí se cita la consideración de la importancia de mapear el proceso. En las reseñas que hace a las herramientas posibles o necesarias, se remite a siete herramientas de mapeado diferentes al VSM objeto de estudio (Hines et al. 1997). En publicaciones posteriores dichos autores sí

citan al VSM como herramienta disponible para tal fin (Womack, 2002b), (Womack et al., 2002).

2.5.2.3. HACER QUE EL VALOR FLUYA SIN INTERRUPCIONES

Una vez identificado el flujo de valor es necesario hacerlo fluir. A pesar de que el ser humano tenga una tendencia natural hacia la división del trabajo por funciones y a la agrupación de los trabajos en lotes, hay que afrontar el reto de conseguir flujos continuos con lotes de producción pequeños con referencias de bajo volumen de producción. Esto será posible en la medida en que se reduzcan los tiempos de preparación y se miniaturice la maquinaria (Womack et al., 1996a). Existen experiencias en las que esta etapa ha constatado la posibilidad de doblar la productividad y de conseguir reducciones importantes en errores y defectos.

2.5.2.4. DEJAR QUE EL CLIENTE TIRE DEL VALOR

El primer efecto visible de convertir departamentos y lotes en equipos de productos y flujo respectivamente, es la reducción importante de los periodos de maduración. Esto significa que se pueden dejar las previsiones de venta de lado y producir y diseñar lo que el cliente desea en ese mismo periodo. Se puede hacer que el cliente tire del producto en vez de que el productor empuje el producto hacia el cliente, cosa que quizás no quiera. Más aún, las demandas se vuelven más estables cuando el cliente sabe que tiene garantizado el servicio y cuando se cesa de realizar descuentos para la venta de productos no deseados (Womack et al., 1996). Como se puede observar, Womack y Jones identifican los sistemas *pull* a un nivel muy global y estratégico que puede conducir a equívocos, como pasar de una producción contra stock a una bajo pedido. En el apartado dedicado al análisis del VSM se profundizará en mayor grado de detalle en los sistemas *pull*.

2.5.2.5. PERSEGUIR LA PERFECCIÓN

Una vez alcanzados los cuatro pasos anteriores, surge la idea de que no hay final en el proceso de reducir esfuerzo, tiempo, espacio, costes y averías ofreciendo un producto que cada vez se acerca más a lo que el cliente quiere. Las cuatro etapas anteriores hacen que la empresa se introduzca en un círculo virtuoso y la búsqueda de la perfección obtenga sentido. La transparencia en la información y comunicación tienen una gran importancia en este aspecto.

2.6. RESULTADOS ALCANZADOS POR LA PRODUCCIÓN AJUSTADA

A continuación se exponen los resultados obtenidos por la Producción Ajustada en el ámbito de la mejora de la organización de las plantas productivas, consecuencia del diseño o rediseño del sistema productivo (*manufacturing system design*). Por tanto, se dejan de lado aspectos como la coordinación de la cadena de suministro, la relación con los clientes, la gestión de la empresa ajustada y el diseño del producto. Si bien este último aspecto tiene una implicación vital en el diseño y funcionamiento del sistema productivo (Oyarbide, 2003), el presente trabajo fin de máster no se va a centrar en el diseño del producto por considerarlo separado del proceso productivo relacionado con el flujo de materiales (Hopp et al., 2000).

Este estudio se presenta estructurado en dos grandes grupos. Por un lado, los resultados alcanzados a nivel mundial en el sector de la automoción, industria originaria de la Producción Ajustada y tractora de estos conceptos (ver apartado 2.6.1.). Por otro lado, los resultados alcanzados por la Producción Ajustada en el resto de sectores manufactureros (ver apartado 2.6.2.).

2.6.1. La industria de la automoción.

De cara a una mejor explicación de la evolución del grado de implantación de la Producción Ajustada, se pueden definir tres etapas históricas claramente diferenciadas.

2.6.1.1. ETAPA INICIAL (1960-1990)

A pesar de los resultados demostrados por *Toyota* desde los años 60, la divulgación inicial del sistema TPS o JIT en la década de los 80 tuvo desiguales resultados de aplicación en la industria occidental, (Hopp et al., 2002). Como botón de muestra obsérvense las dos siguientes tablas 4 y 5. Los resultados de los indicadores denotan que las empresas japonesas, lideradas por *Toyota*, seguían siendo las más avanzadas en el ámbito en cuestión.

Planta de montaje de Framingham de General Motors vs. planta de Takaoka de Toyota. 1986.		
	Framingham	Takaoka
<i>Horas de montaje bruto por coche.</i>	40,7	18
<i>Horas de montaje ajustado por coche.</i>	31	16
<i>Defectos de montaje por cada 100 coches.</i>	130	45
<i>Espacio de montaje por coche (pies cuadrados por vehículo y año).</i>	8,1	4,8
<i>Existencia de piezas principales (promedio).</i>	2 semanas	2 horas

Tabla 4. Ejemplo comparativo entre una planta de Producción en Masa y otra de Producción Ajustada (Womack et al., 1990).

Resumen de las características de la planta de montaje grandes fabricantes. 1989 (promedio por plantas en cada una de las regiones).				
	Japonesa en Japón.	Japonesa en Norteamérica.	Americana en Norteamérica.	Toda Europa
Rendimiento.				
<i>Productividad (horas/vehículo).</i>	16,8	21,2	25,1	36,2
<i>Calidad (defectos de montaje/100 vehículos).</i>	60	65	82,3	97
Inversión.				
<i>Espacio (piescuadrados / vehículo y año)</i>	5,7	9,1	7,8	7,8
<i>Tamaño del área de reparaciones (en % del espacio de montaje).</i>	4,1	4,9	12,9	2
<i>Existencias (días para 8 piezas tomadas como muestra).</i>	2	1,6	2,9	2
Mano de obra.				
<i>% de mano de obra en equipos.</i>	69,3	71,3	17,3	0,6
<i>Rotación en el empleo (0= nada, 4= frecuente)</i>	3	2,7	0,9	1,9
<i>Sugerencias por empleado.</i>	61,6	1,4	0,4	0,4
<i>Número de clases laborales.</i>	11,9	8,7	67,1	14,8
<i>Formación de nuevos Trabajadores de producción (horas).</i>	380,3	370	46,4	173,3
<i>Absentismo.</i>	5	4,8	11,7	12,1
Automatización.				
<i>Soldadura (% de pasos directos).</i>	86,2	85	76,2	76,6
<i>Pintura (idem).</i>	54,6	40,7	33,6	38,2
<i>Montaje (idem).</i>	1,7	1,1	1,2	3,1

Tabla 5. Características de las plantas de montaje en 1989 (Womack et al., 1990).

2.6.1.2. SEGUNDA ETAPA (1990-1995)

La década de los 90, gracias al nuevo empuje dado por el estudio del PIVM dirigido por el MIT y la publicación resultante de "La máquina que cambió el mundo" (ver punto 2.4.3.1.), sirvió para dar grandes pasos en ir introduciendo sus diferentes elementos en las industrias occidentales (Holweg et al., 2004), (Hopp et al., 2000). El sector de la automoción ha sido el motor en este sentido (Dicken, 2003), seguido de muchísimas empresas de diferentes sectores (Marchwinski, 2004).

La tabla 6 muestra que para los años 90, las empresas de automoción occidentales mejoraban sus indicadores de desempeño respecto a la década anterior pero sin alcanzar a los productores ajustados representados sobre todo por *Toyota*. Asimismo se observa que las diferencias son más significativas aguas arriba en la cadena de suministro.

Desempeño medio de las plantas de montaje y fabricantes de componentes de automoción. 1993-94.				
	Toyota (Japón)	Japón (media)	EEUU (media)	Europa (media)
Productividad. (Toyota=100)				
Montaje	100	83	65	54
Proveedores 1ª línea (Tier 1).	100	85	71	62
Calidad (defectos entregados).				
Montaje (por cada 100 coches)	30	55	61	61
Proveedores Tier 1 (ppm).	5	193	263	1373
Proveedores Tier 2 (ppm).	400	900	6100	4723
Entregas (% de retrasos).				
Proveedores Tier 1 (ppm).	0,04	0,2	0,6	1,9
Proveedores Tier 2 (ppm).	0,5	2,6	13,4	5,4
Stocks (Proveedores Tier 1).				
Horas		37	135	138
Rotaciones anuales de stocks.	248	81	69	45

Tabla 6. Desempeño de la industria de la automoción en la década de los 90 (Womack et al., 1996).

2.6.1.3. TERCERA ETAPA (1995-2005)

Para el año 2000, los fabricantes de automóviles occidentales habían mejorado sus desempeños productivos en la planta y reducido sus diferencias respecto a Japón como consecuencia de la implantación de los conceptos de la Producción Ajustada; fuese cual fuese su acepción en cada firma (Waurzyniak, 2005). A pesar de los avances, el posicionamiento en el ranking seguía siendo el mismo (ver tabla 7) (Holweg et al., 2004).

Horas de mano de obra por vehículo.			
	1989	1994	2000
<i>Americana en Norteamérica</i>	24,9	21,9	16,8
<i>Japonesa en Japón</i>	16,8	16,5	12,3
<i>Europea</i>	35,5	25,3	20,1
<i>Nuevos países</i>	41	29,7	28,0

Tabla 7. Horas de mano de obra por vehículo, 1989, 1994, 2000 (Holweg et al., 2004).

Aunque pueda llevar a equívocos, esta reducción significativa no se debe a un posible aumento de la automatización de las labores humanas, ya que la mayor cantidad de horas de trabajo se da en los procesos de montaje final, donde la automatización sigue teniendo una presencia limitada (Holweg et al., 2004).

Por otro lado, y como un indicador fiable, se constata que en EEUU los stocks de las firmas automovilísticas han aumentado sus rotaciones de 15 a 20 desde 1992 hasta el año 2003 (Marchwinski, 2004). En el siguiente punto se explica con mayor detenimiento la importancia de este indicador global.

De todas formas, Holweg y Pil (2004) reseñan que el enfoque de mejoras llevadas a cabo en el sector de automoción han conseguido grandes resultados, pero solamente a nivel de las plantas de montaje, o a lo sumo en proveedores de primera línea, con lo que se han creado islas de excelencia con poco impacto global en toda la cadena de suministro de la producción y distribución de automóviles. Sirva de ejemplo la figura 2.

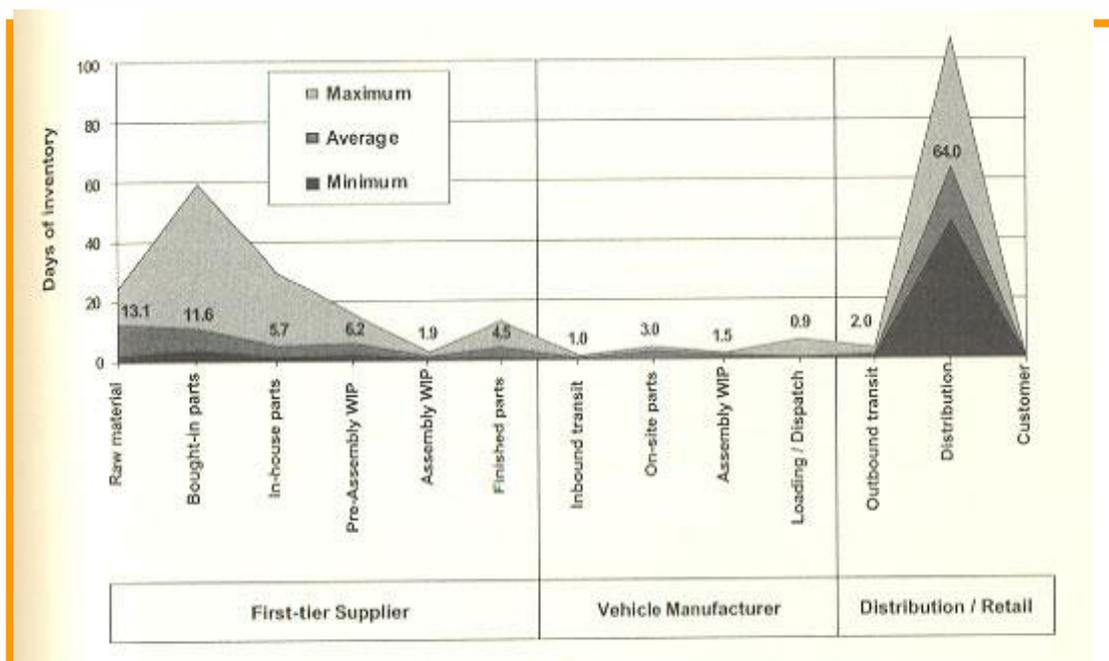


Fig. 2. Distribución del inventario en la cadena logística. (Holweg et al., 2004).

Precisamente, dichos autores argumentan que a pesar de que ha habido mejoras considerables a nivel de planta en la industria de la automoción, aun hay inventarios de vehículos terminados durante semanas en los concesionarios y centros de distribución de todo el mundo. Los flujos de valor de la industria aun están enraizados en la Producción en Masa y habría que dar el siguiente paso de extender el *lean* más allá de la factoría: hay que conectar al cliente a la cadena de valor. Las firmas automovilísticas triunfadoras serán aquellas que logren construir automóviles al gusto del cliente a través de estrategias innovadoras cercanas a la producción bajo pedido.

2.6.2. OTROS SECTORES MANUFACTUREROS

¿Y qué ha ocurrido en la implantación de estas medidas en otros sectores industriales y económicos? ¿Ha obtenido éxito la Producción Ajustada? ¿Cuáles son las necesidades y los retos actuales?

Para analizarlo, en primer lugar se propone el análisis de la evolución de las **rotaciones de stock** en la economía estadounidense durante los últimos años. Las rotaciones de stock muestran claramente la velocidad del producto a través del negocio. Por otro lado, todos los negocios necesitan medir sus inventarios periódicamente. Las rotaciones anuales se contabilizan mediante el cociente entre el coste de las ventas y el stock medio durante el año o en un determinado momento (qué año a año habrá de ser el mismo) (Marchwinski, 2004), (Marchwinski et al., 2003)

Si se analizan la figuras 3 y 4, se observa que las rotaciones han aumentado durante los últimos años, pero la tendencia no ha sido la que auguraban los propios impulsores de la Producción Ajustada. Diversos autores

reconocen la importancia de la Producción Ajustada en la mejora del indicador en los diferentes sectores económicos (Huson et al., 1995), (Sterman, 2000), (Hopp et al., 2000), (Chen et al. 2005), pero incluso los principales impulsores reconocen que el éxito ha sido relativo (Womack, 2002a). Sterman añade que una de las razones ha sido el traslado del stock a proveedores (Sterman, 2000), similar razonamiento al argumentado anteriormente por Holweg et al. para el sector de la automoción (2004). Sakakibara et al. (1997). añaden y demuestran que la aplicación de las técnicas de la Producción Ajustada o JIT por si solas, sin construir un modelo o infraestructura previa, no tienen una incidencia clara en la mejora de los indicadores de desempeño logístico,(a pesar de que Shah et al. (2003) argumentan lo contrario).

