



GESTIÓN DE OPERACIONES

DOMINGO PÉREZ - MIRA

Octubre 2007

Sumario

1. Introducción. La dirección de operaciones y la organización
2. La información que se necesita para la gestión de un sistema productivo.
 - 2.1. ¿Qué se quiere fabricar? El plan maestro de producción.
 - 2.2. ¿Cómo se debe fabricar? La estructura del producto o lista de materiales.
 - 2.3. Lo que ya no hay que hacer: lo que tenemos en los almacenes.
 - 2.4. El lugar donde lo queremos hacer: las rutas de producción.
3. El MRP (Material Requirements Planning) o cálculo de necesidades.
 - 3.1. Definición.
 - 3.2. Funcionamiento del MRP
 - 3.3. Aplicación práctica del MRP
4. La planificación de la capacidad de los recursos (CRP).
 - 4.1. Introducción y definición.
 - 4.2. Un ejemplo de cálculo de capacidades.
 - 4.3. Métodos para resolver el problema de la falta de capacidad.
5. Un paso más allá del MRP: el MRP II (Manufacturing Resource Planning).
 - 5.1. Definición del MRP II.
 - 5.2. Los sistemas de gestión de la producción asistida por ordenador (GPAO).
6. El sistema just-in-time.
 - 6.1. Antecedentes e importancia.
 - 6.2. La producción JIT y el sistema de información kanban.
 - 6.3. La regularidad y la flexibilidad en la producción.
 - 6.4. Calidad en el entorno just-in-time.
7. Glosario
8. Bibliografía

1. Introducción

La **logística empresarial** comprende la planificación, la organización y el control de todas las actividades relacionadas con la obtención, el traslado y el almacenamiento de materiales y productos, desde la adquisición hasta el consumo, por medio de y la organización como un sistema integrado. El objetivo que quiere conseguir es satisfacer las necesidades y los requerimientos de la demanda de la manera más eficaz y con el mínimo coste posible. Asimismo, la logística incluye lo que hace referencia a los flujos de información aplicada.

La **dirección de operaciones** se incluye en un marco más general, que es la organización de la empresa a la que pertenece y, para comprender su papel desde el punto de vista global, hay que considerar su posición dentro del esquema definido por los tres niveles tradicionales de decisión: el estratégico, el táctico y el operativo; la dirección de operaciones ocuparía el nivel táctico, en el cual, de acuerdo con los objetivos fijados por la alta dirección (estrategia), hay que utilizar los recursos del sistema físico (operativo) de la mejor manera posible.

El concepto de operación implica las actividades necesarias para realizar económicamente la producción. Es decir, se trata de determinar qué es lo que hay que producir, cuándo y qué cantidad, con qué medios, etc., además de las acciones oportunas para que estas decisiones se lleven a cabo y pueda hacerse un control posterior.

Para conseguir su objetivo básico, hacen falta diferentes actividades o funciones, divididas en dos grupos:

A) Núcleo de la dirección de operaciones:

Previsión de la demanda: el objetivo principal es conseguir entregar a los clientes los productos que adquieren y, por lo tanto, hay que tener disponibles estos productos en el momento en que se produzca la demanda. Para conseguirlo, es conveniente tener información de cómo será esta demanda con suficiente anticipación; para eso es necesaria una previsión de la demanda.

Planificación: una vez sepamos lo que hay que entregar, tenemos que prever cómo podemos actuar para aprovechar al máximo los puntos fuertes del sistema productivo y cómo podemos superar los puntos débiles; éste es el objetivo de la planificación, que se acostumbra a dividir en dos fases: agregada y detallada.

Gestión de stocks: según lo que hayamos planificado, los flujos de materiales generarán unas reservas, cuya gestión debe ser optimizada; por lo tanto, hay que estudiar los niveles apropiados, controlar los que efectivamente hay y registrar adecuadamente los movimientos físicos de los materiales. El conjunto de todo esto se llama gestión de stocks.

Cálculo de necesidades: según la gestión de stocks establecida y los resultados de la planificación, se crearán unas necesidades, tanto de materiales como de otros recursos de producción, de los que también hay que optimizar la gestión. Para eso hay un cálculo de necesidades. Este texto profundizará en los conceptos relativos al cálculo de necesidades.

Programación: el resultado del cálculo de necesidades es un conjunto de órdenes de trabajo concretas que se tienen que ejecutar en el sistema productivo; pero todavía hay numerosos detalles que se deben estudiar y decidir para optimizar el uso del sistema, fundamentalmente problemas de secuenciación y de determinación de calendarios concretos, que impliquen la asignación de recursos concretos a trabajos determinados: esto es la programación.

Lanzamiento: una vez programadas las órdenes de producción, hay que comunicar al sistema productivo qué tiene que hacer; se trata, por lo tanto, de ordenar la ejecución. Esto se conoce como lanzamiento de la producción.

Control de producción: dirigir nunca es una actividad unidireccional. Es necesario un feedback que dé a los responsables de la dirección de operaciones la información necesaria para adecuar las sucesivas decisiones a las nuevas circunstancias. No es posible planificar, gestionar los stocks, programar, etc. sin saber qué está pasando realmente en el interior del sistema productivo. Es necesario, pues, recoger la información sobre lo que se ha hecho, cuál es el estado de las órdenes no acabadas, los niveles de stock, el consumo de recursos de toda clase, las incidencias que ha habido, y muchos otros aspectos de la realidad. Además, no hay suficiente con recoger la información: hay que evaluarla y hay que tomar medidas correctivas convenientes. Todo esto constituye el control de la producción.

Estas partes constituyen lo que podemos llamar el núcleo de la dirección de operaciones. Pero la gestión del sistema productivo requiere también otras actividades que se pueden considerar, en cierto modo, al margen de la gestión diaria, aunque en absoluto son menos importantes que las anteriores.

B) Funciones adicionales:

Diseño del sistema: el sistema productivo no es estático. Por múltiples razones se producen en él cambios continuos que se tienen que prever, estudiar y planificar. Dentro de este paquete, que hemos llamado de diseño del sistema, se incluyen los estudios de métodos y tiempo, los problemas de renovación y de fiabilidad, de distribución en planta, de localización, etc.

Mantenimiento: el sistema productivo, en su estado actual, se compone de máquinas e instalaciones, cuya disponibilidad debe asegurarse durante el máximo tiempo posible. Éste es el objetivo del mantenimiento, que incluye el estudio de las técnicas para la determinación de las acciones que se deben realizar para asegurar esta disponibilidad sin incurrir en unos costes excesivos. El mantenimiento pretende, aparte de comprobar el buen estado de las máquinas, estudiar formas alternativas para continuar manteniendo la misma producción a un coste menor, o bien intentar incrementar la producción con el mismo coste (o que éste sea en una proporción inferior a la actual). Así, busca optimizar la producción.

Calidad: los clientes esperan que los productos que les entregamos cumplan unas especificaciones determinadas. Esto significa que debemos estar suficientemente seguros de que los productos que salen de nuestro sistema productivo las cumplen, si no en todas las unidades y todas las especificaciones, sí al menos en una proporción suficiente (y no entraremos a discutir ahora qué quiere decir suficiente). Esto se llama control de calidad. Por otro lado, hay que emprender acciones oportunas para asegurar que esta proporción tiende a aumentar y que los costes derivados de este aumento no crezcan más de la cuenta, es decir, se requiere una función de gestión de la calidad. Es habitual englobar estas dos funciones bajo el título único de calidad.

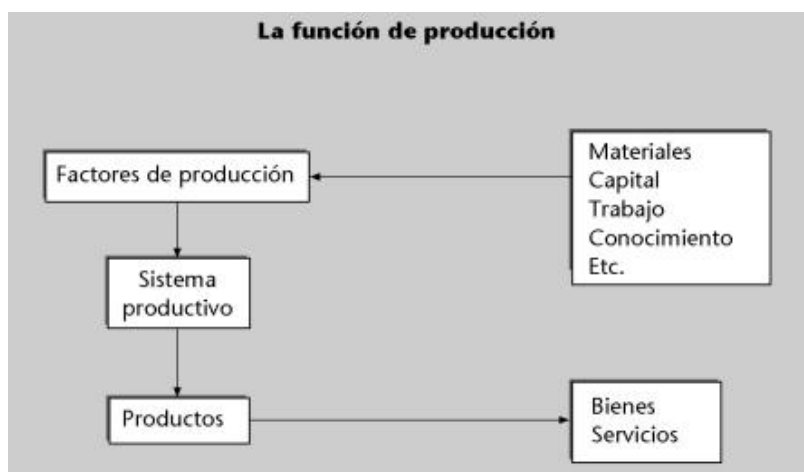
La importancia de la función calidad, varía notablemente según si la economía está en una época de expansión o de recesión. Es curioso observar cómo en una época de expansión la gente, en general, busca una calidad superior aunque sea a un precio más alto, mientras que si hay crisis se busca, en general, un precio más bajo, aunque éste sea a costa de una calidad inferior. De acuerdo con este hecho, la empresa decidirá qué tipo de control de calidad se hace: más estricto o más benévolo.

Producción y operaciones

Se entiende por producción el proceso según el cual unos materiales se transforman en otros. Se trata, pues, de un concepto relacionado al de transformación. Esta transformación se puede entender de manera estricta, limitada a transformaciones físicas (manufactura), o bien de manera amplia, incluyendo transformaciones de lugar (transporte), de utilidad (servicios) o de otro tipo, pero, en todo caso, implica la creación de algo que antes no existía como tal y que tiene una utilidad mayor. Se puede tratar de una cosa material (bienes) o inmaterial (servicios) y su creación durante el proceso productivo implica el consumo de otros recursos (materias primas, mano de obra, energía, horas de máquina, etc.) que desaparecen en el proceso.

El concepto **de operación implica las actividades necesarias para realizar económicamente la producción**. Es decir, se trata de determinar qué es lo que hay que producir, cuándo y qué cantidad, con qué medios, etc..., además de las acciones oportunas para que estas decisiones se lleven a cabo y pueda hacerse un control posterior.

Un sistema productivo, en sentido amplio, es un sistema que, a partir de unas entradas que denominamos factores de la producción (materiales, recursos, mano de obra, saber trabajar, capital), genera unas salidas que genéricamente denominamos productos, de mayor valor que las entradas y por los que el sistema, o la empresa que lo sostiene, obtiene unos beneficios.



Fuente: UOC Universitat Oberta de Catalunya.

A diferencia de las empresas de servicios, en las que el resultado del sistema productivo no tiene por qué tener consistencia física, en las industrias de manufactura el producto es una entidad material, unos bienes fabricados a partir de una serie de elementos o materiales que, a lo largo del proceso productivo y mediante diferentes transformaciones, han modificado su estado hasta convertirse en los productos acabados.

La principal finalidad de las empresas de manufactura es este proceso de transformación; las otras funciones de la empresa (financiera, comercial, de recursos humanos, etc.) sirven de apoyo a la función productiva. Por lo tanto, **la planificación, la gestión y el control correctos de este proceso son de una importancia capital**, no ya como instrumentos de competitividad, sino como elementos de supervivencia de la empresa.

Quienquiera que haya estado en una empresa de fabricación, ya sea como empleado o simplemente como visitante, debe haber percibido que se encuentra ante un sistema extremadamente complejo, cuyo funcionamiento depende de centenares o miles de decisiones elementales (asignación de órdenes de trabajo, aprovisionamientos, movimientos de materiales, órdenes de fabricación, etc.) que se generan a partir del tratamiento y del análisis de miles de datos (productos que se deben fabricar, material almacenado, datos de producción, información sobre los productos, etc.). Estas decisiones responden a objetivos diversos y en muchos casos contradicto-

rios (entrega a los clientes dentro de unos plazos, minimización de los costes de fabricación, reducción de stocks, optimización del uso de recursos y de mano de obra, respuesta a las expectativas del personal, etc.).

Dificultades de la gestión de la producción

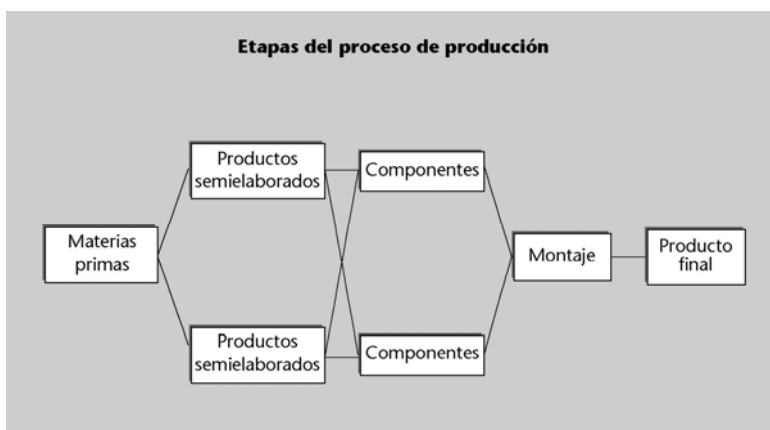
- 1 Imprecisión de las previsiones comerciales (intrínseca a la naturaleza de las previsiones).
- 2 Enfrentamiento con hechos aleatorios (fluctuaciones de la demanda, averías, retrasos en los aprovisionamientos, absentismo laboral, etc...).
- 3 Gran volumen de datos que hay que recoger (pedidos de los clientes, artículos, movimientos de stocks, datos de producción, órdenes de fabricación, etc...).
- 4 Reducción de los plazos de entrega de los productos, cosa que requiere una respuesta rápida del sistema productivo.
- 5 Aumento de la oferta de productos con más variabilidad y personalización.

Es evidente que todo este sistema necesita un instrumento que permita coordinar el gran volumen de información que genera y que, a la vez, la alimenta, y transformar las decisiones de la alta dirección de la empresa en órdenes concretas que puedan ser asumidas por el proceso productivo.

La gestión de materiales dentro de las decisiones de la empresa

Un sistema de gestión de la producción tiene como finalidad el control de un proceso de producción de empresas del entorno de fabricación, proceso que en general se desarrolla en etapas diversas y complejas: primero, unas materias primas se transforman en productos semielaborados; después la unión de varios de estos productos puede generar componentes y, finalmente, el montaje de estos componentes puede permitir la obtención del producto final.

La gestión de la producción debe facilitar a la empresa la administración –de acuerdo con las previsiones y los sucesos futuros– de los recursos disponibles y definir las necesidades de recursos que habrá, así como emprender las acciones necesarias para obtenerlos.

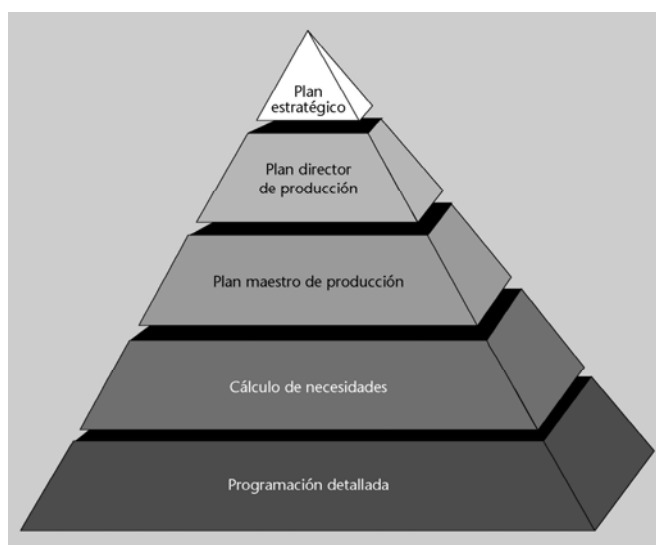


Fuente: UOC Universitat Oberta de Catalunya.

En general, la gestión de la producción actúa en dos fases. Primeramente se define qué materiales, componentes o semielaborados son necesarios, en qué momento hacen falta, en qué cantidad y en qué lugar. A continuación se calculan las necesidades de los diferentes recursos de producción (básicamente mano de obra y maqui-

naria) que se necesitan para llevar a cabo el programa de fabricación determinado en la fase anterior.

