

Producción

Carlos F. Cabañero Pisa († 2010)
Cristina Giménez Thomsen
Amaia Lusa García

PID_00207888



Los textos e imágenes publicados en esta obra están sujetos –excepto que se indique lo contrario– a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada (BY-NC-ND) v.3.0 España de Creative Commons. Podéis copiarlos, distribuirlos y transmitirlos públicamente siempre que citéis el autor y la fuente (FUOC. Fundació para la Universitat Oberta de Catalunya), no hagáis de ellos un uso comercial y ni obra derivada. La licencia completa se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.es>

Índice

1. Introducción a la dirección de la producción	7
1.1. Producción	7
1.2. Sistema productivo	9
1.3. Organización de la producción	12
1.4. Objetivos del subsistema de operaciones	15
1.4.1. Estrategia de operaciones	15
1.4.2. Objetivos	15
2. Diseño del proceso	20
2.1. Implicaciones y condicionantes del diseño del proceso	20
2.2. Tipos de procesos o configuraciones productivas	22
2.2.1. Configuración por proyecto	23
2.2.2. Configuración por lotes: las configuraciones <i>job-shop</i> y las configuraciones en línea	23
2.2.3. Configuración continua	25
3. Distribución en planta	27
3.1. Concepto y objetivos	27
3.2. Tipo de distribución en planta (DP)	29
3.2.1. Distribución basada en el producto	30
3.2.2. Distribución basada en el proceso (o distribución funcional o por talleres)	30
3.2.3. Distribución por posición fija	31
3.2.4. Distribuciones híbridas: las células de trabajo	31
3.3. Técnicas para resolver problemas de distribución en planta	33
3.3.1. Algoritmo básico de transposición	35
3.3.2. Método de los eslabones	40
3.3.3. Método de las gamas ficticias	44
3.3.4. Utilización de criterios cualitativos	48
3.4. Distribución en planta de servicios	51
3.5. Equilibrio de líneas	52
3.5.1. Descomposición de tareas	53
3.5.2. Determinación de la capacidad de la línea y cálculo del tiempo de ciclo	53
3.5.3. Numero minimo teorico de estaciones de trabajo necesarias	53
3.5.4. Cálculo del tiempo ocioso o improductivo	54
3.5.5. Asignación de las tareas a las estaciones de trabajo	55
3.5.6. Cálculo de la eficiencia	56
4. Productividad y determinación de la capacidad	63
4.1. Concepto de productividad	63

4.2.	Determinación de la capacidad	64
4.3.	Mejora de la productividad	65
5.	Planificación.....	69
5.1.	Conceptos básicos	69
5.1.1.	Concepto de planificación	69
5.1.2.	Niveles de planificación	70
5.1.3.	Planificación continua	71
5.1.4.	Características que definen un nivel de planificación ...	72
5.1.5.	Diseño de un sistema de planificación continua	73
5.2.	Métodos para la planificación de la producción	74
5.3.	Elaboración del plan maestro mediante una hoja de cálculo	74
5.3.1.	Gráfico de planificación	74
5.3.2.	Demanda corregida	78
5.3.3.	Enunciado y hoja de cálculo del ejemplo	80
5.3.4.	Plan inicial	82
5.3.5.	Mejora del plan	83
5.3.6.	Elección del plan maestro (PM)	83
5.4.	Modelo de Bowman del transporte	84
5.4.1.	Aplicación del problema del transporte a la elaboración del plan maestro	84
5.4.2.	Planteamiento del problema ejemplo	85
5.4.3.	Método de los mínimos	87
5.5.	Método exacto	88
5.5.1.	Programación matemática	88
5.5.2.	Aplicación en el ejemplo	91
5.6.	Integración con las otras áreas funcionales de la empresa	93
5.7.	Sistemas flexibles de organización del tiempo de trabajo	94
6.	La planificación de las necesidades de materiales: MRP.....	96
6.1.	Introducción	96
6.2.	Estructura del sistema MRP	98
6.3.	Entradas del sistema	99
6.3.1.	El programa maestro de producción	99
6.3.2.	La lista de materiales	99
6.3.3.	Los registros de inventarios	101
6.3.4.	Actualización de la planificación: reprogramación en MRP	101
6.4.	Un caso básico de MRP	101
6.4.1.	Las entradas al sistema	101
6.4.2.	Planificación de las necesidades de materiales	103
6.5.	Planificación del volumen de lotes	109
6.5.1.	Periodo constante	110
6.5.2.	POQ (<i>Period Order Quantity</i>)	110
6.5.3.	Mínimo coste unitario	111
6.5.4.	El método Silver-Meal	112
6.6.	Planificación de las necesidades de la capacidad: CRP	113

6.7.	El sistema MRP de bucle cerrado	115
6.8.	El sistema MRP II (<i>Manufacturing Requirements Planning</i>). Planificación de las necesidades de manufactura	116
7.	El <i>just in time</i>	119
7.1.	Introducción	119
7.2.	El sistema <i>just in time</i> (JIT)	120
7.2.1.	Objetivo fundamental	126
7.2.2.	Estrategias básicas	128
7.2.3.	Los cuatro grandes programas	129
7.2.4.	Tecnologías y técnicas de gestión desarrolladas	131
7.3.	El <i>kanban</i> como herramienta para controlar la producción	137
7.3.1.	Tipos de <i>kanban</i>	138
7.3.2.	Funcionamiento del <i>kanban</i>	139
7.4.	Conclusiones	143
8.	Planificación, programación y control de proyectos	146
8.1.	Introducción	146
8.2.	Relaciones de precedencia entre actividades	146
8.3.	Problema	149
8.4.	Diagrama de Gantt	152
8.5.	Limitación de recursos	153
Bibliografía	157

1. Introducción a la dirección de la producción

1.1. Producción

El concepto de **producción** ha evolucionado desde una interpretación industrial, de fabricación, y ha pasado a incluir los procesos de prestación de servicios destinados a satisfacer una demanda en el mercado (J.C. Larrañeta y L. Onieva, 1988, pág. 19).

"La producción hace referencia a la creación de bienes y servicios; comprende el diseño, la planificación, la explotación y el control de los sistemas que producen bienes y servicios..." (Tersine, 1985, pág. 4).

El producto es el resultado de la producción y puede ser de naturaleza intangible, como en el caso de los servicios, o tener una consistencia física, tangible, como en el caso de los productos manufacturados. Para designar brevemente los productos tangibles se utiliza la palabra *bienes*.

Una de las concepciones más clásicas es la de entender la producción como un proceso de transformación de ciertos elementos de entrada, o recursos (materiales, máquinas, tecnología, energía, trabajo humano, etc.), en ciertos elementos de salida, o resultados.

El proceso de transformación

La empresa tiene unos determinados *inputs* (entradas) y unos *outputs* (salidas); en general, una empresa sigue el ciclo:

in → empresa → out

Donde in conforma los recursos que necesitara para producir los outs, y out, los productos o servicios que ofrecera una vez completada su produccion.

Por ejemplo, en el caso de una empresa que fabrica mesas:

in → empresa → out

Madera, clavos... Mesa

En el caso de la producción de bienes, la transformación es física; por medio del proceso se modifican las características químicas y/o físicas de unos materiales (materias primas, piezas, componentes) y se obtienen otros diferentes.

En lo que concierne a las entradas o *inputs*, siguiendo a los autores Buffa y Sarin, podemos decir que pueden ser de naturaleza muy variada. En los procesos de fabricación de bienes, las entradas pueden ser: materias primas, energía, trabajo humano, máquinas, instalaciones, información, etc. En los servicios,

las entradas pueden ser básicamente el trabajo humano, pero en algunos casos, como los servicios sanitarios o los restaurantes, las entradas pueden ser comunes a las de los sistemas de manufactura (por ejemplo, materias primas).

Una definición que muestra la amplitud del concepto de producción es la siguiente: producción es toda actividad que proporciona un valor o una utilidad susceptible de cubrir o satisfacer las necesidades de los consumidores (clientes).

Siguiendo al profesor Bueno: "producción es el conjunto de procesos, procedimientos, métodos o técnicas que permiten la obtención de bienes y servicios, gracias a la aplicación sistemática de unas decisiones que tienen como función incrementar el valor de los mencionados productos, para poder satisfacer unas necesidades" (Bueno, 1993, pág. 590).

Según esta definición, la empresa, como resultado de su actividad, obtiene un producto de un valor mayor que el de los factores sacrificados por obtenerlo, o presta un servicio de utilidad a quien lo recibe.

El proceso productivo transforma unos recursos determinados en un producto, que tendrá una utilidad diferente de la que estos recursos tenían en un principio.

Ejemplo: los jerseys de algodón.

En invierno, la sociedad humana pide algo para no pasar frío. La empresa transforma el algodón en una pieza de vestir. La sociedad quizá no sabría qué hacer con el algodón, pero la pieza de ropa que la empresa producirá tendrá una utilidad, los consumidores querrán experimentar esta utilidad y pagarán un precio por obtenerla (comprarán el producto).

Una silla, por ejemplo, tiene una utilidad mayor que la de los factores sacrificados en su elaboración: barros y trozos de madera, cola, barniz, etc.

De la misma manera, un hospital también presenta producción: en este caso, produce servicios sanitarios, operaciones quirúrgicas, que, evidentemente, poseen un valor o una utilidad mayor para quien las solicita, –ya que le servirán para curar su enfermedad–, que los factores sacrificados por prestarle el servicio, o utilizados para ello: anestesia, bisturí, pinzas, gasas, etc.

Según lo que hemos expuesto, la producción se obtiene en cualquier empresa: extractiva, de construcción, de fabricación, de montaje, de transportes, comercial o de comunicación. Al mismo tiempo, como podemos comprobar, el concepto de producto incluye tanto los bienes, como los servicios.

Resumiendo, podríamos definir *producción* como el proceso mediante el cual transformamos ciertos elementos de entrada, o *inputs*, en ciertos elementos de salida, u *outputs*, a partir de la cual obtenemos un incremento de utilidad o valor, susceptible de satisfacer las necesidades de los clientes (consumidores).

1.2. Sistema productivo

El **sistema productivo** puede definirse como el conjunto de elementos materiales e inmateriales que realizan el proceso de transformación o intervienen en él, o bien, como los medios con los que transformamos unos recursos de entrada en bienes y servicios.

Entre estos medios o elementos que componen o integran el sistema productivo encontramos los siguientes aspectos: trabajo humano, energía, materiales, maquinaria e instalaciones, información, tanto en forma de conocimiento tecnológico, como de conocimiento de gestión, y datos sobre la situación del entorno y del sistema productivo.

"El proceso de producción implica no solamente la aplicación de la tecnología (definida como el conjunto de conocimientos necesarios para producir un bien o un servicio), sino también la gestión eficiente de todas las variables que puedan controlarse: implica diseño, utilización eficiente de los medios productivos, planificación del sistema y control de su funcionamiento y de los resultados". (Companys, 1989, pág. 10).

Según esta afirmación, queda claro que el sistema productivo abarca no sólo el proceso de transformación (ejecución), sino también todas aquellas actividades necesarias para su diseño y gestión.

Ahora bien, anteriormente hemos definido la empresa como un sistema formado por diferentes partes y en la que cada una de ellas realiza una determinada función, y hemos identificado el sistema productivo (de operaciones) como una de estas partes o subsistemas empresariales.

A pesar de eso, las fronteras entre las diferentes partes o subsistemas no son rígidas ni están claramente definidas. Una de las razones para ello es que precisamente los diferentes subsistemas están interrelacionados y, por lo tanto, intercambian constantemente información y otros elementos; este aspecto dificulta la concreción de las zonas que sirven de frontera o límite entre unos subsistemas y otros. Otra razón es que la manera de organizarse y, por lo tanto, de estructurarse, es propia de cada empresa y de cada situación. No todas las empresas realizan la misma actividad y, por lo tanto, las funciones son diferentes.

Actualmente se da la tendencia a adoptar un punto de vista más amplio, que puede denominarse **punto de vista logístico**, y a ampliar el ámbito de lo que se considera sistema productivo, que comprende desde el origen de los recursos (los proveedores o las fuentes de materias primas) hasta la destinación de los productos (la entrega física a los clientes).

Las relaciones entre las diferentes fases del flujo, que parte de las fuentes de materias primas y acaba en los clientes, cada vez son más estrechas y aparecen con más claridad.

El proveedor ha pasado a ser considerado un elemento del mismo proceso productivo.

La conexión entre la empresa y sus proveedores es y debe ser mucho más compleja que hace años (en los sistemas JIT, tened en cuenta el caso de algunas fábricas en las que los proveedores se ubican dentro de la misma nave, en la misma cadena de montaje del producto).

La empresa tiene que gestionar sus recursos de manera que rindan lo máximo posible. Una manera es gestionar las compras: dentro del entorno competitivo de venta (los proveedores ofrecen los productos), una empresa tiene que escoger al proveedor que mejor responda a su criterio de compras, ya sea por el precio, por la calidad, etc. Por lo tanto, es mejor disponer de una serie de proveedores y escoger entre las condiciones menos favorables de uno y las más favorables de otro.

En lo que concierne a los clientes, éstos pueden participar activamente en el diseño del producto, por ejemplo; éste es el caso de los moldes de inyección de plástico de grandes dimensiones para la industria del automóvil, en los que el diseño del molde se realiza conjuntamente entre la empresa de moldes y la del cliente, es decir, la industria automovilística.

La producción no se puede separar rígidamente del aprovisionamiento y de la distribución. Algunos aspectos del aprovisionamiento corresponden a otras áreas, pero muchas decisiones básicas del aprovisionamiento son inseparables de la gestión de la producción. En todo caso, siempre hay que tener en cuenta las relaciones que este sistema productivo mantiene con el resto de actividades de la empresa.

Las entradas del proceso son el conjunto de factores que la empresa debe comprar o contratar. Algunos de estos factores requieren almacenamiento, mantenimiento o preparación. Este conjunto de actividades comprendidas entre la adquisición de los factores o recursos y la producción se conoce con el nombre de *logística interna*.

Por otro lado, en la fabricación de bienes, la producción no finaliza cuando el producto sale de la fábrica: es necesario hacerlo llegar al lugar adecuado y en el momento oportuno. Por lo tanto, las salidas del proceso tienen que ser almacenadas, mantenidas y distribuidas. La distribución y el servicio asociado al producto forman parte integral del proceso. Esta fase de enlace entre producción y comercialización es conocida con el nombre de *logística externa*.

Clasificación

Es evidente que la gestión del sistema productivo es diferente según sus características. Por ejemplo, es diferente gestionar el sistema productivo de una pequeña empresa familiar del sector de la construcción, que de una gran empresa del sector de la química industrial.

Los sistemas productivos pueden clasificarse según diferentes criterios. Una primera clasificación es la que sigue el criterio de carácter tangible o intangible del producto: **sistemas productivos de bienes** o **sistemas productivos de servicios**.

Otra posibilidad consiste en clasificarlos según el flujo de materiales mediante el sistema físico (de las instalaciones). En este caso, podemos clasificarlos en:

1) **Sistemas productivos continuos**

La transformación de materias primas en productos se realiza de manera ininterrumpida en el tiempo.

El flujo de materiales recorre ininterrumpidamente las instalaciones de fabricación, desde la entrada hasta la salida.

Dentro de esta clasificación podemos incluir los procesos de fabricación repetitiva, en masa o en serie, de productos muy normalizados.

Encontramos algunos ejemplos en la industria química de proceso continuo, en la industria textil y en las cadenas de montaje de automóviles y de electrodomésticos.

2) **Sistemas productivos intermitentes**

Sus procesos no requieren continuidad en el tiempo.

Son sistemas en los que las instalaciones disponen de capacidad para fabricar una amplia variedad de productos, o bien en los que los materiales y las piezas se mueven por las instalaciones en lotes y de forma discontinua.

No todos los productos recorren todas las instalaciones, sino que cada uno requiere un procesamiento diferente. Los materiales están procesados en un punto y son transportados a otro lugar, donde esperan ser procesados de nuevo.

Dentro de los sistemas productivos intermitentes podemos distinguir:

a) Taller cerrado. Fabricación repetitiva por almacén, por lotes, según un catálogo de productos: fábricas de muebles, talleres de reparación de automóviles, talleres metalúrgicos, de chapa para el automóvil, etc.

b) Taller abierto. Fabricación de pequeñas cantidades de productos muy específicos, por pedido. Sería el caso de una imprenta, una fábrica de moldes, algunos tipos de maquinaria industrial, etc.

c) Proyecto singular. Se trata del taller abierto, ya que, muchas veces, el diseño del producto es específico para el cliente, o bien, hay que fabricar una sola unidad del producto. Éste es el caso de los sistemas productivos de empresas de construcción, obras públicas, construcción naval, etc.

1.3. Organización de la producción

La organización de la producción, en sentido amplio, empieza con la definición de los objetivos a largo plazo y comprende tanto el diseño del sistema, como la gestión de su funcionamiento.

En general, *organizar* significa definir la estructura de un sistema, determinar los elementos que deben intervenir y qué relaciones se darán entre ellos.

La gestión de los sistemas productivos implica, tal como dicen los autores Buffa y Sarin, el control del proceso de transformación y de todas las variables que pueden afectar al rendimiento.

Largo plazo

Periodo de tiempo igual o superior a un año.

El hecho de reorganizar una empresa pasa por una adecuación de la misma y de sus trabajadores a la nueva estrategia, a los nuevos objetivos que se pretenden alcanzar.

La mayoría de las decisiones relacionadas con el **diseño del sistema productivo** se dan a largo plazo, ya que sus implicaciones o consecuencias en la empresa suelen tener efectos durante varios años (de 2 a 10 años). Dentro de estas decisiones y tareas encontramos:

- **Previsión y planificación a largo plazo**
Tiene como objetivo definir la política de productos y mercados, orientar las actividades de investigación y desarrollo (I + D), dimensionar las instalaciones, establecer la capacidad de los procesos de producción, de sus líneas y puestos de trabajo, etc.
- **Localización del sistema y de los subsistemas**
Se trata de determinar la localización física o geográfica de las instalaciones, las plantas, los almacenes, etc., para equilibrar costes o tener accesibilidad a materias primas y mercados.
- **Diseño del producto**
Definición de las características funcionales, estructurales y de forma de los productos.
- **Diseño del proceso y distribución planta**
Definición del tipo de proceso, selección de equipos, distribución en el espacio de los equipos, los puestos de trabajo (para facilitar el funciona-

miento y minimizar el transporte y la manipulación de material y documentos), diseño de tareas y métodos de trabajo, determinación de tiempo y cantidades de trabajo, etc.