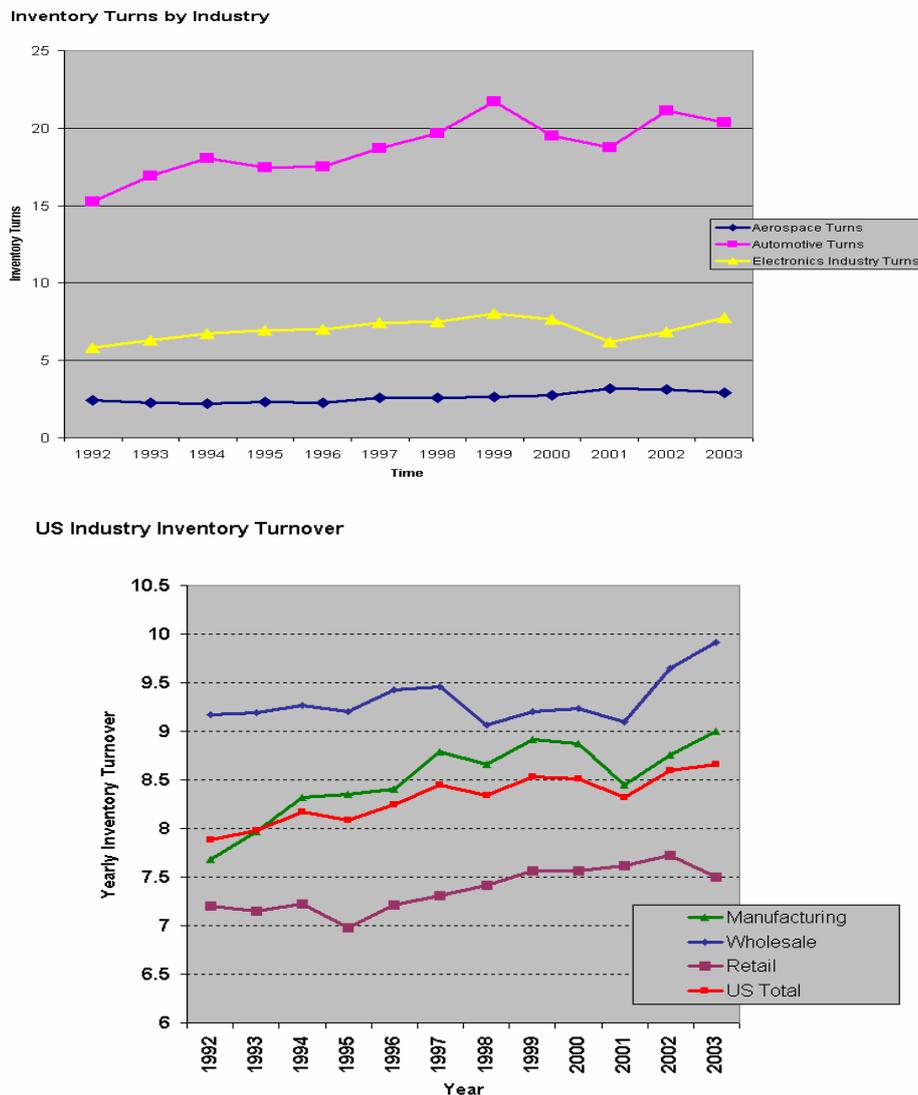


Fig. 3. Rotaciones anuales de inventario en EEUU por sectores económicos. (Marchwinski, 2004).

Algunos autores afirman que la Producción Ajustada no responde adecuadamente a las particularidades de otros sectores, inclusive a propios proveedores de automoción. Realmente, la Producción Ajustada se ajusta a

características de producto y mercado similares a la del sector de la automoción, como demanda relativamente estable, producción seriada o repetitiva, o incluso productos para reposición de complejidad baja o media (Huang et al., 1983), (Brown et al., 1993), (Suri, 1998), (Naruse, 2003), (White et al. 2001), (Duguay et al. 1997), (Cooney, 2002).

Otros autores citan la dificultad de aplicar los conceptos y herramientas *lean* de una forma sistemática y purista. Es decir, la Producción Ajustada se muestra como una disciplina demasiado exigente para su aplicación correcta por las empresas manufactureras (Safayeni et al., 1991), (Hopp et al., 2000). En este sentido, también se ha publicado diversa literatura sobre las posibles vías con las que se podrían implantar dichas herramientas (Ahlström, 1998), (Hancock et al. 1998).

Ante estas críticas, autores de renombre relacionados con la Producción Ajustada afirman que la Producción Ajustada, o llámese sistema JIT, es perfectamente aplicable en todo tipo de sectores industriales, e incluso no industriales (Shingo, 1981), (Sohal et al, 1988, 1993), (Sakakibara et al., 1993), (Womack et al., 1996), (James-Moore et al., 1997), (Ward et al., 2006). Para demostrarlo, por un lado se reseñan las numerosas aplicaciones prácticas exitosas logradas en diferentes ámbitos y por otro lado, refutan una a una cada crítica a la que es sometida la Producción Ajustada, como puede observarse en la tabla 8.

Los 10 "no sólo..." del Pensamiento Ajustado		
1	No sólo para fabricación de componentes	La gestión del flujo de valor puede ser aplicada igualmente a un amplio espectro de empresas manufactureras y de servicios, aunque las herramientas de implantación puedan variar.
2	No sólo una serie de herramientas	La gestión del flujo de valor no comienza con una serie de herramientas a aplicar sino que mediante una necesidad de negocio. Para ello se empleará una serie diferente de herramientas...y no se utiliza siempre el kanban.
3	No sólo para innovaciones a nivel de planta.	No se aplica exclusivamente al taller y además con un enfoque grandilocuente; El lean se puede aplicar a todos los procesos empleando una serie de aproximaciones de Mejora Continua e Innovación.
4	No sólo para operarios directos.	Si se quiere aplicar la Producción Ajustada, es Necesario que en los equipos participen equipos multifuncionales de personal directo e indirecto.
5	No sólo para cumplimiento de ordenes	Aunque el 90% del esfuerzo se dedique al proceso de pedido a entrega, este es sólo uno de los procesos en los que se puede aplicar.
6	No sólo para bienes predecibles de movimiento rápido.	Un fallo común (o un malentendido por parte de la escuela Anti-lean) es que sólo se puede aplicar en industrias de demanda estable como la de automoción. Esto es incorrecto, la industria de la automoción está lejos de ser estable, así la aproximación lean trata de reducir la amplificación de la demanda, pero aunque ésta no se pueda lograr, la Producción Ajustada se puede conseguir eligiendo adecuadamente las herramientas a aplicar.
7	No sólo enfocado a nivel interno.	Aunque mucha literatura esté centrada en la propia planta productiva, la Producción Ajustada debe y puede extenderse a toda la cadena de suministro.
8	No sólo una formula estándar.	Aunque muchas firmas consultoras vendan el lean como una formula y una serie de herramientas estándar, no es así, en cada caso hace falta una aproximación diferente.
9	No sólo de implantación rápida.	Puede requerir de un plan a largo plazo de tres años como mínimo.
10	No sólo sobre procesos.	Se puede enfocar a procesos, equipos, personal, productos y competencias.

Tabla 8. Los 10 "no sólo..." del Pensamiento Ajustado (Holweg, 2000).

Por tanto, al no darse una razón clara y consensuada sobre las razones

de los resultados en base a las rotaciones de stocks, se ve necesario ahondar en mayor medida en el análisis de los resultados obtenidos centrandolo en las opiniones derivadas de las propias empresas.

Para ello, es importante resaltar la información proveniente de un estudio realizado por la *Lean Enterprise Institute* mediante una encuesta distribuida por vía electrónica a las empresas industriales pertenecientes a la *Lean Community* en Enero de 2004 y obtenida a partir de las 999 respuestas recibidas (Marchwinski, 2004).

Del tratamiento de varias respuestas se pueden obtener conclusiones interesantes para el presente estudio.

Ante la pregunta de cuál es el nivel de implantación de la Producción Ajustada en cada empresa, se obtienen las siguientes respuestas:

- El 18% contesta que se encuentra en etapa de planificación sin ninguna implantación todavía.
- El 46% contesta que se encuentran en etapas primarias de implantación de algún proyecto piloto con algún resultado positivo.
- El 28% caracteriza su esfuerzo de expansión de técnicas *lean* a otras áreas y reportan progresos sólidos.
- Sólo un 4% afirma que sus implantaciones se encuentran en un estadio avanzado.
- El resto no responde.

De estos resultados se pueden obtener varias conclusiones importantes, siempre teniendo en cuenta que las empresas pertenecientes a la comunidad muestran cierto interés mínimo por la Producción Ajustada. Es decir, entre estos miembros existirá probablemente más predisposición hacia la aplicación de las técnicas *lean* que en empresas no relacionadas con dicha comunidad de *Internet* creada por James Womack. Una de las conclusiones es que entre estas empresas predisuestas aún hay un 18% sin ninguna implantación realizada y un 46% en sus etapas iniciales; por lo que se puede afirmar que la Producción Ajustada todavía tiene mucho camino por recorrer tanto entre estas empresas interesadas como entre las no pertenecientes a estos grupos.

La segunda conclusión es que, las que han aplicado alguna técnica relativa a la Producción Ajustada se muestran satisfechas con los resultados obtenidos, siendo empresas de todo un abanico de sectores.

Ante la pregunta dirigida a resolver la cuestión de por qué fracasan las experiencias *lean* lanzadas, las empresas se acogen a diferentes razones:

- Tendencia hacia los sistemas tradicionales de trabajo: 36%.
- Falta de conocimiento para la implantación: 25%.
- Falta de crisis para crear una sensación de urgencia: 24%.

- El sistema de contabilidad de costes tradicional no reconoce el valor financiero de los las mejoras a nivel de planta: 22%.
- Resistencia de los mandos intermedios: 21%.
- La Producción Ajustada se ve como una moda: 19%.
- Fracaso al intentar desplazar responsables de poner frenos al cambio: 18%.
- Resistencia de los trabajadores: 11%.
- Resistencia de los supervisores: 10%
- Fracaso de anteriores proyectos relacionados con la Producción Ajustada: 6%.

Aunque no haya una razón muy destacada por encima de las demás, si debería reseñarse de cara al presente estudio la segunda razón más votada: **falta de conocimiento para la implantación**. De donde se deduce una necesidad de formación en conceptos y técnicas *lean* por parte de las firmas respondientes. Este argumento es asimismo defendido en el campo académico por Hancock et al. (1998) que aducen una gran necesidad de formación en este ámbito.

La tercera pregunta de interés corresponde a que las empresas muestren sus necesidades en lo referente a herramientas que las ayuden a mejorar las siguientes diferentes áreas de actuación; las respuestas se muestran a continuación:

- Diseño del sistema productivo: 51%.
- Liderazgo del cambio: 43%.
- Indicadores de desempeño: 42%.
- Logística: 34%.
- Desarrollo de producto: 29%.
- Almacenamiento: 21%.
- Desarrollo de políticas: 19%.
- Mantenimiento: 16%.
- Otros: 13%.
- Recursos Humanos: 11%.

De las respuestas se deduce la importancia del primer aspecto. Es decir el 51% de las empresas que han respondido necesitan herramientas *lean* que apoyen al **diseño o rediseño del sistema productivo**.

2.6.3. NECESIDADES DEL SECTOR EN LA UNIÓN EUROPEA

Así como en el apartado anterior se han numerado las necesidades del mundo empresarial y académico, un estudio de la situación del sector

manufacturero en Europa puede reforzar la necesidad de tener que abordar proyectos de mejora en los sistemas productivos. Sirva como reseña la situación del sector en la Unión Europea (UE) y las vías de desarrollo propugnadas por la Comisión Europea (European Comisión, 2004).

La industria manufacturera europea está sufriendo una gran competencia por parte de países tanto desarrollados como por aquellos en vías de desarrollo, lo cual está trayendo consigo los fenómenos conocidos como la desindustrialización y la deslocalización. Es decir, pérdida de puestos de trabajo relacionados con el sector en el seno de la UE; tanto directos, como indirectos del sector servicios relacionados con la manufactura. Por tanto, según el mismo estudio, para asegurar el empleo es importante garantizar la competitividad del sector manufacturero mediante nuevos modelos de negocios en los que:

- Exista una coordinación estrecha entre clientes y proveedores.
- Se dé una innovación continua de tecnologías y procesos en paralelo al desarrollo de nuevos productos de cara a reducir los periodos de maduración de lanzamiento al mercado.
- Se invierta en tecnologías que aumenten el nivel de automatización y productividad que superen la desventaja del coste laboral.
- Se comparta el conocimiento dentro y entre compañías.
- Las cadenas de suministro adquieran la forma de colaboraciones flexibles, redes de Pequeñas y Medianas Empresas (PYMEs) y empresas virtuales.
- Se empleen procedimientos y especificaciones bien definidos para maximizar eficiencias.
- Las consideraciones sociales, medioambientales y económicas tengan igual peso en las tomas de decisiones.
- La provisión de servicios más que la de bienes facilite la transición hacia la sostenibilidad.

En lo que concierne a las mejoras en los sistemas productivos, la investigación debe centrarse en una radical transformación de los procesos de fabricación para que se conviertan en sistemas adaptativos. Es decir, deben ser capaces de responder automáticamente a cambios del entorno operativo. Deben integrar procesos innovadores, superar las limitaciones existentes en procesos mediante combinaciones inteligentes y gestionar la transferencia de *know-how* en nuevos métodos relacionados con la manufactura.

Ya no tiene sentido invertir en grandes y monolíticas plantas basadas en la Producción en Masa que buscan hacer beneficio con economías de escala. La manufactura basada en el conocimiento necesita de empresas flexibles que empleen redes paralelas de proveedores y que recluten las competencias necesarias para entregar productos personalizados en una base de tiempo para afrontar la demanda cambiante.

Aunque la transformación radical de la industria debe ser un objetivo a largo plazo, mientras tanto se tiene que asegurar que Europa siga siendo competitiva en áreas de manufactura maduras, donde la principal guía de actuación no sean la innovación radical, las nuevas patentes, etc. sino que una mejora continua, una aplicación gradual de nuevas tecnologías y el aseguramiento de la competitividad mediante los preceptos de la Producción Ajustada y otros bien conocidos pero poco utilizados principios (European Commission, 2004), (Navarro et al., 1997).

Estos argumentos recién citados, son reforzados por Hopp et al. (2004), quienes exponen que las empresas manufactureras actuales se encuentran ante el reto de la estructuración del medio productivo para lograr la velocidad y el bajo coste de las líneas de alto volumen mientras se mantiene la flexibilidad y la personalización potencial de un taller funcional de bajo volumen. Lo que implica:

1. Identificar oportunidades para mejorar los sistemas productivos existentes.
2. Diseñar nuevos sistemas productivos efectivos.
3. Alcanzar los compromisos necesarios para coordinar políticas e intereses de diferentes funciones.

2.6.4. RESUMEN DE LOS RESULTADOS ALCANZADOS

Lo analizado hasta ahora indica que el mercado se encuentra en una tesitura muy competitiva, hay más razones que nunca para abordar la reducción del despilfarro en las diferentes compañías y mejorar el desempeño de los sistemas productivos.