La pirámide muestra, de forma muy esquemática, los diferentes niveles de planificación dentro de una empresa, desde la planificación estratégica hasta la programación detallada. La gestión de materiales comprende una serie de decisiones a las que podemos situar dentro de esta pirámide alrededor del cálculo de necesidades y que veremos detalladamente más adelante, pero que también puede comprender parte de la elaboración del plan maestro de producción o de la programación detallada. En todo caso se puede ver que la gestión de materiales es una fase intermedia entre las decisiones tomadas por la alta dirección a largo plazo (plan estratégico, plan director de producción) y las decisiones operativas que actúan directamente sobre el proceso productivo.



Fuente: UOC Universitat Oberta de Catalunya.

En este módulo se analizarán dos procedimientos básicos para comprender el funcionamiento de un sistema de gestión de la producción y los problemas y las necesidades que presenta. Se analizará el cálculo de necesidades mediante el procedimiento MRP y se verá el JIT, o más concretamente su sistema de información kanban, como ejemplo de un método que se puede situar a caballo entre la gestión de materiales y la programación detallada.

Algunos modelos representativos de gestión de la producción

Un modelo de gestión de la producción es una representación conceptual del funcionamiento del sistema productivo que nos ayuda a controlarlo y a dirigirlo.

En las empresas hay varios modelos de gestión de la producción, y no se puede decir que uno sea mejor que otro: cada uno se adapta mejor a un cierto tipo de problemas y a sistemas productivos con determinadas características, de modo que no se puede hablar de una solución universal en lo que se refiere a gestión de producción.

De hecho, la aplicación de cada modelo en concreto difiere de una empresa a otra ya que, si bien cada modelo tiene unos conceptos generales que son comunes a la mayoría de aplicaciones que los sustentan, las características concretas de cada sector industrial y de cada sistema productivo en concreto requieren una particularización del modelo para adaptarlo a las necesidades concretas del sistema.

Además, en la práctica generalmente no se aplican en estado puro, sino que las implantaciones, aun estando basadas en uno de los modelos, suelen tener características de los otros, cosa que les ayuda a adaptarse a los problemas concretos.

Algunos ejemplos de modelos usuales en la industria son los siguientes:

- 1) **MRP**: la planificación de las necesidades de materiales (MRP: materials requirement planning).
- 2) **MRPII**: la planificación de los recursos de fabricación (MRP II: manufacturing resource planning).
- 3) **JIT**: Just-in-Time.
- 4) **TOC**: Teoría de las limitaciones (TOC: theory of constraints).
- 5) **PERT**: el método PERT es quizá el más conocido de una familia de métodos como los CPM, ROY, GERT, VERT, MCX; etc., que están basados en la aplicación de la teoría de grafos para la planificación, la programación y el control de proyectos.

2. La información que se necesita para la gestión de un sistema productivo

Ya se ha comentado la importancia de la gestión de la producción como coordinadora del gran volumen de datos que se genera en el sistema productivo. Una primera inquietud que nos puede aparecer es en qué consiste esta información.

Si quisiéramos gestionar o dirigir el funcionamiento de un proceso productivo, lo primero que tendríamos que hacer es tomar la decisión sobre qué debe producir este sistema o, en otras palabras, cuáles y cuántos productos se tienen que fabricar. Para poder tomar esta decisión, que como podéis imaginar es clave con vistas al éxito de nuestro negocio, necesitaremos datos sobre lo que la dirección de la empresa, a partir de las previsiones de ventas y de los pedidos existentes de los clientes, prevé que se tendrá que fabricar en un horizonte determinado.

Las preguntas	Las respuestas
¿Qué productos queremos fabricar? —————→	Plan maestro de producción
¿Los tenemos o hay que producirlos? —————→	Stocks o inventarios
¿De qué se componen estos productos? —————→	Lista de materiales
¿Cómo se fabrican estas partes? —————→	Rutas de fabricación

Una vez determinado el qué, podremos interesarnos por el cómo se fabrican estos productos: tenemos que saber de qué elementos o materiales se componen los productos finales y cuál es el proceso de transformación que experimentan. Si ya hemos identificado todas estas cuestiones, una última pregunta sería de dónde podemos sacar los diferentes materiales (o más sencillamente, saber si los tenemos o bien si tenemos que comprarlos o fabricarlos).

La obtención de la información necesaria para poder realizar una correcta gestión de la producción implica un gran esfuerzo, ya que:

- 1 Mucha de esta información presenta un cierto grado de incertidumbre: las previsiones comerciales o de ventas, es decir, cuáles y cuántos productos esperamos vender durante los próximos periodos de tiempo, son imprecisas (característica intrínseca a la naturaleza de las previsiones); no se sabe de forma concreta la

cantidad de productos defectuosos que fabricamos, el contenido de nuestros almacenes puede no estar actualizado en tiempo real, etc.

- 2 El volumen de información que hay que procesar puede ser enorme: pedidos de clientes, movimientos de material de almacén, previsiones comerciales, productos y componentes, centros de trabajo, órdenes de producción, compras de materiales, etc. Esta información, además, es generada y utilizada por diferentes departamentos y esto hace que la coordinación sea compleja.
- 3 Hay que afrontar de manera rápida y eficaz las situaciones y los hechos imprevistos o aleatorios: como retrasos en las entregas de los proveedores, absentismo laboral, averías del sistema, rechazo de productos, etc., muchos de los cuales no quedan reflejados en el sistema informático.
- 4 La información es generada por diversos departamentos: esto les obliga a mantener un grado elevado de coordinación para evitar ambigüedades, duplicidades y errores en la información.

A continuación comentaremos con más detalle las fuentes de información de un sistema de gestión de la producción que básicamente son:

- 1) El plan maestro de producción
- 2) La estructura del producto
- 3) El estado de los stocks
- 4) Las rutas de producción

		Semana											
Código	Designación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CA1	Silla grande	323	356	25	330	289	256	232	354	267	392	350	342
CA2	Silla pequeña	720	810	40	840	760	710	680	890	690	920	860	820
TA1	Mesa	65	73	2	71	64	59	54	79	69	73	73	72
AR1	Armario	43	4	47	51	43	40	38	48	56	63	47	44

2.1. ¿Qué se quiere fabricar? El plan maestro de producción

De manera muy esquemática, un plan maestro de producción (MPS: *Master Plan Scheduling*) no es nada más que la definición de las cantidades y las fechas en que han de estar disponibles para la distribución los productos de demanda externa de la empresa, es decir, aquellos productos finales que se entregan a los clientes, entendiendo el término producto final en un sentido amplio, ya que los clientes pueden ser tanto el consumidor último como otra empresa que utilice nuestro producto como componente dentro de su sistema de fabricación.

En general, el plan maestro adopta una forma similar a la de la tabla siguiente, donde se indica, para cada uno de los productos finales que se fabrican (en este caso silla grande, silla pequeña, mesa o armario) las cantidades que hay que producir durante cada uno de los periodos siguientes (en este caso, durante las próxi-

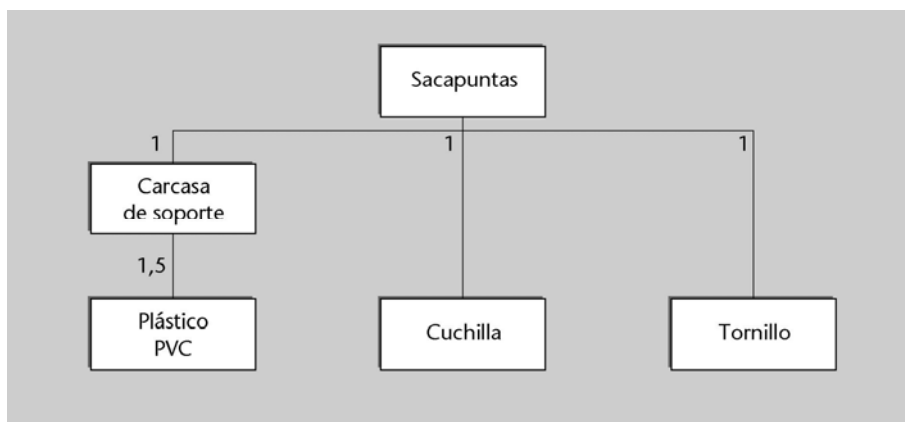
mas doce semanas)

Normalmente, el plan maestro de producción abarca un horizonte de entre 4 y 6 meses y se renueva semanal o quincenalmente. Se realiza a partir de la planificación a largo plazo de la empresa (plan director), sobre la base de las previsiones de ventas y de los pedidos (en firme y pendientes de confirmar) de los clientes.

2.2. ¿Cómo se debe fabricar? La estructura del producto o lista de materiales

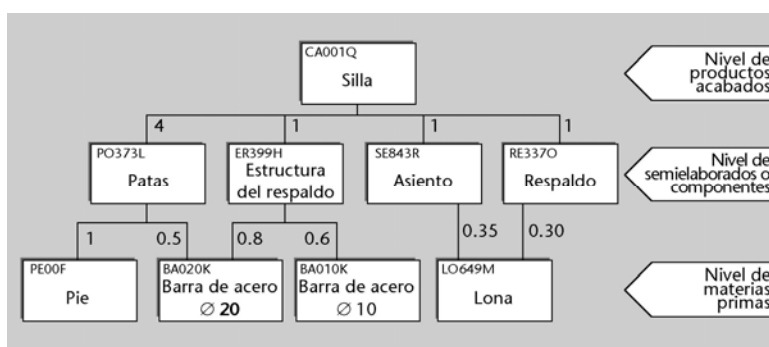
La gran mayoría de productos que podemos encontrar en nuestro entorno están formados por diferentes partes, componentes o materiales. Si cogemos uno cualquiera, por ejemplo, un simple sacapuntas de lápiz, podemos ver que está formado por tres elementos: una cuchilla, un soporte o carcasa y un tornillo que sujeta la cuchilla a la carcasa; a su vez, el soporte está fabricado a partir de una cierta cantidad de material plástico y los elementos metálicos, a partir de una aleación determinada.

Los diferentes elementos que forman un producto y la manera como se van combinando en el proceso de fabricación componen la lista de materiales, que se puede representar en forma de árbol, tal como muestra la figura.



Fuente: UOC Universitat Oberta de Catalunya.

Denominaremos lista de materiales (**BOM: Bill of Materials**) a una lista completa y precisa de todos los componentes y materiales necesarios para la fabricación de un producto final. Denominaremos artículo a cada uno de estos componentes, elementos o productos que aparecen dentro de la estructura del producto. La representación arborescente del sacapuntas sería una manera gráfica de representar una lista de materiales.



Fuente: UOC Universitat Oberta de Catalunya.

Según el entorno productivo en que nos movamos, esta lista puede recibir diferentes nombres como la lista de componentes, fórmulas, especificaciones, etc.

Si analizamos la figura anterior, que muestra una lista de materiales algo más compleja, podemos detectar alguna de las características que debe tener una lista de materiales:

1) En primer lugar, podemos ver que la estructura contiene diferentes niveles: cada cambio de un nivel inferior a uno superior indica una etapa en el proceso de fabricación, que en muchos casos se traduce en un almacenamiento intermedio.

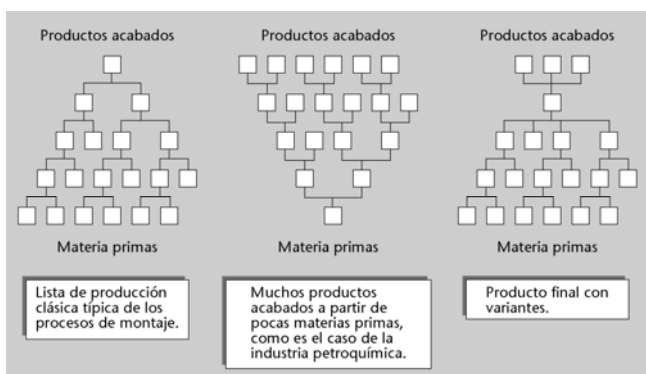
El nivel de elaboración máxima de los artículos, que en general corresponderá a aquellos que comercializa la empresa, la denominaremos nivel de productos acabados. El nivel de menor elaboración de los productos, es decir, los que compramos en el exterior, lo denominaremos nivel de materias primas. Entre ambos niveles puede haber otros semielaborados, componentes, subconjuntos, etc.

Observad que el concepto de nivel sólo tiene sentido si nos referimos a un contexto productivo determinado: lo que para nosotros puede ser un producto acabado, para nuestro cliente puede ser una materia prima que alimenta la fabricación de su producto.

2) En segundo lugar, cada elemento de la estructura debe estar definido de manera unívoca y sin ambigüedades. La empresa que fabrica la silla que ponemos como ejemplo probablemente fabrica otras sillas que se deberán diferenciar. Por esta razón es usual que cada artículo esté codificado de manera que no pueda inducir a ningún tipo de error.

3) En tercer lugar, observamos que se indica el número de artículos de un nivel inferior que son necesarios para formar un artículo de nivel superior (en la estructura arborescente se representa mediante el número que aparece al lado de las ramas).

Esta lista que hemos visto correspondería a una lista básica. Tenemos ejemplos, con pequeñas variantes, en la figura siguiente. A continuación, comentaremos otro tipo de lista de materiales que se usa mucho hoy día: la lista modular.



Fuente: UOC Universitat Oberta de Catalunya.

Consideremos el caso de una industria automovilística y, en concreto, uno de los modelos de vehículo que fabrica. Muy probablemente este modelo tendrá un gran número de variantes: por ejemplo, se podrá adquirir con cinco motorizaciones diferentes, cuatro con gasolina y una con diesel; podrá tener dos o cuatro puertas, llevar catalizador o no, tener techo solar o no; podrá salir con aire acondicionado o sin, cambio de marcha manual de cuatro velocidades, cinco velocidades o automático, elevalunas eléctrico o manual, etc. Todas estas variantes representan $5 * 2 * 2 * 2 * 2 * 3 * 2 = 480$ modelos diferentes, y esto sin tener en cuenta otras posibles varian-

tes como el color de la tapicería, los diferentes niveles de equipamiento, etc.

Una empresa del sector de la automoción aseguraba en la publicidad de uno de sus modelos que podía estar 8 años fabricando vehículos sin que hubiera dos iguales. Afirmaba, por lo tanto, que el modelo tenía más de cuatro millones de variantes. Pero se debe decir que muchas de estas variantes no se llegarán a fabricar nunca (en nuestro ejemplo podemos pensar que las motorizaciones más potentes no se montarán nunca con el cambio de marchas de cuatro velocidades).

De todos modos, vemos que una empresa puede llegar a fabricar una gran cantidad de productos diferentes con la característica de que serían variaciones de un producto base. ¿Esto quiere decir que debe disponerse de una estructura del producto para cada una de las variaciones? Evidentemente, en el caso de la empresa de automoción que comentábamos, trabajar con 4 millones de listas de materiales, aunque todas tengan una gran parte coincidente, resultaría totalmente inviable, y más aún considerando que cada uno de estos productos puede estar formado por miles de componentes y artículos.

Este problema se puede resolver mediante lo que se conoce **como estructura modular del producto**. En lugar de considerar las 480 listas de productos, consideremos que cada producto final está formado por su estructura base, que agrupa los elementos comunes a las diferentes versiones, más una serie de módulos que identifican cada una de las posibles variantes sin intentar combinarlas entre sí: cinco módulos correspondientes a cada una de las cinco motorizaciones, dos más correspondientes a la dotación de dos o cuatro puertas, dos más asociados al hecho de tener catalizador o no tenerlo, etc.

De este modo, sólo habrá 18 listas de materiales asociadas a los diferentes módulos (más la lista asociada a la estructura base), en lugar de las 480 que antes considerábamos.

2.3 Lo que ya no hay que hacer: lo que tenemos en los almacenes

El plan maestro define la cantidad de productos de demanda externa que queremos fabricar en los diferentes períodos de tiempo en que hemos descompuesto el horizonte. El sistema de gestión de la producción deberá tomar una serie de decisiones respecto a la obtención de estos productos y por extensión también de sus componentes: si disponemos de la cantidad requerida en stock es posible que no haga falta fabricarlos o que se tengan que fabricar en una cantidad menor que la definida por el plan maestro.