En sentido estricto, la **gestión del sistema**, es decir, cómo hacemos funcionar el sistema definido previamente y qué decisiones tomamos, se denomina **dirección de operaciones**. Las decisiones comprendidas en la dirección de operaciones presentan un impacto a medio y corto plazo (hasta 2 años), motivo por el que las denomina *operativas*. Las funciones o tareas que comprende la gestión del sistema son las siguientes:

- **Previsión de la demanda**

Con el fin de conocer el volumen de producción y la variedad de productos, se debe prever la demanda, ya sea utilizando técnicas de prospectiva (mediante estudios de mercado, por ejemplo) o de extrapolación del pasado. En la mayoría de empresas, estas tareas son realizadas por el departamento comercial.

- **Planificación de operaciones o de la producción**

A partir del plan de demanda se elabora el plan maestro de producción o plan director, según el cual se determinan qué productos se elaborarán y en qué cantidades para cada intervalo de tiempo del horizonte o periodo de planificación.

Por ejemplo, si el horizonte de planificación es de un año, puede dividirse en intervalos mensuales, en los que planificamos qué producimos en cada uno de los meses: enero, febrero, etc.

Generalmente, la planificación de operaciones se realiza al menos en dos niveles. En un primer nivel, denominado de *planificación agregada*, se determinan las cantidades que hay que producir de los diferentes productos agrupados en familias, en un año y con intervalos mensuales (plano maestro agregado). En un segundo nivel, la planificación se realiza con más detalle, agrupando las familias en clases más reducidas (o artículos finales) y en un horizonte menor (cuatro meses, con intervalos semanales), y se obtiene lo que se denomina *plan maestro detallado*.

En todos los casos, el plan se revisa o se actualiza con una determinada frecuencia, por ejemplo, mensual o semanal, según nos encontremos en un mayor o menor grado de detalle.

Paralelamente, al realizar la planificación, se toman decisiones relativas a la asignación de recursos y, por lo tanto, se determinan las modalidades de utilización de los recursos críticos para alcanzar el plan de producción.

- **Gestión de materiales**

El cálculo de necesidades comprende la determinación de las órdenes de compra y de fabricación de materiales (materias primas, piezas y componentes).

El primer paso consiste en realizar la exposición de las operaciones que hay que utilizar y los materiales que se consumen para fabricar los productos

acabados del plan maestro (subconjuntos, semielaborados, componentes, materias primas, etc.).

En el cálculo de necesidades, el horizonte es menor que en la planificación, normalmente de diez a dieciocho semanas, con intervalos semanales y con una frecuencia de actualización también semanal.

Para realizar el cálculo de necesidades se utilizan las técnicas de MRP I (planificación de necesidades de materiales) y MRP II (planificación de recursos de producción).

Otras decisiones

En este nivel jerárquico de decisiones también podemos incluir las referentes a la gestión de stocks (planificación y control), con el fin de determinar los niveles de inventario de cada uno de los artículos (materias primas, semielaborados, productos acabados) y decidir cuando y en qué cantidades hay que comprar cada material.

- **Programación de operaciones**

Consiste en asignar las órdenes de producción o las operaciones en las que se descomponen los centros de trabajo específicos dentro de intervalos concretos de tiempo, es decir, determinar dónde (en qué máquina o puesto de trabajo concreto) y cuándo se realizarán (hay que indicar los instantes de inicio y fin de cada operación).

La materialización del programa en órdenes al sistema productivo se realiza por medio de la función de lanzamiento. La programación detallada tiene normalmente un horizonte de pocos días, los intervalos son horas o minutos, y la actualización es frecuentemente diaria.

Una función complementaria, pero necesaria para cerrar el ciclo de gestión, es la de:

- **Seguimiento y control**

Necesaria para asegurar que la ejecución de las actividades coincida con las previsiones realizadas y, en caso contrario, conocer las desviaciones y corregirlas.

Otras tareas complementarias y necesarias en la actividad de producción son las de:

- **Control de calidad**

- **Mantenimiento**

Se encarga de planificar los instantes de mantenimiento preventivo y de realizarlos, al mismo tiempo que repara las averías cuando es necesario.

Control de calidad es el control que se aplica sobre los artículos que la empresa produce; está donde se detectan las "taras". Si la empresa sigue un estándar de calidad, como por ejemplo ISO 9000, tendrá que seguir, en cuanto a control de calidad, las normas de la organización que otorga el estándar.

1.4. Objetivos del subsistema de operaciones

1.4.1. Estrategia de operaciones

La definición de objetivos no es un aspecto general y estático. Cada empresa, en cada momento, tiene que fijarse unos objetivos y estudiar los aspectos en los que puede superar a los competidores y satisfacer a los clientes.

La estrategia de operaciones debe servir de guía o marco de actuación en la toma de decisiones tácticas y operativas del sistema productivo. Con esta estrategia se determinan los objetivos del subsistema –a medio y largo plazo–, los medios que se utilizarán y las acciones concretas que se llevarán a cabo.

Pero la estrategia de operaciones debe resultar coherente con la estrategia competitiva de la empresa. En un primer nivel, la empresa define los objetivos globales, las unidades de negocio, etc. Posteriormente, define los objetivos en relación con cada uno de los diferentes subsistemas e intenta que estos objetivos específicos contribuyan a la consecución de la estrategia global. De esta manera se asegura de que los objetivos de todos los subsistemas sean coherentes entre sí y con los de la empresa.

Ante la existencia de objetivos contradictorios, hay que buscar un equilibrio o proporcionar prioridades a ciertos objetivos.

1.4.2. Objetivos

En general, las empresas actuales fijan los objetivos de la gestión de la producción en torno a la calidad, el servicio y el coste.

Eficiencia, productividad, coste

La eficiencia consiste en uno de los objetivos económicos de toda empresa, y también es el objetivo final del sistema de operaciones. La producción debe llevarse a cabo con la máxima eficiencia posible, lo que implica gestionar y utilizar correctamente los recursos.

Mientras que eficacia significa hacer lo que hay que hacer, ser eficiente significa hacerlo lo mejor posible.

"La eficiencia consiste en obtener el máximo resultado de nuestros esfuerzos productivos". (P Wonnacott; R. Wonnacott, 1987, 3ª edición, pág. 12)

"Eficiencia significa que no hay despilfarro, que se obtiene el máximo de producción de los factores y la tecnología dados". (Samuelson y Nordhaus, 1990, pág. 32).

En realidad pueden distinguirse dos tipos de **eficiencia**: la asignativa y la técnica.

La **asignativa** consiste en producir la mejor combinación de bienes utilizando la mejor combinación de factores.

La **técnica** hace referencia a la utilización de los recursos y a la obtención de la máxima cantidad de producto con los recursos y la tecnología disponibles, sin despilfarros y con una gestión correcta.

El indicador de eficiencia más utilizado es el de **productividad**, que se define como la relación entre la producción obtenida en un determinado periodo de tiempo y los recursos o factores utilizados para obtenerla.

Tener una alta productividad es señal de eficiencia, de gestionar correctamente los recursos productivos.

También, como veremos después, productividad y coste son conceptos inversos.

Una productividad alta implica costes bajos, y viceversa.

Por lo tanto, el objetivo final puede traducirse también en términos de coste, ya que, en definitiva, se trata de **reducir los costes**. Toda empresa debe resultar eficiente: cuanto menor sea el coste (en igualdad de condiciones), mayor será el beneficio.

El objetivo final

Reducir costes, controlar el consumo y la gestión de stocks. Recordemos que el primer objetivo de una empresa es ganar dinero. Si suponemos que todo lo que la empresa produce lo vende, este objetivo puede conseguirse produciendo más o produciendo lo mismo, pero gastando menos.

Ahora bien, la eficiencia ha sido el factor clave de la gestión tradicional, la base de la estrategia de algunas empresas, como por ejemplo, las que tienen unos volúmenes altos de producción, con el objetivo principal de obtener unos costes bajos y, de esta manera, competir en precios.

Pero esta manera de competir no sirve en algunos sectores, en los que el factor precio ya no es tan importante como otros aspectos, y en los que las empresas han optado por diferenciar su producto del de la competencia.

A pesar de eso, ser eficiente y presentar una alta productividad continúa siendo una condición necesaria (aunque no suficiente) para que la empresa sea competitiva. Y para que esta competitividad sea sostenible, es decir, se mantenga, hay que realizar continuas mejoras de la productividad.

Calidad

Una condición indispensable para convertirse en una empresa competitiva es tener un producto competitivo, que sea bueno, de calidad, a un precio razonable y que salga en el momento adecuado.

Por lo tanto, la primera condición es saber identificar y satisfacer las expectativas de los clientes, ofreciendo (diseñando, produciendo y vendiendo), buenos productos de calidad. El objetivo final Reducir costes, controlar el consumo y la gestión de stocks. Recordemos que el primer objetivo de una empresa es ganar dinero. Si suponemos que todo lo que la empresa produce lo vende, este objetivo puede conseguirse produciendo más o produciendo lo mismo, pero gastando menos.

Puede definirse calidad como la aptitud de un producto para satisfacer, a lo largo de su vida útil, las expectativas o los requisitos del comprador; o bien, según la European Organization for Quality Control (EOQC): "el grado en el que cubre las exigencias del cliente al que va destinado el producto, y es el resultado de la calidad de diseño y la calidad de fabricación".

Calidad significa satisfacer las expectativas de los clientes actuales o potenciales. La calidad de un producto no depende tan sólo de sus características técnicas, sino del grado de respuesta a las expectativas del usuario, consumidor o cliente.

Como se desprende de estas definiciones, la idea básica es que la calidad viene determinada por el cliente y va evolucionando con el tiempo, al igual que sus necesidades, exigencias y gustos.

Ahora bien, recordemos que para ser competitivos no es suficiente con satisfacer las exigencias de los clientes, también es necesario conseguir este objetivo con el mínimo coste posible. Se debe generar calidad con la máxima productividad.

Por lo tanto, la calidad y la productividad son elementos interrelacionados. Más adelante veremos cómo con la mejora de la calidad, la empresa puede reducir costes, y cómo esta mejora de la calidad y sus técnicas representan una mejora de la productividad.

Servicio al cliente

En el entorno actual, la calidad o el precio del producto ya no son suficientes para garantizar la competitividad de una empresa. Cada vez es más necesario ofrecer un servicio específico y adecuado como medio de diferenciación. Al ofrecer un servicio complementario con nuestro producto aumentamos el valor añadido. En muchos casos, ofrecemos todo un "paquete".

Ofrecer un buen servicio al cliente no tan sólo significa proporcionarle un buen trato, sino también cumplir los plazos de entregas, evitar errores, facilitarle las compras (ofreciéndole modalidades de pago) y disponer de un buen servicio posventa (garantía, servicios de reparaciones, de recambios, etc.).

Otras actividades de servicio se orientan a ofrecer información al cliente, al proporcionarle información técnica y orientación, al elaborar manuales de usuario, etc. Y otras juegan un papel de apoyo, como la capacidad para adaptarse a las necesidades del cliente: en la frecuencia de las entregas, en el tamaño de los lotes, ofreciendo un producto personalizado, etc.

Algunos autores hablan de un nuevo objetivo o una nueva manera de competir basada en el tiempo, en la rapidez, tanto en el desarrollo de nuevos productos, como en la fabricación; es decir, de reducir los plazos de entrega. A nuestro entender, la rapidez puede presentar una dimensión de cómo servir mejor al cliente y, por lo tanto, estaría incluida en este último objetivo.

Factores clave

Para acabar este apartado, hay que mencionar algunos de los factores clave para alcanzar los objetivos de calidad, servicio y productividad, es decir, los factores que determinan el nivel de competitividad de una empresa.

En primer lugar, podemos hablar del **factor humano**, las personas que trabajan en la empresa, que son las que piensan, gestionan y ejecutan las tareas y operaciones. Las personas constituyen el factor más importante a la hora de determinar si la empresa será competitiva y eficiente o no, de acuerdo con sus conocimientos, formación y experiencia, y sus habilidades, buena voluntad, motivación, etc.

El factor humano

Cada vez más, las grandes empresas dedican más esfuerzos a conseguir que sus trabajadores se sientan bien en la empresa. Se ha demostrado que un trabajador disgustado o enfadado rinde la mitad y, además, contagia su estado de ánimo al resto de trabajadores de su alrededor.

Algunas medidas para evitarlo son: política de promociones, pagas extras, reconocimiento por parte de la empresa de un trabajador que trabaja más y mejor, etc.

Por lo tanto, un objetivo para una determinada empresa podría ser el de mejorar la calidad del personal de producción, aumentando los conocimientos y la flexibilidad (variando o ampliando, por ejemplo, el contenido de sus tareas).

Lo mismo podríamos comentar de la **innovación tecnológica**, tanto de productos como de procesos. El hecho de que la empresa innove lanzando al mercado productos nuevos o mejorados (bienes o servicios) es un medio para incrementar, por ejemplo, el grado de satisfacción de los clientes, o para captar

otros nuevos. Si la empresa no mejora continuamente sus productos para superar a sus competidores y satisfacer las necesidades de los clientes, pronto sus productos quedarán obsoletos.

En lo que concierne a los procesos productivos, si la empresa no los innova y los mejora continuamente, pronto sus competidores tendrán un nivel tecnológico mucho más alto, lo que les permitirá fabricar productos más rápidamente, de mayor calidad y a un coste más bajo.

Otro aspecto que queremos comentar es la **automatización**. La automatización no es un objetivo en sí misma, sino en la medida en que permite ganar en flexibilidad, en calidad y en seguridad (ya que se automatizan tareas peligrosas para el hombre), o reduce costes de mano de obra directa.

En las condiciones actuales del entorno económico, para alcanzar los objetivos de productividad o de calidad, la **flexibilidad**, entendida como la capacidad de adaptación al cambio o a las circunstancias cambiantes, constituye un requisito imprescindible.

La flexibilidad productiva suele identificarse con la flexibilidad con respecto a los *outputs* o productos, tanto en cantidad como en variedad, es decir, la capacidad para producir cosas diferentes. Los denominados sistemas flexibles son capaces de responder a la demanda individual de un grupo de clientes y producir pequeñas cantidades de una gran variedad de productos a un coste razonable.

Pero no sólo el sistema de operaciones debe ser más flexible, sino toda la empresa en su conjunto, de manera que debe adoptar estructuras organizativas más adecuadas al entorno variable y a las nuevas formas de organización y gestión.

Por lo tanto, la empresa puede tener como objetivos cualquiera de los anteriores, como medio necesario o primer paso para mejorar la eficiencia, la calidad o el servicio al cliente, según sus prioridades y el grado en que ha alcanzado el resto de objetivos.

2. Diseño del proceso

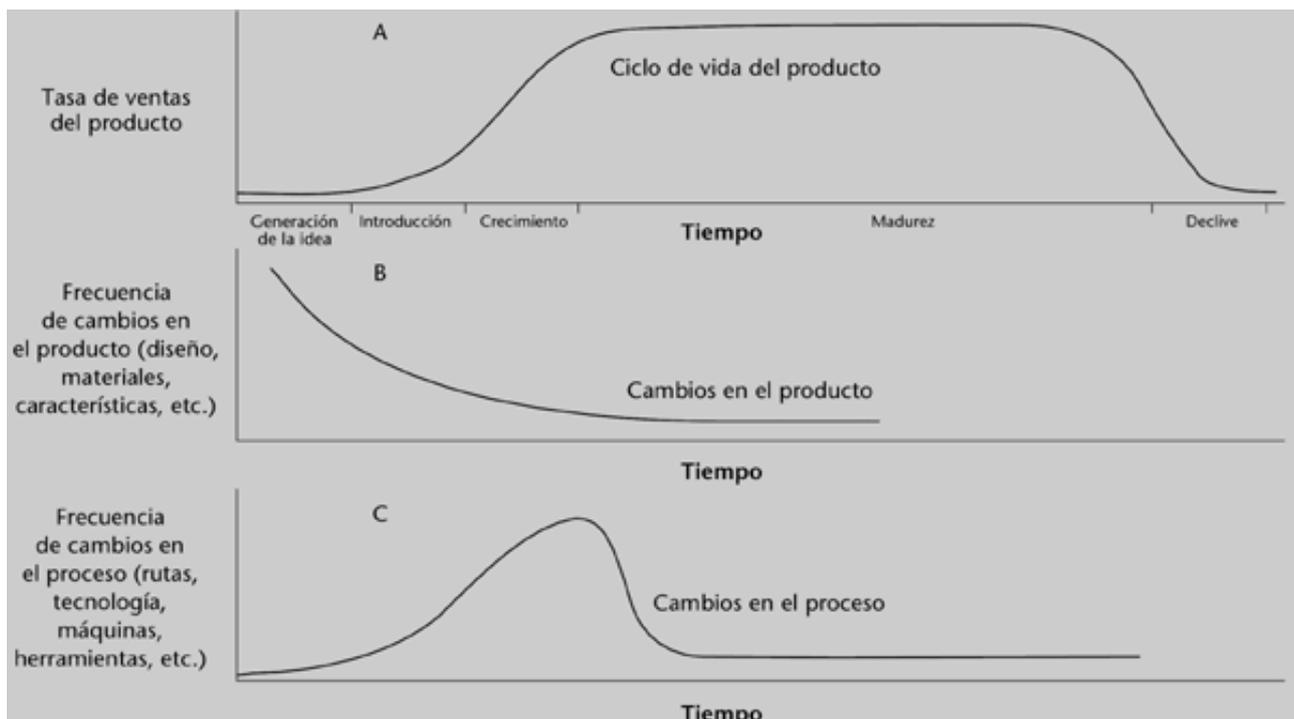
2.1. Implicaciones y condicionantes del diseño del proceso

Las empresas suelen enfrentarse a numerosas maneras alternativas de organizarse para obtener un mismo producto. El **diseño del proceso productivo** consiste en decidir la combinación de equipos y medios humanos que se utilizará (la mayor intensidad de unos u otros), el nivel de automatización, la subcontratación o no de una parte de la producción, etc.