La adopción de técnicas relacionadas con la Producción Ajustada puede ser una vía de mejora, ya que en la mayoría de los casos en las que éstas se han aplicado se ha obtenido cierto éxito.

Sin embargo, la Producción Ajustada tiene aun asignaturas pendientes en el sentido en que hay áreas de actuación y divulgación importantes sin explorar, sobre todo en los siguientes aspectos:

- Numerosas empresas, o aun no conocen las bases de la Producción Ajustada, o han lanzado de una manera vaga los diferentes proyectos *lean*.
- Aquellas empresas que conocen y tiene aplicaciones piloto todavía tienen áreas de actuación importantes donde aplicar las diferentes técnicas de la Producción Ajustada.
- Las empresas demandan formación y disposición de herramientas para apoyar el proceso de implantación de la Producción Ajustada, sobre todo en lo referente al rediseño de sistemas productivos.

2.7. MODELOS PARA EL REDISEÑO DE SISTEMAS PRODUCTIVOS

El apartado 2.6.3. ha apuntado la necesidad proveniente del mundo empresarial para readaptar sus sistemas productivos de cara a afrontar los retos de mercado actuales. Por tanto, se hace necesaria la disposición de modelos prácticos que apoyen estos procesos de rediseño. La demanda de dichos modelos proviene tanto del mundo empresarial como del académico.

La encuesta realizada por *Lean Enterprise Institute* (Marchwinski, 2004) analizada en el apartado 2.6.2. hace mención a tal petición por el sector empresarial. En lo referente al área académica. Hunt et al. (2004) señalan el requerimiento de un nuevo currículo en el ámbito productivo que incluya medios para diseñar sistemas productivos avanzados eficientemente. Seth et al. (2005) por su parte, subrayan la necesidad de aplicar nuevas técnicas para el diseño de sistemas productivos más eficientes.

La cuestión que surge es: ¿cuáles son las principales características que dichos métodos, metodologías o herramientas deben cumplir para ser eficientes en la práctica?

Tratando de buscar la respuesta, Wu (1996), se centra en los aspectos técnicos, mientras que Singh et al. (2006) subrayan la importancia de que dichos modelos permitan el trabajo en equipo para dar consistencia a las decisiones. Las propiedades propuestas por dichos autores se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Un lenguaje común de comprensión sencilla que permita que las decisiones sean adecuadamente adoptadas por el equipo involucrado en el proceso.
- Eficiencia en su empleo. Los resultados del proceso deben estar justificados por el tiempo y esfuerzo requeridos por el equipo.
- Un interfaz gráfico y estandarizado que facilite el proceso de aplicación.
- Un enfoque de análisis cuantitativo. Las decisiones deben estar fundadas en análisis científicos y objetivos de datos.
- Una vía de subrayar los problemas iniciales y provisión de guías de actuación claras así como conceptos innovadores para mejorar el desempeño operacional del sistema.
- Reflejo de una visión sistémica. El estudio no debe perder la perspectiva global del sistema a analizar y mejorar. La optimización de un punto del proceso debe ser evaluado en base al efecto sobre todo el sistema.

A continuación se describen los modelos más relevantes reflejados en la literatura existente al respecto. En primer lugar se analiza el *Value Stream*

Mapping en el apartado 2.7.1. para posteriormente describir otros modelos en el apartado 2.7.2. subsiguiente.

2.7.1. EL VALUE STREAM MAPPING

Para poder poner en práctica los conceptos del pensamiento Lean existe una herramienta sencilla como es el Value Stream Mapping (VSM) o mapa de la cadena de valor.

Es una representación gráfica del flujo de material e información a través de la cadena de valor o conjunto de acciones que engloban el diseño, gestión y producción de un producto o familia de productos.

El Value Stream Mapping resulta de gran utilidad para adquirir una visión global del proceso productivo más allá de unidades específicas de producción. No únicamente ayuda a detectar las posibles *mudas* sino la fuente u origen de estos desperdicios.

Si la transparencia e implicación antes citada como catalizador de la perfección se lleva a cabo, la realización de este mapa proporciona un lenguaje común para denominar los elementos productivos ligados a la cadena de valor.

También permite relacionar los conceptos lean con su implementación práctica, establecer actuaciones de mejora y visualizar la relación entre el flujo de información y el de material, dos elementos que usualmente no se vinculan.

Ante la situación mostrada en el punto 2.6.4., el *Value Stream Mapping* (VSM) se presenta como una técnica relacionada con la Producción Ajustada que sirve como pivote y base para el rediseño de los sistemas productivos bajo un enfoque *lean* (Rother et al., 1998), (Sullivan et al. 2002), (Womack et al., 2002), (Pavnashkar et al., 2003).

Se trata de una técnica relativamente reciente que viene a dar respuesta a las necesidades planteadas por las empresas manufactureras de cara a desarrollar cadenas de valor más competitivas, eficientes y flexibles con las que afrontar las dificultades de la economía actual.

En concreto, el VSM, basado en el modelo organizacional de la Producción Ajustada para empresas manufactureras, es una técnica gráfica que, mediante el empleo de iconos normalizados integra en una misma figura flujos logísticos de materiales y de información. Ésta, comenzó a emplearse en *Toyota* bajo el epígrafe de "mapeado del flujo de materiales y de información" y fue finalmente desarrollada por Rother y Shook en su libro "*Learning to see*" (1998). No obstante, es importante reseñar que el termino fue inicialmente acuñado por Hines et al. (1997); si bien es cierto que dentro de esta denominación se integraban otras herramientas para el diagnóstico y mejora de la cadena de suministro no relacionadas directamente con el VSM objeto de estudio.

El propósito de la herramienta es mapear las actividades con y sin valor

añadido necesarias para llevar una familia de productos desde materia prima a producto terminado, con el objeto de localizar oportunidades de mejora mediante unas pautas basadas en conceptos de la Producción Ajustada para posteriormente graficar un posible estado futuro y lanzar proyectos de mejora.

Dicho cartografiado o mapeado se enmarca dentro del contexto del Pensamiento Ajustado analizado anteriormente. Concretamente, el mapeado se situaría en la segunda de las siguientes etapas (Womack et al., 1996):

1. Especificar el valor para cada producto determinado.
2. Identificar el flujo de valor para cada producto.
3. Hacer que el valor fluya sin interrupciones.
4. Dejar que el cliente tire del valor desde el productor
5. Perseguir la perfección.

Aunque el marco de desarrollo inicial del VSM se sitúa en el estudio de flujos dentro de la propia planta manufacturera, llámese análisis puerta a puerta, también han sido publicadas y divulgadas aplicaciones exitosas específicas de la herramienta a otros niveles y en otros marcos:

- A nivel de procesos únicos como células de fabricación o ensamblaje (Rother et al., 2001). Las carencias del VSM a dicho nivel han sido identificadas por Michel Baudin (2002), basándose sobre todo en que el grado de detalle necesario para graficar y especificar el flujo en estos contextos es mayor del que puede proveer el VSM.

- A nivel de toda la cadena de suministros (Womack et al., 2002).
- Procesos administrativos no manufactureros (Tapping et al., 2002b).
- En otros sectores, tanto industriales (Abdulmayek et al., 2007), como por ejemplo en el de servicios (Drickhamer, 2006).

Por otro lado, el VSM también ha sido adaptado y evolucionado a situaciones de planta con características más complejas (Duggan, 2002), (Braglia et al. 2006) en las que la demanda es más aleatoria, la cantidad de referencias es muy variada y de difícil agrupación; conjuntamente, hay gran cantidad de procesos, muchos de ellos compartidos con otras familias y por tanto los flujos se vuelven complicados.

Asimismo, es necesario citar la divulgación de bibliografía referida a ampliar la experiencia sobre el propio proceso de desarrollo, tanto del proyecto de mapeado, como del despliegue e implantación de las mejoras aprobadas tras el análisis.

Las etapas principales de un proyecto de mapeado se pueden resumir en los siguientes puntos (Rother et al., 1998):

1. Elección de una familia de productos.

2. Mapeado de la situación inicial o actual.
3. Mapeado de la situación futura.
4. Definición de un plan de trabajo.
5. Diseño de las mejoras para alcanzar el estado futuro ideal (seguimiento de pautas cadena de valor Lean).

No hay demasiadas referencias escritas que expongan cuanto debe durar la aplicación de las primeras cuatro etapas. Los principales autores reseñan que es una herramienta de sencilla aplicación (Shook, 2002); Keyte, se aventura a exponer que el mapa inicial puede ser realizado en un día y el mapa futuro en otro (2002); Womack por su parte, considera que en unos pocos días los dos mapas pueden estar finalizados (2001). En concreto, establecer una duración aproximada del proceso será uno de los objetivos parciales de la disertación.

Previo al inicio de las etapas, los autores aconsejan la creación de un equipo multifuncional de 3 a 7 miembros en el que la figura del responsable del flujo de valor o *value stream manager* será el encargado de liderar el proceso VSM y el plan de implantación posterior. Éste, ha de ser un conocedor del flujo de valor de la familia de productos a tratar (Rother et al., 1998) y por otro lado ha de poseer los siguientes atributos (Tapping et al., 2002a):

- Un sentido de propiedad de producto.
- Un sentido de compromiso hacia la Producción Ajustada.
- Autoridad para hacer que los cambios se produzcan a través de funciones y departamentos.

El especialista en Producción Ajustada o *lean specialist* es otra figura perteneciente al equipo que apoyará en la labor de detectar los despilfarros e introducir las prácticas apropiadas para actuar ante las causas de las ineficiencias. Más que en la implantación en si, dichos especialistas actuarán de guías y asesores del equipo (Rother et al., 1998).

2.7.1.1. ETAPAS DE APLICACIÓN DEL VSM

2.7.1.1.1 ELECCIÓN DE UNA FAMILIA DE PRODUCTO

Es necesario focalizar el proceso de mapeado en una única familia de productos, graficar todas las referencias que se producen en la planta resulta complicado y no conduce a desarrollar de manera adecuada las pautas de la Producción Ajustada (Rother et al., 1998).

Para casos más complejos, donde existen numerosos productos y una gran cantidad de rutas, Duggan (2002) detalla más la definición con una propuesta abierta de los siguientes criterios:

- El tiempo de operación de cada proceso con cada referencia de la

familia de producto puede variar hasta en un 30%.

- Se puede permitir que el 20% de las etapas de la fabricación sean diferentes.

La búsqueda de familias de productos puede no resultar una tarea fácil a simple vista, sobre todo en casos de plantas fabriles funcionales. Se han desarrollado y se siguen desarrollando algoritmos y métodos para la asignación de familias, dichos métodos han sido desplegados para dirigir el rediseño de las distribuciones en plantas funcionales u orientadas al proceso a distribuciones orientadas al flujo de productos. Así pues, existe una gran variedad de dichas técnicas de ayuda para la identificación de posibles familias de productos, pero resultan bastante complicadas de aplicar, y son poco conocidas y empleadas. Por suerte, en los casos prácticos reales, no suele haber necesidad de valerse de técnicas demasiado sofisticadas (Hyer et al., 2002).

La literatura básica referente al VSM expone la denominada matriz de familia de productos (ver figura 5) como herramienta de ayuda para la detección de familias, con la que, en algunos casos a simple vista, o mediante la aplicación de un sencillo algoritmo, se pueden hallar posibles familias de productos (Burbidge, 1971), (Duggan, 2002). Se puede centrar la elaboración de la matriz en los primeros procesos de la cadena de valor, ya que en muchos casos serán aquellos que más fácilmente se plantearán para asignarlos específicamente a la familia de productos definida (Womack, 2002b).

		Assembly Steps & Equipment							
		1	2	3	4	5	6	7	8
PRODUCTS	A	X	X	X		X	X		
	B	X	X	X	X	X	X		
	C	X	X	X		X	X	X	
	D		X	X	X			X	X
	E		X	X	X			X	X
	F	X		X		X	X	X	
	G	X		X		X	X	X	

Fig. 5. Matriz de familia de productos. (Rother et al., 1998).

Cuando el número de referencias es alto, es aconsejable centrar previamente el estudio en las referencias que mayor volumen de producción supongan; la regla ABC, 80-20 ó de Pareto resulta de gran ayuda en estos casos. A este tipo de estudio también se le denomina análisis P-Q (Producto-Cantidad) (Hyer et al., 2002), (Tapping et al., 2002a).

Para producciones bajo pedido donde la diferenciación de producto usualmente se da muy aguas arriba, Womack (2002b) aconseja agrupar los

productos en base a la similitud de los procesos que siguen.

Asimismo, los diferentes criterios que señalan Hyer et al. (2002) para determinar el futuro diseño de los sistemas productivos pueden servir como guía para la agrupación (ver tabla 9).

Criterio para identificar macrofamilias de productos		Ejemplo
1.- Tipo de producto.	<i>Cada familia la conforman productos del mismo tipo o misma función.</i>	<i>Motores y generadores</i>
2.- Mercado.	<i>Mercado geográfico o tipo e cliente: distribuidor, final, etc.</i>	<i>Europa, Norteamérica</i>
3.- Clientes.	<i>Familia de productos que se venden a uno o varios clientes concretos.</i>	<i>Una familia para dos clientes dominantes, el resto de productos conforman una tercera familia.</i>
4.- Grado de contacto con el cliente.	<i>Agrupar productos de acuerdo con el grado de influencia que tiene el cliente sobre el producto final.</i>	<i>Todos los productos stockados en una familia, todos los fabricados bajo pedido en otra, etc.</i>
5.- Volumen de venta.	<i>Agrupar productos con similar volumen de ventas.</i>	<i>Alto volumen, bajo volumen.</i>
6.- Patrones de pedidos.	<i>Agrupar productos en base a los diferentes patrones de recibir pedidos.</i>	<i>Series largas y repetitivas por un lado, series cortas e irregulares por otro.</i>
7.- Base competitiva.	<i>Agrupar productos en base a sus argumentos de venta.</i>	<i>Por un lado los de bajo coste y rápida entrega, por otro los productos personalizados.</i>
8.- Tipo de proceso.	<i>Aquellos productos con similares procesos en la misma familia.</i>	<i>Todos los que requieren montaje por un lado, todos los que no por otro.</i>
9.- Características de productos.	<i>Productos con similares características físicas o materias primas.</i>	<i>Grandes vs. pequeños, ligeros vs. pesados, etc.</i>

Tabla 9. Diferentes vías para agrupar productos (Hyer et al., 2002).

2.7.1.1.2 MAPEADO DE LA SITUACIÓN ACTUAL O INICIAL

Para trazar el mapa de la situación inicial, es útil conocer la iconografía propuesta (A.2: Iconografía Value Stream Mapping) y el tipo de información más relevante que se debe recoger (A.3: Lista de datos de procesos comunes). Es evidente que dependiendo de las particularidades del proceso se puede diseñar iconografía propia, y recopilar la información que se considere más adecuada y útil.

Posteriormente se inicia el dibujo del mapa siguiendo el flujo del producto desde el cliente hasta el proveedor de materias primas.

- **Primera parte:** Cliente y sus necesidades



Fig. 6. Cliente y sus necesidades.