En todo caso, parece bastante evidente que para saber qué hemos de producir hay que conocer las disponibilidades de los productos, es decir, el estado de los inventarios. Este conocimiento no consiste únicamente en saber qué es lo que hay en el almacén (parte del stock puede estar comprometido para la realización de otros productos, órdenes que se lanzaron en periodos anteriores pueden estar pendientes de recepción, etc.). En general se deberá disponer de información sobre:

- 1) Existencias al principio de cada periodo, que corresponderá a las existencias reales que hay en el almacén en el caso del primer periodo y de las existencias programadas según el programa de fabricación y aprovisionamiento para los siguientes. Se debe tener en cuenta, además, que parte de estas existencias pueden no estar disponibles para ser usadas: productos en cuarentena, pendientes de pasar un control de calidad, pendientes de análisis, rechazados, productos caducados, etc. Debemos saber, además de las existencias físicas, las que están disponibles para el sistema productivo.
- 2) Cantidades pendientes de recibir, procedentes de órdenes de producción o aprovisionamiento que han sido lanzadas en periodos de tiempos anteriores, pero que aún no han sido recibidas.
- 3) Cantidades comprometidas para otras órdenes de producción.
- 4) Stocks de seguridad, definidos en previsión de las posibles oscilaciones de los requerimientos de los pro-

ductos sujetos a una demanda externa que en la mayoría de los casos está prevista, pero que no está del todo determinada, sino que tiene un componente aleatorio que se intenta cubrir con este stock de seguridad.

2.4. El lugar donde lo queremos hacer: las rutas de producción

La ruta de un producto es la descripción de cómo circulan los materiales a través del sistema productivo, entre los centros de trabajo que lo forman, y de las operaciones que en cada uno de estos centros se realizan para poder ir transformando los diferentes artículos en productos acabados.

Así, para cada etapa del sistema productivo, cada cambio de nivel en la estructura del producto (materias primas, productos semielaborados, productos acabados), se deberá tener información sobre:

- Los centros de trabajo donde se realizan las operaciones que permiten transformar los artículos de nivel inferior en otros de nivel superior.
- Las operaciones que se realizan en cada uno de los centros de trabajo y la manera como se deben hacer.
- La secuencia en que, por consideraciones tecnológicas, se deben realizar estas operaciones.

Hay dos datos básicos relacionados con esta descripción del proceso de fabricación que serán de gran interés a la hora de gestionar la producción:

- 1) El tamaño del lote de fabricación o aprovisionamiento, ya que en muchos casos la producción no se realiza unidad por unidad, sino en series productivas. Hemos de tener en cuenta que la adecuación de un sistema productivo a la fabricación de un producto requiere unos tiempos de preparación (cambio de herramientas, ajuste de las máquinas, cambio de moldes, etc.) que pueden no resultar rentables para la producción de un pequeño número de unidades.
- 2) Los plazos de fabricación y aprovisionamiento, es decir, el periodo de tiempo que ha de transcurrir desde que se lanza una orden de fabricación o aprovisionamiento hasta que el producto correspondiente queda a disposición de ser usado.

Quizá habrá que profundizar un poco en la cuestión del tamaño del lote, ya que el tamaño del lote de fabricación de un determinado producto en general es el resultado de minimizar los costes que tiene asociados, es decir, es el resultado de la búsqueda de un equilibrio entre los costes de posesión, asociados al mantenimiento del stock si fabricamos o nos aprovisionamos en series largas, y los costes de lanzamiento o preparación, que decrecen a medida que el tamaño del lote aumenta.

Para establecer los tamaños de los lotes se pueden definir muchos métodos. Como ejemplo se indican los siguientes:

- 1) Lote a lote, en donde el tamaño del lote es igual a las necesidades netas del producto.
- 2) Lote de tamaño fijo, donde el lote tiene un tamaño predefinido e independiente de las necesidades del producto (por ejemplo, producir siempre un lote de 300 unidades).
- 3) Lote mínimo, donde se define un tamaño mínimo de lote (no es rentable producir por debajo de este valor).
- 4) Lote económico, que utiliza el valor medio de las necesidades brutas a lo largo del horizonte de planificación para calcular el lote económico (fórmula EOQ o de Harris-Wilson).

5) Otros (tiempo económico, algoritmo de Silver y Meal, mínimo coste unitario, algoritmo de Wagner y Whitin, etc.).

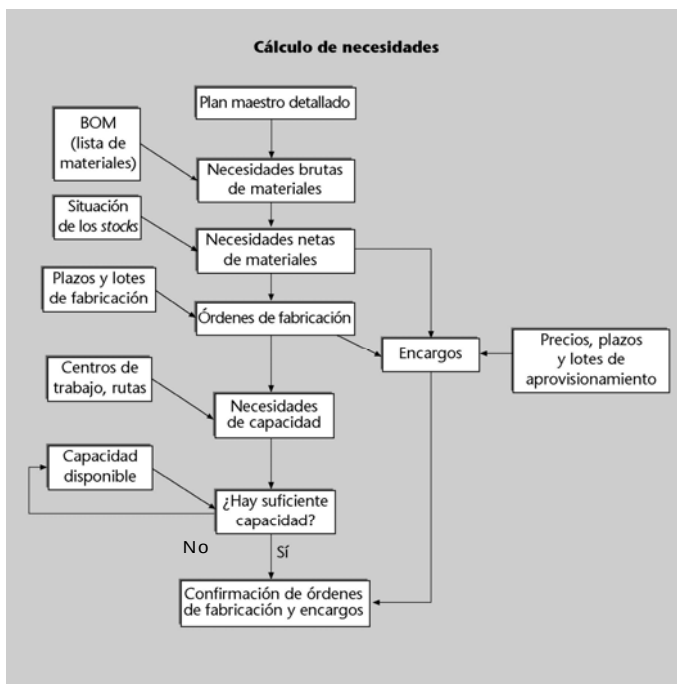
Con referencia a los plazos de fabricación, aunque en realidad el tiempo entre el lanzamiento y la recepción de una orden no acostumbra a ser constante, en la práctica se suele suponer que lo es, o, al menos, es una función lineal del tamaño del lote. Para los artículos de aprovisionamiento externo los plazos pueden ser pactados con los proveedores, pero, para los artículos que fabricamos, el plazo de fabricación puede ser difícil de estimar: depende de la carga de las estaciones de trabajo, de posibles averías, del estado de otras órdenes de trabajo que se deban hacer en las mismas secciones, etc.

En general, a partir de la experiencia práctica se determinan unos valores aproximados de los plazos de entrega, plazos que han de ser establecidos de una manera realista: si son subestimados, las órdenes de producción que se lancen no estarán listas en los momentos en que sean necesarios y los planes de producción serán irrealizables; si están sobrestimados, se generarán stocks indeseables y la subocupación de los diferentes centros de trabajo que intervengan.

3. El MRP (*Material Requirements Planning*) o cálculo de necesidades

3.1. Definición

El sistema MRP (*Material Requirement Planning* o Planificación de las Necesidades de Materiales) es un sistema simple de gestión de la producción que, basado en un sistema informático, proporciona un programa de producción y aprovisionamiento a partir de tres fuentes de información: el plan maestro de producción, el estado de los inventarios y la estructura de fabricación (lista de materiales y rutas de los productos).



Fuente: UOC Universitat Oberta de Catalunya.

El MRP se basa en la consideración de dos tipos de artículos dentro de la empresa, los artículos asociados a una **demanda externa** (a los que denominaremos genéricamente productos acabados) –la información sobre sus necesidades figura en el plan maestro de producción– y los que responden a las **necesidades internas** (piezas, componentes, semielaborados, y materias primas), que en muchos casos son la mayor parte de los productos que intervienen en el proceso de fabricación y cuyas necesidades se pueden calcular de manera mecánica a partir del conocimiento de la estructura del producto, mediante lo que se conoce **como explosión de necesidades**.

Analicémoslo mediante un pequeño ejemplo. Supongamos que tenemos invitados (ocho personas en total) y queremos sorprenderlos con un cóctel de cava, cuya receta se especifica a continuación; el plan maestro, en este caso, sería el número de productos finales que queremos preparar (ocho cócteles).

Cóctel de cava

Ingredientes para un combinado: 14 cl de cava, un terrón de azúcar, unas gotas de angostura, 3 cl de aguardiente, una rodaja de naranja y una copa flauta para cava.

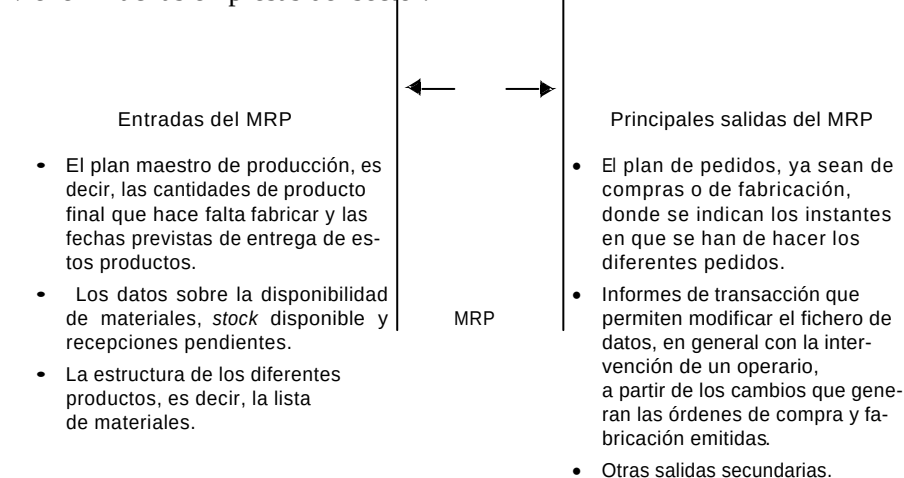
Preparación: enfriad el cava durante cuatro horas en la nevera, helad la copa (mantenedla dos horas en el congelador, sacadla con una servilleta) poned el terrón de azúcar, mojadlo con angostura y después volcad por encima el aguardiente. Acabad de llenar la copa con el cava, decoradla con la rodaja de naranja y servidlo inmediatamente.

La lista de materiales en este caso es la lista de ingredientes y la estructura de fabricación se podría asimilar en la misma receta, en la cual se describe el proceso de elaboración y los plazos de entrega (por ejemplo, dos horas para helar el vaso).

Hacer el cálculo de necesidades es determinar el número de unidades de cada uno de los componentes de los productos que hacen falta para satisfacer la demanda externa; en el caso de nuestro cóctel, las conclusiones de la explosión del producto serían que para hacer ocho cócteles necesitamos 112 cl de cava, ocho terrones de azúcar, ocho copas, 24 cl de aguardiente, ocho rodajas de naranja y una pequeña cantidad de angostura.

El paso siguiente consistiría en comparar estas necesidades con las disponibilidades de nuestro mueble bar y ver qué es lo que debemos comprar para poder hacer los combinados. Aquí deberemos tener en cuenta los efectos de la clasificación por lotes, ya que difícilmente conseguiremos que se vendan 112 cl de cava, ocho terrones de azúcar, ocho copas, 24 cl de aguardiente, ocho rodajas de naranja y una pequeña cantidad de angostura.

Este ejemplo es muy simple, pero, en general, el planteamiento es similar, aunque a otra escala evidentemente, a la de un sistema de fabricación mucho más complejo, como puede ser la industria automovilística, en que cada vehículo tiene miles de componentes. Hay muchos niveles dentro del sistema productivo en los que inter-



El MRP parte de una información básica formada por:

- 1) Las cantidades de productos acabados que se quieren fabricar y los momentos en que éstos deben estar listos. Esta información en general la facilita el plan maestro de producción.
- 2) La cantidad de materiales, componentes y elementos constructivos de que se dispone en el momento actual para la fabricación de los productos y las posibles variaciones previstas de éstos stocks.
- 3) La estructura de los productos que se quieren fabricar, es decir, la lista de materiales correspondiente a los productos acabados. *Lista de materiales: Indica de qué partes o de qué componentes está formada cada unidad (cada artículo) y permite, por tanto, calcular las cantidades de cada componente que hacen falta para fabricarlos.*
- 4) Datos de fabricación de los productos: lotes, plazos de entrega de los productos, etc.

A partir de estos datos, el principal resultado previsto del MRP es un calendario de pedidos para cada uno de los artículos que intervienen en el proceso productivo, donde se indicará el momento en que hay que emitir el pedido, ya sea de fabricación o de aprovisionamiento, y el momento en que el pedido, ya listo, queda disponible para ser usado en una etapa posterior del proceso productivo.

Estos pedidos, en general, se transformarán en:

- 1) órdenes de movimiento de materiales (entradas y salidas de almacén, movimientos entre centros de trabajo),
- 2) órdenes de trabajo (asignaciones de tareas a los centros de trabajo, instrucciones a los operarios),
- 3) pedidos al exterior (compras o subcontrataciones).

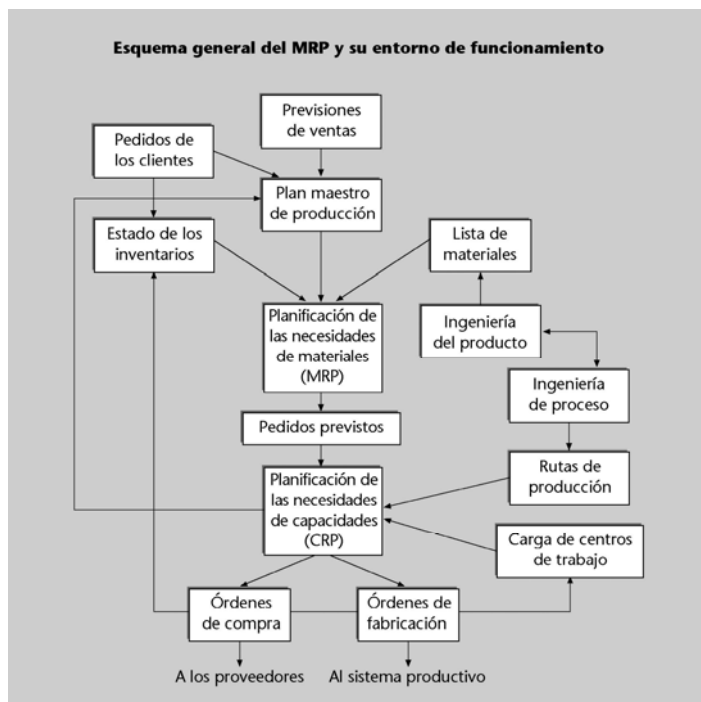
Todo esto genera una serie de transacciones (variaciones en el nivel de stocks, variaciones en la carga de las máquinas, etc.) que modifican el sistema productivo y, por lo tanto, como el MRP en la realidad se apoya en el uso de un sistema informático, habrá que hacer las modificaciones correspondientes en las bases de datos de la empresa. De todas formas, y a pesar de la potencialidad que tiene un sistema como el MRP, éste se basa en unas hipótesis que en algunos casos restringen la posibilidad de su aplicación:

- El tamaño de los lotes se determina de forma independiente para cada uno de los artículos según una política definida a priori.
- Los plazos de fabricación y aprovisionamiento son fijos y conocidos para cada artículo, y pueden variar de un artículo a otro.
- Está orientado a los productos acabados, de forma que calcula las necesidades de los componentes a partir de las de los artículos finales.
- Se basa en la demanda futura de los productos acabados, reflejada en el plan maestro de producción.
- La exploración de las necesidades se realiza en carga infinita, es decir, no se consideran las posibles limitaciones de capacidad productiva que pueda haber.