Como ya habíamos comentado, el diseño de productos tiene una fuerte influencia sobre el diseño del proceso; por eso, se considera que hay que llevarlos a cabo de forma paralela, y no esperar a que el primer diseño haya acabado para empezar el segundo. Sin embargo, en la práctica, el diseño del proceso es, muchas veces, posterior al del producto, lo que provoca a menudo la creación de artículos demasiado costosos o imposibles de producir. Ésta es una de las razones por las que resulta importante que el personal de operaciones tome parte, desde el principio, en el diseño de los bienes o servicios.

Rediseño del proceso productivo

Los avances tecnológicos (que amplían notablemente el abanico de opciones disponibles) o las modificaciones en el coste de los inputs son algunos de los cambios del entorno que obligan a rediseñarlo a menudo para que continúe resultando eficiente con las nuevas condiciones.



Ciclos de vida del producto y del proceso (Chase y Aquilano, 1994, pág. 70)

En el gráfico podéis apreciar claramente la evolución conjunta de los cambios en los productos y en los procesos a lo largo del tiempo; así, la mayoría de modificaciones de los productos aparecen en las etapas iniciales de su ciclo de vida, cuando todavía se están acabando de configurar, y en el proceso aparecen un poco más tarde, coincidiendo con la etapa de crecimiento, y prácticamente desaparecen una vez empieza la producción en toda su capacidad.

Contenido complementario

Esta estrecha relación fue recogida por Hayes y Wheelwright, que desarrollaron la llamada matriz producto-proceso, en la que se analizaba la interdependencia existente entre el ciclo de vida de los productos y de los procesos.

El diseño del proceso viene **condicionado**, entre otros factores, por:

- la estructura de los productos (complejidad, homogeneidad...);
- las necesidades de flexibilidad para enfrentarse a posibles cambios (si las estimaciones de la demanda indican una gran variabilidad, la empresa debe ser capaz de adaptarse y modificar el volumen de producción);
- el nivel de calidad de los bienes o servicios que quiera ofrecerse;
- la disponibilidad de recursos financieros para hacer frente a la inversión necesaria;
- el grado de participación del cliente en el proceso.

El último factor adquiere una importancia especial en el caso de los **servicios**. En general, éstos requieren una menor intensidad de capital, una mayor flexibilidad y un cuidado especial a la hora de seleccionar al personal que tratará directamente con los clientes. Su presencia suele afectar negativamente al rendimiento del proceso, ya que impide que se desarrolle de forma fluida y equilibrada; por este motivo, se suele afirmar que cuanto mayor sea el alejamiento del cliente del proceso, menor será su coste, lo cual se puede conseguir mediante la aplicación de diferentes tácticas (Heizer y Render, 1997, pág. 296):

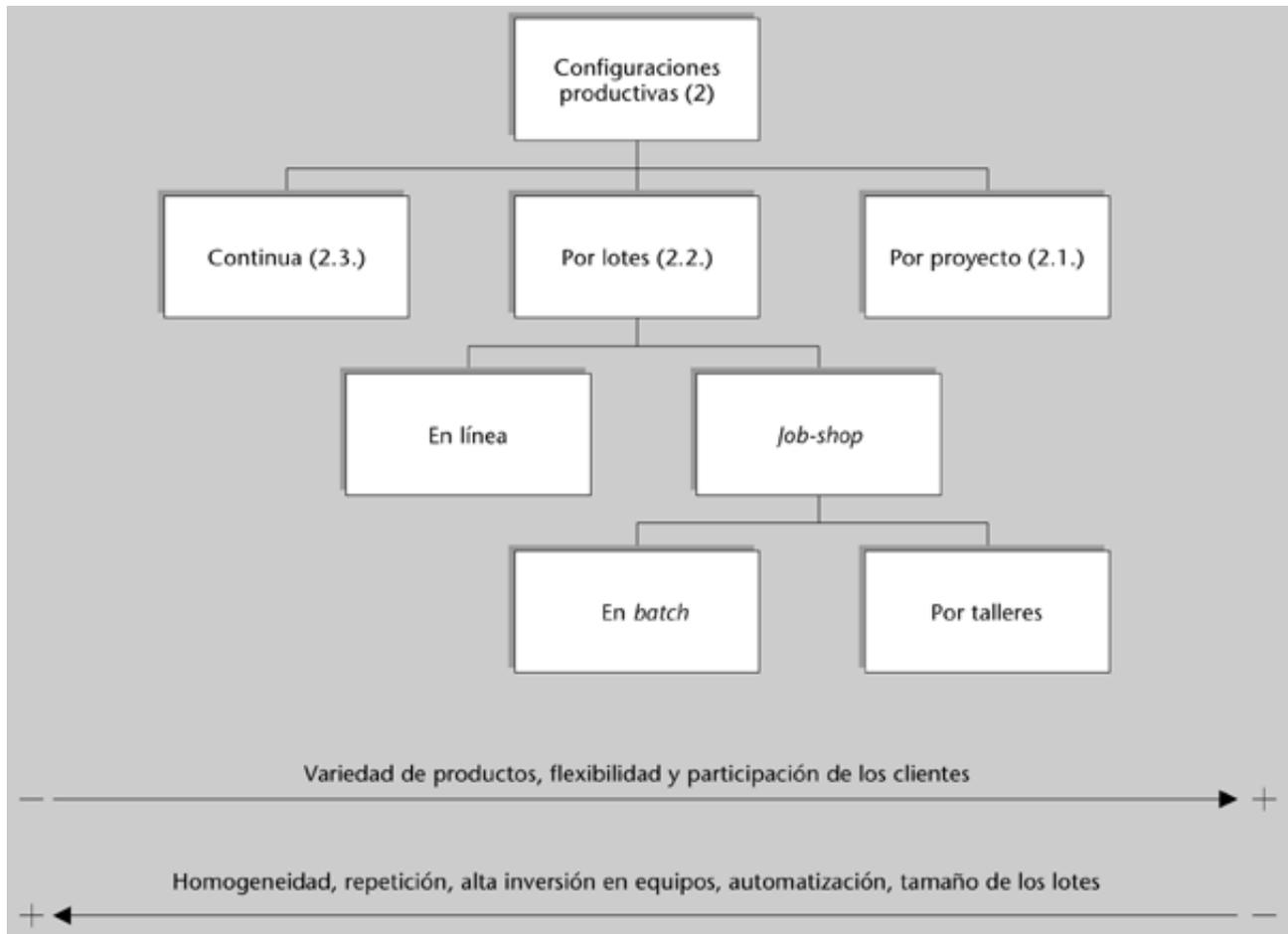
Táctica que hay que utilizar	Ejemplo
Limitación de la oferta	Menú limitado de un restaurante
Estructuración del servicio para que los clientes vayan al lugar donde éste se lleva a cabo	Bancos donde los clientes se dirigen a la zona de la ventanilla, abren nuevas cuentas...
Autoservicio encaminado al hecho de que sea el propio cliente quien examine y compare por sí mismo los productos	Comercios, grandes superficies, etc.
Aislamiento de aquellos servicios que puedan estar automatizados, de manera que los clientes puedan hacerlos solos	Cajeros automáticos, máquinas expendedoras de bebidas, billetes de cercanía, etc.

Conseguir un buen diseño del proceso productivo resulta fundamental para la empresa, ya que afecta a los costes, al nivel de calidad, a su flexibilidad y al grado de satisfacción del personal, e implica la elección de unos determinados equipos e instalaciones que se deberán conservar, normalmente, durante un periodo más o menos largo de tiempo.

2.2. Tipos de procesos o configuraciones productivas

Para obtener una clasificación de los diferentes tipos de proceso productivo, utilizaremos como criterio diferenciador la continuidad en la obtención del producto, lo que dará lugar a las configuraciones del siguiente cuadro:

A pesar de las generalizaciones que nos vemos obligados a efectuar, debemos advertir que, como es lógico, en la práctica las organizaciones no se ajustan de manera estricta a una única configuración.



2.2.1. Configuración por proyecto

Se utiliza cuando hay que elaborar productos o servicios "únicos" (es decir, que presentan unas características singulares) y de cierta complejidad; esto provoca que, cada vez que se realiza el proceso, las actividades pueden ser incluso diferentes, ya que deben adaptarse a cada caso concreto.

Este hecho dificulta notablemente la planificación, que intenta determinar qué tiempo (y qué recursos) requiere cada actividad, en qué orden se deben realizar las diferentes tareas y cuándo se tienen que acabar, con el fin de respetar la duración total del proyecto.

En este tipo de producción no se habla propiamente de flujo de productos, sino de secuencia de operaciones, ya que, normalmente, el producto queda fijo en un punto y son los equipos y el personal los que se trasladan al lugar donde se elabora. La construcción de un edificio o el rodaje de una película conforman una buena muestra de ello.

2.2.2. Configuración por lotes: las configuraciones *job-shop* y las configuraciones en línea

En este caso, se pueden utilizar las **mismas instalaciones** para obtener **diferentes productos** con los ajustes necesarios (por eso se habla también de fabricación intermitente).

En función del tamaño de los lotes de productos obtenidos, de la variedad de estos productos y de las características de los procesos, podemos encontrarnos con las siguientes situaciones:

1. En las **configuraciones *job-shop*** se producen lotes más o menos pequeños de una amplia variedad de productos. Éstos suelen ser "a medida" o con muchas opciones posibles, por lo que se da poca o nula estandarización (Machuca, 1995, pág. 143). Con estas características, todavía podemos distinguir dos tipos de procesos diferentes:

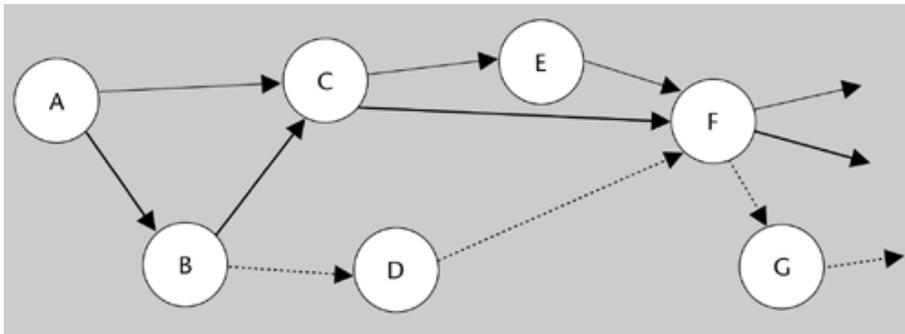
a. La **configuración por talleres** se utiliza cuando se necesita un pequeño número de operaciones poco especializadas, que pueden ser realizadas por el mismo trabajador o grupo de trabajadores. Éstos pueden llegar a hacerse cargo de todo el proceso de obtención de un pedido y utilizan los diferentes centros de trabajo para desarrollar todas las operaciones necesarias.

En este tipo de producción, los equipos y el personal se agrupan según la similitud de sus habilidades o funciones, y forman lo que denominamos **talleres** (de aquí el origen de su nombre); es decir, las operaciones se agrupan según

Contenido complementario

La estandarización consiste en el ajuste de una serie de productos o servicios a un tipo, modelo o norma.

su semejanza. Los materiales y los productos se llevan sólo a aquellos centros de trabajo que lo requieran y se saltan el resto, tal como podéis ver esquemáticamente en la figura.



Como ya hemos dicho, este tipo de producción suele utilizarse cuando los lotes están formados por **pocas unidades de producto**, porque normalmente difieren mucho en cuanto a forma, materiales o procesos de obtención. Por este motivo resulta especialmente adecuado para las organizaciones de servicios.

Un ejemplo típico de este tipo de configuración son los talleres de reparación de automóviles.

Sus principales ventajas e inconvenientes son:

Ventajas	Inconvenientes
Alta flexibilidad, que facilita el hecho de tener que cambiar de producto o de volumen de producción; esto se debe a los equipos, diseñados con finalidades generales, y al personal cualificado, que tiene que dominar cada fase de fabricación del producto. La diversidad de tareas asignadas a los trabajadores reduce la insatisfacción de la mano de obra.	La contrapartida de la flexibilidad es una menor eficiencia. Acumulación de inventarios de productos en curso (porque en el trayecto de un taller a otro, los productos pueden llegar a un taller y encontrar que está ocupado preparando otro pedido). Cantidad considerable de desplazamientos de materiales y mano de obra.

b. La configuración en *batch* se aplica cuando el proceso requiere más operaciones y más especializadas que en el caso anterior, por lo que difícilmente un mismo operario puede dominarlas todas medianamente bien (Machuca, 1995, pág. 145).

El producto se presenta con unas cuantas versiones entre las que tiene que escoger el cliente, pero ya no es tan "a medida" como en el caso anterior y, por lo tanto, se da un cierto grado de estandarización. Este hecho provoca que los lotes sean un poco mayores y que la maquinaria sea un poco más sofisticada y especializada, aunque se sigue manteniendo bastante la flexibilidad.

2. La **configuración en línea** se utiliza cuando se producen grandes lotes de una pequeña variedad de productos, aparentemente diferentes pero técnicamente homogéneos, es decir, que requieren el mismo tipo de operaciones (y, por lo tanto, pueden utilizar las mismas instalaciones).

Los puestos de trabajo se colocan en línea, uno tras otro, siguiendo el orden de estas operaciones. En este caso sí hablamos propiamente de flujo de productos, ya que éstos van pasando de un lugar a otro según la secuencia preestablecida.

Un ejemplo típico de esta configuración son las líneas de montaje o los establecimientos de comida rápida.

Entre sus ventajas e inconvenientes, podemos destacar:

Ventajas	Inconvenientes
Es más eficiente que el anterior, en buena parte a causa de la posibilidad de instalar equipos altamente automatizados y de utilizar una mano de obra muy especializada en tareas rutinarias.	Es necesario proceder a equilibrar la línea (aspecto que analizaremos con más detalle en un apartado posterior) para evitar que unos operarios retrasen a otros a causa de una distribución deficiente de las tareas. No podemos olvidar la insatisfacción que este tipo de producción provoca en el trabajador.

Contenido complementario

Los equipos de la configuración en línea son más versátiles que los de la producción continua (que veremos a continuación), porque deben realizar operaciones similares, pero no exactamente iguales.

2.2.3. Configuración continua

La fabricación por lotes se transforma en continua cuando la producción se organiza en cadena o línea, se eliminan los tiempos ociosos y de espera, y se ejecutan siempre las mismas operaciones en las mismas máquinas para obtener el mismo producto (Machuca, 1995, pág. 148).

Homogeneidad y repetición son las palabras que podrían describir este tipo de proceso.

Para que un proceso continuo pueda funcionar bien es necesario:

- un producto o servicio estandarizado, ya que esta producción no posee flexibilidad para introducir modificaciones en los productos; en todo caso, si son necesarias, se realizarán en el acabado final;
- una demanda bastante uniforme;
- un suministro fiable de materiales, para no paralizar la cadena por retrasos o problemas de calidad;
- un esmerado mantenimiento de los equipos para evitar averías que provoquen paros;

- un proceso equilibrado que evite los tiempos inactivos o las líneas de espera. Este aspecto presenta el inconveniente de que en general, para conseguirlo, se equilibra siguiendo el ritmo del elemento más lento y, por lo tanto, se modera todo el proceso;
- una realización adecuada de las tareas, ya que los errores pueden detener todo el proceso posterior.

Sus principales ventajas e inconvenientes son los que vemos en el cuadro siguiente:

Ventajas	Inconvenientes
<p>Reducción de los tiempos ociosos y, por lo tanto, del inventario en curso. Pocos transportes entre lugares de trabajo. Facilitación del control, ya que los problemas se ponen rápidamente en evidencia. Dado que siempre se fabrica el mismo producto, resulta más fácil planificar las necesidades de materiales y mantener los niveles de calidad. Se consigue un menor coste por unidad en las compras masivas y en el menor inventario en curso gracias al equipo especializado.</p>	<p>Sistema poco flexible a causa de los equipos muy especializados y a menudo automatizados. Esta situación puede impedir, por ejemplo, introducir cambios importantes en el diseño del producto (aspecto imprescindible muchas veces). Cualquier problema puede detener la línea (con los costes que eso supone). La repetición de las operaciones afecta al grado de satisfacción de los operarios, lo que puede llegar a provocar una reducción de homogeneidad de los productos y problemas de calidad.</p>

Tipo	Homogeneidad del proceso	Repetición	Producto	Intensidad de capital	Flexibilidad	Participación cliente	Volumen de output
Continua	Alta	Alta	Estándar	Automatización e inversión alta	Inflexible	Nula	Muy grande
Línea	Media	Media	Unas cuantas opciones	Automatización e inversión media	Baja	Baja	Medio/Gran
Batch	Baja	Baja	Muchas opciones	Automatización e inversión baja	Media	Media	Bajo
Talleres	Muy baja	Muy baja	A medida	Automatización escasa o nula e inversión baja	Alta	Alta	Muy bajo
Proyecto	Nula	Nula	Único	A medida	Automatización nula	Alta	Uno o pocos

Cuadro comparativo de los diferentes tipos de configuraciones productivas (Dominguez Machuca, 1995, pág. 151)

3. Distribución en planta

3.1. Concepto y objetivos

La distribución en planta (o layout) consiste en determinar la mejor disposición de los diferentes elementos que forman el proceso productivo, de manera que se alcancen los objetivos fijados de la forma más adecuada y eficiente posible. Una buena distribución en planta debe permitir una buena circulación de materiales, productos e información.

Cuando se pone en marcha un proceso de distribución en planta, lo que se pretende fundamentalmente es:

1) Reducir las manipulaciones y el material en proceso.