- **Segunda parte:** procesos, casillas de datos y triángulos de inventarios

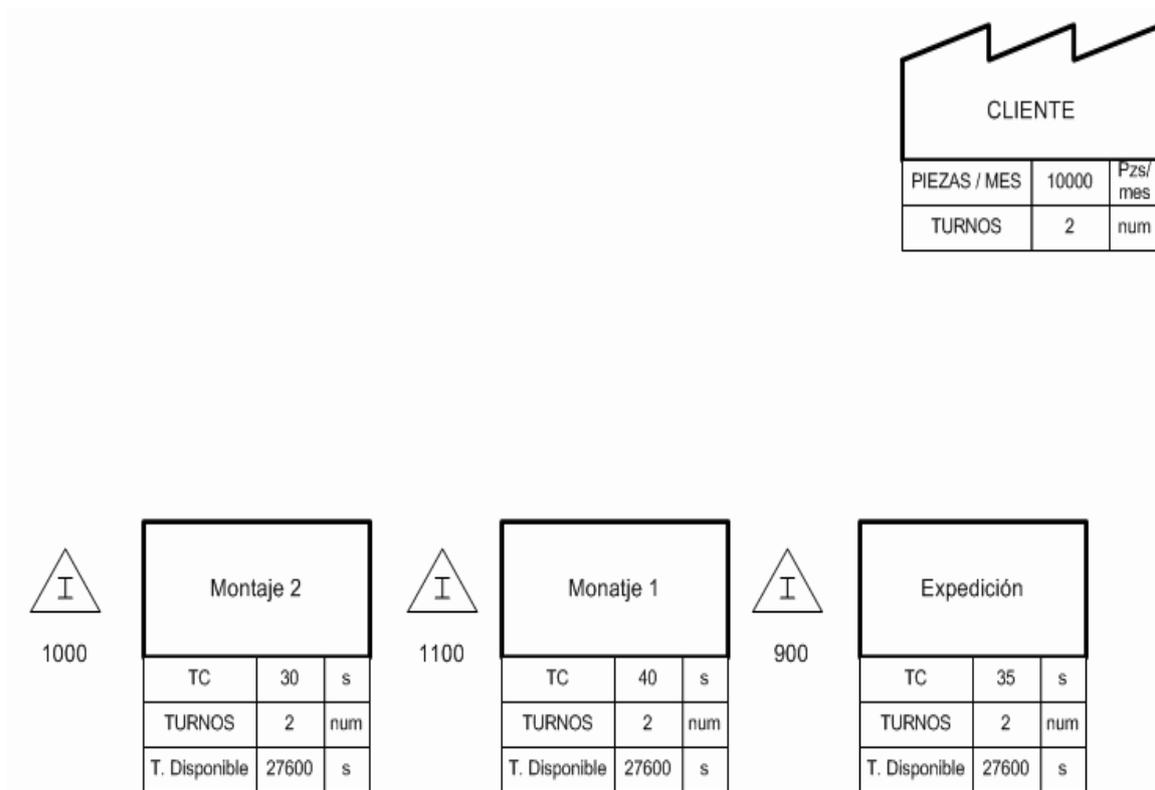


Fig.7 . Procesos, casillas de datos e inventarios.

- **Tercera parte:** flujo de materiales

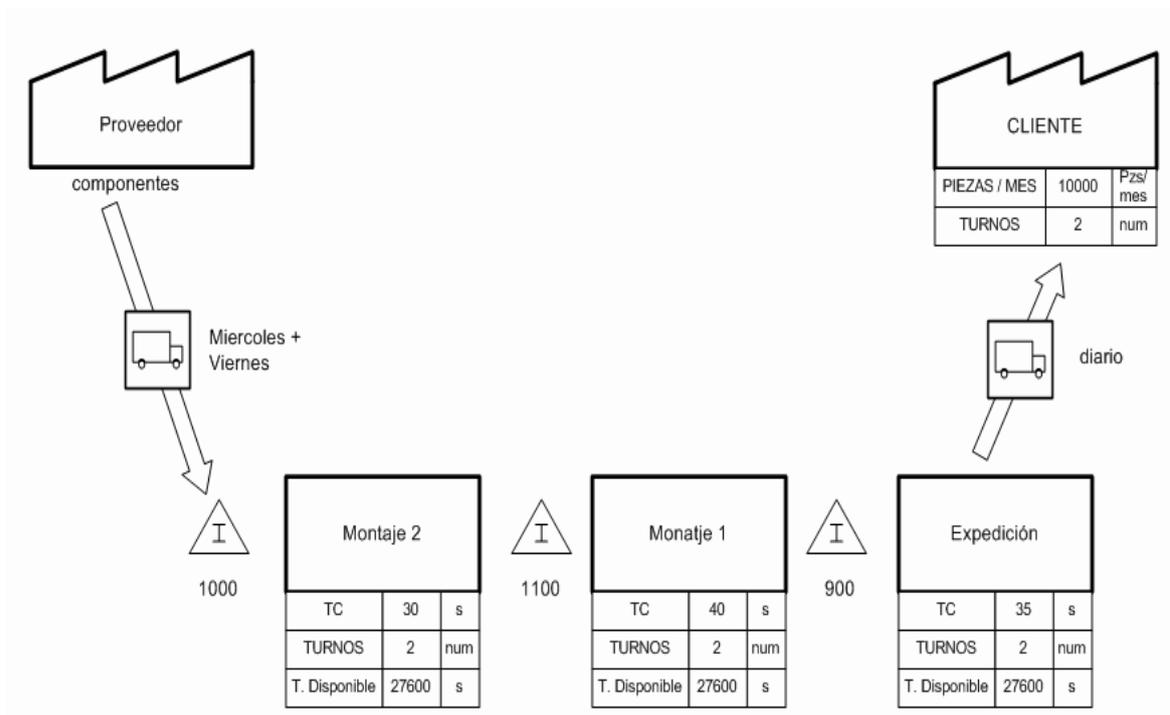


Fig. 8. Flujo de materiales.

- **Cuarta parte:** flujos de información y flechas pull o push.

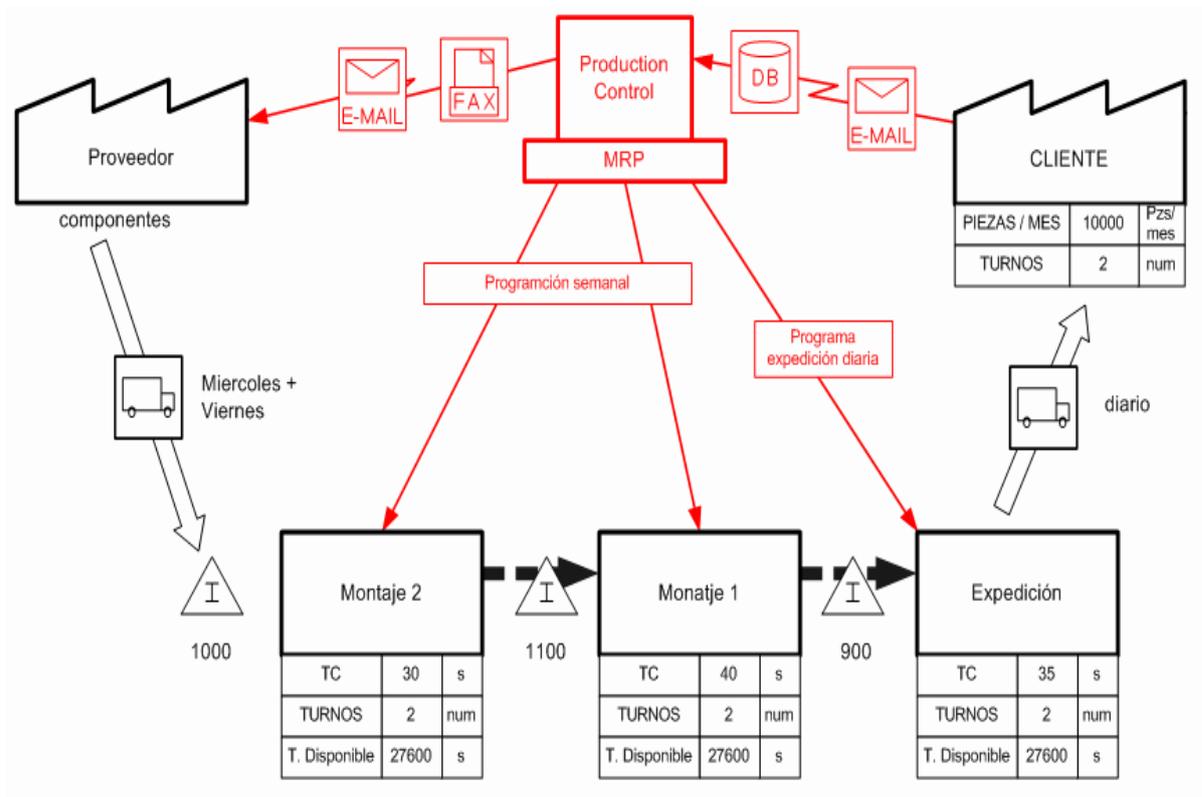


Fig. 9. Flujo información y flechas pull/push.

Autores como Rother et al. (1998) y Hines et al., (2000) aconsejan:

- Emplear lápiz y una hoja de tamaño DIN A3 y recoger los datos *in*

situ en la propia planta.

- Dibujar hacia aguas arriba comenzando con los requerimientos del cliente, la demanda y su patrón.
- Cada punto donde el material fluye se considera un proceso y se dibuja mediante una caja, el proceso termina allá donde una desconexión hace que el flujo de materiales pare y se genere un stock intermedio. Han de registrarse los datos necesarios para cada proceso, que podrían ser:
 - o Recurso compartido o específico a la familia.
 - o Tiempo de ciclo.
 - o Tiempo de cambio.
 - o Eficiencia.
 - o Periodo de ciclo de fabricación. Tamaño de lote medido en tiempo.

Every Part Every Interval (EPEI).

- o Número de operarios.
- o Número de variaciones de productos.
- o Tipo y Tamaño de embalaje.
- o Número de relevos.
- o Tiempo de trabajo disponible (descontar descansos).
- o Otros datos que se puedan considerar necesarios.
- Tras la recogida de los datos de los procesos se dibuja el inventario acumulado y se contabiliza en la propia planta.
- Se grafican las entregas a clientes y los acopios de los proveedores más importantes: frecuencia de entregas, tamaño y tipo de embalajes, volúmenes de entregas...
- Una vez dibujado el flujo físico de los materiales, se procede a graficar el flujo de información.
- Por último, se contabiliza el contenido de trabajo en tiempo de la pieza así como su periodo de maduración desde materia prima hasta producto terminado mostrándolo en una línea dibujada dentada en la base del dibujo.

2.7.1.1.3 MAPEADO DE LA SITUACIÓN FUTURA

Una vez se tiene conocimiento sobre la situación actual, es necesario averiguar cuál sería la situación ideal mediante la que se minimizarían o eliminarían las fuentes de *muda*.

Trazar el mapa de la situación ideal no resulta trivial. Para que este proceso no

se realice de forma desordenada y se pierda la visión de conjunto que se ha conseguido con el dibujo de la situación actual, se trata de ir respondiendo a ciertas preguntas clave e ir configurando el mapa futuro (Rother et al., 1998), (Sullivan et al. 2002).

1. ¿Cuál es el *takt time* o ritmo impuesto por el mercado basado en el tiempo de trabajo disponible?
2. ¿Se va a producir para expedir directamente a partir del proceso regulador o se necesita un supermercado de producto terminado?
3. ¿Dónde puede ser empleado el flujo continuo?
4. ¿Es necesario algún sistema *pull* (tirón) para gestionar la producción?
5. ¿Qué único punto de la cadena de producción, denominado proceso regulador será empleado para programar la producción?
6. ¿Cómo puede ser nivelado el *mix* de producción en el proceso regulador?
7. ¿Qué unidad de trabajo será retirada constantemente desde el proceso regulador?
8. ¿Qué mejoras de proceso (mejoras *kaizen*) serán necesarias en el flujo de valor para que fluya como en el diseño del estado futuro?

Dichas cuestiones clave se basan en directrices o pautas de la Producción Ajustada, que tratan de que cada proceso de producción fabrique sólo lo que el siguiente proceso necesite, en el momento en el que lo requiera; para así, buscar la unión de todos los procesos en un flujo con un mínimo de periodo de maduración y coste, así como con un máximo de calidad de producto. Estas directrices serán analizadas con detenimiento en el apartado 2.7.1.2.

2.7.1.1.4 DEFINICIÓN E IMPLANTACIÓN DE UN PLAN DE TRABAJO

La consecución del mapa futuro aprobado requerirá de una planificación detallada que habrá de liderar el responsable del flujo de valor con el apoyo y seguimiento de la alta dirección de la empresa.

Se aconseja dividir el mapa futuro en lazos (*loops*) o segmentos manejables con los que ir abordando paulatinamente los proyectos de mejora. El lazo inicial podría ser aquel que integra al proceso regulador, o bien aquel proceso que es adecuadamente comprendido por el personal de la empresa y tenga el éxito e impacto garantizado (Rother et al., 1998), (Tapping et al., 2002a).

Así como la planificación es un punto importantísimo, también hay que combinarlo en algunos casos con sistemas prueba/error con los que ir aprendiendo y sacando resultados y conclusiones (Rother et al., 1998).

2.7.1.2. DIRECTRICES DE LA PRODUCCIÓN AJUSTADA

Tal y como antes se ha citado en el apartado 2.7.1.1.3., el mapa futuro ha de desarrollarse en base a ciertas pautas base de la Producción Ajustada que se describen a continuación.

1. Producir respecto al *takt time*.
2. Implantar flujo continuo siempre que sea posible.
3. Emplear supermercados para controlar la producción siempre que el flujo continuo no pueda extenderse aguas arriba.
4. Intentar llevar el programa del cliente a un único proceso de producción denominado proceso regulador.
5. Nivelar el *mix* de producción.
6. Nivelar el volumen de producción.
7. Mejorar las eficiencias de los medios productivos para desarrollar la habilidad de EPEI cada día (para después hacerlo cada turno, cada hora, cada *pallet*...).

2.7.1.2.1 PRODUCIR RESPECTO AL TAKT TIME

Se entiende como ciclo el ritmo de producción según el ritmo de ventas y se define como el tiempo disponible de producción dividido por la demanda del cliente, todo ello en un periodo dado (Marchwinski et al., 2003), (Rother et al., 1998:

CICLO DE PRODUCCIÓN

$$= \frac{\textit{T tiempo de trabajo disponible (por turno)}}{\textit{Demanda del cliente (por turno)}}; \textit{(Ecuación 4.1)}$$

Esta variable permite tener un baremo del ritmo de producción idóneo, es decir, ajustar el ritmo de producción a la demanda. La consecución de este objetivo exige capacidad para reaccionar con rapidez ante incidencias, eliminar o minimizar las causas de interrupciones imprevistas y eliminar los tiempos de cambio entre procesos.