3.2. Funcionamiento del MRP

El proceso para elaborar un MRP es el siguiente:

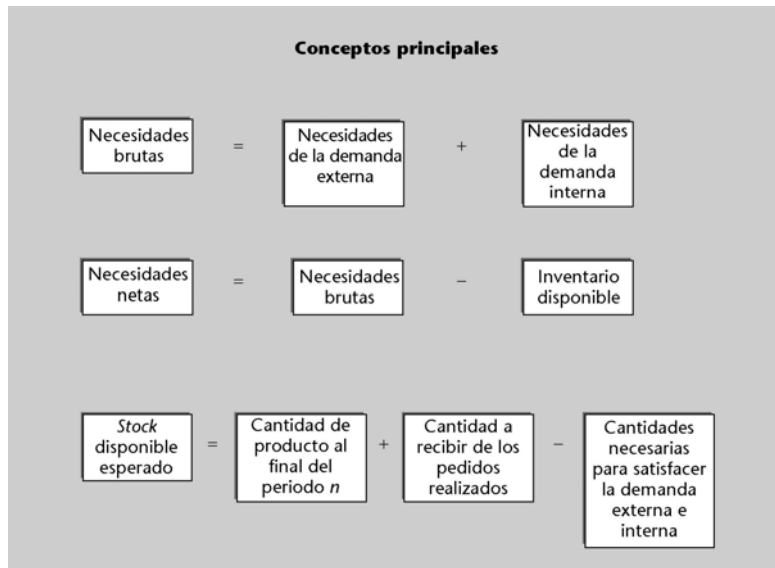
- 1) Se ordenan los artículos por niveles, empezando por el nivel de productos acabados y acabando por el de materias primas.
- 2) Se escoge un artículo del nivel más bajo todavía no tratado.
- 3) Se calculan las necesidades brutas asociadas a este artículo mediante la suma de las necesidades asociadas a la demanda externa e interna.
- 4) Se calculan las necesidades netas restando a las necesidades brutas el inventario disponible para satisfacer esta demanda.
- 5) Se calcula el tamaño del lote necesario de acuerdo con las políticas preestablecidas y de esta manera se obtienen los momentos en que hay que recibir los lotes definidos.



Fuente: UOC Universitat Oberta de Catalunya.

6) Se calcula en el tiempo la emisión de las órdenes según el plazo de fabricación o de aprovisionamiento, de forma que se emitan con suficiente antelación para que la recepción corresponda al momento determinado en el paso anterior.

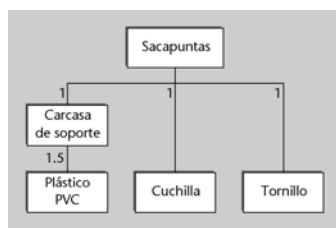
7) Si quedan artículos por analizar, se vuelve al paso 2.



Fuente: UOC Universitat Oberta de Catalunya.

3.3. Aplicación práctica del MRP

Probablemente, la mejor manera de comprender el funcionamiento de un sistema MRP es analizarlo mediante un ejemplo práctico. Consideramos el ejemplo de una empresa que fabrica sacapuntas, en la que el sacapuntas es el único producto acabado; el material plástico, la cuchilla y el tornillo son las materias primas y hay un nivel intermedio formado por la carcasa, que se fabrica en una máquina de inyección a partir del plástico.



Por lo que se refiere a los otros datos necesarios, la tabla muestra para los diferentes artículos el stock disponible actualmente, el tamaño de los lotes de fabricación, el plazo de fabricación o aprovisionamiento, y las recepciones programadas.

Código del artículo	Descripción	Nivel	Stock inicial	Tamaño del lote	Plazo de entrega	Recepciones programadas (semana/cantidad)
MA01	Sacapuntas	0	700	500	1 semana	
CA02	Carcasa de soporte	1	400	1.000	1 semana	1/1.000
PV03	Material de plástico	2	150	2.000	2 semanas	1/2.000
GA04	Cuchilla	2	150	1.000	2 semanas	2/1.000
CG0	Tornillo	2	2.200	5.000	3 semanas	

El plan maestro de producción, elaborado a partir de los pedidos que han realizado nuestros clientes y de las previsiones de ventas, indica que durante las seis semanas siguientes hay que fabricar 500, 600, 750, 400, 400 y 600 sacapuntas, respectivamente.

Para hacer el cálculo de necesidades nos ayudará una tabla como la siguiente:

Artículo:			Periodo de tiempo (semanas)						
Código			Stock	1	2	3	4	5	6
Nivel		Necesidades brutas							
Tamaño del lote		Recepciones programadas							
Stock inicial		Stock disponible esperado							
Plazo de entrega		Necesidades netas							
		Pedidos (recepción)							
		Pedidos (lanzamiento)							

Esta tabla corresponde a una hoja típica de planificación de un sistema MRP. Observamos que se puede dividir en dos partes. A la izquierda hay diversas características y datos sobre el producto, que necesitaremos saber para realizar posteriormente las operaciones asociadas al MRP. A la derecha tenemos la hoja de trabajo propiamente dicha. Esta hoja se descompone en tantas columnas como periodos de tiempo queremos analizar en el futuro, más una al principio en la que se indica el stock disponible en el momento inicial.

Por filas, la información que hay que ir indicando es la siguiente:

Necesidades brutas: cantidad de producto que debe estar disponible para el suministro al exterior (demanda externa), para ser usado en otros procesos productivos de la empresa o en otras fases de fabricación (demanda interna). La demanda externa corresponderá en general al plan maestro de producción (artículos de demanda independiente).

Recepciones programadas: en esta fila se indicarán las recepciones correspondientes a pedidos realizados en el pasado y que tienen que llegar en las próximas semanas.

Stock disponible esperado: cantidad de producto que queda en inventario al final del periodo correspondiente, después de añadir al stock existente al final del periodo anterior las cantidades correspondientes a las recepciones de pedidos realizadas y de restarle las cantidades necesarias para satisfacer las demandas externa e interna.

Necesidades netas: parte de la demanda de productos se podrá satisfacer mediante el stock existente en aquel momento. Llamaremos necesidades netas a las necesidades de un artículo que no pueden ser suministradas con el stock previsto y que, por lo tanto, obligarán a hacer un pedido o una orden de fabricación.

Pedidos (recepción): cantidades de producto que serán recibidas en este periodo procedentes de órdenes de compra o de fabricación emitidas durante los periodos anteriores. Se diferencia de las necesidades netas por el hecho de que, según la política de lotes que se establezca, puede no ser adecuado fabricar o aprovisionarse a partir de la cantidad estrictamente necesaria de producto. Por ejemplo, aunque nuestras necesidades netas del artículo sean de 23 unidades, si éste se adquiere en cajas de 100, la recepción prevista corresponderá a las 100 unidades del lote de compra.

Pedidos (lanzamiento): si tenemos en cuenta el plazo de fabricación, para poder tener disponible un pedido en un periodo determinado, puede haber sido necesario emitir la orden de compra o de fabricación unos cuantos periodos antes de que haya habido necesidad real.

Se empieza por el nivel de productos acabados (en nuestro ejemplo solamente hay un producto en este nivel, el sacapuntas). Se calculan las necesidades brutas asociadas a este artículo y se indican en la tabla (en este caso, las necesidades brutas corresponden a la demanda externa del producto, ya que no hay consumo interno).

Teniendo en cuenta que el stock inicial es de 700 unidades, con esta cantidad hay suficiente para cubrir las necesidades del primer periodo y aún quedarán 200 unidades para periodos posteriores. La demanda durante el segundo periodo es de 600 unidades, de las que 200 se pueden satisfacer con el stock acumulado durante la semana 1, pero las 400 unidades que faltan tendrán que ser fabricadas y en consecuencia se anotarán en la fila de necesidades netas. La producción de sacapuntas se realiza en lotes de 500 unidades; por lo tanto, aunque sólo necesitemos 400, habrá que recibir durante la semana 2 un lote completo de 500 unidades. Como el plazo de fabricación es de una semana, para poder disponer de este lote la segunda semana del mes, la orden de emisión se debería haber hecho la semana 1. Como el lote recibido es de 500 unidades y solamente se consumen 400, quedan 100 sacapuntas en stock disponible para la semana 3 y las posteriores.

Artículo: Sacapuntas			Periodo de tiempo (semanas)						
			Stock	1	2	3	4	5	6
Código	MA01	Necesidades brutas		500	600	750	400	400	600
Nivel	0	Recepciones programadas							
Tamaño del lote	500	Stock disponible esperado	700	200	100	350	450	50	450
Stock inicial	700	Necesidades netas			400	650	50		550
Plazo de entrega	1 semana	Pedidos (recepción)			500	1000	500		1000
		Pedidos (lanzamiento)		500	1000	500		1000	

Por lo que se refiere a la tercera semana, las necesidades brutas son de 750 unidades, de las cuales 100 se pueden obtener a partir del stock remanente de la semana anterior; las otras 650 se tendrán que fabricar y por lo tanto se anotan como necesidades netas. Como el lote de fabricación es de 500 unidades, durante esta semana tendríamos que recibir un pedido de 1.000 unidades (dos lotes), pedido que para que pueda ser recibido en ese momento, tiene que ser emitido durante la semana 2. Como de las 1.000 unidades recibidas solamente se utilizan 650, quedan 350 en stock para las próximas semanas.

La figura muestra con más detalle cómo se realizan estos cálculos en un caso genérico.

Observamos cuáles son los resultados que nos proporciona el MRP. Si analizamos las dos últimas filas de la tabla vemos que corresponden a un calendario de órdenes de fabricación (en el caso de artículos de procedencia exterior sería un calendario de aprovisionamiento); en efecto, en la última fila tenemos información sobre las fechas en que hay que lanzar los pedidos relativos a este artículo y sobre la cantidad de producto que hay que fabricar correspondiente a estos pedidos, y en la penúltima fila tenemos información sobre la recepción de estos pedidos.

Ejemplo de cálculo MRP

Actualmente hay en el almacén 8 unidades de producto (*stock* inicial) y el próximo periodo esperamos recibir 15 unidades más (recepciones programadas del periodo 1). La demanda de fabricación es de 12 unidades para el periodo 1 (necesidades brutas). Entre lo que hay en el almacén y lo que se recibirá podemos satisfacer la demanda de producto y todavía quedarán $8 + 15 - 12 = 11$ unidades de producto disponible al fin del periodo 1 que podrán ser utilizadas para cubrir las necesidades del periodo siguiente.

	Periodo				
	Stock inicial	1	2	3	4
Necesidades brutas		12	18	25	12
Recepciones programadas		15			
Stock disponible esperado	8	11	8	13	1
Necesidades netas			7	17	
Pedidos (recepción)			15	30	
Pedidos (lanzamiento)		15	30		

La demanda de producto (necesidades brutas) durante el segundo periodo es de 18 unidades, 11 de las cuales se pueden cubrir con el *stock* que queda del periodo anterior (*stock* disponible de la semana 1). Esto implica que quedan 7 unidades de producto (necesidades netas que deben ser fabricadas). Si suponemos que este producto se fabrica en lotes de 15, hay que prever la recepción de un lote durante esta semana (recepción de pedidos de la semana 2). Para que el pedido se pueda recibir durante la semana 2, si consideramos un plazo de fabricación de un periodo, la orden de fabricación se tiene que lanzar durante el periodo anterior.

Fuente: UOC Universitat Oberta de Catalunya.

Habría que hacer el mismo proceso para todos los productos correspondientes del nivel de productos acabados antes de empezar en el primer nivel de componentes. A diferencia de los productos acabados, la demanda de los componentes estará inducida por las necesidades que se tienen de los artículos de niveles superiores, por lo tanto, la demanda de carcasas de plástico dependerá de las necesidades de sacapuntas que tengamos.

¿Cuándo tendremos necesidad de disponer de las carcasas? Nos interesa disponer de ellas en el momento en que se necesiten para montar los sacapuntas. En otras palabras, cuando lanzamos una orden de producción para fabricar 500 sacapuntas, debemos tener a punto, para poder iniciar su fabricación, todos los componentes necesarios. En concreto, para iniciar la producción de 500 sacapuntas habrá que tener a punto 500 carcasas en el momento de emitir la orden de fabricación, es decir, la primera semana.

De este modo, lo que se pretende es “explotar” los pedidos efectuados en cada nivel y determinar las necesidades brutas correspondientes al nivel inmediatamente inferior. Así, la tabla inicial correspondiente a la carcasa de plástico donde se han indicado los datos iniciales, y los pedidos de sacapuntas se han transformado en una cantidad equivalente (ya que la relación es de una carcasa por sacapuntas, según se indica en la estructura del producto) de necesidades brutas de este componente. A partir de aquí el proceso de resolución de la tabla sería el mismo que en el caso del producto acabado.

Artículo: Carcasa de plástico			Periodo de tiempo (semanas)						
Código	CA02	Necesidades brutas	Stock	1	2	3	4	5	6
Nivel	1	Recepciones programadas		500	1000	500		1000	
Tamaño del lote	1000	Stock disponible esperado	400						
Stock inicial	400	Necesidades netas							
Plazo de entrega	1 semana	Pedidos (recepción)							
		Pedidos (lanzamiento)							

Artículo: Carcasa de plástico			Periodo de tiempo (semanas)						
Código	CA02	Necesidades brutas	Stock	1	2	3	4	5	6
Nivel	1	Recepciones programadas		500	1000	500		1000	
Tamaño del lote	1000	Stock disponible esperado	400	900	900	400	400	400	400
Stock inicial	400	Necesidades netas			100			600	
Plazo de entrega	1 semana	Pedidos (recepción)			1000			1000	
		Pedidos (lanzamiento)		1000			1000		

Para ver si habéis comprendido el funcionamiento del sistema MRP, tendríais que acabar de resolver el problema y determinar las órdenes de aprovisionamiento que hay que lanzar para los productos que se compran en el exterior (el material plástico, las cuchillas y los tornillos). A continuación, para que podáis comprobar los resultados, se muestran las tablas finales que se obtienen.

Artículo: Material de plástico			Periodo de tiempo (semanas)						
Código	PV03	Necesidades brutas	Stock	1	2	3	4	5	6
Nivel	2	Recepciones programadas		1500	2000				
Tamaño del lote	2000	Stock disponible esperado	150	650	650	650	1150	1150	1150
Stock inicial	150	Necesidades netas					850		
Plazo de entrega	2 semanas	Pedidos (recepción)					2000		
		Pedidos (lanzamiento)			2000				

Artículo: Cuchilla			Periodo de tiempo (semanas)						
Código	GA04	Necesidades brutas	Stock	1	2	3	4	5	6
Nivel	2	Recepciones programadas		500	1000	500		1000	
Tamaño del lote	1000	Stock disponible esperado	800	300	300	800	800	800	800
Stock inicial	800	Necesidades netas				200		200	
Plazo de entrega	2 semanas	Pedidos (recepción)				1000		1000	
		Pedidos (lanzamiento)		1000		1000			

Artículo: Tornillo			Periodo de tiempo (semanas)						
Código	CG05	Necesidades brutas	Stock	1	2	3	4	5	6
Nivel	2	Recepciones programadas		500	1000	500		1000	
Tamaño del lote	5000	Stock disponible esperado	2200	1700	700	200	200	4200	4200
Stock inicial	2200	Necesidades netas						800	
Plazo de entrega	3 semanas	Pedidos (recepción)						5000	
		Pedidos (lanzamiento)			5000				

4. La planificación de la capacidad de los recursos (CRP)

4.1. Introducción y definición

Si en lugar de hacer cócteles de cava para ocho personas organizamos una fiesta más multitudinaria y queremos hacer combinados para cincuenta invitados, la exploración de necesidades mostrará que hacen falta 700 cl de cava, 40 terrones de azúcar, un buen chorro de angostura, 150 cl de aguardiente, 50 rodajas de naranja y 50 copas. Supongamos que el día anterior a la celebración de la fiesta nos hemos aprovisionado de todos los ingredientes. El día indicado ponemos las botellas de cava en la nevera y dos horas antes de servir las copas intentamos helarlas, pero entonces nos damos cuenta de que en el congelador sólo hay espacio para unas 35 copas y que, por lo tanto, no podremos tenerlas a punto para servir la bebida.