Las manipulaciones son los desplazamientos de materiales y/o productos sin **que éstos sufran modificaciones de su estado físico**. A pesar de no añadir valor al producto, resultan costosas, ya que unas manipulaciones excesivas pueden provocar una importante utilización o consumo de horas de trabajo que alargan la duración del proceso, sin olvidar los riesgos de deterioro que comportan estos movimientos.

Una buena distribución en planta debe conseguir que estos recorridos de materiales, utillajes y personas resulten tan cortos como sea posible.

2) Utilizar el espacio disponible de la mejor manera posible.

3) Equilibrar el proceso de transformación.

4) Conseguir que el proceso productivo sea suficientemente flexible para adaptarse a los cambios del entorno.

5) Aumentar la seguridad de los trabajadores y mejorar la calidad de vida en el trabajo.

6) Disminuir los riesgos que puedan afectar a las condiciones y la calidad de los materiales.

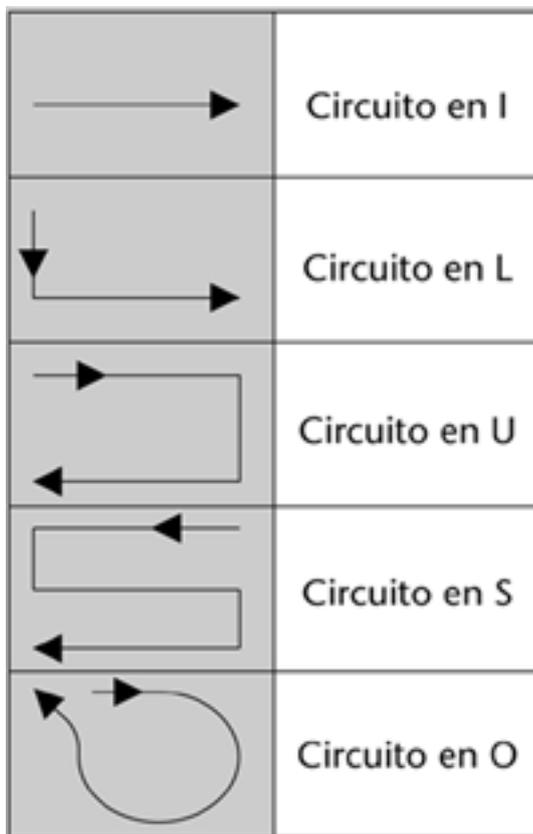
7) Optimizar la utilización de la mano de obra y la maquinaria.

8) Facilitar la supervisión y el control.

A la hora de analizar y seleccionar la distribución en planta más apropiada para cada caso, hay que considerar una serie de cuestiones que influirán en la decisión o la limitarán, como:

1) La manera como los **materiales** circulan por la empresa, aspecto que determina, por ejemplo, el coste de su tratamiento, la cantidad utilizada en el proceso o el espacio que este proceso ocupa.

Algunos de los tipos de circulación horizontal más comunes son:



A partir de estas formas básicas, se pueden obtener diferentes combinaciones.

2) La cantidad de **equipos** que se utilizarán y sus dimensiones, así como los utillajes y espacios auxiliares que se necesitan a su alrededor.

3) Aspectos relacionados con la **mano de obra**, no sólo en cuestiones relativas a temas de calidad de vida en el trabajo o condiciones ambientales (seguridad, iluminación, ventilación, etc.), sino también con aspectos vinculados a las relaciones personales.

4) Las necesidades de espacio para **servicios auxiliares** (mecanismos antiincendios, calefacción, etc.)

5) Las limitaciones que impone el **edificio** en cuanto a estructura de la planta, localización de columnas, escaleras, altura, etc., y los costes de construcción o modificación de las instalaciones.

Teniendo en cuenta la **gran cantidad de variables** que hay que considerar en este análisis, suelen utilizarse programas informáticos que facilitan el trabajo. Sin embargo, no siempre se puede asegurar que las soluciones que proporcionan sean *la* solución óptima, sino simplemente uno de los posibles resultados aceptables.

3.2. Tipo de distribución en planta (DP)

Según la configuración del proceso productivo escogida (aspecto que ya hemos analizado anteriormente), podemos distinguir tres tipos de distribución en planta, que presentan las características básicas siguientes:

	DP basada en el producto	DP basada en el proceso	DP por posición fija
Producto	Estandarizado. Alto volumen de producción (bastante constante).	Diversificado. Volúmenes y tasas de producción variables.	Normalmente con pedido. Volumen de producción bajo (a menudo una unidad única).
Flujo de trabajo	Línea continua o cadena de producción. Todas las unidades siguen la misma secuencia de operaciones.	Flujo variable. Cada producto puede tener una secuencia de operaciones propia.	Mínimo o inexistente. Personal y equipos van al producto cuando lo necesitan.
Mano de obra	Altamente especializada y poco cualificado. Capaz de realizar tareas repetitivas.	Cualificada. Moderadamente adaptable.	Alta flexibilidad. Asignación de tareas variable.
Manipulación de materiales	Previsible y a menudo automatizada.	Variable, a menudo con esperas y retrocesos.	Variable y a menudo escasa.
Inventarios	Alto inventario de productos acabados.	Escaso inventario de productos acabados.	Variables. Inmovilizaciones frecuentes, ya que el ciclo de trabajo es largo.
Utilización del espacio	Eficiente.	Deficiente. Gran necesidad de espacio para el material en proceso.	Generalmente todo es requerido por un solo producto.
Necesidades de capital	Elevada inversión en equipos altamente especializados.	Inversiones más bajas en equipos de carácter general.	Equipos móviles de carácter general.

Adaptado de Domínguez Machuca, 1995, pág. 283-284.

A continuación, analicemos con más detalle cada alternativa.

Contenido complementario

Entre estos paquetes informáticos destacan el programa CRAFT (Computer Relative Allocation of Facilities Technique), ALDEP (Automated Layout Design Program) y CORE-LAP (Computerized Relationship Layout Planning).

3.2.1. Distribución basada en el producto

Se aplica cuando la producción es continua o repetitiva, es decir, cuando se fabrica una gran cantidad de productos de poca variedad.

Los puestos de trabajo se sitúan uno junto a otro y siguen el orden de las operaciones que hay que llevar a cabo; el producto va pasando por estos puestos de trabajo a medida que se le van realizando las operaciones correspondientes.

El caso más representativo de esta distribución es el de las cadenas de montaje (por ejemplo, de automóviles).

Como principales ventajas e inconvenientes, podemos citar los siguientes:

Ventajas	Inconvenientes
<p>Poco trabajo en curso en la planta (el <i>output</i> de un puesto de trabajo pasa inmediatamente al siguiente).</p> <p>Mínimo transporte interno, ya que los puestos de trabajo se encuentran cerca.</p> <p>Planificación y control de la producción sencillos.</p> <p>En general, los operarios no necesitan alta cualificación. Por lo tanto, esta mano de obra es fácil de entrenar y sustituir.</p>	<p>Inflexibilidad ante cambios en el diseño del producto o en el entorno.</p> <p>Es muy vulnerable a las averías: un problema en una máquina puede detener todo el proceso posterior.</p> <p>Requiere una inversión bastante elevada (por ejemplo, a veces hay que duplicar máquinas iguales a lo largo del proceso).</p> <p>El trabajo repetitivo afecta a la satisfacción y al rendimiento del personal.</p> <p>El ritmo para equilibrar la línea lo marca el puesto de trabajo más lento.</p>

3.2.2. Distribución basada en el proceso (o distribución funcional o por talleres)

Este tipo de distribución es el adecuado cuando la producción se realiza en lotes de tamaño variable y de una amplia gama de productos diferentes. Esta variabilidad obliga a disponer de una distribución bastante flexible.

En este caso, los trabajadores y los equipos se agrupan por similitud de funciones, y los productos van pasando sólo por aquellas áreas a las que necesitan en su proceso productivo.

Un ejemplo claro de este tipo de distribución son los hospitales, las bibliotecas o las universidades.

Entre sus ventajas e inconvenientes, destacan los siguientes:

Ventajas	Inconvenientes
<p>Flexibilidad para efectuar cambios en el producto o en la cantidad producida (gracias a la versatilidad de los equipos y al personal cualificado).</p> <p>Las inversiones necesarias en equipos son menores que en el caso anterior.</p> <p>Facilidad de mantener el sistema en funcionamiento ante posibles problemas o averías.</p> <p>La diversidad de tareas reduce la insatisfacción de los trabajadores.</p>	<p>Manutención cara, ya que, a veces, los desplazamientos son muy largos.</p> <p>Elevados tiempos de ejecución (el trabajo suele quedar a la espera entre las diferentes tareas del proceso).</p> <p>Dificultad de planificar y controlar.</p> <p>Mucho trabajo en curso.</p> <p>El coste por unidad de producto resulta más elevado.</p> <p>Suele presentar una baja productividad (cada tarea es diferente y, por lo tanto, requiere una organización y un aprendizaje diferente por parte de los operarios).</p>

3.2.3. Distribución por posición fija

Corresponde a procesos productivos por proyecto. Cuando no es posible mover el producto, éste permanece inmóvil. En ese caso, el personal, los materiales, los equipos y las herramientas son los que se desplazan. La distribución en planta se encarga de colocarlos en torno al emplazamiento del proyecto (muchas veces, en círculos concéntricos) en función del nivel de uso, es decir, a mayor grado de utilización, mayor proximidad. Si el espacio es limitado, es importante disponer de una buena programación de las actividades para saber, en cada momento, qué factores serán necesarios.

Ventajas	Inconvenientes
<p>Hay poca manipulación de la unidad principal de montaje.</p>	<p>Es necesario trasladar todos los factores productivos al emplazamiento donde se realiza la producción.</p> <p>A veces requiere una gran cantidad de espacio.</p>

3.2.4. Distribuciones híbridas: las células de trabajo

A veces, las características del proceso productivo hacen conveniente la utilización de combinaciones entre estas formas básicas. La más común es la que mezcla las características de la **distribución basada en el producto** (para aprovechar su eficiencia) y la **basada en el proceso** (para buscar su flexibilidad), lo que da lugar a la denominada distribución por **células de fabricación o trabajo**.

La idea básica de la célula de trabajo es recoger al personal y la maquinaria que estarían normalmente dispersos en diferentes secciones del proceso y colocarlos temporalmente juntos en un pequeño grupo que se dedique a realizar un único producto o grupo de productos relacionados (Heizer y Render, 1997, pág. 412).

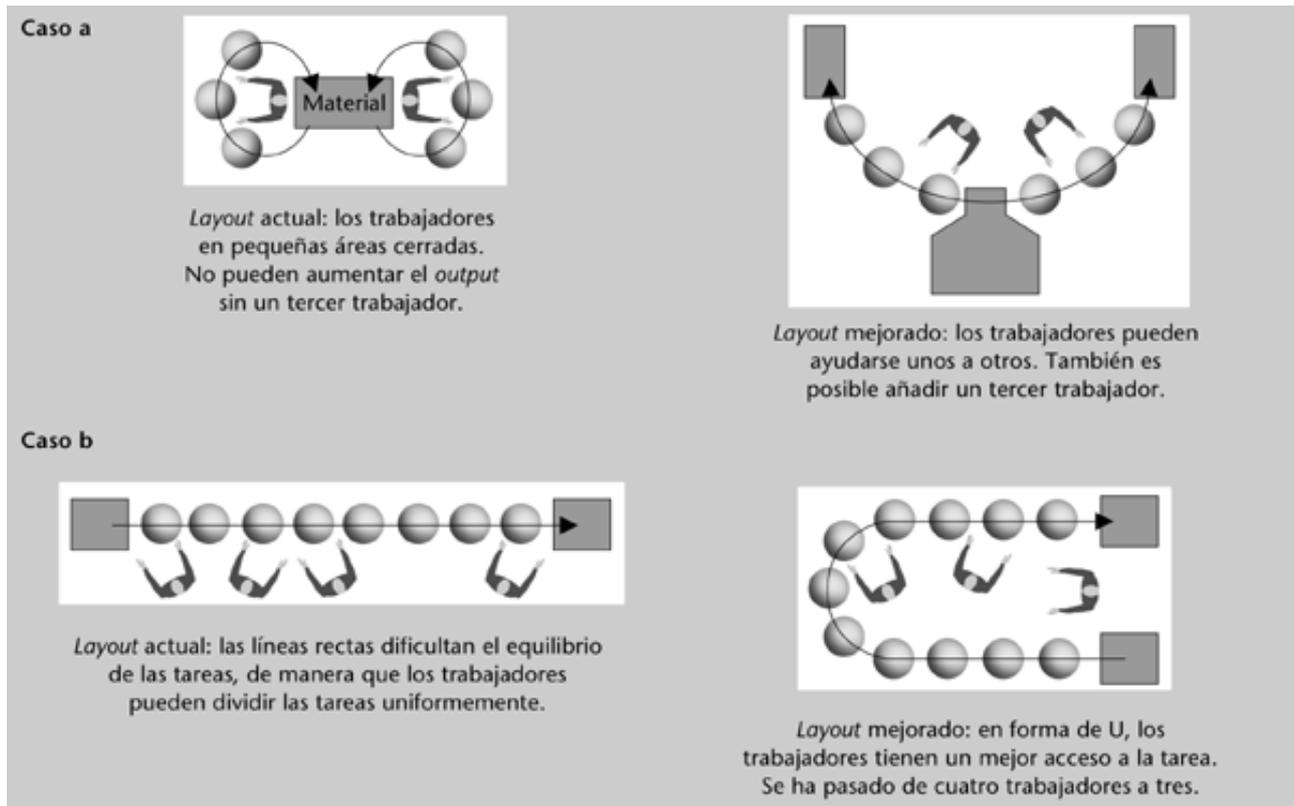
Este tipo de distribución se parece a una distribución por proceso, por el hecho de que cada célula se encuentra diseñada para desarrollar un conjunto de operaciones específicas, y a una distribución orientada al producto, porque se elaboran pocos artículos con características parecidas.

A continuación enumeramos algunas de las ventajas e inconvenientes de esta estructura híbrida:

Ventajas	Inconvenientes
<p>Mejora de las relaciones humanas. Un equipo de trabajadores completa una unidad de trabajo, son entrenados para manipular cualquiera de las máquinas de la célula y asumen de forma conjunta la responsabilidad del resultado.</p> <p>Mejora de la pericia de los operarios, ya que realizan sólo un número limitado de productos.</p>	<p>Normalmente hay una reducción de la flexibilidad del proceso.</p> <p>Incremento potencial de los tiempos inactivos de las máquinas. (Las máquinas están dedicadas a la célula y difícilmente podrán ser utilizadas todo el tiempo.)</p>
Ventajas	Inconvenientes
<p>Disminución del material en proceso a causa de la disminución de los traslados, ya que una célula engloba unas cuantas etapas del proceso de producción.</p> <p>Disminución de los tiempos de preparación (hay que efectuar menos cambios de herramientas, ya que el tipo de artículo es limitado).</p> <p>Disminución de los tiempos de fabricación.</p> <p>Simplificación de la planificación y el control.</p>	<p>Riesgo de que las células queden obsoletas a medida que cambian los productos y los procesos.</p>

Adaptado de Domínguez Machuca, 1995, pág. 299

Las células de fabricación o trabajo se organizan a veces siguiendo una estructura en forma de U, que presenta una serie de mejoras, especialmente en lo que concierne a la reducción del espacio necesario y la disminución de movimientos de materiales y operarios, además del hecho de que aumenta la comunicación entre ellos.



Heizer y Render, 1997, pág. 413

3.3. Técnicas para resolver problemas de distribución en planta

Como ya hemos comentado, la distribución en planta trata básicamente de decidir cuál es la mejor disposición de los talleres o puestos de trabajo, de manera que se reduzcan las distancias que hay que recorrer y que el coste de manipulación de materiales resulte mínimo.

Es posible que entre algunos puestos de trabajo exista mucho movimiento, mientras que entre otros sea escaso; por lo tanto, se intentará situar los departamentos o secciones más interrelacionados (por movimiento de materiales o personas) próximos unos de otros. Este proceso puede verse limitado en la práctica por la imposibilidad de cambiar la ubicación de algún departamento, por la existencia de ciertas disposiciones de seguridad o, sencillamente, por problemas de espacio.

Antes de decidir esta disposición, se deben conocer las **necesidades de espacio de cada área de trabajo**, para lo que previamente se deberá realizar una previsión de la demanda para llegar a una estimación del número de trabajadores y máquinas necesarios.

Consideramos que la superficie total (S_T) está formada por tres componentes:

1. Superficie estática (S_s): es la que necesitan las máquinas y los puestos de trabajo.

Cálculo de superficies

Existen varios métodos para el cálculo de la superficie necesaria. Sea cual sea el método utilizado, debemos tener presente que no siempre se puede ser excesivamente preciso en estas medidas.

2. Superficie de gravitación (S_G): es la necesaria en torno a las máquinas y los puestos de trabajo para colocar los materiales y permitir que los trabajadores desempeñen su trabajo.

Esta superficie se calcula mediante la expresión siguiente:

$$S_G = S_S \cdot N$$

donde N es el número de lados accesibles de las máquinas o de los lugares de trabajo.

3. Superficie de evolución (S_E): espacio que hay que reservar entre puestos de trabajo para los desplazamientos de materiales y operarios.

En este caso, aplicaremos la siguiente fórmula:

$$S_E = (S_S + S_G)K$$

donde K es un coeficiente que varía entre 0,05 y 3 según el tipo de industria.

Calcularemos la superficie total como suma de las tres anteriores:

$$S_T = S_E + S_G + S_S$$

Ejemplo

Veamos un pequeño ejemplo para aclarar todos estos conceptos. Suponed que deseamos efectuar una estimación de la superficie necesaria para organizar una determinada sección de una empresa. Para hacerlo, disponemos de los datos siguientes:

Tipo de elementos (máquinas, mesas, etc.)	Cada elemento ocupa (S_i)...	De cada elemento hay...	Se puede acceder por N lados...
A	2 m ²	5 unidades	2 lados
B	3 m ²	4 unidades	2 lados
C	1 m ²	6 unidades	1 lado

Además, sabemos que, en el sector en el que trabaja la empresa, el coeficiente K toma el valor 2.