El *takt*, “compás” en idioma alemán, se emplea para sincronizar el tiempo de producción con el de ventas, sobre todo en el proceso regulador. Es un número de referencia que da una sensación del ritmo al que hay que producir. Producir al ritmo del *takt* suena sencillo, pero requiere esfuerzo para:

- Dar rápida respuesta (dentro del *takt*) ante problemas.
- Eliminar causas de ineficiencias.
- Eliminar tiempos de cambio en procesos tipos de ensamblaje aguas abajo.

2.7.1.2.2 IMPLANTAR FLUJO CONTINUO

El flujo continuo pretende que el paso de una unidad de proceso a otra se realice con el menor o ningún tiempo de espera.

Son los procesos aguas abajo del sistema productivo los que establecen con qué frecuencia deben suministrar los procesos anteriores. Tiene gran similitud con el concepto just-in-time (JIT). JIT intenta asegurar que tanto los clientes internos (aguas abajo) como los clientes externos tengan aquello que necesitan en el momento que lo necesitan.

Significa fabricar y mover los productos uno a uno, o a lo sumo en lotes muy pequeños y consistentes a través de los procesos de producción (Marchwinski et al., 2003), (Rother et al., 1998, 2001). El flujo continuo puede conseguirse de diferentes maneras, desde líneas de montaje móviles, hasta células de montaje o fabricación. Las figuras 10 y 11 ilustran la diferencia entre un flujo discontinuo por lotes y uno continuo pieza a pieza.

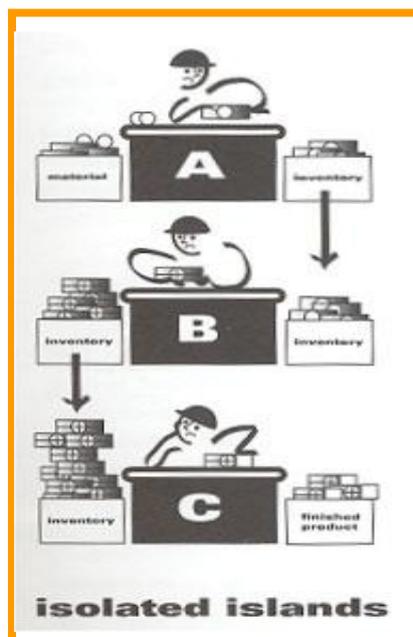


Fig. 10. Flujo discontinuo. (Rother et al., 1998).

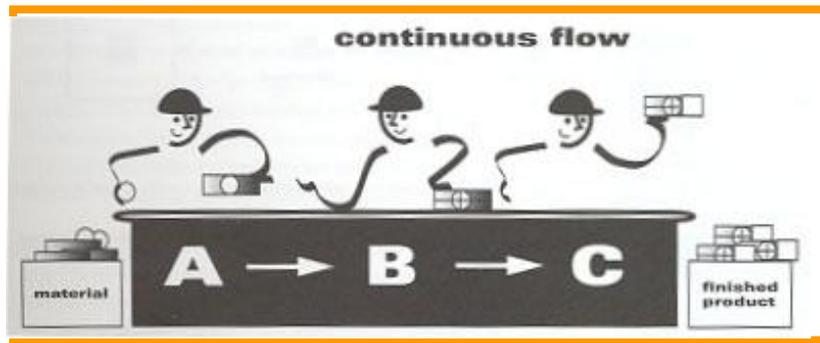


Fig. 11. Flujo continuo. (Rother et al., 1998).

El transferir las piezas una a una, presupone acercar los medios productivos y dedicarlos casi exclusivamente a la familia de productos en cuestión, lo cual en muchos casos no se justifica por las características de los procesos o por falta de saturación de medios productivos caros con una sola familia de productos. Estos medios productivos, también denominados "monumentos", deberían de ser sustituidos en la medida de lo posible por medios adecuadamente dimensionados a la demanda de la familia de productos a la que irán destinados.

2.7.1.2.3 EMPLEAR SUPERMERCADOS PARA CONTROLAR LA PRODUCCIÓN

Tal y como se ha comentado anteriormente, hay puntos en el flujo de valor donde el flujo continuo no es posible y la agrupación de los materiales para su transporte es necesaria (lotes de transferencia no unitarios) debido a que los cambios de formato son muy rápidos o que procesos consecutivos se encuentran ubicados a una distancia considerable etc., entonces se puede optar por una solución intermedia basada en los "supermercados". Las razones pueden ser las siguientes:

- Algunos procesos están diseñados para operar a ciclos muy rápidos o muy lentos y necesitan cambios para servir a múltiples familias de productos (por ejemplo, prensas de estampación e inyección).
- Otros procesos se encuentran lejos, y mandar y conseguir lotes de transferencia unitarios no es posible por ahora (por ejemplo, proveedores).
- Otros procesos tienen un periodo de maduración demasiado largo o resulta imposible colocarlos directamente en un flujo continuo.

Para estos casos, hay que resistir la tentación de programar estos puntos, ya que la programación es sólo una estimación de lo que el siguiente proceso va a necesitar. La Producción Ajustada aboga por la implantación de sistemas *pull* o de tirón.

El sistema *pull* es un método de control de producción en el que las actividades aguas abajo señalan sus necesidades a las actividades aguas arriba.

Este sistema busca la eliminación de la sobreproducción sin tener que programar dichos puntos (Marchwinski et al., 2003).

Como primera introducción al sistema, se presentará el denominado

sistema clásico de realizar el tirón, más adelante, en el punto 2.7.2.4. se analizarán otras variantes.

La actividad aguas abajo provee de información a la operación aguas arriba frecuentemente mediante una tarjeta *kanban*, "señal" en idioma japonés, en la que se especifica el material que se necesita, la cantidad y donde y cuando se requiere. Hasta que la señal *kanban* no llega al proceso proveedor, éste no fabrica nada, al contrario que en un sistema *push*.

El funcionamiento de los supermercados es sencillo; el proceso cliente tiene la necesidad de un elemento del supermercado y lo retira, mientras que el proceso de suministro produce aquello que se ha retirado. De esta forma se asegura que únicamente se produce aquello que se necesita en el momento que se necesita.

La siguiente figura 12 muestra esquemáticamente un proceso de tirón en el que: el cliente va al supermercado y retira lo que necesita cuando lo necesita y el proveedor produce para reaprovisionar lo retirado.

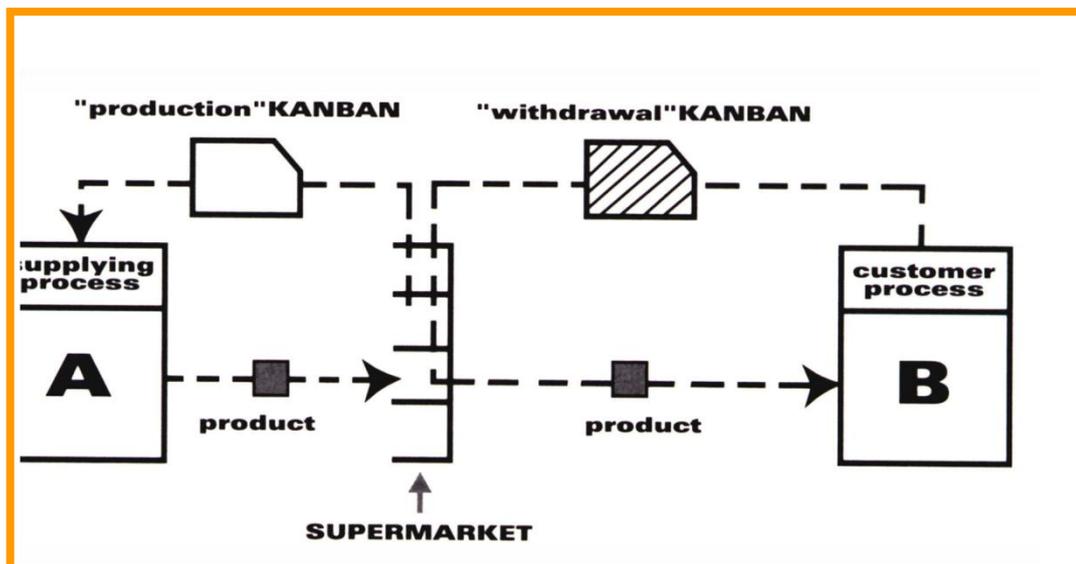


Fig. 12. Sistema pull (Rother et al., 1998).

Las tarjetas Kanban de retiro ordenan que se transfieran las piezas mientras que las de producción dan orden de producirlas. Cuando el operario encargado de la manipulación de materiales recibe la tarjeta Kanban de retiro por parte del operario del "proceso cliente", debe ir al supermercado a retirar lo indicado. Las tarjetas Kanban de producción van incorporadas al producto del supermercado, de manera que cuando el operario que manipula los materiales recoja el producto, devolverá la tarjeta de producción al "proceso suministro" y se iniciará la producción de aquello retirado.

Puede suceder que la gran variedad de piezas/elementos a suministrar haga que los supermercados no resulten prácticos. En este caso, existe otra opción conocida como los "pasillos FIFO".

La idea de un pasillo FIFO es un espacio físico limitado en el que colocar las piezas/elementos entre dos procesos desconectados. El proceso suministro no debe

producir hasta que parte del inventario no se haya consumido por parte el proceso cliente.

Dependiendo del caso, el *kanban* puede ser una tarjeta, señal eléctrica, bola coloreada o cualquier otro formato siempre que permita el traslado de la correcta información y prevenga la introducción de información incorrecta.

Cualquiera que sea el formato, los *kanban* cumplen con dos funciones en un sistema productivo, por lo que habitualmente se clasifican en dos tipos:

- Los denominados *kanban* de producción o *production kanban*, ordenan a los procesos aguas arriba la fabricación de piezas.
- Los *kanban* de transporte o *withdrawal kanban*, ordenan a los acarreadores de material mover los productos señalados en la señal.

En cuanto a las diferencias entre los sistemas *pull* y *push* se pueden señalar las siguientes:

En un sistema *pull*, el cliente es el que desencadena la producción y entrega de materiales. La producción *pull* es iniciada por el cliente final y desencadenado aguas arriba por el cliente interno de cada proceso. Sin embargo, en un sistema *push* el material es movido desde aguas arriba hacia aguas abajo tan pronto como está disponible (The Productivity Press development team, 2002).

El sistema *pull* es un método de control de producción en el que las actividades aguas abajo señalan sus necesidades a las actividades aguas arriba. El proceso aguas abajo, en la misma o en otra planta fabril, provee información a la operación aguas arriba, frecuentemente vía una tarjeta *kanban*, sobre que pieza o material se necesita, que material y cuando y donde se necesita. Nada se produce por el proveedor hasta que el proceso cliente aguas abajo señala su necesidad.

En cambio, un sistema *push* es aquel en el que se procesan largos lotes de productos a un ratio máximo basándose en previsiones de demanda, y después moverlo al siguiente proceso aguas abajo o al almacén, sin importar el ritmo actual del trabajo del siguiente proceso. Este sistema hace virtualmente imposible establecer un flujo constante de trabajo desde un proceso al siguiente, base de la *Lean Production* (Marchwinski et al., 2003).

Los sistemas *push* **programan** la entrega de trabajo, mientras que los sistemas *pull* **autorizan** la entrega del trabajo en base al estado del sistema. La clave de los sistemas *pull* es que se establece un nivel máximo de stock en curso, lo cual previene la producción de material en curso innecesario. El resultado es que los sistemas *pull* reducen el inventario en curso medio y los periodos de maduración y su variabilidad, así mismo crean presión para mejoras de calidad y se promueve una detección efectiva de los defectos e incrementa la flexibilidad para el cambio (Hopp et al., 2000).

Hopp et al. (2002) completan su definición tras criticar a los autores de

“Lean Thinking” por haber confundido el término *pull* con producción bajo pedido y *push* con producción contra stock. Según la nueva definición, el *pull* es un sistema que explicita los límites de cantidad de trabajo que puede haber en el sistema. Esto implica que un sistema *push* es aquel que no limita la cantidad de obra en curso que puede haber en el sistema productivo. Siguiendo esta vía, Hopp y Sperman llegan incluso a una redefinición del sistema *lean*: “La producción de bienes y servicios acompañada con costes mínimos de *buffers*”.

Por último, para aclarar y dejar por sentado el tema, se describen en la tabla 10 las relaciones de los sistemas *push* y *pull* con los tipos de producción bajo pedido, bajo previsiones y contra stock.

	Bajo previsiones	Bajo pedido	Contra stock
PUSH	<i>MRP con previsiones.</i>	<i>MRP en base a pedidos</i>	<i>Punto de pedido desde el almacén de Productos Terminados.</i>
PULL	<i>Kanban con takt time y previsiones</i>	<i>Kanban con takt time y ordenes</i>	<i>Kanban con tirón desde el almacén de producto terminado.</i>

Tabla 10. Adecuación de los sistemas *push* y *pull* a diferentes tipos de producción (Hopp et al., 2002).

En este punto, cabe resaltar que la diferencia entre los tipos de producción bajo pedido o contra stock no suele estar clara del todo. De hecho, todos los sistemas productivos tienen el interfaz orden/inventario, que determina que parte del sistema trabaja contra stock y que parte bajo pedido. Un sistema que tenga este interfaz situado en el almacén de materia prima será un sistema bajo pedido convencional. Si este punto, en cambio, está situado en el almacén de producto terminado, será un sistema típico de producción contra stock o contra almacén. A su vez, si el punto se sitúa en un nivel previo al montaje final del producto, éste podría ser un sistema de producción de ensamble bajo pedido.

La selección de este punto determina que elementos del flujo de valor se convierten en parte del periodo de maduración desde orden de cliente a producto terminado (*Order lead time*), es decir, el tiempo de respuesta del sistema para atender a los pedidos del cliente (Hopp et al., 2000), (Olhager, 2003). Este punto también ha sido descrito con las siguientes denominaciones: punto de decisión, punto de desacople o punto de penetración de pedido.

Como ejemplo ilustrativo, en la figura 13 se muestra la posición en la se encuentra el interfaz en un sistema productivo de una cadena de servicio de comida rápida.

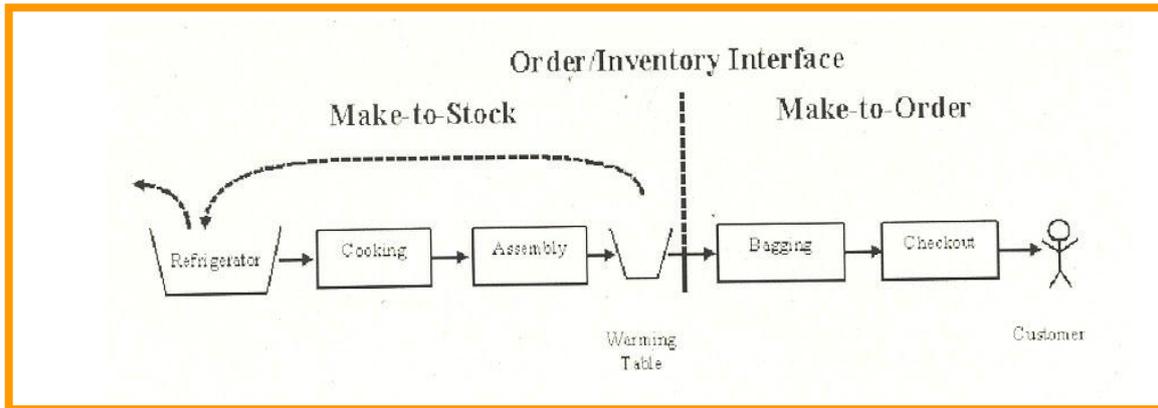


Fig. 13. Ejemplo de interfaz Orden/Inventario (Hopp et al., 2002)

El establecimiento del interfaz es una decisión estratégica relacionada con hallar el equilibrio entre el nivel de servicio que se quiere ofrecer al mercado y entre la eficiencia productiva y nivel de inventario que la compañía esté dispuesta a afrontar (Van Hoek, 2001), (Mather, 1999). Concretamente, se identifican factores de mercado, producto y proceso que afectan directamente al posicionamiento del interfaz, debidos principalmente al tipo de volumen y volatilidad de la demanda así como a la relación entre los periodos de entrega y de maduración (Olhager, 2003).