Hemos encontrado, pues, una limitación de capacidad en nuestro sistema productivo. Un centro de trabajo, el congelador, no tiene suficiente disponibilidad para realizar en el plazo fijado las órdenes de trabajo encomendadas: helar 50 copas. Probablemente en este caso el problema no sería muy grave. Podríamos pedir a un vecino que nos dejase helar las copas en su congelador, o intentar hacer la operación con hielo picado, o helar 35 y dejar el resto para un segundo turno, con lo que algunos invitados tendrían que esperar para ser servidos, o simplemente suprimir este paso del proceso de preparación.

Este ejemplo ilustra el siguiente paso que hay que realizar una vez hecho el cálculo de necesidades, que es calcular la capacidad necesaria en las diferentes secciones y centros de trabajo, y compararla con la capacidad disponible de éstos para analizar si el plan de producción establecido es viable o no lo es.

El MRP realiza los cálculos en capacidad infinita. Tened en cuenta que hemos calculado la cantidad de productos que teníamos que fabricar durante cada periodo de tiempo, pero nunca nos hemos preguntado si teníamos personal, maquinaria e instalaciones suficientes para fabricarlos, por lo tanto, hemos supuesto que, independientemente del tamaño de la orden de producción que hay que lanzar, teníamos suficiente capacidad productiva para responder de ello y tener listo el lote en el plazo fijado. Hay que matizar esta afirmación. Los problemas de capacidad han sido considerados en parte dos veces: primero, durante la elaboración del plan maestro cuya supuesta factibilidad hace que haya que tener en cuenta, aunque de forma agregada y quizá sólo en relación con los recursos críticos, ciertas limitaciones de capacidad; segundo, en la definición de los plazos de fabricación, ya que éstos quedarán definidos teniendo en cuenta las posibles cargas de los centros de trabajo.

Al proceso que consiste en calcular las capacidades necesarias en los diferentes centros de trabajo para satisfacer las órdenes de fabricación y compararla con las necesidades existentes lo llamaremos planificación de las necesidades de capacidad (CRP: *Capacity Requirements Planning*).

Por lo tanto, el CRP es una técnica que informa de las necesidades de capacidad asociadas a los pedidos de todos los artículos de la empresa planificados según el MRP; considerando ilimitada la disponibilidad de los recursos. La mecánica del proceso se realiza en cuatro pasos básicos:

Paso 1: Determinación de la carga generada por todos los pedidos planificados en cada uno de los centros de trabajo.

Paso 2: Periodificación de estas cargas asignadas a lo largo de los periodos de fabricación o suministro (lead time o periodos de entrega).

Paso 3: Determinación de la capacidad necesaria por periodo en cada centro de trabajo.

Paso 4: Comparación de la capacidad disponible con la necesaria y determinación de las desviaciones.

Hay muchos factores que pueden afectar a la capacidad productiva, y algunos pueden quedar bajo el control de los gestores del sistema, pero otros, no. Entre los controlables podemos considerar la mano de obra, la maquinaria, las herramientas, la subcontratación, las horas extras, el mantenimiento preventivo, los materiales, etc. Entre los no controlables o menos controlables, podemos indicar la climatología, el absentismo laboral, los fallos de equipamiento, etc.

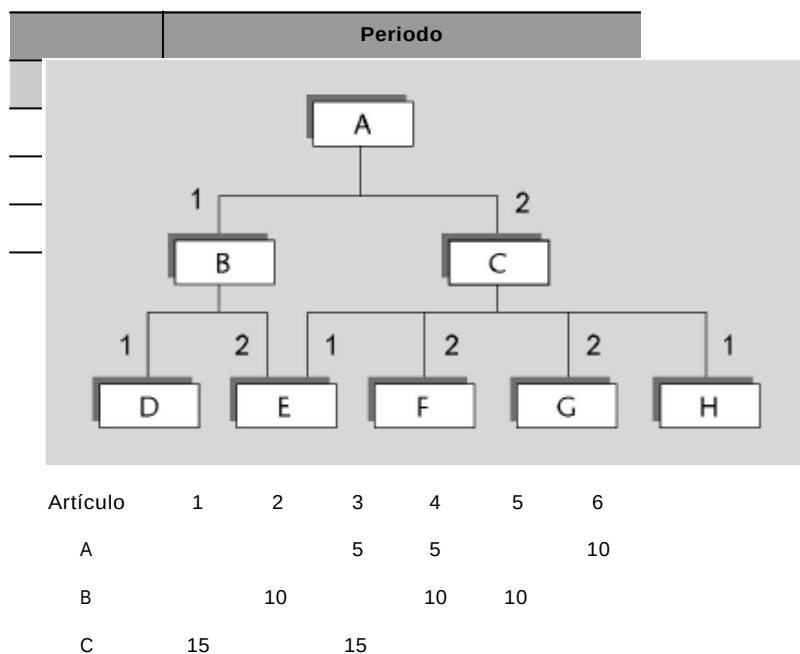
4.2. Un ejemplo de cálculo de capacidades

Consideramos el siguiente ejemplo ilustrativo del funcionamiento de la técnica CRP: el producto final A es el resultado del montaje de una unidad del componente B y dos del C, las cuales, por su parte, se obtienen a partir de las materias primas D, E, F, G y H, que se compran en el exterior según muestra la figura.

El montaje de A y la construcción de B y C requieren las operaciones indicadas en la siguiente tabla, en la cual se muestra el nombre del artículo (A, B o C), el tamaño del lote de producción, el plazo de fabricación, el número de operaciones (una etapa del proceso productivo puede requerir una o varias operaciones para transformar los componentes de un nivel más bajo en artículos de un nivel superior, operaciones que se pueden realizar en uno o más centros de trabajo) la descripción elemental del contenido de la operación, el centro de trabajo, CT, donde se realiza esta operación (en este caso los centros de trabajo se designan como S1, S2 y S3) y las horas de fabricación necesarias (HF) para realizar la operación indicada sobre el artículo en el centro de trabajo correspondiente.

Referencia o Artículo	Tamaño del lote	Plazo de entrega	Op.	Descripción	CT	HF
A	5	2 semanas	1	Montaje	S1	4
B	10	1 semana	1	Torneado	S2	5
			2	Montaje	S1	3
C	15	3 semanas	1	Torneado	S2	5
			2	Fresado	S3	4
			3	Montaje	S1	6

Consideramos que ya se ha realizado el cálculo de necesidades sobre la demanda de producto final y que las órdenes de fabricación para los seis próximos periodos de los artículos A, B y C, según los stocks existentes y las cantidades comprometidas, son:



Estos datos corresponden a los momentos de emisión de las órdenes; para calcular los momentos de recepción solamente hay que desplazar estas cantidades a los periodos correspondientes a los plazos de fabricación.

Ahora haremos el cálculo de requerimientos de capacidades asociado a estos datos.

1) El primer paso consiste en determinar la carga generada por cada orden de trabajo a cada una de las diferentes secciones o centros de trabajo S1, S2 y S3. Para hacerlo, sólo hay que multiplicar el número de artículos que hay que fabricar durante cada periodo por el número de horas necesarias para hacer una unidad de artículo. Por ejemplo, durante la primera semana hay una orden de producción de 15 unidades del artículo C; como se tardan cinco horas en tornearse el artículo, cuatro en fresarlo y seis en montarlo (operaciones que se realizan respectivamente en los centros S2, S3 y S1) para fabricar el lote de 15 unidades necesitamos disponer de 75 horas en el centro de trabajo S2, 60 en el centro S3 y 90 en el centro S1. Haciendo los mismos cálculos para todos los artículos se obtiene:

		Periodo					
Centro de trabajo	Artículo	1	2	3	4	5	6
S1	A			20	20		40
	B		30		30	30	
	C	90		90			
S2	B		50		50	50	
	C	75		75			
S3	C	60		60			

2) El segundo paso consiste en periodificar las cargas a lo largo del plazo de fabricación. Si hacen falta tres periodos para realizar una tarea, no parece lógico que toda la carga de trabajo quede concentrada sobre aquel

periodo en que se hace el
carga tendría que repartirse entre todo el plazo de entrega.

pedido de fabricación,

sino que esta

Centro de trabajo	Artículo	Periodo					
		1	2	3	4	5	6
S1	A			10	20	10	20
	B		30		30	30	
	C	30	30	60	30	30	
S2	B		50		50	50	
	C	25	25	50	25	25	
S3	C	20	20	40	20	20	

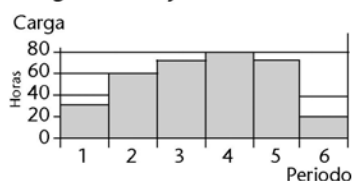
Así, en el caso del artículo A, como el tiempo de fabricación es de dos semanas, la orden de producción correspondiente a la semana tres, que tenía una carga de 20 horas de trabajo, se ha repartido entre las semanas tres y cuatro, las dos semanas que constituyen el plazo de entrega; y se ha hecho lo mismo con las órdenes de producción correspondientes a la semana cuatro, que se ha repartido entre las semanas cuatro y cinco, y la semana seis (en este caso la orden se ha repartido entre las semanas seis y siete, pero esta última queda fuera del horizonte de planificación).

3) El tercer paso consiste en agregar la carga asociada a cada centro de trabajo, y eso se hace sumando las cargas asociadas a cada artículo que se realiza en aquel centro de trabajo.

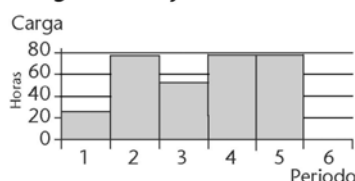
Centro de trabajo	Periodo					
	1	2	3	4	5	6
S1	30	60	70	80	70	20
S2	25	75	50	75	75	
S3	20	20	40	20	20	

Una forma más ilustrativa de presentar esta información es mediante un diagrama de barras, como el que se muestra en la figura.

Carga de trabajo de la sección S1

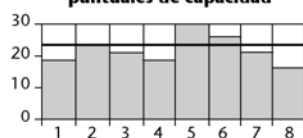


Carga de trabajo de la sección S2



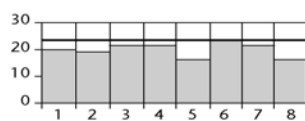
4) El último paso consiste en comparar la capacidad requerida para llegar a las cantidades que hay que fabricar y la capacidad disponible de los recursos. Si la capacidad requerida supera en algún momento la disponible, quiere decir que en las condiciones actuales no se pueden producir los productos prefijados en el plan maestro. La figura muestra algunas de las situaciones que se pueden dar.

Sistema con problemas puntuales de capacidad



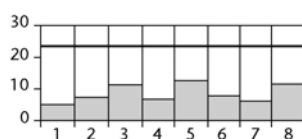
Este sistema productivo presenta el problema de que, en determinados periodos, la capacidad necesaria (barras) supera la disponible (línea). Probablemente se podrá resolver con un reajuste de las órdenes de producción.

Sistema con funcionamiento correcto



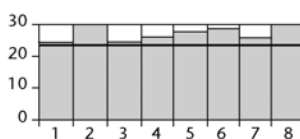
Los recursos disponibles siempre superan ligeramente las necesidades.

Sistema sobredimensionado



Las necesidades de capacidad están muy por debajo de la disponibilidad. Hay un exceso de recursos para las tareas que realizan.

Sistema infradimensionado



Las necesidades de capacidad están muy por encima de la disponibilidad. Faltan recursos durante todos los periodos.

4.3. Métodos para resolver el problema de la falta de capacidad

Hay que observar que el CRP no resuelve problemas de disponibilidad de recursos que se puedan presentar; su función consiste únicamente en determinar la capacidad necesaria para la realización de las órdenes de producción según ha establecido el MRP e informar sobre las posibles discrepancias respecto a la disponibilidad. Si hay conflictos –y por conflictos podemos entender tanto el hecho de que la capacidad requerida supere la disponible durante determinados periodos, como el hecho de que la capacidad disponible supere con exceso la necesaria de forma generalizada (en este último caso nos encontraremos en un sistema productivo subocupado)– la resolución de estos conflictos dependerá del operador del sistema, que tendrá que establecer por su cuenta las medidas adecuadas. Hacer estas operaciones es lo que se llama **trabajar en capacidad finita**.

Hay diferentes maneras de intentar ajustar las necesidades a la disponibilidad de recursos. A continuación os comentamos algunas.

1) Reajuste temporal de las órdenes de producción

La manera más eficaz de resolver pequeños problemas puntuales en un entorno subocupado consiste en desplazar en el tiempo las órdenes de fabricación concretas (y ordenar su ejecución antes de la fecha marcada por el MRP) para aprovechar los periodos con menos carga para fabricar una parte de la producción que se requiere durante los periodos con déficit de capacidad. Este desplazamiento temporal obligará a mantener un determinado stock entre el periodo real en que se fabrica el producto y el periodo en que se consume o se necesita realmente.

2) Reajuste de los tamaños de los lotes

La agrupación en lotes de las cantidades que hay que producir influye en la distribución temporal de la carga en los centros de trabajo. A veces hay suficiente con modificar el tamaño de los lotes (fabricar en cantidades superiores a la óptima o emitir órdenes de producción para lotes más pequeños de lo que es normal) para ajustar las capacidades disponible y necesarias, aunque quizá sea a costa de un nivel medio de inventarios mayor o de un coste de fabricación más alto. Esto puede ser especialmente adecuado en los casos en que el tiempo de preparación de los centros de trabajo o de las máquinas sea elevado: los lotes de producción son grandes y, por lo tanto, el hecho de incrementarlos en una cierta proporción, un 10 o un 15 por ciento, no implica un incremento fuerte de los costes asociados (o al menos no tan fuerte como si hiciésemos un lote específico para la producción de una tirada de piezas igual al 10 ó 15 por ciento del lote usual).

3) Variar el nivel de personal

La contratación o despido del personal es una medida drástica que comporta costes elevados y puede tener inconvenientes laborales graves; por lo tanto, es una práctica que sólo se puede llevar a cabo cuando hay problemas importantes de capacidad a largo plazo y no se trata de cuestiones puntuales. De todas formas, es una solución muy utilizada, mediante la contratación temporal, en sectores con una estacionalidad alta.

Sin llegar a estos extremos también hay otras maneras de modificar el nivel de personal de la empresa, como la programación de las vacaciones de los empleados de forma que no coincidan con las fechas de máxima demanda.

4) Sobreutilización de los recursos

Los recursos pueden ser utilizados de una forma que podríamos llamar normal. De este modo, la cantidad de artículo que se fabrica por unidad de tiempo queda más o menos fijada, y esta cantidad es la que se utiliza para hacer los cálculos de capacidad. Pero algunos de estos recursos se pueden forzar para obtener una productividad más alta, bien aumentando la velocidad de producción o bien aumentando el número de horas que el recurso está en funcionamiento.

En el caso de la mano de obra, esto implicaría aumentar el nivel de actividad del personal o el nivel de horas de trabajo. En el primer caso, probablemente se tendrán que pagar primas de productividad para que los trabajadores aceleren el trabajo cuando haya más demanda; el segundo caso equivale a utilizar horas extras, más caras que las horas normales de fabricación.

5) Uso de rutas o procesos alternativos

En general hay diferentes maneras de fabricar un producto, pero siempre hay alguna que comporta unos costes menores que el resto y ésta es normalmente la que utiliza la empresa. Pero también se pueden plantear rutas alternativas –que probablemente implicarán el uso de máquinas menos adecuadas o de personal no habituado a esta tarea y con unos costes de producción más altos– si hay una necesidad productiva que lo requiere.

El caso extremo de esta solución es la subcontratación, en la que se encarga a otra empresa la realización del proceso de fabricación de una parte del pedido (o de todo). Evidentemente el margen comercial de la empresa subcontratada aumentará los costes de producción; además, este sistema puede acarrear problemas en lo que se refiere a la calidad o al servicio que la empresa contratada ofrece, que puede ser inferior a la oferta de la empresa subcontratante.

6) Variaciones en el volumen de stock

Se trataría de acumular material en los periodos de baja demanda a fin de suministrarlos en los de alta. Se aplica en el caso de productos fuertemente estacionales (ropa de baño, paraguas, etc.) e implica unos costes de mantenimiento del stock elevados y la disponibilidad de espacios adecuados para almacenar el producto durante periodos más o menos largos de tiempo. Esta solución, en general, se tiene que prever desde un principio cuando se elabora el plan de producción.