Además, sabemos que en el sector que trabaja la empresa el coeficiente K toma el valor 2.

Para calcular la superficie total necesaria, debemos realizar una estimación de la superficie estática, de gravitación y de evolución:

Tipo de elementos (máquinas, mesas, etc.)	$S_S = S_i \cdot \text{núm. de unidades}$	$S_G = S_S \cdot N$	$S_E = (S_S + S_G) \cdot K$
A	$2 \cdot 5 = 10$	$10 \cdot 2 = 20$	$(10 + 20) \cdot 2 = 60$
B	$3 \cdot 4 = 12$	$12 \cdot 2 = 24$	$(12 + 24) \cdot 2 = 72$
C	$1 \cdot 6 = 6$	$6 \cdot 1 = 6$	$(6 + 6) \cdot 2 = 24$

Con estos datos, podemos concluir que la superficie total necesaria será:

$$S_T = S_E + S_G + S_E = 28 + 50 + 156 = 234 \text{ m}^2$$

Una vez disponemos de una orientación sobre el espacio que necesitará cada sección, tenemos que realizar la distribución dentro de la planta. Para ello nos basamos en una serie de criterios que, según los casos, pueden ser cuantitativos o cualitativos. Veamos algunos de los métodos más utilizados.

3.3.1. Algoritmo básico de transposición

Consiste en utilizar como criterios, para establecer la distribución más adecuada, los flujos o manutenciones entre departamentos por periodo de tiempo, las distancias entre estos departamentos y los costes de transporte.

El objetivo que se busca es minimizar el coste total por transporte (CTT) entre departamentos que, para una determinada distribución, vendrá dado por la expresión siguiente:

$$CTT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{ij} \cdot D_{ij} \cdot C_{ij}$$

donde M_{ij} es el número de manutenciones (movimientos) entre el departamento i y el j , D_{ij} es la distancia entre ellos, C_{ij} es el coste por unidad de distancia y manutención y n es el número de secciones o departamentos.

M_{ij} y C_{ij} no dependen de la ubicación de los departamentos; por lo tanto, los posibles cambios en la distribución afectarán sólo a D_{ij} . Se tratará de ver cuáles son estas distancias entre departamentos que consiguen minimizar el coste total por transporte.

Por ejemplo, analizamos una empresa organizada en cuatro secciones (A, B, C y D) que se está planteando llevar a cabo una redistribución para reducir los costes de transporte. Actualmente, la distribución en planta que presenta es la siguiente (aparecen ubicadas una junto a otra en un orden determinado):

Contenido complementario

Muchos de estos métodos son de tipo heurístico, es decir, consisten en una serie de procedimientos que facilitan la búsqueda de una solución satisfactoria pero que no puede asegurarse que sea la óptima.

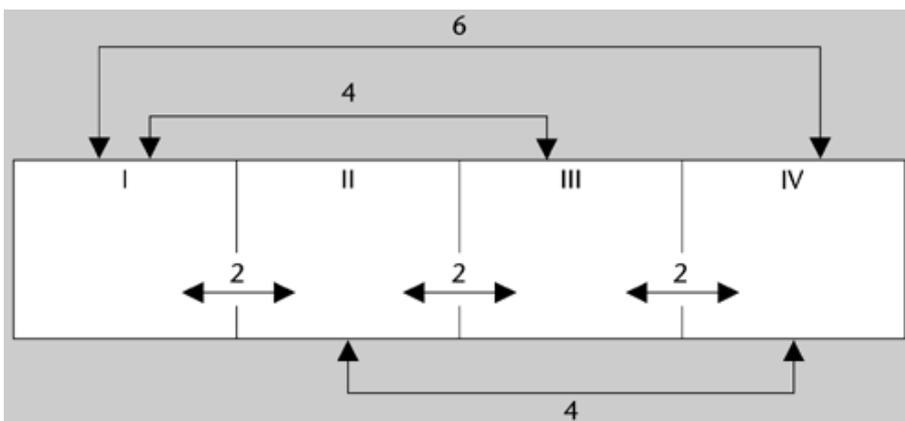
A	B	C	D
---	---	---	---

Para empezar el análisis, necesitamos conocer el flujo de movimientos que se da entre las diferentes secciones durante un determinado periodo de tiempo (lo que se conoce como **intensidades de tráfico**), las distancias entre estas secciones y el coste unitario de transporte:

Intensidades de tráfico (M _{ij})				
a / de	A	B	C	D
A	0	5	7	10
B	5	0	5	9
C	0	4	0	6
D	12	8	7	0

Como podéis comprobar, se han separado los movimientos en ambas direcciones, es decir, se separan los transportes desde la sección *i* a la *j* de los que siguen el sentido contrario, desde *j* a *i*. Por ejemplo, observad que salen 5 unidades de B que se dirigen a C, mientras que de C sólo se transportan 4 unidades hacia B. Además, se puede observar que la diagonal principal está formada por ceros, ya que representa el transporte de cada departamento consigo mismo.

En lo que concierne a las **distancias (D_{ij})** entre las cuatro zonas (I, II, III y IV) donde pueden situarse las diferentes secciones, son las siguientes:

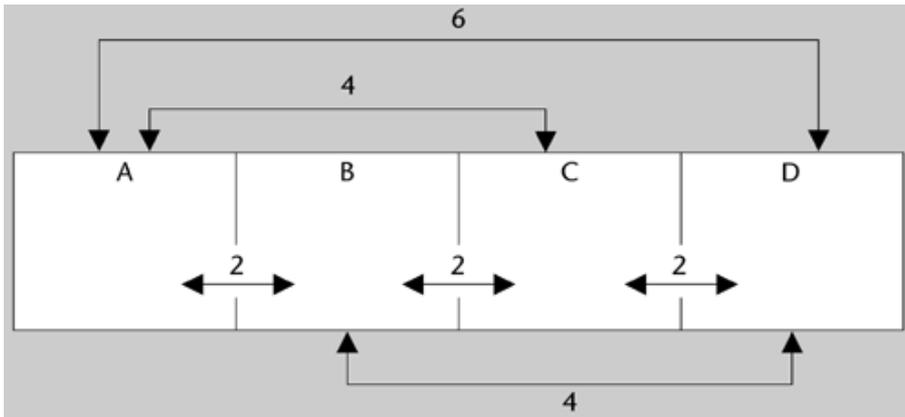


El coste por unidad de manutención y de distancia (C_{ij}) es de 2 unidades monetarias (u. m.)

Con estos datos ya podemos hallar, en primer lugar, el coste **correspondiente a la distribución actual de la empresa**. Se trata de calcular, para cada par de secciones, el producto resultante de multiplicar los movimientos o las manu-

tenciones entre ellas para la distancia y el coste respectivos ($M_{ij} \cdot D_{ij} \cdot C_{ij}$) y, finalmente, sumar todos estos resultados para obtener el coste total de transporte (CTT).

Ya habíamos visto que M_{ij} y C_{ij} no dependen de la distribución adoptada y, por lo tanto, presentan siempre los mismos valores. Sin embargo, no sucede lo mismo con las distancias (D_{ij}). Para calcularlas, tenemos que colocar cada sección en el área correspondiente y en el cuadro que representa las distancias:



Así comprobamos que se da una distancia de 2 entre A y B (o bien, entre B y A) y de 6 entre A y D.

Con estos datos construimos el siguiente cuadro, que representa los costes de transporte entre cada par de secciones:

	A	B	C	D
A	0	$5 \cdot 2 \cdot 2 = 20$	$7 \cdot 4 \cdot 2 = 56$	$10 \cdot 6 \cdot 2 = 120$
B	$5 \cdot 2 \cdot 2 = 20$	0	$5 \cdot 2 \cdot 2 = 20$	$9 \cdot 4 \cdot 2 = 72$
C	$0 \cdot 4 \cdot 2 = 0$	$4 \cdot 2 \cdot 2 = 16$	0	$6 \cdot 2 \cdot 2 = 24$
D	$12 \cdot 6 \cdot 2 = 144$	$8 \cdot 4 \cdot 2 = 64$	$7 \cdot 2 \cdot 2 = 28$	0

$$CTT = 20 + 56 + 120 + 20 + 20 + 72 + 16 + 24 + 144 + 64 + 28 = 584 \text{ u.m.}$$

Una vez conocemos la situación actual de la empresa, nos planteamos la mejora de la distribución para reducir este coste. El algoritmo de transposición consiste en generar, a partir de esta primera solución base, las permutaciones posibles entre actividades, **intercambiándolas de dos en dos**, y calcular el coste para cada una de estas alternativas. Si se obtiene algún coste inferior al de la solución inicial, esta ordenación se convierte en la nueva solución base y se vuelve a iniciar el proceso, generando las combinaciones a partir de ella hasta que se llegue a una solución que proporcione un coste inferior.

En nuestro ejemplo, a partir de la distribución inicial A-B-C-D podemos generar las siguientes combinaciones:

<u>A</u> - B - D - C	<u>A</u> - C - B - <u>D</u>
B - A - <u>C</u> - D	<u>A</u> - D - <u>C</u> - B
D - <u>B</u> - C - A	C - <u>B</u> - A - <u>D</u>

Hay que observar que los elementos que aparecen marcados son los que no han cambiado su posición con respecto a la situación inicial, mientras que los otros dos han intercambiado el orden.

Siguiendo el mismo procedimiento que en la primera distribución básica (A-B-C-D), deberíamos calcular el coste total de transporte para cada una de estas alternativas. Si lo hacéis, podréis comprobar que de todas estas combinaciones, la más barata es A-D-C-B, que presenta un CTT de 488 u.m. Sin embargo, todavía tenemos que asegurarnos de que ésta es realmente la más barata, y para ello tenemos que volver a repetir todo el proceso. Empezaremos de nuevo a generar todas las combinaciones posibles a partir de esta distribución que ahora tomamos como base:

<u>A</u> - <u>D</u> - B - C	<u>A</u> - C - D - <u>B</u>
D - A - <u>C</u> - B	<u>A</u> - B - <u>C</u> - D *
B - <u>D</u> - C - A	C - <u>D</u> - A - <u>B</u>

(Se ha señalado con un asterisco una de las combinaciones, porque ya la habíamos analizado anteriormente. De hecho, era la primera distribución básica, de la que hemos partido.)

De éstas, la más barata es A-D-B-C, con un CTT de 460 u.m. Nuevamente, construimos todas las combinaciones posibles:

A - D - C - B * A - B - D - C *
 D - A - B - C A - C - B - D *
 C - D - B - A B - D - A - C

Ninguna de estas alternativas presenta un coste total de transporte inferior, lo que significa que la distribución anterior era la mejor.

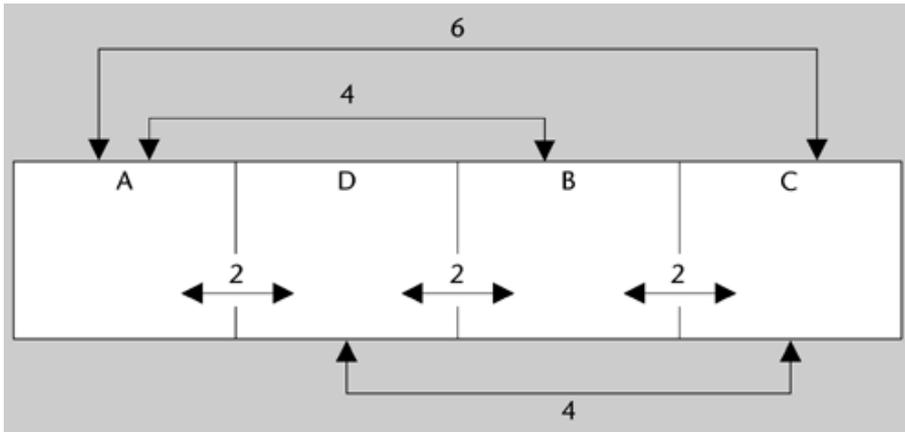
El problema se complica bastante a medida que aumenta el número de secciones; por lo tanto, nos vemos muy limitados si no utilizamos algún programa informático. Si se pretende encontrar una solución de forma manual (con un proceso de prueba y error), a no ser que se trate de problemas pequeños, es muy difícil analizar todas las combinaciones posibles. Una manera intuitiva de encontrar una solución suficientemente satisfactoria (aunque no sea la óptima) consiste en colocar juntas aquellas secciones que presentan más movimiento entre ellas. Analizando la matriz de intensidades de tráfico, comprobaremos que son las que aparecen sombreadas en la siguiente tabla:

	A	B	C	D
A	0	5	7	10
B	5	0	5	9
C	0	4	0	6
D	12	8	7	0

Observad que si colocamos los departamentos A y D adyacentes, por una parte, y B y D, por la otra, nos queda la distribución siguiente (a la que habíamos llegado anteriormente analizando el CTT de cada posible alternativa):

A	D	B	C

En este caso, las distancias serían:



El coste total de esta distribución será:

	A	B	C	D
A	0	$5 \cdot 4 \cdot 2 = 40$	$7 \cdot 6 \cdot 2 = 84$	$10 \cdot 2 \cdot 2 = 40$
B	$5 \cdot 4 \cdot 2 = 40$	0	$5 \cdot 2 \cdot 2 = 20$ $9 \cdot 2 \cdot 2 = 36$	
C	$0 \cdot 6 \cdot 2 = 0$	$4 \cdot 2 \cdot 2 = 16$	0	$6 \cdot 4 \cdot 2 = 48$
D	$12 \cdot 2 \cdot 2 = 48$	$8 \cdot 2 \cdot 2 = 32$	$7 \cdot 4 \cdot 2 = 56$	0

$$CTT = 40 + 84 + 40 + 40 + 20 + 36 + 16 + 48 + 48 + 32 + 56 = 460 \text{ u. m.}$$

Como podéis comprobar, esta distribución tiene un coste significativamente inferior al que teníamos al comienzo.

3.3.2. Método de los eslabones

Habíamos visto que uno de los objetivos fundamentales de la distribución en planta consiste en minimizar las manutenciones en la empresa. El método que estudiaremos a continuación empieza con la identificación de los denominados eslabones, que son las trayectorias de manutención que unen entre sí dos puestos de trabajo. Una vez identificados, se trata de determinar la frecuencia con la que aparece cada eslabón, para colocar más próximos aquellos lugares de trabajo o más próximas las secciones más interrelacionadas.

Suponed que debemos distribuir en un taller los puestos de trabajo A, B, C, D, E, F, G y H con las siguientes superficies:

(Ancho x alto) metros			
A (5 x 3)	C (4 x 2)	E (7 x 4)	G (3 x 4)
B (5 x 3)	D (6 x 2)	F (3 x 2)	H (7 x 2)

Limitaciones

Naturalmente, aunque teóricamente esta ordenación sea la más conveniente, siempre nos vemos limitados por las peculiaridades que presenta el espacio donde nos instalamos (forma, escaleras, etc.).

Contenido complementario

El método de los eslabones se utiliza normalmente cuando nos enfrentamos a un tipo de distribución funcional.

Allí se elaboran cuatro tipos de piezas que tienen las siguientes secuencias de fabricación:

Pieza 1	A - D - C - E - H	300 piezas / mes
Pieza 2	B - C - E - F - H	100 piezas / mes
Pieza 3	A - B - C - E - H	200 piezas / mes
Pieza 4	A - D - G - H	500 piezas / mes

Esto significa que la pieza 1 se empieza a fabricar en el puesto de trabajo A, de aquí pasa a D, después a C, E, y acaba finalmente en H. En este caso, los eslabones serían: AD, DC, CE y EH.

Para comprobar la frecuencia de aparición de cada eslabón, se construye una tabla de doble entrada, donde se colocan en columnas los diferentes puestos de trabajo y, en filas, los mismos en orden inverso. Así pues, cada casilla viene definida por un par de letras; en cada una anotamos con una raya los diferentes eslabones que nos aparezcan. Así, empezando por la pieza 1, nos encontramos en primer lugar el eslabón AD, que marcamos en el cuadro correspondiente. Buscamos la intersección entre la columna A y la fila D y colocamos una señal en la casilla. A veces, cuando buscamos la posición de un determinado eslabón, la intersección entre la columna y la fila queda fuera de la tabla. Es el caso, por ejemplo, del eslabón DC (columna D, fila C) de este mismo producto. Ya que consideramos igual el movimiento en ambos sentidos, invertimos el orden y buscamos la unión entre la columna C y la fila D.

Una vez acabado este proceso, obtenemos como resultado el cuadro siguiente:

	A	B	C	D	E	F	G	H
H					II	I	I	4
G				I			2	
F					I	2		
E			III		6			
D	II		I	4				
C		II	6					
B	I	3						
A	3							

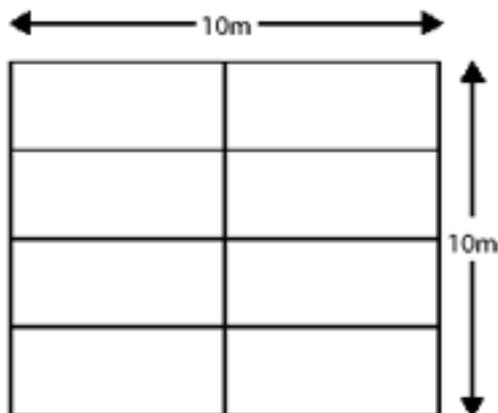
En la diagonal aparecen en negrita el número de eslabones que empiezan o acaban en cada puesto de trabajo. Se han calculado sumando el número de señales que aparecen en su fila y columna correspondientes. Por ejemplo, el número 4 que aparece en la casilla DD es el resultado de sumar la señal que aparece en su columna con los tres que hay en la fila.