Las empresas que trabajan bajo pedido, tienen el interfaz situado lo más aguas arriba posible en el proceso productivo. En cambio, las empresas que operan contra stock tienen el interfaz situado lo más aguas abajo posible, concretamente en el almacén de producto terminado.

La determinación de este punto también implica que el despliegue de diferentes estrategias productivas entre los procesos previos al interfaz y los posteriores. Así, aguas arriba a partir del interfaz, el objetivo fijado para el sistema productivo debe buscar sobre todo productividad; mientras que aguas abajo, flexibilidad y rápida respuesta al cliente. Basados en esta diferenciación de estrategia, algunos autores consideran que aguas arriba el enfoque filosófico productivo debe ser basado en la Producción Ajustada, mientras que aguas abajo el paradigma imperante debe ser el conocido como la Manufactura Ágil (Christopher et al., 2000), (Naylor et al., 1999). No obstante, tal y como se analizó previamente, autores de renombre también argumentan que la Lean Production incluye en su filosofía preceptos como la flexibilidad para una adaptación constante al mercado (Womack et al., 1986).

Asimismo, hay que tener en cuenta que la empresa o cadena de suministro puede establecer diferentes interfaces para cada familia de producto y además puede ir modificando la situación del mismo a lo largo del tiempo, dependiendo de la estrategia a adoptar (Olhager, 2003).

2.7.1.2.4 PROGRAMAR UN ÚNICO PROCESO DE PRODUCCIÓN

Empleando sistemas *pull* de supermercado, sólo será necesario programar únicamente un punto en el flujo de valor. Este punto se llama proceso regulador o *pacemaker process*. Es el que marcará el ritmo y dirigirá la producción de la familia de productos tratada (Marchwinski et al., 2003).

Una vez determinado el proceso regulador o punto de programación, aguas abajo los productos deberán fluir en la secuencia en la que llegan a cada uno de los procesos, es decir mediante una sistemática de líneas FIFO (*First In First Out*) (ver figura 14). La producción aguas arriba del proceso regulador en cambio será controlada mediante los sistemas *pull* anteriormente descritos. Los sistemas FIFO a nivel de planta han de ser lo más visuales posibles. Si la línea o espacio definido para el FIFO se llena, el proceso proveedor ha de parar inmediatamente para evitar la sobreproducción (Rother et al., 1998), (Marchwinski et al., 2003).

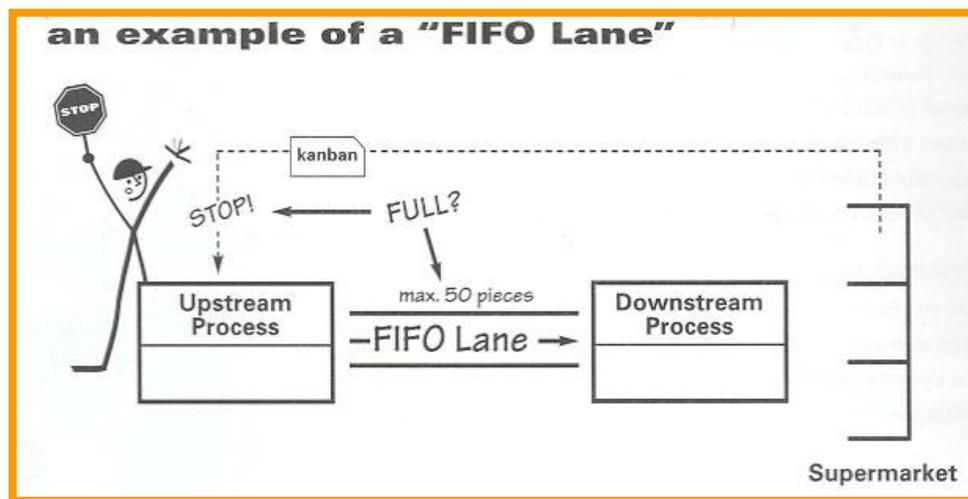


Fig. 14. Ejemplo de línea FIFO con el proceso regulador situado en el 1º proceso (Rother et al., 1998).

Como alternativa a las líneas FIFO, Hopp y Spearman (Hopp et al., 2000) proponen el sistema CONWIP (*Constant Work In Process*). Es un sistema que Rother y Shook (1998) no lo diferencian de las líneas FIFO y que ya existía sin nombre definido en la literatura japonesa (Hyer et al., 2002), su característica principal es que la entrega de un nuevo trabajo en el proceso regulador sólo se lleva a cabo a medida que otro deja la línea de producción, así se mantiene el stock en curso en la línea siempre constante.

Según los preceptos de la Producción Ajustada, este punto no ha de ser confundido con el proceso cuello de botella (Shook, 2002), que es el que ha de comandar la producción según la Teoría de las Limitaciones (TOC) desarrollada por Eliyahu Goldratt (1986, 1993). Conforme al Sistema de Producción *Toyota*, salvo en contadas excepciones como producción bajo pedido, no puede ser el cuello de botella o proceso más problemático el que marque y dirija el ritmo de toda la producción de la planta, tal y como aboga la TOC; esto no es óbice para no tratar de liberar dicho proceso y aumentar su capacidad (Shook, 2002).

La figura 15 muestra dos elecciones diferentes de proceso regulador para el mismo sistema productivo.

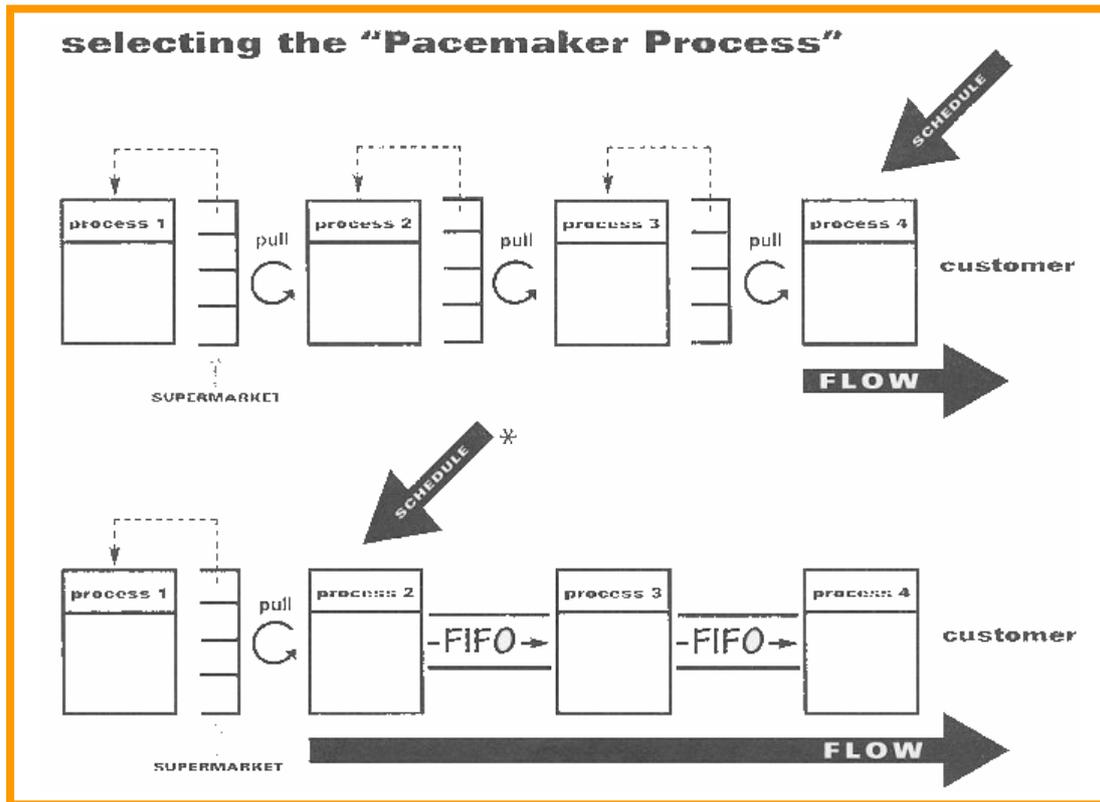


Fig. 15. Selección del proceso regulador (Rother et al., 1998).

Suponiendo de que se trate de un sistema contra stock de producto terminado, en el primer caso de la figura 15 se ha optado por un proceso regulador situado muy aguas abajo; esta elección suele ser preferible con demandas muy estables por producto y con tamaños de lotes y tiempos de proceso similares (Hyer et al., 2002). Por otro lado, también contará con menos inventario de producto terminado que en el segundo. Como desventajas del primer caso, han de citarse la mayor necesidad de stock en curso que en el segundo y una mayor complejidad en la gestión de la producción (Hopp et al., 2000), (Marchwinski et al., 2003).

Si la figura 15 se refiriese a un sistema que no fuera contra stock de producto terminado, la decisión de posicionar el proceso regulador estaría condicionada por una decisión previa de situar el interfaz. De hecho, el primer caso de la figura 13 supone que el interfaz se ha situado entre el 3º y 4º proceso, mientras que el segundo caso implica que éste se encuentre entre el 1º y 2º proceso. Al ser el proceso regulador el único punto a programar, es necesario que éste sea el inmediatamente situado aguas abajo del interfaz donde se lanzarán las ordenes, de adaptadas directamente de los pedidos del cliente.

Una vez realizada una introducción a los sistemas *pull*, haber estudiado su relación con los diferentes tipos de producción y analizado tanto el interfaz orden/inventario como el proceso regulador, se puede pasar a estudiar con mayor detenimiento la clasificación de los diferentes sistemas *pull*:

Sistema pull del supermercado

Es el tipo más conocido, también llamado de tipo A o sistema *pull* puro (Hopp et al., 2000), coincide con la definición original o clásica, "en los sistemas *pull* el movimiento de material o las actividades de producción se inician a partir de la retirada de inventario" (Suzaki, 1987). Esta idea históricamente ha tenido la forma de sistemas de reaprovisionamiento de demanda no ligada aunque la popularidad le llegó en los años 80 con la divulgación del TPS (Hyer et al., 2002). El proceso consiste en el sistema clásico expuesto anteriormente en el punto 2.7.1.2.3., de manera que cada proceso cuenta con su propio inventario o "supermercado" asignado con una cantidad dada de productos que procesa. Cada vez que el proceso aguas abajo hace uso de alguno de los materiales del supermercado, una tarjeta *kanban* u otro tipo de información es enviada al proceso proveedor para reaprovisionar ese material (ver figuras 12 y 16) (Marchwinski et al.2003).

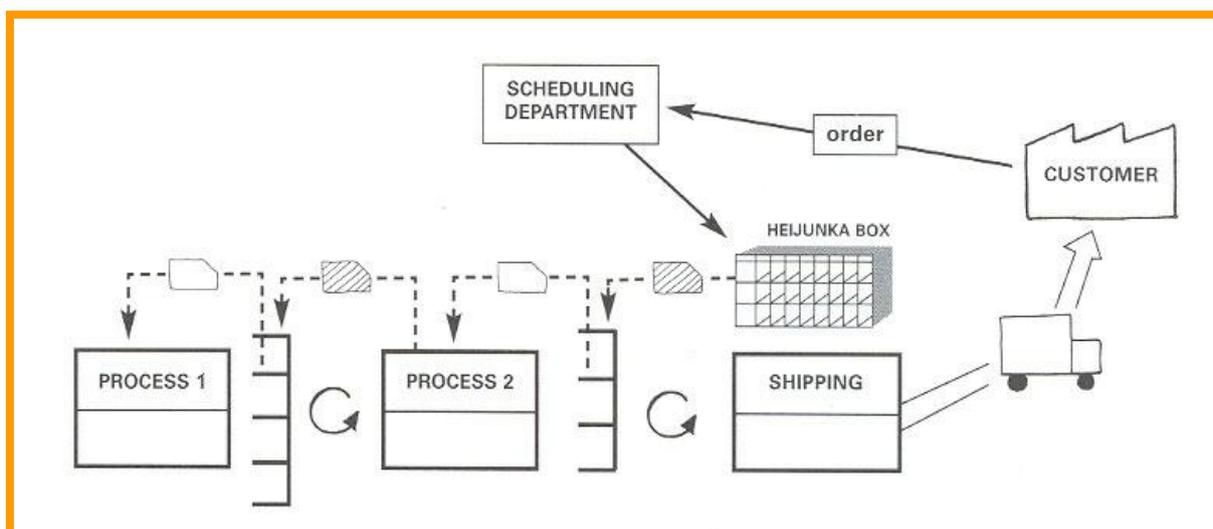


Fig. 16. Sistema pull del supermercado (Marchwinski et al., 2003).

En el caso de la figura 16, el proceso regulador es la sección de expediciones (*shipping*) y se programa mediante un panel *heijunka*, que se describirá en el punto 2.7.1.2.6. A partir del proceso regulador se genera un tirón aguas arriba.

Sistema pull secuencial

También conocido como de tipo B. Es el sistema antes mencionado y basado en las líneas FIFO. Se basa en la definición de Hopp y Spearman (2000) en la que los sistemas *pull* se describen como aquellos que mantienen el nivel del inventario en curso hasta un nivel máximo. Se refieren a aquellos lazos propuestos por el VSM aguas abajo a partir del proceso regulador.

En la figura 17 se muestra el proceso regulador como el Proceso nº1, a partir de ahí las piezas siguen el camino en base a unas líneas FIFO de una capacidad máxima limitada, si esta capacidad se sobrepasa, el proceso precedente

debe parar. Este sistema se basa en una producción bajo pedido.