7) Retraso en la entrega

Una solución en general no deseada es la entrega del producto al cliente con posterioridad a la fecha fijada. Evidentemente esto implica que el cliente tiene que estar dispuesto a esperar, pero incluso en este caso se genera una mala imagen de la empresa y del servicio que da: el cliente puede no volver a hacer contratos con nosotros y acudir a la competencia en otra ocasión. En muchos casos esta entrega con retraso tiene asociadas unas penalizaciones económicas (es el caso de muchos contratos de infraestructuras con administraciones públicas, en los que si las obras no están listas en la fecha fijada, se descuenta una cierta cantidad en el pago final por cada día o semana de retraso en la finalización).

8) Flexibilidad del personal

Si el personal de la empresa está capacitado para desarrollar diferentes actividades (personal multifuncional o polivalente), se le puede asignar en cada momento a aquellas tareas que necesitan más recursos, con lo que aumenta la capacidad productiva asociada. Esta filosofía, que comentaremos más adelante al hablar del just-in-time, ha dado muy buenos resultados en empresas japonesas. Pero en estos casos, la mano de obra debe ser cualificada o tiene que estar más formada para poder hacer las diferentes tareas.

5. Un paso más allá del MRP: el MRP II (*Manufacturing Resource Planning*)

5.1. Definición del MRP II

Tal como hemos visto, el MRP permite calcular, mediante la exploración de las necesidades, las demandas inducidas de los productos componentes, a partir del conocimiento de los requerimientos de productos de demanda externa.

Esto se ha hecho conociendo la estructura del producto, en la que se indican todos los componentes que intervienen en la fabricación o montaje del producto acabado. Pero en la fabricación de este producto intervienen otros recursos además de las materias primas y los componentes: para el funcionamiento del sistema productivo se necesitará mano de obra, cuyo uso se podrá medir en horas-hombre; la construcción de los productos requerirá maquinaria y herramientas, las necesidades de las cuales se podrán medir en horas-máquina u horas-herramienta; las operaciones de montaje o de fabricación se realizarán en determinados centros de trabajo, que los ocuparán durante un cierto tiempo.

Haciendo abstracción del concepto de lista de materiales, podemos pensar en una lista “ampliada” en la que, además de los componentes físicos, se especifiquen los otros recursos, materiales o inmateriales, que intervienen en la producción de un artículo. Así, diremos que un sacapuntas, además de estar formado por una cuchilla, un tornillo y una carcasa de plástico, también está formado, o mejor dicho necesita 10 minutos-hombre en la sección de montaje de la empresa, donde el operario encaja los diferentes componentes, y 5 minutos-máquina para el uso de un determinado utensilio de sujeción que el operario utiliza durante este montaje.

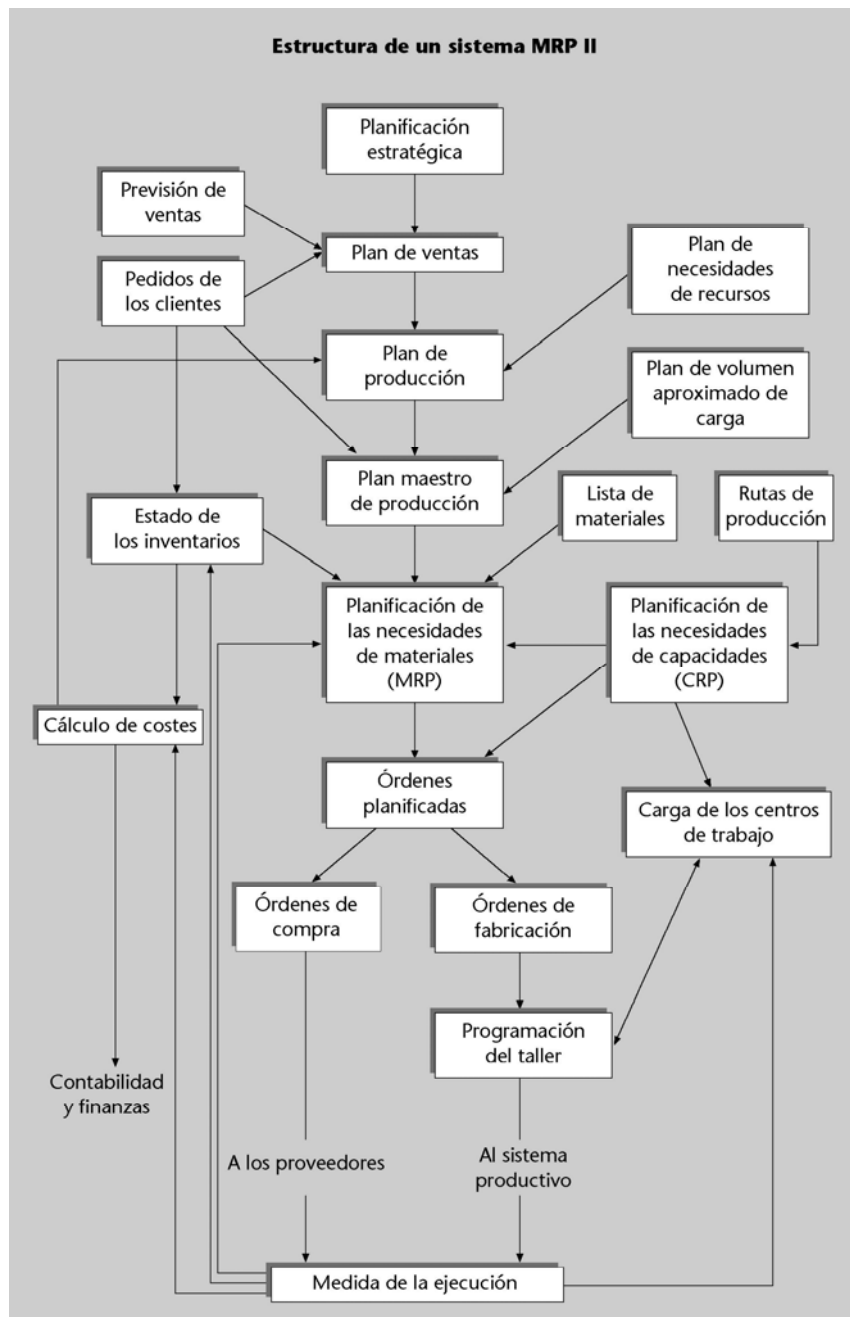
De este modo podemos extender el concepto MRP a una idea más amplia como es el MRP II, en el que las siglas MRP ya no significan *material requirement planning*, “planificación de las necesidades de materiales” sino *manufacturing resource planning*, planificación de los recursos de fabricación.

Así, el MRP II intenta gestionar el recurso de fabricación de materiales, mano de obra, maquinaria, capital y herramientas, e integrar en un único sistema las diferentes áreas de la empresa que, de alguna forma, actúan sobre estos recursos (producción, compras, finanzas, contabilidad, inventarios, etc.), aunque pertenezcan a diferentes niveles de decisión (plan maestro de producción, cálculo de necesidades, plan de capacidades, control de planta). Además, el MRP II realiza cálculos de costes y lleva un control financiero del sistema a partir de los resultados obtenidos.

Se considera que un sistema MRP II debe tener toda una serie de aspectos asociados que le den más capacidad de gestión y de integración dentro del sistema productivo. Algunas de estas características son:

- 1) Procedimientos que garanticen el éxito del cálculo de necesidades y que por lo tanto abarquen de un modo u otro las fases previas a la fabricación del producto: un sistema MRP II tiene que poder contribuir a elaborar el plan maestro, tiene que establecer una política de estructuración y tiene que informar sobre su factibilidad, material y financiera.
- 2) Incorporación del plan maestro de producción, la planificación de la capacidad y el control de planta.
- 3) Capacidad para la simulación que permita evaluar el comportamiento del sistema bajo diversas hipótesis y que actúe como un sistema de ayuda a la toma de decisiones.
- 4) El sistema MRP II debe estar preparado para ser realimentado con los datos correspondientes a los acontecimientos que vayan teniendo lugar en el sistema productivo, lo que permitirá hacer replanificaciones sucesivas más ajustadas a la realidad.

- 5) Tratamiento integral de los diferentes aspectos que considera, ya que coordina las diferentes áreas de la empresa y se basa en una sola base de datos.
- 6) Participación en la planificación estratégica, en el cálculo de costes y en el desarrollo de los estados financieros.



5.2. Los sistemas de gestión de la producción asistida por ordenador (GPAO)

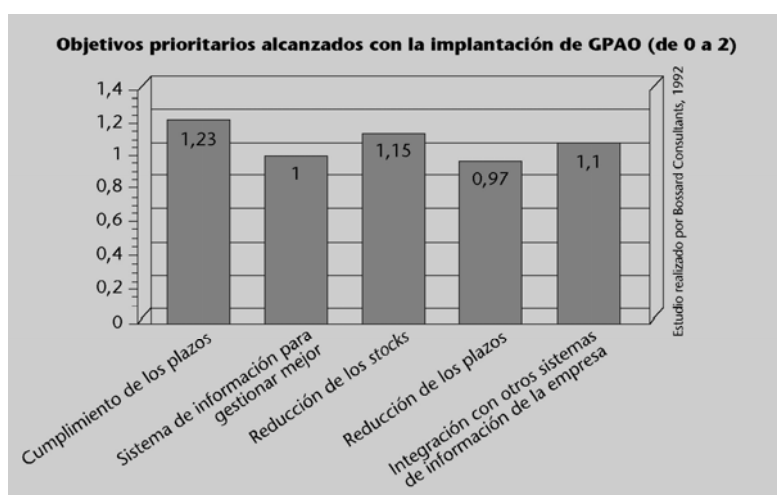
Si avanzamos un poco más en la integración de la gestión de la producción con las otras funciones de una empresa, trataremos los sistemas de gestión de la producción asistida por ordenador (GPAO) o, en inglés: computer aided production management (CAPM).

Desde un punto de vista estricto, un sistema GPAO no es otra cosa que un sistema informático que ayuda a la función productiva. Todos los modelos y sistemas de gestión que conocemos o que podemos definir (MRP, MRP II; JIT, OPT, PERT, etc.), si se basan en el uso de un sistema informático, responden a esta definición.

De todas formas, lo que en este apartado queremos entender como GPAO es un concepto mucho más complejo y avanzado: definiremos el GPAO como un sistema de gestión de la producción formado por una serie de programas informáticos que pretenden resolver los problemas asociados a un modelo organizativo concreto y hacer su planificación, la programación y el control de la producción de forma integrada con el resto de las áreas empresariales. De alguna manera es la culminación de un sistema MRP II.

De este modo, lo que hasta ahora tratábamos como un problema exclusivo del sistema productivo de la empresa y quizá de alguna otra área aislada se extiende a otros entornos de gestión: finanzas, administración, compras, ventas, ingeniería de diseño y de producción, calidad, etc.

El planteamiento es racional, ya que el sistema productivo no es un ente individual dentro de la estructura de la empresa, sino que se interrelaciona con todas las otras áreas funcionales: el uso de unos determinados recursos productivos en lugar de otros representa unos determinados costes que deben ser considerados por el departamento financiero; el área de compras o ventas debe conocer la evolución de los inventarios y los planes de producción; el área administrativa debe prever el uso de horas extras que habrá en los próximos periodos para poder planificar las nóminas, etc.



La implantación de un GPAO no implica la implantación de una técnica aislada, sino una combinación de diferentes herramientas y modelos de gestión adaptados a las necesidades concretas de cada empresa. Este tipo de sistemas son paquetes informáticos con una alta modularidad y capaces de adaptarse a los condicionamientos particulares de la mayoría de empresas de los sectores a los cuales está destinado el paquete.

La implantación de un paquete de este tipo es compleja y larga (de seis a dieciocho meses), según el grado de desarrollo tecnológico y organizativo de la empresa en que se implanta), ya que en la mayoría de los casos representa una ruptura con el sistema de gestión de la empresa anterior y son muchos los departamentos implicados, aunque la implantación se suele hacer por etapas para evitar el impacto que puede causar un cambio excesivamente brusco y controlar los problemas que surjan.

Por otro lado, la adopción de un sistema de este tipo debe responder a una necesidad estratégica de la empresa y debe ser impulsada por la alta dirección. Hace falta una implicación de toda la jerarquía empresarial para alcanzar el éxito; además, el coste del sistema y las dificultades para implementarlo exigen el apoyo total de todos los estamentos de la empresa.

En cualquier caso, que nadie crea que implantar el GPAO consiste simplemente en comprar e instalar uno de los múltiples programas que se ofrecen en el mercado. Se requiere una tarea previa de simplificación y organización del entorno productivo y de la empresa en general, y el paquete que se adquiera debe ser adaptado a las necesidades y condiciones particulares que se presentan. De hecho, en el sistema de selección de un sistema GPAO muchas empresas consideran como requerimiento prioritario el servicio al cliente, consultoría y asesoramiento que la empresa suministradora pueda ofrecer.



6. El sistema *just-in-time* (sistema de producción de Toyota)

6.1. Antecedentes e importancia

Las técnicas llamadas justo a tiempo (JIT: *Just-in-Time*) nacen a consecuencia de los esfuerzos de la empresa Toyota para poder competir con las industrias automovilísticas europeas y norteamericanas después de la Segunda Guerra Mundial.

La finalidad última del sistema de producción de Toyota es la mejora de los resultados de la empresa mediante la reducción de costes, entendiendo los costes en el sentido más amplio posible. Así, no únicamente se consideran los costes de fabricación, sino también los administrativos, los de inventario, los de ventas y en general los de todas las actividades propias de la empresa.

Este planteamiento implica la eliminación de cualquier derroche dentro de la empresa, entendiendo por derroche toda actividad que no añada valor al producto y el aprovechamiento al máximo de todos los recursos productivos incluida la mano de obra. Así, todo lo que no sea cantidad mínima de equipo, materiales, piezas, espacio, y tiempo del trabajador que resulten absolutamente esenciales para añadir valor al producto es un derroche. De hecho, según los directivos de Toyota, se pueden diferenciar siete clases de derroche:

- 1) Derroche causado por la sobreproducción, considerado uno de los peores, ya que se incrementan los costes por el mayor consumo de materias primas, genera existencias innecesarias, genera confusión sobre las prioridades de producción y obliga a dedicar más tiempo a la resolución de problemas inmediatos.
- 2) Derroche causado por los tiempos muertos, evidentemente improductivos.
- 3) Derroche causado por el transporte de materiales, productos, personas, máquinas y herramientas.
- 4) Derroche causado por el uso de procesos inadecuados, englobando dentro de lo que entendemos por proceso: herramientas, maquinaria, métodos de gestión y control, operarios, distribución en la planta, etc.
- 5) Derroche producido por los movimientos improductivos.
- 6) Derroche causado por la fabricación de productos defectuosos, que consumen productos defectuosos de la empresa y que después, o bien no pueden ser utilizados como producto final, o bien requieren un tratamiento posterior, más o menos costoso, para posibilitar su consumo.
- 7) Derroche causado por la existencia de stock. Según Toyota, ésta es la fuente de derroche más perniciosa, ya que los stocks, además de representar un capital inmovilizado, esconden otros problemas; por ejemplo, la fabricación de productos con baja calidad puede obligar a mantener un cierto nivel de inventario para cubrir los posibles productos defectuosos.

Para conseguir eliminar los desperdicios, el sistema de producción de Toyota se basa en cuatro conceptos:

- 1) La producción justo a tiempo (JIT: *Just-In-Time*); es decir, la fabricación de los productos requeridos en la cantidad requerida y en el momento y lugar en que se necesitan.
- 2) El autocontrol (jidoka, en japonés) o control de la calidad de los defectos, realizado en el momento adecuado por los mismos trabajadores de la línea de producción.
- 3) La flexibilidad en el trabajo (shojinka, en japonés) o adaptación del sistema a las variaciones de la demanda, incluyendo la adaptación del número de trabajadores.
- 4) El fomento de las ideas creativas (soifuku, en japonés), mediante el aprovechamiento de sugerencias del personal.