Esta forma de trabajar tiene el inconveniente de no considerar el hecho de que no se fabrica el mismo número de unidades de cada tipo de pieza, lo que distorsiona los resultados. Para evitarlo, normalmente se utiliza el denominado **cuadro de intensidades de tráfico**, que se construye con la misma mecánica que el anterior, pero con la diferencia de que, en vez de colocar en cada casilla una simple señal para cada eslabón, ponemos el número de piezas fabricadas:

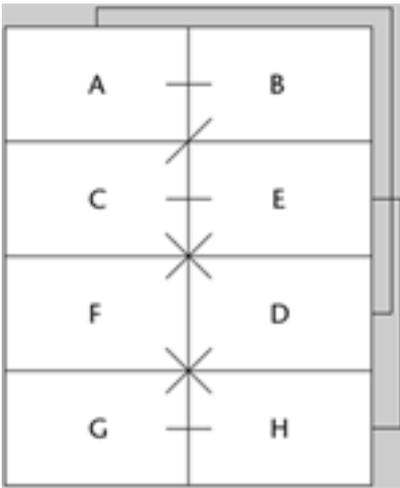
	A	B	C	D	E	F	G	H
H					300 200	100	500	1.100
G				500			1.000	
F					100	200		
E			100 300 200		1.200			
D	300 500		300	1.600				
C		100 200	1.200					
B	200	500						
A	1.000							

Para diseñar una posible distribución en planta, se empieza por colocar la sección con mayor intensidad de tráfico (que en este caso es D, aunque en el cuadro anterior, que no consideraba las cantidades producidas, eran C y E) en una posición central desde donde pueda comunicarse con el máximo número posible de secciones o puestos de trabajo.

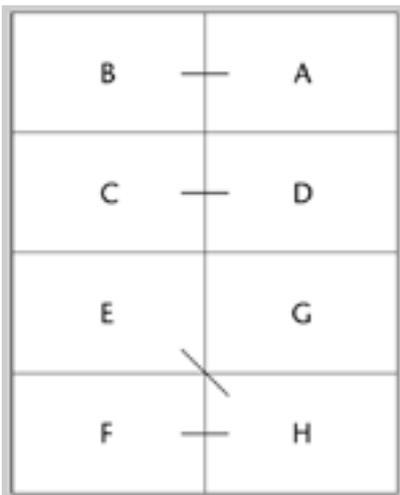
A continuación, se disponen a su alrededor los lugares que sigan a D en número de uniones, C y E, y, en torno a éstos, los que presenten más uniones respectivas con ellos, y así sucesivamente. Ya que debemos trabajar manualmente, simplificaremos el problema suponiendo que distribuimos las secciones en una estructura como la siguiente:



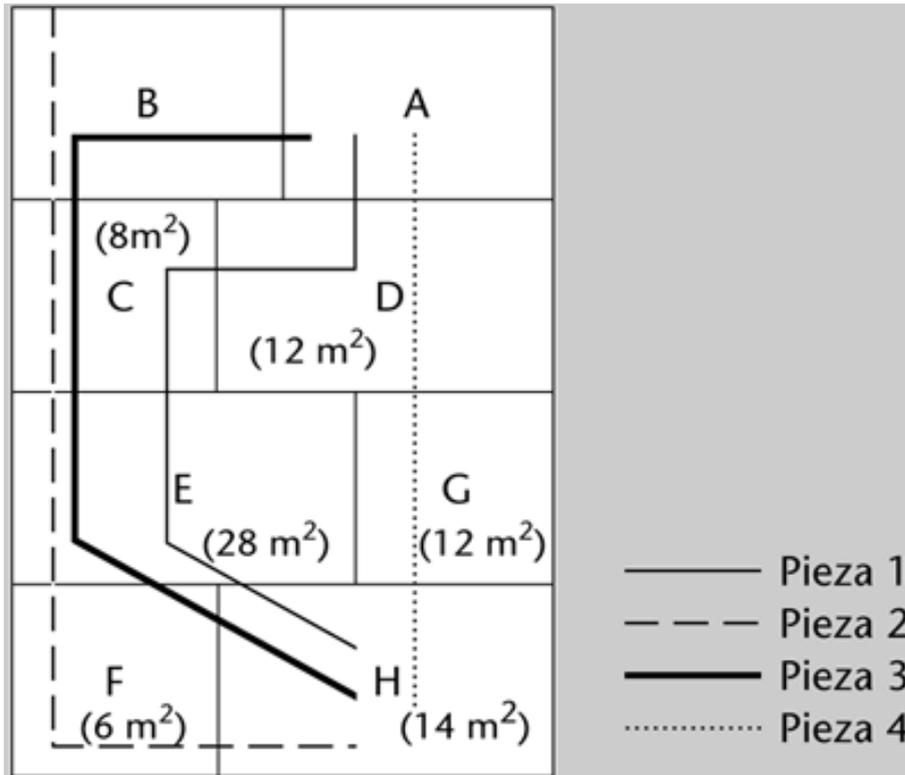
Esto da lugar a una primera disposición en la que prescindiremos del tamaño de cada sección concreta, como, por ejemplo, la siguiente:



En este esquema se han indicado con unas líneas las conexiones entre las diferentes secciones. Observad que esta distribución tiene el inconveniente de presentar unos recorridos demasiado largos entre A y D y entre E y H. A partir de aquí, y a través de un proceso de prueba y error, se intenta encontrar la manera de evitar este problema. Una de las múltiples soluciones a las que podríamos llegar sería la indicada a continuación:



Como podéis ver, el principal problema ha desaparecido. Suponiendo que lo consideremos suficientemente satisfactorio, pasamos a representar los recorridos completos de los diferentes productos dibujando cada sección en función de su tamaño:



No olvidéis que la obtención de estas distribuciones no sigue reglas estrictas y que los métodos no proporcionan soluciones óptimas. De hecho, algunos autores afirman que la distribución en planta, lejos de ser una ciencia, es un arte. La forma tradicional de trabajar, por ejemplo (antes de la expansión del uso de los ordenadores), consistía en representar cada sección o elemento mediante una pieza de cartón de un tamaño proporcional al real. Entonces, se trataba de ir encajándolas (como las piezas de un rompecabezas) buscando la mejor distribución según los criterios cuantitativos o cualitativos que se debían tomar en consideración, teniendo en cuenta no sólo el espacio necesario para los puestos de trabajo propiamente dichos, sino también para los elementos auxiliares, como columnas, escaleras, radiadores, etc.

3.3.3. Método de las gamas ficticias

A menudo suele darse el caso de que en una determinada planta o taller, las secuencias de fabricación de los diferentes artículos producidos presentan ciertas semejanzas entre sí. Este método trata de encontrar un determinado orden para los diferentes puestos de trabajo que, si bien no debe coincidir necesariamente con ninguna de estas secuencias, sí debe adaptarse a ellas, aunque para conseguirlo sea necesario desdoblarse algún puesto de trabajo o alguna sección. Esta ordenación es lo que se conoce como **gama ficticia**.

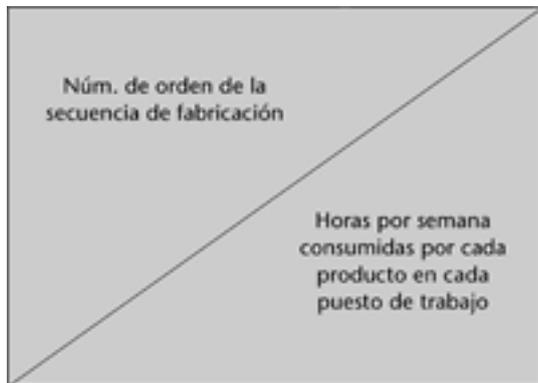
Veamos todo esto con el ejemplo de una planta industrial, donde los puestos de trabajo A, B, C, D, E, F y G pueden trabajar un máximo de 50 horas a la semana cada uno. En la planta industrial se producen cuatro productos (P1, P2, P3 y P4) de acuerdo con las secuencias de fabricación y necesidades de horas de trabajo que se indican en la tabla siguiente:

Puestos de trabajo							
Producto	A	B	C	D	E	F	G
P1	1/50	- / -	- / -	2/48	5/50	3/45	4/50
P2	- / -	2/75	1/95	- / -	4/48	5/45	3/50
P3	1/48	3/25	2/25	- / -	- / -	5/15	4/38

Contenido complementario

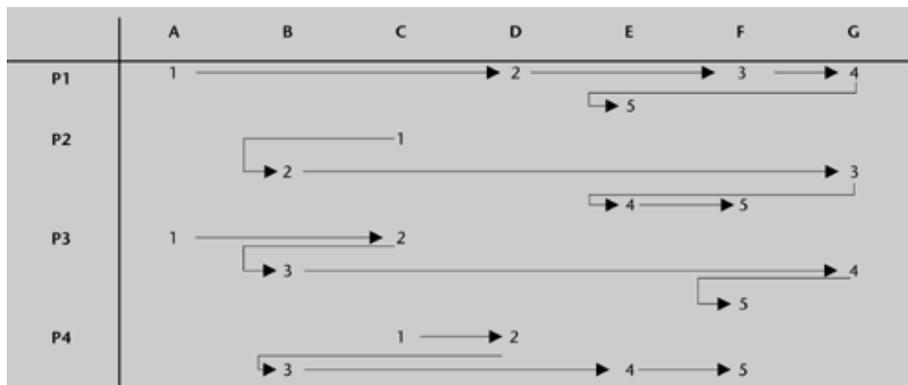
Si todos los productos tuvieran la misma secuencia de fabricación, resultaría sencillo encontrar una buena distribución. Simplemente tendrían que colocarse los puestos de trabajo respetando este orden.

Puestos de trabajo							
P4	- / -	3/24	1/24	2/50	4/48	5/35	- / -



El producto P1 se empieza a fabricar en el puesto de trabajo A, donde necesita 50 horas; de aquí pasa a D, donde permanece 48 horas; después va a F, durante 45 horas; pasa a G, durante 50 horas y, finalmente, entra en E, con 50 horas.

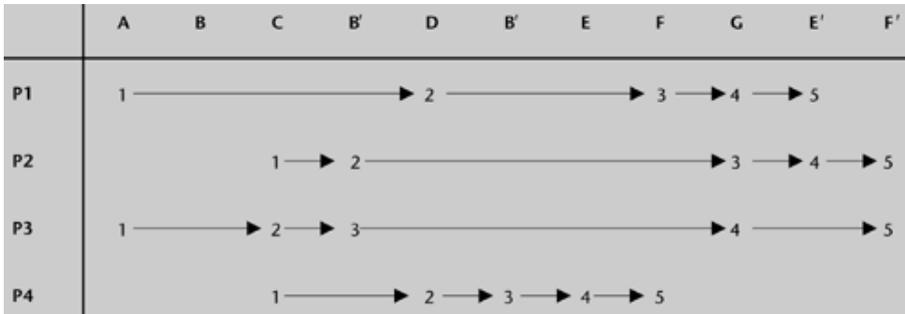
En primer lugar, montamos una tabla donde colocamos todos los puestos de trabajo en un orden arbitrario (en nuestro caso, utilizaremos el orden alfabético). Dibujamos la secuencia de operaciones que debe seguir cada producto:



Con este orden puede apreciarse cómo, a veces, el producto tiene que volver atrás para alguna operación. En algunos casos, cuando hablamos de cadenas de montaje, este retroceso es imposible o muy costoso de realizar, por lo que se intenta evitar, ya sea mediante un cambio en la colocación de los puestos de trabajo o bien, cuando esto no es suficiente, duplicando alguno de estos puestos.

Volvemos a montar un cuadro similar al anterior, con la diferencia de que, en el momento en que necesitamos retroceder con un producto para buscar un determinado puesto de trabajo, añadimos un duplicado de éste (que representamos con una comilla junto a la letra, o dos si es la segunda duplicación) con

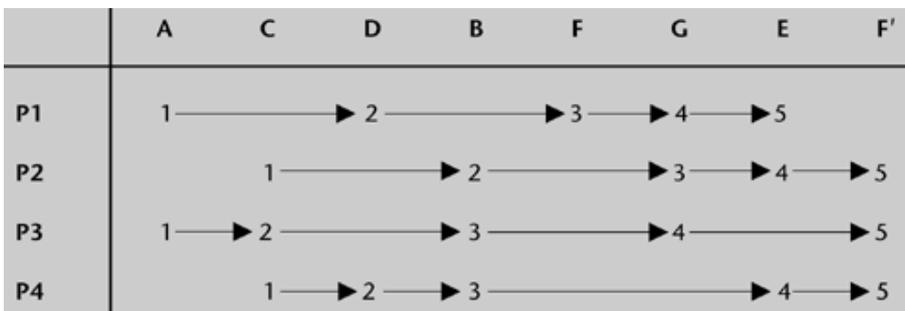
el fin de conseguir que el producto siempre vaya hacia delante. Por ejemplo, el P1, acabada la operación G, debe retroceder hasta E. Para que esto no suceda duplicamos este puesto de trabajo justo a continuación de G.



Gracias a esta acción hemos conseguido que los productos siempre vayan hacia delante, pero se nos plantea el problema de que haya muchos puestos de trabajo duplicados, lo que incrementa los costes de la empresa. Con el fin de intentar eliminar los costes innecesarios, observad las siguientes consideraciones:

- 1) El puesto de trabajo B no realiza ninguna operación; por lo tanto, podríamos eliminarlo.
- 2) Las operaciones que se efectúan en B' podrían realizarse perfectamente en B y, por lo tanto, podríamos eliminar la primera. Esto nos permitiría no tener duplicado el puesto de trabajo B.
- 3) Las operaciones 4 y 5 del producto P4 podrían realizarse en E' y F', con lo que podríamos eliminar E, que no efectúa ninguna operación.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, nos quedaría el cuadro siguiente:



Así pues, ya hemos encontrado la gama ficticia, es decir, el orden más adecuado de los puestos de trabajo, que sería A, C, D, B, F, G, E, F, en el que sólo tenemos un puesto duplicado (F).

De momento, sólo hemos tenido en cuenta el orden de las operaciones, pero no el número de horas de carga que supone cada una. Dado que éste es un factor muy importante, pasaremos a encontrar las **gamas ficticias ponderadas**.

Para ello necesitamos los siguientes datos:

- 1) El número total de horas necesarias de cada puesto de trabajo para fabricar todos los productos. (Se calcula sumando las horas de cada columna.)
- 2) El número necesario de puestos de trabajo de cada clase. Lo obtendremos dividiendo el número total de horas necesarias de cada puesto de trabajo entre el número máximo de horas disponibles de cada uno, por unidad de tiempo. (En nuestro ejemplo, cada puesto puede trabajar un máximo de 50 horas a la semana.)

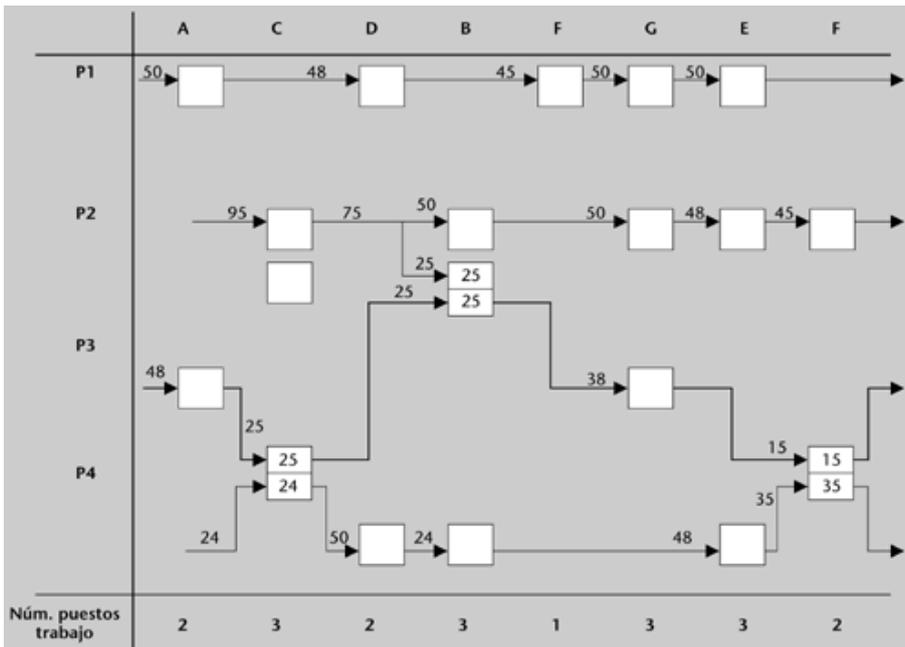
Así, para el puesto de trabajo A tendremos:

$$\frac{\mathbf{98 \text{ horas necesarias}}}{\mathbf{50 \text{ horas/semanas disponibles}}} = \mathbf{1,96} \cong \mathbf{2 \text{ puestos de trabajo}}$$

Procediendo de manera análoga, acabamos de completar la tabla:

Puestos de trabajo							
Producto	A	B	C	D	E	F	G
P1	1/50	- / -	- / -	2/48	5/50	3/45	4/50
P2	- / -	2/75	1/95	- / -	4/48	5/45	3/50
P3	1/48	3/25	2/25	- / -	- / -	5/15	4/38
P4	- / -	3/24	1/24	2/50	4/48	5/35	- / -
Total horas	98	124	144	98	146	140	138
Núm. puestos trabajo	2	3	3	2	3	3	3

Una vez que disponemos de esta información, pasamos a representar cada puesto de trabajo mediante un pequeño recuadro, donde indicaremos en qué casos es posible compartirlo con productos diferentes. Por ejemplo, el producto P2 necesita 75 horas de B. Esto quiere decir que requiere dos puestos de trabajo, de los que utiliza uno totalmente y la mitad del otro. El resto podría servir para fabricar P3, que sólo necesita 25 horas. Esta repartición se realiza para no utilizar más estaciones de trabajo de las estrictamente necesarias.



3.3.4. Utilización de criterios cualitativos

Se da el caso de compañías que no utilizan los criterios cuantitativos que hemos estudiado, sino otros de tipo cualitativo, es decir, que no pueden reducirse sólo a cálculos. Éstos se aplican porque la empresa no dispone de toda la información necesaria para los primeros (de manera más o menos fiable) o porque los costes de transporte no representan el factor más importante que debe determinar la distribución. En las empresas de servicios suelen encontrarse muchos factores de este tipo, ya que los clientes interactúan directamente con las instalaciones.