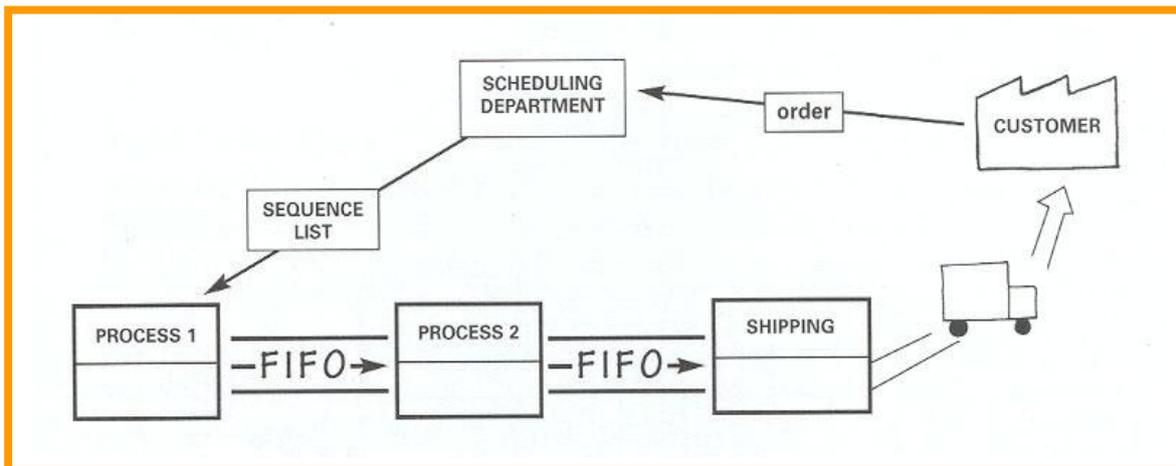


Fig. 17. Sistema pull secuencial. (Marchwinski et al., 2003).

En la figura 14 se puede ver el caso de una línea FIFO en un tipo de producción contra stock en la que el proceso regulador es el primer proceso.

Sistema pull mixto

Los dos sistemas anteriores se pueden emplear en conjunto en un sistema mezclado. Cuando se cumple la regla de Pareto, puede haber referencias de tipo D muy infrecuentes, donde el empleo del sistema secuencial resulta más adecuado, para ello es necesario reservar cierta capacidad productiva para las posibles órdenes de referencias D que surjan (ver figura 18).

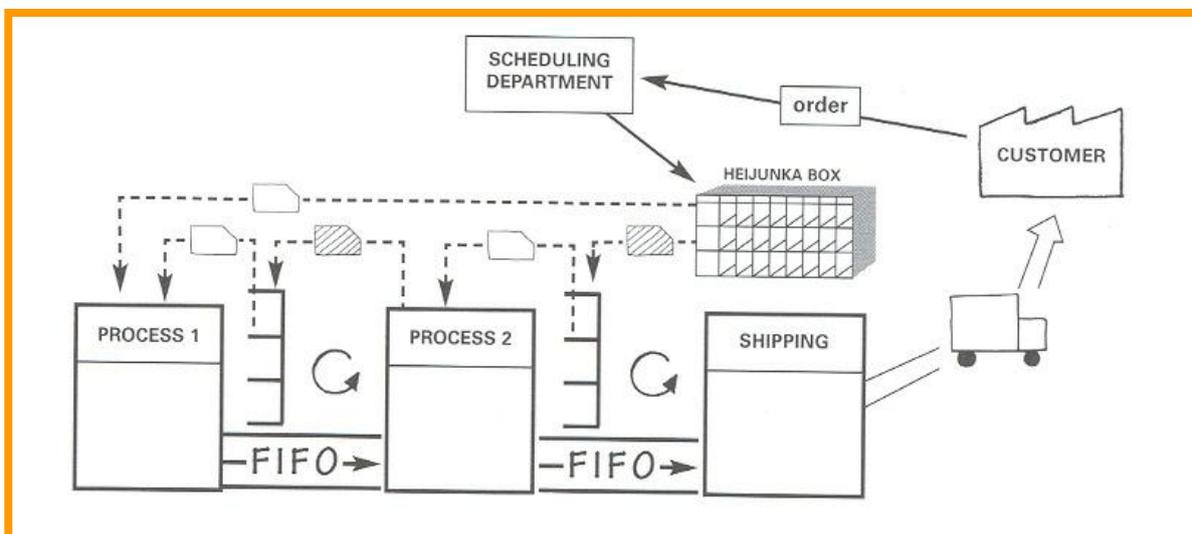


Fig. 18. Sistema pull mixto (Marchwinski et al., 2003).

Para sistemas productivos más complejos, Suri (1998) y Hyer et al. (2002), proponen el empleo de los sistemas POLCA (*Paired Cell Overlapping Loops of Cards with Autorization*). Es un sistema genérico basado en el uso de tarjetas o señales. Se envía una tarjeta al centro correspondiente aguas arriba de la ruta de la pieza que se acaba de terminar en el puesto aguas abajo. La figura 19 muestra tres ejemplos de realizar el tirón hacia atrás, el tercero de ellos es el

correspondiente al sistema POLCA.

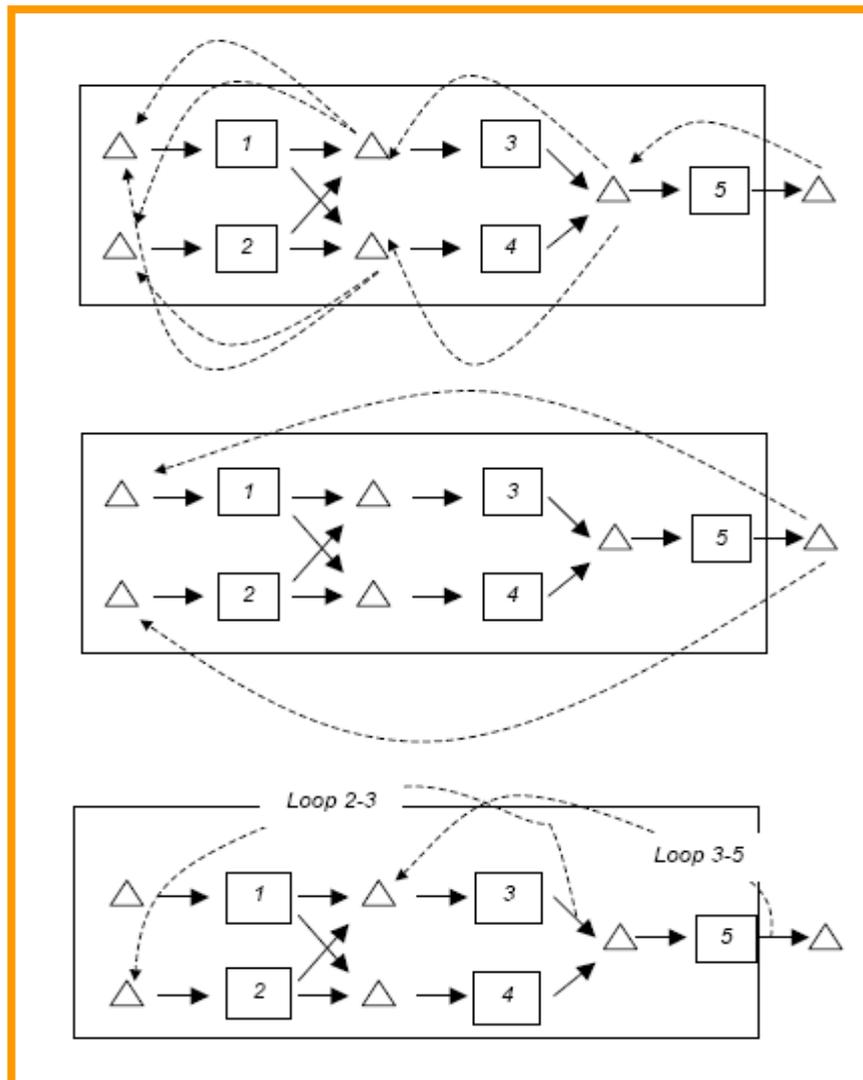


Fig. 19. Loops de control en sistemas complejos (Hyer et al., 2002).

2.7.1.2.5 NIVELAR EL MIX DE PRODUCCIÓN

La programación de grandes series o lotes en los procesos finales de montaje o procesos reguladores evita realizar muchos cambios pero esto crea serios problemas en el resto del flujo de valor.

Los grandes lotes hacen difícil el servir a clientes que desean algo diferente a la serie que se está produciendo en el momento. Esto se traduce en requerimientos de más stock de producto terminado y mayor periodo de maduración.

El inventario en curso de procesos aguas arriba también se incrementa y amplifica por la necesidad de disponer de los conjuntos en grandes lotes. De la misma manera, pequeñas fluctuaciones de las órdenes en los proceso regulador afectan y distorsionan los requerimientos de capacidad aguas arriba. Esta distorsión es conocida como efecto *Forrester* o *Bullwhip* (Sterman, 2000).

Una de las formas más efectivas de evitar dicho efecto consiste en realizar un *mix* o mezcla lo más nivelada posible en el proceso regulador.

Nivelar el *mix* de producción significa producir en pequeños lotes, incrementando el número de cambios y manteniendo las variantes de componentes a disposición en la sección de montaje (ver ejemplo de figura 20).

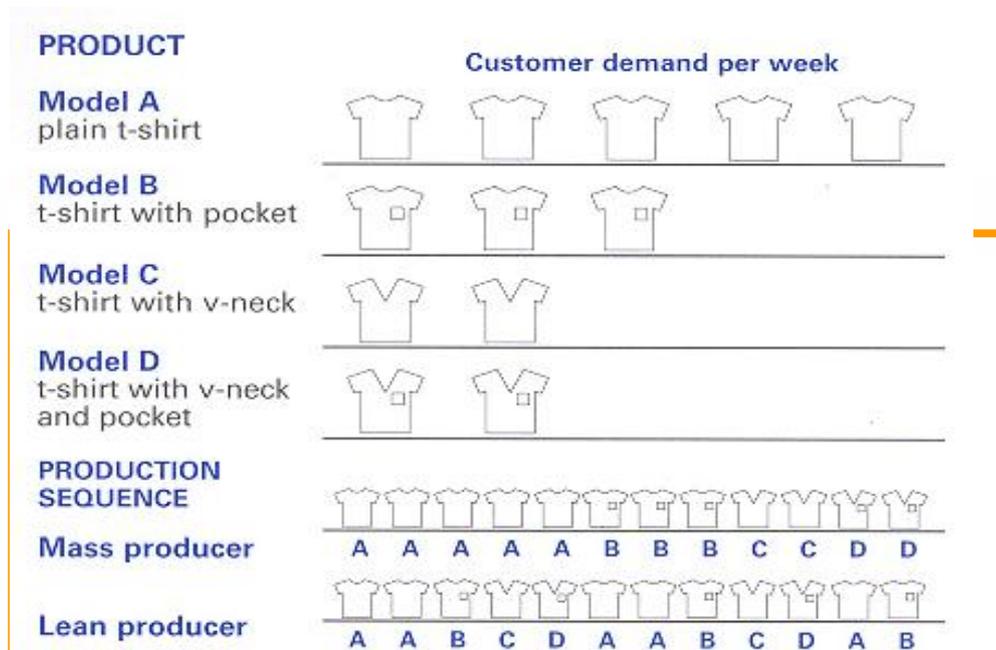


Fig. 20. Nivelación del mix de producción (Marchwinski et al., 2003).

2.7.1.2.6 NIVELAR EL VOLUMEN DE PRODUCCIÓN

Nivelar el volumen de producción significa desencadenar la producción encargando y retirando en el proceso regulador unidades de trabajo pequeñas y consistentes. Trata de que la frecuencia de tiempo de gestión, la cantidad de trabajo que se encarga cada vez y el tiempo dedicado al control de la producción sean mínimos (Rother et al., 1998).

Muchas empresas encargan lotes grandes de trabajo a los procesos de planta, lo cual causa los siguientes problemas:

- No hay ni sentido de *takt time* ni *pull* con el que responder.
- El volumen de trabajo se encarga de manera aleatoria con picos y valles que causan caos en máquinas, trabajadores y supermercados.
- La situación se hace difícil de monitorizar: ¿adelantados o retrasados?
- Con tal cantidad de trabajo cada proceso tiende a secuenciar las ordenes por su cuenta, lo cual incrementa el periodo de maduración o *lead time* y la necesidad de expedir ordenes.
- Responder a cambios en requerimientos de clientes se vuelve muy complicado.

Establecer un ritmo de nivel de producción crea un flujo de producción predecible, el cual da la alarma sobre los problemas y habilita tomar rápidas acciones correctoras. Así como no se debe manejar material en grandes lotes, tampoco se deben lanzar las órdenes en grandes lotes.

Una buena forma de empezar es entregar en el proceso regulador pequeñas unidades de trabajo valoradas entre 5 y 60 minutos regularmente (Rother et al., 1998), o entre 15 minutos y 2 horas según de qué autor se trate (Duggan, 2002), y simultáneamente retirar la misma cantidad de producto terminado. A este proceso también se le denomina *paced withdrawal* o retirada rítmica.

A la unidad de trabajo valorada en tiempo se le llama *pitch* (paso), y frecuentemente es calculado basado en la cantidad de unidades de embalaje o en un múltiplo de dicha cantidad. En un entorno en el que se trabaja bajo pedido se aconseja que el *pitch* sea calculado en base a la capacidad del cuello de botella (Shook, 2002).

Ejemplo de cálculo de *pitch*:

Si, el *takt time* es de 30 seg. y el tamaño de embalaje de 20 unidades: el *pitch* corresponderá a 10 minutos de trabajo (30 seg * 20 piezas). Por tanto, cada 10 minutos:

- Se le da una orden al proceso regulador para producir una unidad de embalaje.
- Se retira un *pitch* de producto terminado.

Así pues, el *pitch* se convierte en la unidad básica del programa de producción para la familia de producto. Si se secuencia y se controla cada *pitch*, se puede responder a problemas rápidamente y así mantener el *takt time*.

Una de las herramientas para la nivelación de *mix* y de volumen es el panel de nivelación de carga denominado *heijunka* (ver figura 21)

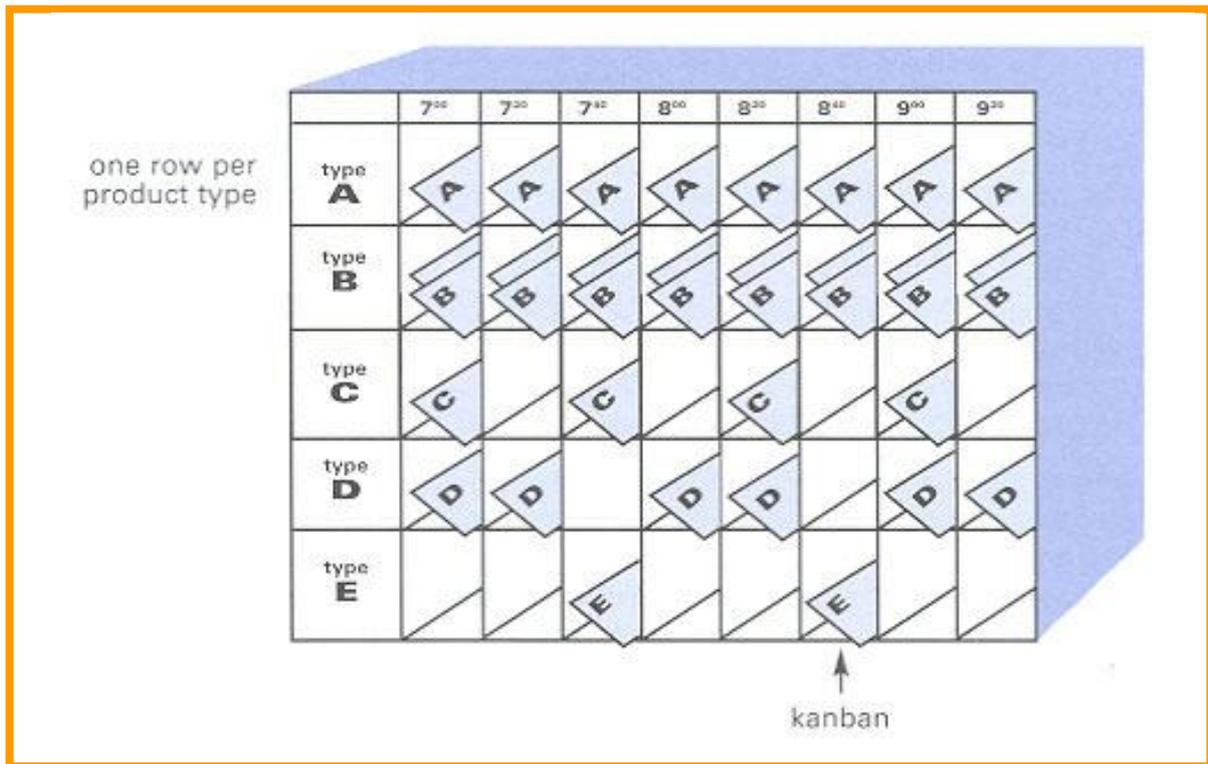


Fig. 21. Panel heijunka. (Marchwinski et al., 2003).