Para hacer realidad estos cuatro conceptos hay que establecer las técnicas siguientes:

- Aplicar el sistema de información kanban para conseguir un flujo continuo de producción.
- Equilibrar o nivelar la producción para amortiguar las fluctuaciones de la demanda.
- Reducir los tiempos de preparación para disminuir los tiempos de fabricación y la medida de los lotes.
- Estandarizar las operaciones para conseguir equilibrar la cadena.
- Plantear la idea de flexibilidad en el trabajo, favoreciendo distribuciones adecuadas en la planta y la polivalencia de los trabajadores.
- Fomentar las iniciativas y las sugerencias mediante grupos reducidos de trabajo (círculos de calidad).
- Poner en práctica el concepto de autocontrol, por el que cada empleado es responsable de la calidad de las operaciones que realiza.
- Establecer sistemas de calidad total de la empresa.
- Establecer una gestión por funciones.

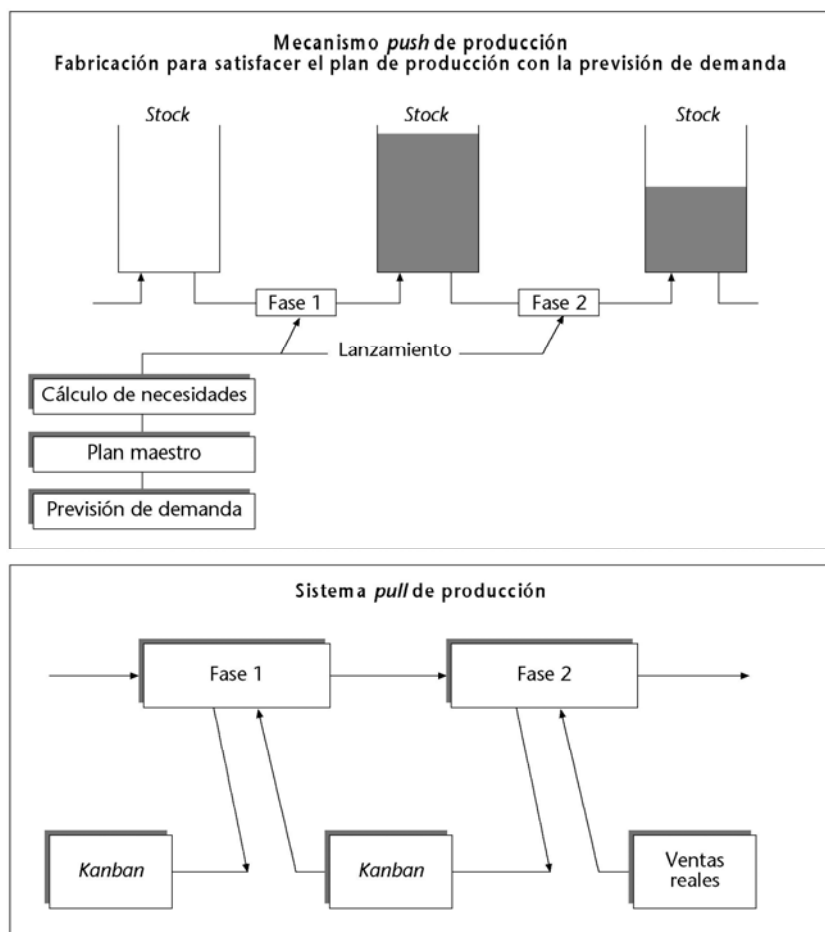
Ventajas del <i>just-in-time</i>	Desventajas del <i>just-in-time</i>
• Reduce la inversión en inventarios. • Reduce los tiempos de producción. • Mejora la utilización de los equipamientos. • Mejora la calidad. • Mejora la productividad de la mano de obra. • Potencia la participación de los trabajadores. • Disminuye las necesidades físicas de espacio.	• No puede responder rápidamente a cambios en el volumen de producción o en el diseño del producto. • No permite tratar productos bajo pedido o variantes especiales. • Exige que los trabajadores tomen responsabilidades. • Requiere poca variabilidad en la programación diaria de la producción. • Exige unas condiciones contractuales específicas con los proveedores.

6.2. La producción JIT y el sistema de información *kanban*

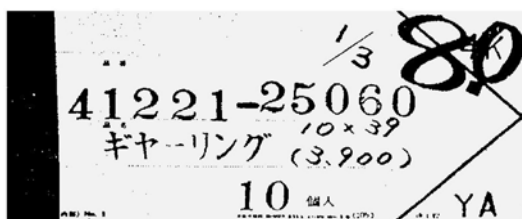
En un sistema de producción tradicional, la adaptación a las variaciones de la demanda se hace elaborando los diferentes programas de producción para todos los procesos. Así, cada proceso o subproceso productivo fabrica los elementos necesarios según estos programas para alimentar el proceso o subproceso productivo siguiente: es lo que se llama sistemas push o de empuje.

En el sistema Toyota, cada proceso recoge los elementos o piezas del anterior en el momento en que los necesita y en la cantidad en que los necesita (idea central del *just-in-time*); por contraposición con los sistemas anteriores, el sistema de Toyota es un sistema pull de arrastre.

Sistemas *push* y *pull* de producción



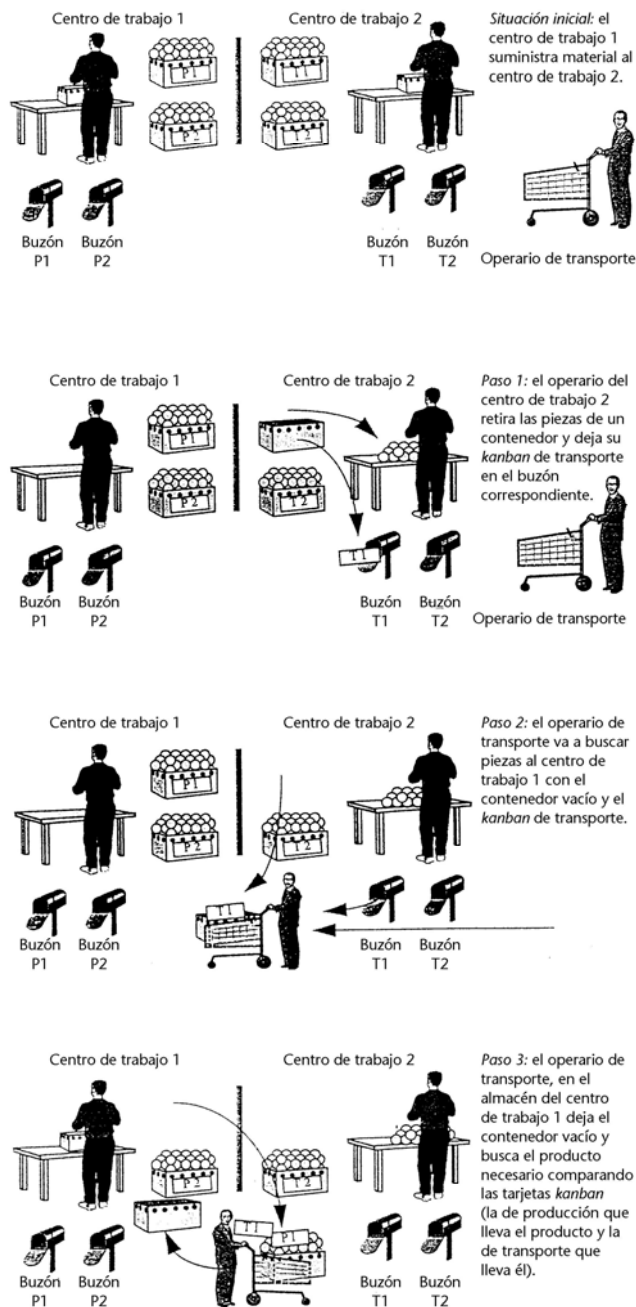
Este sistema productivo requiere un medio de información que permita al sistema anterior saber las cantidades que serán recogidas por el sistema posterior. El *kanban* es un sistema de información que sirve para controlar las cantidades producidas en cada proceso productivo. Su concepción original, toma la forma de una tarjeta introducida dentro de una funda de plástico donde se anotan el tipo y las unidades necesarias.

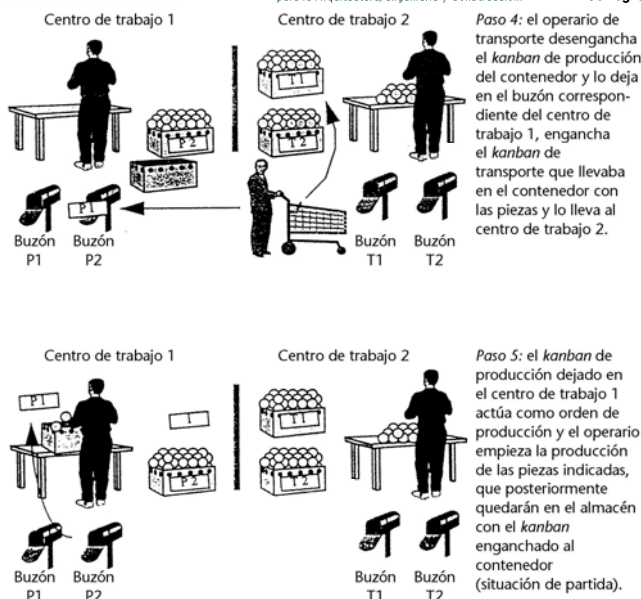


Clase	Sección	Código	U.P.	C.I.	Cantidad de piezas	
NP Tarjeta	Matrícula	Denominación	Almacén		Tipo de contenedor	Número de Kanban
Punto de consumo			Sección	Grupo	NP Tarjeta	Lado línea
Medio de transporte			U.P.	Grupo	Almacén	Proveedor
Procedencia			De transporte		Número de piezas para la petición	
Respuesta de horas			De transporte			
U.P. Carrocerías			Kanban / Fabricación nº			

Normalmente se utiliza una combinación de dos tipos de tarjetas kanban : el kanban de transporte y el kanban de producción. El primero indica el tipo y las cantidades de producto que debe recoger el proceso posterior, y el segundo indica las cantidades que debe fabricar el proceso anterior. Estas tarjetas pueden circular dentro de una misma fabrica, entre fábricas o almacenes diferentes de una misma empresa o entre una empresa y sus proveedores.

La figura siguiente muestra el funcionamiento del sistema de información kanban:





Pero el sistema *kanban* difícilmente puede funcionar de forma correcta si no hay otras condiciones previas, como el nivelado de la producción, la reducción de los tiempos de preparación, la correcta distribución en la planta de la maquinaria, la estandarización de las actividades, la mejora de métodos o el autocontrol. Todos estos conceptos se comentarán en los apartados siguientes.

6.3. La regularidad y la flexibilidad en la producción

Es fácil darse cuenta, si se profundiza en el sistema de información *kanban*, de que éste no puede funcionar en un entorno productivo cualquiera: si la etapa de producción posterior recoge de la anterior los materiales en la cantidad y el momento en que los necesita y estas necesidades están sujetas a grandes variaciones, el sistema anterior tendrá que producir en una cantidad suficiente para cubrir la máxima variación que pueda haber en la demanda para evitar que el proceso posterior se pare por falta de suministros; pero producir para afrontar la variación máxima de la demanda va en contra de la filosofía justo a tiempo, ya que equivale no a fabricar lo que se necesita, sino a producir para el mantenimiento de un stock de seguridad que nos permite afrontar las incertidumbres de la demanda.

La solución consiste en intentar nivelar o equilibrar la demanda del proceso posterior para que la producción que debe suministrar el proceso anterior sea tan regular como se pueda. De esta manera, no habrá que establecer un stock intermedio (o éste tendrá una medida mínima) entre las dos etapas de fabricación.

En resumen, lo que pretende es nivelar la producción minimizando las variaciones en la demanda de cada elemento, artículo o subcomponente, de forma que cada pieza pueda ser montada o encajada a un ritmo constante.

1) Reducción de los tiempos de preparación

Para poder conseguir esta regularidad, debe haber una serie de condiciones, la primera y más compleja de las cuales es la reducción de los tiempos de preparación. En efecto, si queremos que de cada 10 unidades de producto, 5 sean de un tipo, 3 de otro y 2 de otro, es evidente que debe resultar rápido y fácil pasar de producir un producto o modelo a fabricar otro. Un cambio en el producto implica que se tendrán que hacer operaciones diferentes, con herramientas diferentes, con materiales y componentes diversos, y con otra maquinaria. Si tenemos que cambiar el producto que debemos fabricar muy a menudo, es obvio que el tiempo necesario para adaptarnos a la producción del nuevo artículo tiene que ser corto: esta política no sería rentable si los tiempos para cambiar de modelo, que llamaremos tiempos de preparación (adaptar la maquinaria, coger las nuevas herramientas, aproximar los componentes y materiales), fuesen mayores que el tiempo dedicado a la fabrica-

ción.

2) El taller flexible

Pero, aunque queramos mantener una producción regular, siempre habrá unas oscilaciones en los niveles de demanda externa que no podremos controlar. Por lo tanto, a pesar de mantener el nivelado en la producción que ya hemos comentado, el sistema productivo tendrá que ser capaz de adaptarse a pequeñas fluctuaciones de la demanda. Para conseguirlo, hace falta lo que se llama talleres flexibles.

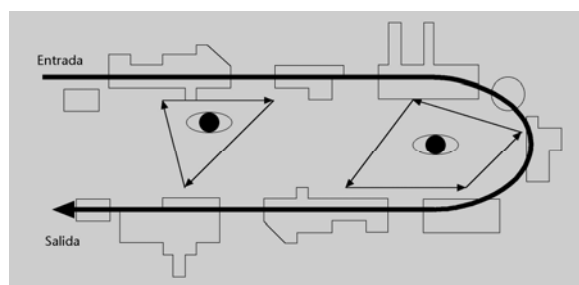
Un taller flexible se consigue con los tres factores siguientes:

- Una distribución en planta de las máquinas adecuada a las necesidades del sistema productivo.
- Polivalencia del personal, lo que se consigue con una formación adecuada de los trabajadores y mediante la rotación de los lugares de trabajo y de las tareas que debe hacer cada operario.
- Revisión periódica de los estándares de operaciones y mejora de los métodos, es decir, mejoras continuas en los métodos de producción tendentes a eliminar los movimientos inútiles y a conseguir trabajo efectivo, a equilibrar la producción entre las diferentes estaciones de trabajo y a minimizar la obra en curso de realización.

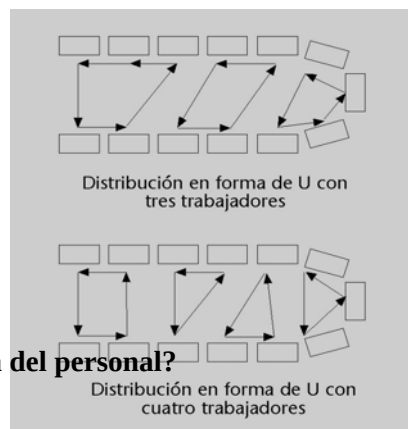
Ejemplos de organización de un taller flexible:

La distribución adecuada a la planta

Se considera que la distribución adecuada a la planta donde un operario se encarga de una o varias máquinas del mismo o de diferente tipo, presenta una serie de desventajas, como la separación que se crea entre los trabajadores, ya que cada uno se organiza en torno a su “isla” de máquinas y mantiene una relación escasa (no puede prestar ayuda) con el resto de trabajadores y, además, entre “isla” e “isla” de máquinas se crean unos stocks de transferencia para pasar de un grupo de máquinas al siguiente.



La distribución en forma de U es, según la filosofía japonesa de producción, la más adecuada para entornos *just-in-time*, ya que tiene la ventaja de que se puede aumentar o disminuir el número de operarios de esta línea para adaptarse a los cambios en las cantidades que hay que producir.



¿Qué favorece la polivalencia del personal?