Aspectos cualitativos de la distribución en planta

Nos enfrentamos a aspectos cualitativos cuando comprobamos que las salas de informática necesitan lugares frescos y ventilados, los restaurantes se plantean separar zonas de fumadores y no-fumadores, etc.

Con este tipo de variables suele utilizarse el método denominado **SLP** (*Systematic Layout Planning*), desarrollado por Muther, que consiste en elaborar un cuadro donde se indica la conveniencia de colocar un departamento cerca de otro mediante una serie de categorías: A (absolutamente necesario), E (especialmente importante), I (importante), O (importancia ordinaria), U (no importante) y X (indeseable). Además, se enumeran las razones de esta necesidad de proximidad: motivos de seguridad, comodidad, etc.

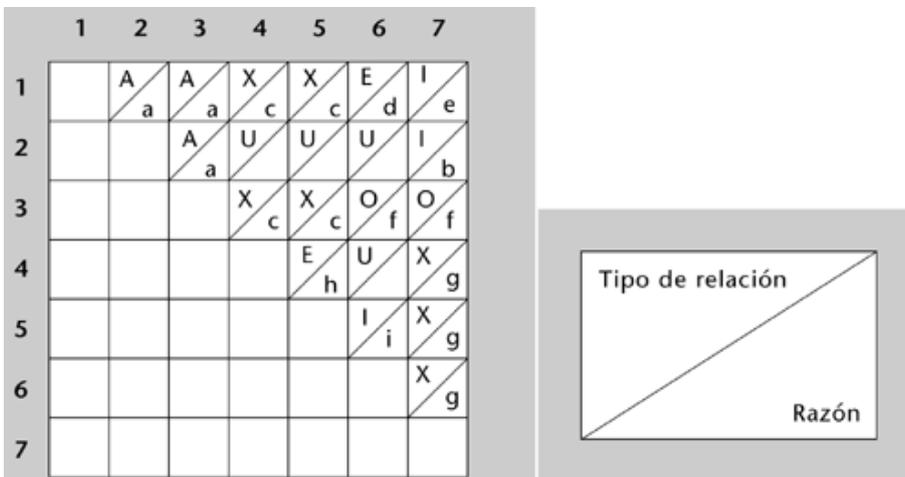
Una vez que tenemos el cuadro, procedemos a realizar una primera distribución, intentando que los departamentos que presentan una relación más fuerte (tipo A) queden adyacentes, y los que no deben tenerla (tipo X) se colocan cuanto más lejos mejor; sucesivamente, se realiza la misma operación con el resto de categorías. Esta primera asignación se irá mejorando por medio del

método de prueba y error, teniendo en cuenta los ajustes necesarios para adaptarse a las restricciones existentes en cuanto a forma de la planta, colocación de las escaleras y pasillos, etc.

Analizamos la distribución de un gimnasio, donde encontramos las siguientes secciones, de las que disponemos de una estimación de la superficie necesaria para cada una:

1. Duchas	20 m ²
2. Sauna	20 m ²
3. Vestuarios	30 m ²
4. Bar	40 m ²
5. Recepción	15 m ²
6. Sala de aeróbic	100 m ²
7. Sala de relajación	70 m ²

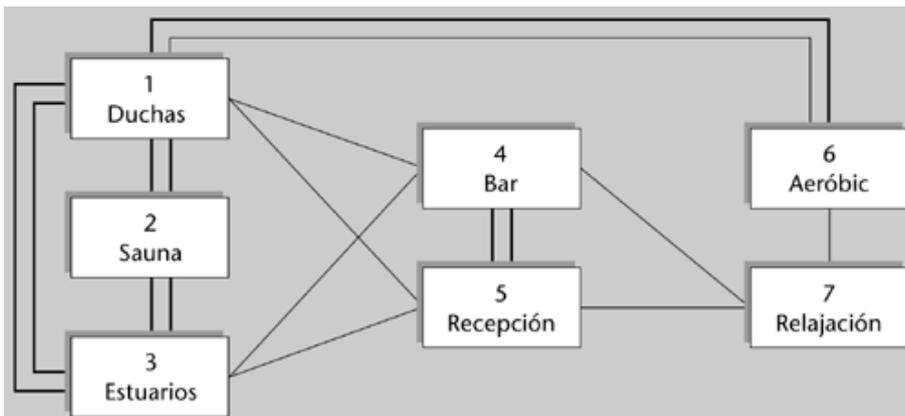
Planteamos el tipo de relación que debe existir entre cada sección mediante el siguiente cuadro:



Tipo de relación		
A	Absolutamente necesaria	=====
E	Especialmente importante	=====
I	Importante	=====
O	Importancia ordinaria	=====
U	No importante	=====
X	Indeseable	=====

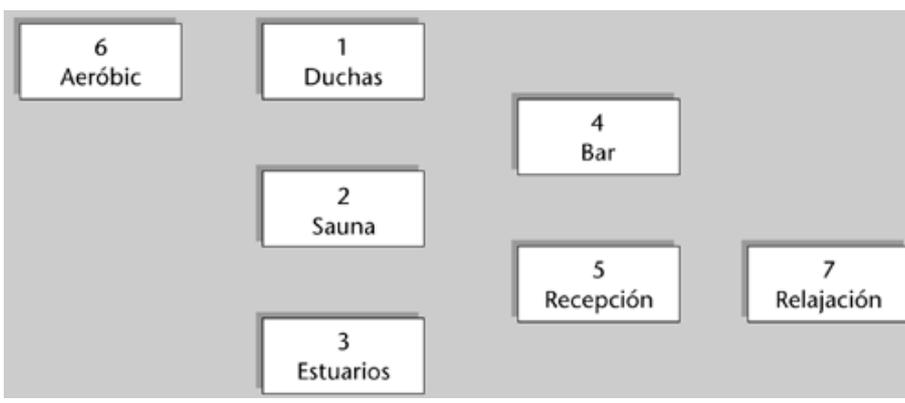
Razones (pueden darse muchas más)	
a	No enfriarse por los pasillos
b	Puede ser un complemento
c	Es un sitio demasiado concurrido
d	Acabadas las clases, se necesita una ducha
e	Una ducha caliente puede completar la relajación
kk	Recorrer poco espacio con la ropa de deporte
g	Hay ruido
h	Es un lugar de espera agradable
i	Anima y da ambiente

Con esta información ya podemos realizar una primera distribución, que iremos mejorando posteriormente por prueba y error. Para no complicar mucho el gráfico, marcaremos sólo las relaciones más fuertes (A y E) y las indeseables (X).



Primera prueba

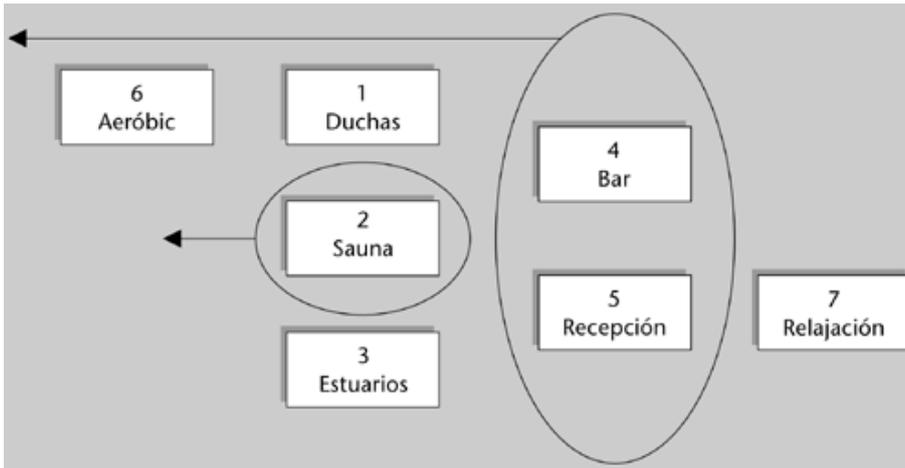
Acercaremos las duchas y la sala de aeróbic, ya que entre estos espacios se mantiene una fuerte relación, y en la actual distribución se encuentran demasiado separados.



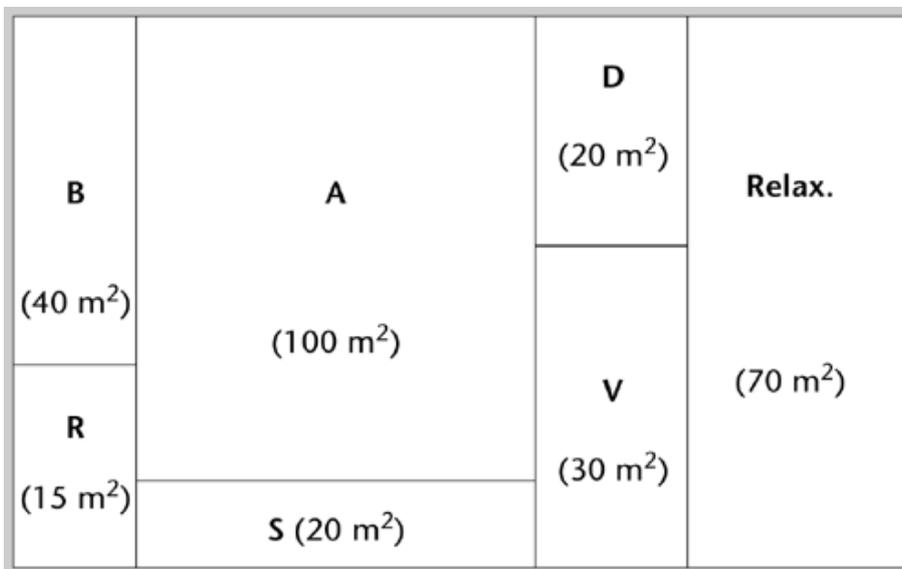
Segunda prueba

Puede ser una distribución óptima.

La anterior distribución todavía no es correcta, ya que el bar y la recepción están demasiado cerca de las duchas y los vestuarios. Por eso los movemos según indican las flechas.



Si tenemos en cuenta la forma del local (supongamos que es rectangular) y la superficie de cada sección, ya podemos llevar a cabo la distribución definitiva:



3.4. Distribución en planta de servicios

En el caso de los servicios, el trato con los clientes suele ser más directo, por lo que, además de los factores considerados anteriormente, aspectos como la comodidad o la buena apariencia de las instalaciones adquieren importancia para la distribución en planta.

Cada compañía aérea desea un *layout* diferente basado en su ruta y el tipo de pasajeros. Si se realizan vuelos de larga distancia con una elevada proporción de pasajeros en viajes de negocios, probablemente se designará un avión con grandes secciones de primera clase, mientras que si se transporta mayoritariamente a turistas más preocupados por el coste, sucederá lo contrario. El problema aparece si se han comprado aviones para un tipo de mercado y después éste cambia. Tener un Boeing 747 tres semanas en tierra para cambiar el interior genera sustanciales pérdidas de ingresos.

Para resolver este problema, Boeing ha desarrollado un layout abierto y opcional para sus 777 que permite que las cocinas y los baños puedan cambiarse de posición en menos de un día, en función del tipo de pasaje que hay que transportar (Heizer y Render, 1997, pág. 420).

Cuando buscamos la distribución más apropiada en unas **oficinas**, es fundamental que esta distribución facilite la circulación de la información. Además, en esta distribución influyen las relaciones que deben darse entre los trabajadores y, por lo tanto, hay que tener en cuenta aspectos como la privacidad, la autoridad o la imagen.

En lo que concierne a los **comercios**, el objetivo que se busca es maximizar el beneficio neto por metro cuadrado de estanterías. Teniendo en cuenta que se considera que las ventas varían directamente con la exposición de los productos al cliente, la distribución en planta debe facilitar la tarea de los compradores y, al mismo tiempo, permitir la exposición de tantos productos como sea posible.

Con esta finalidad se suelen dar una serie de recomendaciones como las siguientes (Heizer y Render, 1997, pág. 418):

- colocar los productos de consumo básico en la periferia del local, y los de compra impulsiva y los que proporcionan un margen alto de beneficios al comercio, bien a la vista,
- colocar los productos reclamo diseminados, para atraer la atención también sobre los que están a su alrededor,
- suprimir los pasillos que permitan pasar transversalmente de una parte a otra sin recorrer todo el espacio,
- usar como expositores los finales de las calles, ya que presentan un alto porcentaje de exposición

3.5. Equilibrio de líneas

Ya habíamos comentado que en la producción en línea los puestos de trabajo se colocan uno tras otro, siguiendo el orden de las operaciones, de manera que el producto va pasando progresivamente por cada uno. Un puesto de trabajo que requiera mucho más tiempo que el resto para realizar su tarea actúa de freno para los demás, que deben esperar a que acabe para actuar, lo que provoca la aparición de tiempo ocioso.

Para evitar esta demora, se utiliza el equilibrio de líneas, que consiste en intentar que todas las estaciones tengan aproximadamente la misma carga de trabajo para minimizar estos tiempos inactivos.

Contenido complementario

El retraso del equilibrio o demora de balance es la cantidad total de tiempo ocioso que resulta en la línea a causa de los tiempos desiguales de trabajo asignados en las diferentes estaciones.

El proceso de equilibrio de una línea sigue los pasos que exponemos a continuación.

Contenido complementario

Un elemento de trabajo es la mayor unidad de trabajo que no puede dividirse entre dos o más operarios sin crear interferencias innecesarias entre ellos.

3.5.1. Descomposición de tareas

Se descompone el trabajo en tareas independientes (**elementos de trabajo**) y se determina para cada tarea el tiempo necesario para llevarla a cabo y las actividades que la preceden, es decir, qué tareas se han efectuado antes de que empiece la actividad en cuestión. Todos estos datos se recogen en un **grafo o diagrama de precedencias**, donde se representan mediante círculos cada una de las tareas individuales, y se utilizan flechas para indicar el orden de ejecución.

3.5.2. Determinación de la capacidad de la línea y cálculo del tiempo de ciclo

En algunos casos, se trata de organizar la línea y buscar el tiempo de ciclo de manera que sea posible obtener el volumen de producción deseado y establecido previamente. Si éste no se encuentra predefinido, cogeremos como tiempo de ciclo la duración de la actividad más larga, y este tiempo de ciclo será el que determine la capacidad de la línea.

El tiempo de ciclo (T_c) de la línea es el tiempo máximo de permanencia del producto en cada estación de trabajo.

El tiempo de ciclo **mínimo** viene determinado por la duración de la actividad más larga (a menos que sea posible dividirla en dos o más estaciones de trabajo). El **máximo** es el tiempo total requerido para ejecutar el proceso, es decir, la suma de los tiempos de todas las estaciones de trabajo.

Si se sabe la producción deseada por unidad de tiempo (Q), el tiempo de ciclo viene determinado por la expresión siguiente:

$$T_c \text{ (minutos / unidad)} = \frac{60 \text{ (minutos / hora)}}{Q \text{ (unidades / hora)}}$$

Cuando seleccionamos el tiempo de ciclo, la velocidad de producción requerida es la consideración principal.

3.5.3. Numero minimo teorico de estaciones de trabajo necesarias

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{T_c}$$

donde N es el número mínimo de estaciones de trabajo necesarias, t_i es el tiempo de ejecución de la tarea i , n es el número de tareas necesarias y

$$\sum_{i=1}^n t_i$$

es el tiempo de ejecución total requerido para elaborar una unidad de producto.

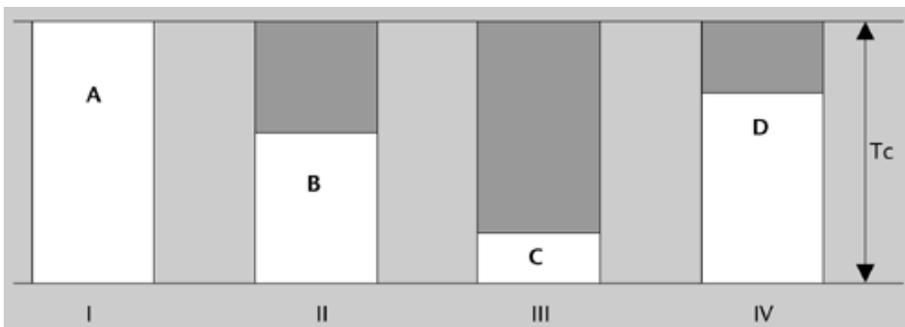
Cuando el resultado no es un número entero, este se debe **ajustar por exceso**, ya que no tiene sentido hablar de estaciones de trabajo fraccionadas.

Número mínimo de estaciones de trabajo

No perdamos de vista que el número resultante es el mínimo imprescindible, lo que no impide que en la práctica se utilicen más estaciones de trabajo si es necesario para hacer frente a la producción.

3.5.4. Cálculo del tiempo ocioso o improductivo

Supongamos que sobre una pieza se realizan las tareas A, B, C y D, todas ellas de duración diferente. Si en cada estación de trabajo (I, II, III y IV) se realiza sólo una de las operaciones, podríamos encontrarnos una situación como la siguiente:



Los rectángulos blancos representan el tiempo utilizado para efectuar cada tarea; por lo tanto, el área sombreada en gris indica el tiempo inactivo de cada estación. Lo que intenta el equilibrio es agrupar las tareas de manera que la duración total de la agrupación se acerque lo máximo posible al tiempo de ciclo y, por lo tanto, se minimice este tiempo inactivo.

Si calculamos el producto entre el número de estaciones de trabajo utilizadas y el tiempo de ciclo ($N \cdot T_c$), encontramos el tiempo total realmente utilizado para obtener una unidad de producto, incluyendo el tiempo productivo y el improductivo (es la suma de las áreas de todas las barras). Si a este total necesario le restamos el tiempo total requerido teóricamente para elaborar el producto

$$\left(\sum_{i=1}^n t_i \right)$$

, obtendremos la totalidad del tiempo ocioso o improductivo (T_0):

$$T_0 = N \cdot T_c - \sum_{i=1}^n t_i$$

3.5.5. Asignación de las tareas a las estaciones de trabajo

Así pues, hemos visto que se trata de encontrar la manera de agrupar las tareas en las diferentes estaciones de trabajo, de manera que se minimice el tiempo ocioso o improductivo. Pueden utilizarse diferentes reglas para la asignación inicial de estas tareas y, a partir de este primer resultado, se intentan buscar mejores equilibrios. De hecho, el número de soluciones posibles puede llegar a ser muy elevado, especialmente cuando trabajamos con bastantes estaciones de trabajo y operaciones.