El panel *heijunka* o caja de nivelación, es una herramienta que se puede emplear para nivelar la mezcla y el volumen de producción distribuyendo tarjetas en la planta a intervalos fijos (Marchwinski et al., 2003).

En el ejemplo de la figura 21 cada fila representa un tipo de producto mientras que cada columna intervalos de tiempo idénticos para una retirada rítmica de tarjetas. En el caso de la figura, el turno de trabajo comienza a las 7:00 y la retirada se da cada 20 minutos por el carretillero, quien distribuye las tarjetas entre los procesos de producción de las planta.

En el mismo ejemplo, el *pitch* correspondiente al producto A es de 20 minutos, al B de 10 minutos y al C de 40 minutos; por otro lado los productos D y E comparten el mismo proceso con un *pitch* de 20 minutos. Como se ve, el panel es una vía para que las ordenes lleguen lo más niveladas y en el menor volumen de trabajo posible a las diferentes líneas de producción.

La figura 22 muestra como el panel *heijunka* es el punto de partida para que el acarreador haga su recorrido de entrega de tarjetas y de retirada de materiales con la frecuencia determinada a cada punto de producción. Harris et al. (2003) y Smalley (2004) analizan con profundidad el aprovisionamiento ajustado e integrado a las líneas de producción

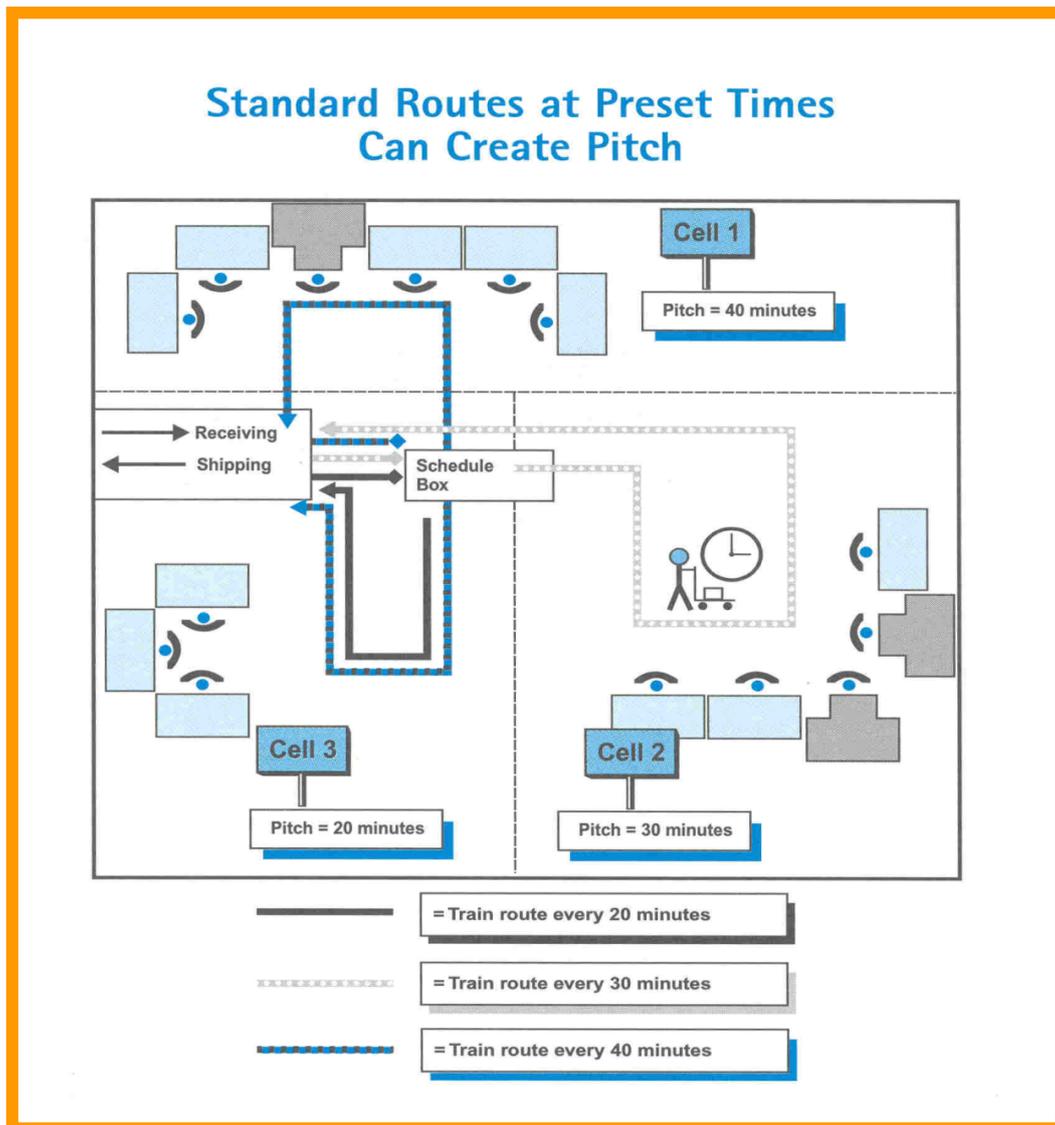


Fig. 22. Rutas estándares para acarreadores (Duggan, 2002).

A continuación, en la figura 23, se ilustra la labor del acarreador en un entorno con un supermercado de producto terminado. Cada *pitch*:

1. Recoge la siguiente tarjeta del panel *heijunka*.
2. Deja la tarjeta en el proceso regulador.
3. Recoge del proceso una cantidad correspondiente al *pitch*.
4. Lleva ese material al supermercado de producto terminado.

Los *kanban* que se generan a partir de la retirada de los materiales del supermercado de producto terminado pueden ser reordenados por el programador en el *mix* adecuado antes de volver a situarlos en el panel *heijunka* (Marchwinski et al., 2003).

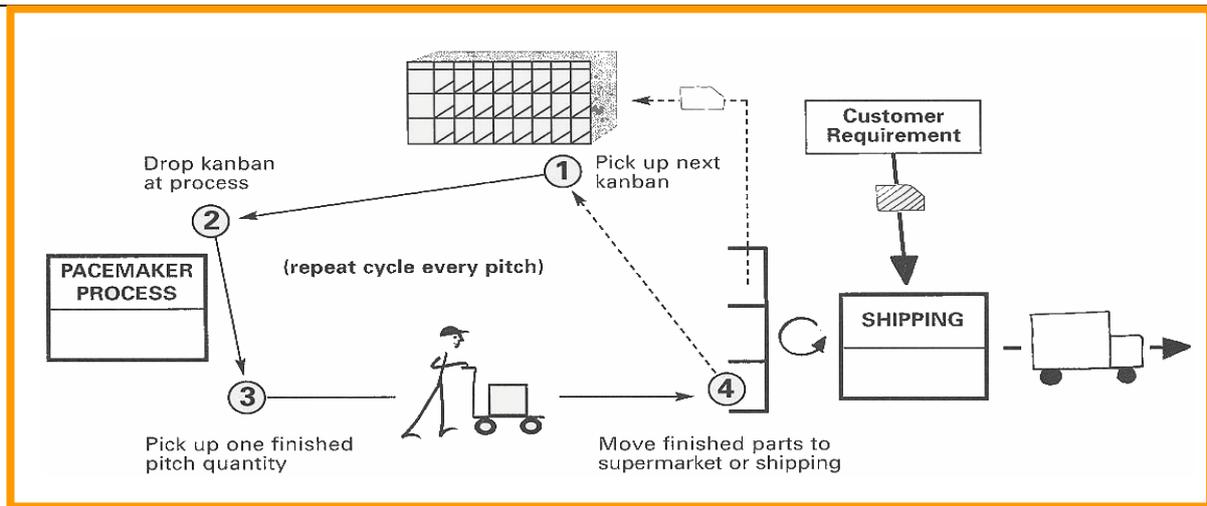


Fig. 23. Ejemplo de funcionamiento del pitch mediante el panel heijunka (Rother et al., 1998.)

2.7.1.2.7 MEJORAR LAS EFICIENCIAS DE LOS MEDIOS PRODUCTIVOS.

Mejorar la flexibilidad de los medios productivos con el fin de responder con rapidez y en lotes pequeños a las necesidades de los procesos aguas abajo es la clave para reducir el nivel de stock en curso, disminuir el efecto *Bullwhip* o *Forrester* y reducir los periodos de maduración.

En definitiva, se trata de mejorar la eficiencia de los recursos productivos para invertir ese tiempo ganado en aumentar el número de cambios, trabajar con lotes mínimos y responder con más rapidez a las necesidades generadas. Un buen sistema para analizar las mejoras necesarias es el estudio carga/capacidad de cada recurso tal y como se muestra en la figura 24.

Estas mejoras habrán de redundar en reducir el tamaño medio de los lotes medido en tiempo o EPEI (*Every Part Every Interval*) Una meta inicial en varios procesos puede ser alcanzar un EPEI diario. Para pasar después a cada turno, cada hora, cada *pallet*, hasta cada *pitch*.

Existen métodos específicos muy útiles tales como el SMED desarrollados sobre todo en Japón para conseguir la mejora de la eficiencia y flexibilidad de los medios productivos (Womack et al., 1996).

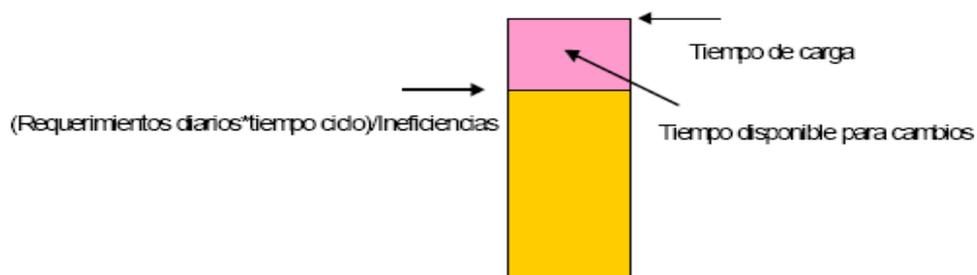


Fig. 24. Estudio carga/capacidad. (Rother et al., 1998).

2.7.1.3. APORTACIONES DEL VSM

Rother (1998), afirma que el VSM cumple con las propiedades demandadas para una técnica de rediseño de sistema productivo (ver introducción del apartado 2.7). Por su parte, Pavnashkar (2003) en su categorización de técnicas *lean*, subraya su gran potencial de cara a la mejora de sistemas productivos. Los argumentos se pueden resumir en:

- El análisis de la situación inicial está basado en la adquisición y tratamiento de datos numéricos y emplea un interfaz gráfico con el que se facilita la visión de los flujos de materiales y de información.
- La visión sistémica de cada familia de producto que refleja las ineficiencias del sistema. Aspecto también señalado por Jones (2003).
- La aportación de un lenguaje común para el equipo y la unificación de conceptos y técnicas *lean* en un único cuerpo. Argumento también reflejado por Baker (2003).
- La posibilidad de que el VSM suponga el punto inicial de un plan estratégico de mejora (Voelkel et al., 2003), (Gregory, 2003, 2004).
- Fuerza a que las decisiones sobre el flujo se visualicen y se puedan discutir, sin dejar que esas decisiones se den u ocurran por defecto.

Por tanto, el VSM se percibe como una herramienta práctica para el fin que se trata de alcanzar: **el diseño y creación de entornos productivos flexibles y eficientes.**

Llegados a este punto, una de las cuestiones que se plantea es la existencia y propiedades de otros modelos orientados al rediseño y mejora de los sistemas productivos. El apartado 2.7.2. Resume la revisión de la literatura realizada de cara a explorar la existencia y campo de aplicación de tales técnicas.

2.8. RESUMEN

Esta primera sección dedicada a la revisión de la literatura y exploración del marco teórico ha servido para dar a conocer el principal propósito de la presente disertación en base al desarrollo de los siguientes puntos de análisis:

- Estudio del sector manufacturero. Su importancia al nivel de la economía global y su necesidad cada vez mayor de adaptación a las crecientes exigencias por parte del mercado.
- Presentación de los sistemas productivos como las plataformas físicas y de información dedicadas a la manufactura de bienes.
- Evolución histórica de los diferentes modelos existentes de cara a organizar los sistemas productivos.
- Presentación de la Producción Ajustada y su evolución como modelo base de cara a la mejora del desempeño productivo.
- Análisis de los resultados reales obtenidos por la Producción Ajustada con lo que se demuestra su validez sobre todo en entornos de manufactura seriada.
- Mostrar la carencia, necesidad y demanda por parte de las empresas manufactureras así como del sector académico, de herramientas que apoyen el proceso de rediseño de sus sistemas productivos.
- Exponer las condiciones que han de cumplir tales modelos para asegurar su practicidad.
- Presentación y análisis de la técnica VSM propuesta por la Producción Ajustada de cara al rediseño y mejora de los sistemas productivos.
- Revisión de otras técnicas, herramientas y metodologías existentes relacionadas con el rediseño de los sistemas productivos con las que subrayar la particularidad del VSM.

Así, si bien se conocen y se han divulgado experiencias particulares de aplicación del VSM, no se conoce ningún análisis cruzado que explore en profundidad la verdadera aplicabilidad y potencialidad del mismo en diferentes entornos fabriles de producción seriada. Es decir, el análisis de aspectos tales como, las verdaderas fortalezas y debilidades de la técnica, su contexto práctico de aplicación, el tiempo, esfuerzo y la formación requerida, los recursos necesarios y las posibilidades de combinación y adaptación con otras técnicas y conceptos productivos.

En definitiva, el principal propósito del presente estudio es **la exploración y determinación de la aplicabilidad de la técnica VSM para el rediseño y mejora de los sistemas productivos.**