Con una distribución en planta adecuada, el trabajador puede manejar a la vez varios tipos de máquinas, pero tiene que ser capaz de realizar las diferentes tareas asociadas a cada una de las máquinas. Para conseguirlo, además de una formación adecuada, Toyota utiliza la rotación de tareas, de modo que cada trabajador hace una tarea diferente en su sección de forma rotativa. Esta rotación la hacen tanto los trabajadores manuales como los supervisores e incluso los directivos.

¿Qué implica y qué aporta la estandarización de operaciones?

Lo que pretende hacer la estandarización de operaciones es minimizar el número de trabajadores necesarios para las tareas productivas. Se quiere mejorar la productividad consiguiendo unos niveles de trabajo activo altos, entendiendo como tal aquel que genera un valor sobre el producto.

La ordenación estandarizada de las operaciones que tiene que hacer cada trabajador es lo que se denomina ruta estándar de operaciones. Esta ruta estándar no es un plan de trabajo fijo y predeterminado, sino que responde a una concepción dinámica: está sometida a un proceso constante de mejora para maximizar la eficacia de las tareas que desarrollan los trabajadores y reducir los tiempos de espera, los tiempos de preparación, los movimientos innecesarios, etc.

6.4. Calidad en el entorno *just-in-time*

El otro soporte básico del sistema de producción *just-in-time* es la calidad. Difícilmente se podrían entregar los productos en las cantidades necesarias si al acabar de fabricarlos los inspeccionásemos y nos diésemos cuenta de que algunos no cumplen los requisitos de calidad impuestos y que, por lo tanto, no pueden ser utilizados en la etapa siguiente del proceso productivo.

La filosofía japonesa entiende que la calidad no es objeto de un departamento de la empresa, sino que debe ser impulsada por todo el conjunto empresarial, empezando por la alta dirección.

La calidad, según el modelo japonés, se basa en tres conceptos:

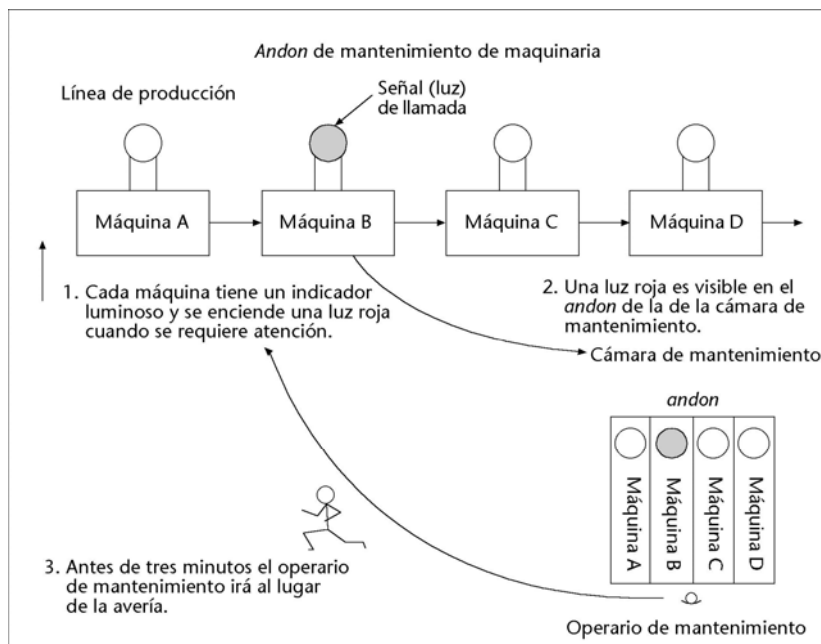
- 1) El autocontrol de cada trabajador sobre las actividades que realiza.
- 2) El sistema de sugerencias para mejorar la calidad del producto y del proceso.
- 3) Los círculos de calidad .

1) El autocontrol

Para conseguir la producción *just-in-time* , es necesario que las unidades que salgan de cada etapa del sistema productivo las pueda utilizar la etapa siguiente al cien por cien (cero defectos).

El autocontrol pretende facilitar los instrumentos necesarios para evitar el trabajo defectuoso en la maquinaria o en la línea de fabricación. Cuando una unidad defectuosa continúa su recorrido a lo largo del proceso productivo, el resto de operaciones que se ejecutan sobre ella representan un derroche de los recursos, ya que éstos se dedican a un producto que, o bien será rechazado por el control final de calidad, o bien llegará al cliente con defectos, lo que repercutirá en la mala imagen de la empresa. Por lo tanto, es necesario que la fabricación de un producto defectuoso sea detectada inmediatamente a fin de poder aislarlo y separarlo del proceso productivo y evitar que continúe a lo largo de la línea de fabricación.

Además, como apoyo a los sistemas anteriores, hay una serie de controles visuales (plafones, luces) para ayudar a comprobar el funcionamiento del sistema productivo. Un ejemplo de esto es el andon, una señal luminosa situada en un lugar elevado del taller y que con diferentes colores indica si hay algún problema, e incluso el tipo de problema, en algún punto de la planta.



Fuente: UOC Universitat Oberta de Catalunya.

2) El sistema de sugerencias

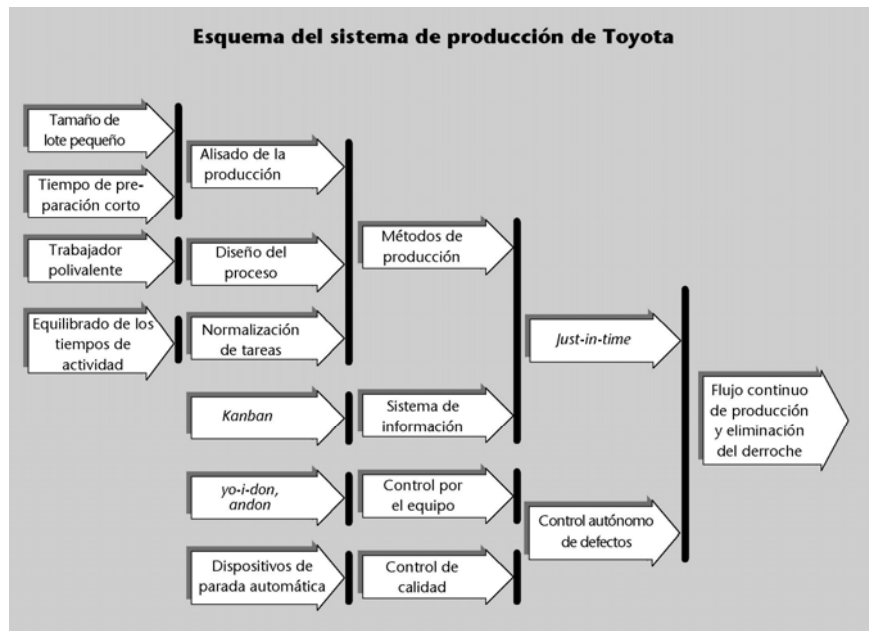
La idea consiste en aprovechar los conocimientos y las habilidades de los empleados situando buzones en los talleres, donde los trabajadores depositan las sugerencias y las ideas que tengan relación con la mejora del trabajo o del entorno de trabajo.

Estas sugerencias son evaluadas por la dirección de la empresa y, si son viables técnica y económicamente, se implantan enseguida. La empresa re-compensa económica y honoríficamente a la persona que lo ha propuesto de acuerdo con la reducción de costes o las mejoras que represente la idea.

3) Los círculos de calidad

Un círculo de calidad es un pequeño grupo de trabajadores que realizan tareas similares con un líder o jefe de equipo que, con el apoyo de la organización, se reúne para identificar, analizar y solucionar problemas de la producción, y transmitir a la dirección propuestas de mejora de los métodos y sistemas de trabajo.

Los círculos de calidad son los mecanismos que el sistema de producción de Toyota ha utilizado para aprovechar al máximo el potencial de los trabajadores, que son los que conocen mejor los problemas de su trabajo y para elevar a la dirección sugerencias que permitan contribuir al desarrollo de la empresa y a la mejora del lugar de trabajo y de los métodos empleados.



Resultados obtenidos con la implantación de las técnicas JIT en diferentes sectores industriales						
Mejoras	Prod. consumo	Prod. industr.	Job shops	Electrónica	Farmacia	Automoción
Lead time de fabricación	75%	85-91%	60-96%	20-85%	60-70%	67-82%
Tiempo de preparación de la máquina	80%	70-90%	55%	83%	45-50%	75-90%
Calidad	37%	75%	54-80%	60%		50-80%
Inventario en curso	30%	81-96%	80-96%	75-97%	60-70%	50-86%
Mano de obra directa	50%	21-25%	10-50%	10-15%	14-40%	
Mano de obra indirecta	25-50%	25-53%	25-50%	20-60%	10%	20-35%
Espacio	50%	50-63%	39-50%	30-50%	18-24%	20-70%
Coste de materias primas	10-25%	10-15%	10-15%	5-15%	5-10%	10-20%
Tiempo de recuperación de la inversión	3	12	6	4	12	6-12

Fuente: Andersen Consulting (1990). La fábrica del futuro.

7. Glosario

Andon: Plafón de luces fijado al techo que informa sobre el funcionamiento del sistema productivo (verde: normalidad, amarillo: retrasos y necesidades de intervención, rojo: parada en la línea, intervención de urgencia).

Artículo: Cualquiera de los productos, subconjuntos, componentes, piezas o materiales que participan en la construcción física de un bien y que durante el proceso productivo se transforman para formar parte de él.

BOM: *Ved lista de materiales.*

cálculo de capacidades: (También planificación de las necesidades de capacidad, en inglés, *capacity requirement planning*). Proceso para determinar cuántos recursos de mano de obra y de tiempo de máquina se necesitan para realizar las tareas de producción.

cálculo de necesidades: Determinación de las cantidades de todos los productos, subconjuntos, componentes, piezas y materias primas que se necesitan para llevar a cabo los planes de producción de la empresa, con indicación de las fechas en que se tiene que poder disponer de estos artículos.

Calidad: Aptitud de un producto para satisfacer las necesidades o expectativas, expresadas o no, del cliente a quien va destinado.

calidad total: Manera de entender la calidad según la cual ésta no va asociada únicamente al producto, sino a toda la empresa o sistema productivo que la fabrica.

capacidad productiva: Máxima cantidad de bienes o servicios que se puede obtener en una determinada unidad productiva (empresa, sección, lugar de trabajo, etc) durante un cierto periodo de tiempo.

centro de trabajo: Lugar donde se desarrolla la actividad productiva.

círculos de calidad: Son grupos de voluntarios constituidos por operarios o por los mismos trabajadores que ejecutan el trabajo, los cuales se reúnen periódicamente y tratan de detectar problemas (de calidad, de métodos de trabajo, de producción) y de encontrar soluciones.

cuellos de botella: Operaciones que frenan o limitan el ritmo de producción, ya que el tiempo necesario para realizarlas es superior al de las operaciones que las preceden, lo que hace que el material, ya sean piezas o productos, se vaya acumulando.

Pedido: Orden de compra o de fabricación de una determinada cantidad de un artículo.

CRP: *Ved cálculo de capacidades.*

gestión de la producción: Conjunto de tareas y decisiones relativas a la organización, la coordinación, la dirección y el control de un sistema productivo.

JIT: *Ved justo a tiempo*

justo a tiempo: (en inglés: *just in time*) producir las piezas necesarias en las cantidades requeridas y en los momentos adecuados.

Kanban: Tarjeta dentro de un sobre rectangular de material plástico. Por extensión se llama así al sistema de información basado en estas tarjetas.

lista de materiales: (en inglés: *bill of materials*) relación, lista o conjunto de fichas que indican todos los componentes, subconjuntos, piezas y materias primas que entran directamente en la fabricación de todos los artículos producidos por la empresa y también la cantidad que se necesita por unidad de artículo.

materias primas: Materiales, piezas o subconjuntos de procedencia exterior al sistema productivo a partir de las cuales se elaboran los productos acabados que se fabrican.

MPS: *Ved plan maestro de producción.*

MRP I: *Ved planificación de las necesidades de materiales.*

MRP II: La planificación de los recursos de fabricación es la continuación lógica del MRP. Además de las necesidades físicas de componentes y materiales, se planifica con él el conjunto de recursos productivos.

OPT: *Ved tecnología de la producción optimizada.*

PERT: Método de gestión de proyectos basado en la teoría de grafos.

plan maestro de producción: (en inglés: *master production schedule*) representa lo que la empresa planea producir expresado en productos, cantidades y fechas.

planificación de las necesidades de materiales: (en inglés: *material requirement planning*) conjunto de técnicas que utilizan las listas de materiales, los planes maestros de producción y los datos de inventario para calcular las necesidades de materiales.

planificación de los recursos de fabricación: (*manufacturing resource planning*) conjunto de técnicas que, basadas en una extensión del MRP I, permiten gestionar los diferentes recursos del sistema productivo (mano de obra, materiales, maquinaria, etc.).

productos acabados: Productos que la empresa fabrica y vende al exterior, destinados a satisfacer directamente al consumidor o a las empresas que los requieren.

Recurso: Cualquiera de los elementos (mano de obra, energía, maquinaria, capital, instalaciones, materiales, herramientas, etc.) que hacen falta en un sistema productivo para la obtención de un bien o servicio.

recurso crítico: Recurso que actúa como cuello de botella del sistema.

rutas de producción: Descripción de las operaciones y actividades –con indicación de los centros de trabajo donde se realizan– que hay que hacer para fabricar un determinado producto.

sistema productivo: Sistema en que unas entradas (materiales, mano de obra, energía, tecnología, etc.) se transforman en unas salidas (bienes o servicios) de más utilidad y que permiten satisfacer las necesidades de los clientes.

Shojinka: Flexibilidad en el trabajo, variación del número de trabajadores de acuerdo con la demanda.

Soifuku: Aprovechamiento del pensamiento creativo, de las ideas innovadoras.

tamaño de lote: Cantidad de artículo solicitada en una orden o pedido.

tecnología de la producción optimizada: (En inglés: *optimized production technology*) sistema de gestión de la producción que se basa en el equilibrado del flujo productivo y en el control de los recursos que son cuello de botella del sistema.

teoría de las limitaciones: (En inglés: *theory of constraints*) sistema de gestión de una organización (y en particular de un sistema productivo) basado en la identificación y resolución de los cuellos de botella.

plazos (de fabricación, de aprovisionamiento o de entrega): Periodo de tiempo que transcurre desde que se hace un pedido de fabricación o de aprovisionamiento hasta que éste queda disponible para ser usado o consumido.

TOC: *Ved teoría de las limitaciones.*

8. Bibliografía

Bibliografía básica

UOC – Universitat Oberta de Catalunya. Administración y dirección de empresas. Cálculo de necesidades. Carles Rúa Costa.

Buffa, E.S.; Sarin, R.K. (1987). Modern Production/Operations Management (8.^a ed.). EUA: Wiley.

Company, R.; Fonollosa, J.B. (1989). Nuevas técnicas de gestión de stocks: MRP y JIT. Barcelona: Marcombo.

Machuca, D. (1994). Dirección de operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios. Madrid: McGraw-Hill.

Monden, Y. (1988). El sistema de producción de Toyota. Madrid: CDN.

Orlicky, J. (1975). Material requirements planning. McGraw-Hill.

Tersine, R.J. (1981). Production operations management: concepts, structure and analysis. North Holland.

Wight, O.W. (1981). MRP II, unlocking America's productivity potential. CBI Publishing Co.

Bibliografía complementaria

Bautista, J.; Company, R.; Corominas, A. (1995). Seqüenciació d'unitats en context JIT. Barcelona: UPC.

Company, R.; Corominas, A. (1995). Organización de la producción II. Dirección de operaciones 2. Barcelona: Edicions UPC.

Larrañeta, J.C.; Onieva, L. (1988). Métodos modernos de gestión de la producción. Madrid: Alianza.

Vollmann, T.E.; Narasimhan, S.L. (1984). Manufacturing planning and control systems. Dow Jones-Irwin.

Wemmerlöv, U. (1984). Capacity management techniques. Apics.