Para que una tarea pueda ser asignada a una determinada estación de trabajo, tiene que cumplir ciertas condiciones:

- a) No debe estar asignada todavía a ninguna estación.
- b) Todas las tareas precedentes tienen que haber sido asignadas a ésta o a otra estación previa.

Equilibrio perfecto

Si el equilibrio fuera perfecto, este tiempo improductivo (T_0) sería cero.

c) La suma de los tiempos de ejecución de todas las tareas asignadas a la misma estación no puede superar el tiempo de ciclo.

Entre todas las tareas que cumplan las anteriores restricciones, se selecciona la que se considera más conveniente. Dos de las reglas más utilizadas para realizar esta elección son:

a) **Regla de la máxima tarea sucesiva.** Se selecciona la tarea que presenta el mayor tiempo de ejecución. Esta acción consigue que se asignen lo antes posible las que son más difíciles de encajar dentro de las estaciones, y las actividades más cortas se reservan para un ajuste más preciso.

b) **Método de la técnica ordenadora de las posiciones ponderadas (de Hegelson y Birnie).** Para cada tarea, se suman los tiempos de ejecución de todas las actividades posteriores a ella y se selecciona la que presenta un total más alto.

Una vez realizada la elección con el método que hayamos considerado más conveniente, se comprueba cuánto tiempo queda ocioso todavía en la estación de trabajo (por la diferencia entre el tiempo de ciclo y el tiempo de la tarea asignada a la estación) y se intenta buscar otra que cumpla todas las condiciones. Si no es posible, hay que crear una nueva estación de trabajo y se vuelve a empezar el proceso.

Acabado el equilibrio, se analiza su eficiencia. Si no se considera bastante satisfactoria, se buscará una nueva asignación con otro criterio de decisión.

3.5.6. Cálculo de la eficiencia

Como ya habíamos señalado, el equilibrio perfecto se consigue si la suma de los tiempos de ejecución de las tareas ejecutadas en cada estación de trabajo coincide con el tiempo de ciclo, es decir, si:

En la práctica no se suele llegar a conseguir este ideal a causa de las restricciones impuestas por las precedencias entre actividades, la existencia de tareas que no son divisibles entre diferentes estaciones de trabajo o por el hecho de que los tiempos de ejecución pueden no ser siempre iguales (por ejemplo, por problemas con los materiales o por fatiga de los trabajadores).

$$N \cdot T_c - \sum_{i=1}^n t_i = 0$$

La eficiencia máxima (e_{\max}) viene expresada por el cociente entre el tiempo requerido teóricamente para elaborar el producto y el tiempo realmente utilizado

$$e_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{N \cdot T_c}$$

donde N es el número mínimo teórico de estaciones de trabajo.

La eficiencia real (e_{real}) será:

$$e_{\text{real}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{M \cdot T_c}$$

donde M es el número de puestos de trabajo que hemos utilizado realmente.

Si la eficiencia real es inferior a la máxima, trataremos de buscar un mejor balanceo reagrupando los elementos; primero, nos fijaremos en aquellas operaciones con mayores tiempos ociosos.

Evidentemente, la eficiencia variará según el tiempo de ciclo utilizado. Además, debéis tener presente que el volumen de producción de la empresa puede ser variable. Por todos estos aspectos, resulta conveniente trabajar con un rango de tiempo de ciclo en lugar de hacerlo con un tiempo sólo.

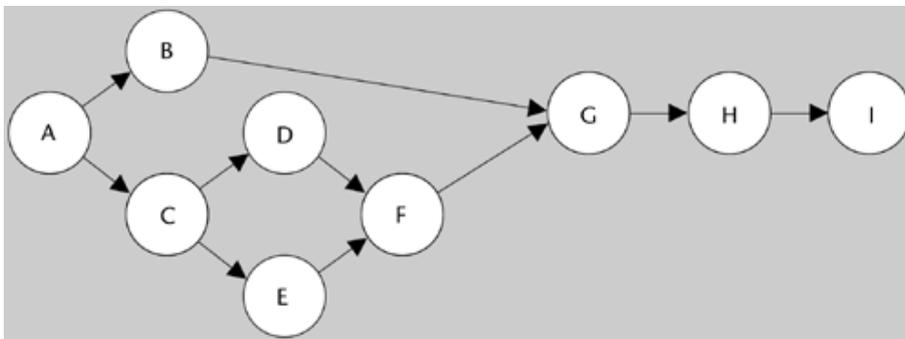
Veamos todo este proceso con un **ejemplo**. Supongamos que hay que montar una pieza en una cadena que se ha descompuesto en 9 elementos de trabajo, cuya duración y precedencia se expresan en la tabla siguiente:

Elemento de trabajo	Elemento predecesor	Duración (minutos)
A	-	6
B	A	5
C	A	2
D	C	7
E	C	1
F	D, E	2
G	B, F	3
H	G	4

Elemento de trabajo	Elemento predecesor	Duración (minutos)
I	H	4
		$\sum_{i=t}^9 t_i$

La empresa debe satisfacer una demanda anual de 12.000 piezas, y la jornada anual es de 1.800 horas.

En primer lugar, construimos el diagrama de precedencias:



Como podéis comprobar, el grafo nos permite disponer de la información de la tabla de una manera mucho más fácil y rápida de interpretar. Así, por ejemplo, es evidente que el elemento F no puede empezar hasta que no hayan acabado las tareas D y E.

Empezamos por determinar la capacidad de la línea y el tiempo de ciclo:

$$Q = \frac{12.000 \text{ piezas / año}}{1.800 \text{ horas / año}} = 6,6 \text{ piezas / hora}$$

$$T_c = \frac{60 \text{ (minutos / hora)}}{Q \text{ (unidad / hora)}} = \frac{60 \text{ (minutos / hora)}}{6,6 \text{ piezas / hora}} = 9 \text{ minutos / pieza}$$

Contenido complementario

El tiempo de ciclo mínimo lo marca el elemento de trabajo D, que es el que presenta una duración más larga (7 minutos).

A partir del tiempo de ciclo podemos calcular el número mínimo de estaciones de trabajo necesarias:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^9 t_i}{T_c} = \frac{34}{9} = 3,7 \hat{\rightarrow} \mathbf{4 \text{ estaciones de trabajo}}$$

Ya hemos visto que para realizar una asignación de los elementos de trabajo podemos utilizar diferentes criterios. Empezaremos por la regla de la **máxima tarea sucesiva**:

Estacion de trabajo	Posibles tareas que hay que asignar	t_i	Tarea asignada	Σt_i	Tiempo restante ($T_c - \Sigma t_i$)
I	A	6	A	6	3
	B, C (una vez acabada A, son las únicas tareas que se puede empezar)	5, 2	C (aunque B es más larga, no sobra bastante tiempo para ella)	8 (6 de la tarea A y 2 de C)	1
	D, E	7, 1	E	9	0

$$\text{Demora} = T_c - \Sigma t_i \text{ asignados a la estacion} = 9 - (6 + 2 + 1) = 0$$

Cuando ya no podemos continuar asignando elementos a la estación de trabajo, se crea otra y empezamos nuevamente el proceso:

Estacion de trabajo	Posibles tareas que hay que asignar	t_i	Tarea asignada	Σt_i	Tiempo restante ($T_c - \Sigma t_i$)
II	B, D	5, 7	D	7	2
	B, F	5, 2	F	9	0

$$\text{Demora} = T_c - \Sigma t_i \text{ asignados a la estacion} = 9 - (7 + 2) = 0$$

Estacion de trabajo	Posibles tareas que hay que asignar	t_i	Tarea asignada	Σt_i	Tiempo restante ($T_c - \Sigma t_i$)
III	B	5	B	5	4
	G	3	G	8	1

$$\text{Demora} = T_c - \Sigma t_i \text{ asignados a la estacion} = 9 - (5 + 3) = 1$$

Estacion de trabajo	Posibles tareas que hay que asignar	t_i	Tarea asignada	Σt_i	Tiempo restante ($T_c - \Sigma t_i$)
IV	H	4	H	4	5
	i	4	I	8	1

$$\text{Demora} = T_c - \Sigma t_i \text{ asignados a la estacion} = 9 - (4 + 4) = 1$$

Ahora utilizaremos la otra regla que habíamos comentado, que es el **método de Hegelson y Birnie**. En primer lugar, determinamos el peso de posición de cada elemento sumando la duración de este elemento y la de todos los que lo siguen en el diagrama de precedencias:

Elemento de trabajo	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Duración	6	5	2	7	1	2	3	4	4
Ponderación	34	16	23	20	14	13	11	8	4

Por ejemplo, para calcular el peso del elemento C sumamos su duración (2 minutos) y la de las actividades D (7 minutos), E (1 minuto), F (2 minutos), G (3 minutos), H (4 minutos) e I (4 minutos).

A continuación, colocamos los elementos de trabajo en orden decreciente, de acuerdo con sus pesos:

Elemento de trabajo	A	C	D	B	E	F	G	H	I
Duración	6	2	7	5	1	2	3	4	4
Ponderación	34	23	20	16	14	13	11	8	4

Pasamos ahora a asignarlos a las diferentes estaciones, teniendo en cuenta este orden y respetando, como siempre, las restricciones que ya habíamos comentado anteriormente:

Estacion de trabajo	Elemento	Precedencia	t_i	Σt_i	Tiempo restante ($T_c - t_i$)	¿Lo asignamos?
	A	-	6	6	3	Si (rodeamos el elemento para indicarlo)
	C	A (no hay ningun problema, porque ya esta asignada)	2	8	1	Si
	D	C (correcto, porque ya esta asignada)	7			No. Supera el tiempo restante disponible.
	B	A	5			No. Supera el tiempo restante disponible.
	E	C	1	9	0	Si

$$\text{Demora} = T_c - \Sigma t_i \text{ asignados a la estacion} = 9 - (6 + 2 + 1) = 0$$

Tal como hemos hecho anteriormente, una vez tenemos completa la primera estación de trabajo, se crea una nueva y empezamos nuevamente el proceso:

Estacion de trabajo	Elemento	Precedencia	t_i	Σt_i	Tiempo restante ($T_c - t_i$)	¿Lo asignamos?
II	D	C	7	7	2	Si
	B	A	5			No
	F	D, E	2	9	0	Si

Demora = $T_c - \Sigma t_i$ asignados a la estacion = $9 - (7 + 2) = 0$

III	B	A	5	5	4	Si
	G	B, F	3	8	1	Si
	H	G	4			No
	I	H (no esta asignado todavia)				No

Demora = $T_c - \Sigma t_i$ asignados a la estacion = $9 - (5 + 8) = 0$

IV	H	G	4	4	5	Si
	I	H	4	8	1	Si

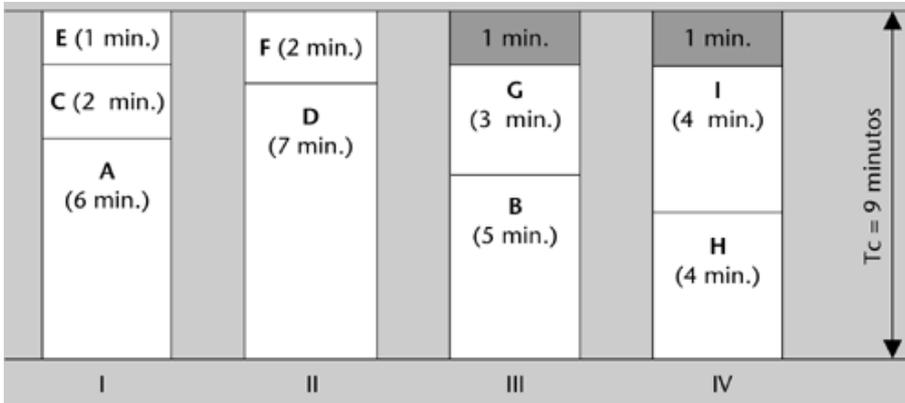
Demora = $T_c - \Sigma t_i$ asignados a la estacion = $9 - (4 + 4) = 0$

Aunque los diferentes criterios no tienen que coincidir necesariamente a la hora de asignar los elementos a las estaciones de trabajo, en este caso concreto las dos reglas han conducido a la misma distribución.

Estación de trabajo	Elementos	Demora (minutos)
I	A, C, E	0
II	D, F	0
III	B, G	1
IV	H, I	1

Estación de trabajo	Elementos	Demora (minutos)
Total		2

Podríamos representar gráficamente esta situación de la siguiente manera:



$$e_{\text{máx?}} = \frac{\sum_{i=1}^a t_i}{N \cdot T_c} = \frac{34}{4 \cdot 9} = 0,9444 \rightarrow 94,44\%$$

Dado que en nuestro equilibrio hemos utilizado justamente el número mínimo teórico de lugares de trabajo, coinciden la eficiencia máxima y la real.

4. Productividad y determinación de la capacidad

4.1. Concepto de productividad

La productividad se define como la relación entre la producción obtenida en un determinado periodo de tiempo y los recursos o factores utilizados para obtenerla.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{producción}}{\text{recursos utilizados}}$$

Si la unidad de medida es la misma para el numerador que para el denominador, la expresión de la productividad se denomina a menudo *rendimiento* y en general se expresa en tanto por ciento (%).

En la práctica resulta frecuente calcular la productividad parcial de un solo factor. Las más utilizadas son la productividad del capital (de la maquinaria) y la productividad del trabajo humano (de la mano de obra), expresado en ambos casos en términos físicos, es decir, en el número de unidades físicas de producto obtenido, por el número de unidades del factor utilizadas:

$$\text{Productividad del factor} = \frac{\text{Unidades físicas producidas}}{\text{Unidades físicas del factor utilizadas}}$$

Un ejemplo sería calcular la productividad del factor trabajo como el número de unidades producidas por operario.

Ahora bien, aunque hoy día todavía resulta frecuente, al tomar como indicador de eficiencia la productividad de la mano de obra (o del factor trabajo) hay que tener en cuenta que, en las empresas actuales, el coste de la mano de obra representa una proporción muy pequeña del coste total del producto. Por lo tanto, la productividad de la mano de obra no sólo no es el indicador adecuado para medir la eficiencia o la competitividad de una empresa (a causa de su parcialidad), sino que incluso puede ser engañoso a la hora de realizar comparaciones entre países, regiones, sectores o empresas.

Ejemplo

Dividir el valor de la producción (cifra de ventas) por el valor monetario de los recursos utilizados (coste de los factores).

4.2. Determinación de la capacidad

La determinación de la capacidad de producción (de bienes o servicios) forma parte del diseño del sistema y es un aspecto clave, puesto que a menudo implica decisiones que son poco reversibles, que requieren inversiones importantes y que afectan completamente al funcionamiento del sistema.

La gran dificultad de este tipo de decisiones, que son a largo plazo, es que normalmente se tienen que tomar con información incompleta e incierta. Esto puede hacer que acabemos con un sistema mal dimensionado, con las consecuencias que de esto se derivan: si está subdimensionado, no podremos hacer frente a la demanda, y posiblemente perderemos, además de parte de los ingresos, también clientes; si está sobredimensionado, tendremos recursos en los que hemos invertido una cantidad quizás importante de dinero y que están infrautilizados.

Hay una serie de factores que hay que tener en cuenta en la determinación de la capacidad, porque afectan a la capacidad que realmente tendrá el sistema:

- La estacionalidad de la demanda: hay que preguntarse si puede ser absorbida con los stocks (creando stock antes del pico de demanda), con pequeños ajustes de la capacidad o subcontratando a terceros.
- La flexibilidad en la capacidad: hay varias fuentes de flexibilidad que pueden resultar muy útiles para obtener variaciones en la capacidad de una manera relativamente sencilla. Las más habituales son el tiempo de trabajo (desde hacer horas extraordinarias hasta modalidades flexibles como la jornada anualizada o las cuentas de horas) y el personal (por ejemplo, haciendo un cierto uso de personal temporal).
- Disminuciones en la capacidad: hay muchas causas que provocan que la capacidad real acabe siendo menor que la planificada, y hay que tenerlo en cuenta dimensionando el sistema un poco por encima de las necesidades. Entre estas causas, podemos destacar las averías o incidencias, las tareas de mantenimiento, los tiempos muertos, los tiempos de preparación, las bajas laborales y el absentismo.
- Dispersión temporal de la demanda y tiempo de proceso variables: esto sucede, sobre todo, en sistemas de servicios en que los clientes o usuarios llegan de forma aleatoria (y variable) y los tiempos de atención a los clientes o usuarios son también variables. En este caso, hace falta dimensionar el sistema de forma que se ofrezca cierto nivel de servicio (se puede medir, por ejemplo, con el tiempo medio de espera antes de ser atendidos, entre otros). Hay que tener presente que, si dimensionamos el sistema para hacer frente a la demanda media, el nivel de servicio será probablemente

demasiado bajo y que, por lo tanto, tenemos que sobredimensionar un poco el sistema.

4.3. Mejora de la productividad

Un de los objetivos de la empresa para ser competitiva es tener una alta productividad, y no sólo en un sentido estático, sino mejorándola día a día.

Para mejorar la productividad se tiene que aumentar la relación.

$$\frac{\text{producción}}{\text{recursos utilizados}^1 \text{ (materiales, personas, equipo, espacio, etc.)}}$$

Mejorarla día a día La empresa no se puede "encapsular", sino que debe ir investigando mejoras para su proceso productivo.

La productividad puede incentivarse de muchas maneras:

- 1) Mejorando el proceso productivo (máquinas nuevas, más rápidas).
- 2) Mejorando la productividad del trabajador (incentivándolo a trabajar más y mejor).

Este efecto se puede conseguir a través de dos caminos:

- 1) Incrementar la producción con la misma cantidad de recursos (y, por lo tanto, con un coste igual).
- 2) Producir la misma cantidad, pero con menos recursos (con un coste menor).

Pero, ¿qué hay que hacer para mejorar la productividad? Para conseguirlo, debemos observar lo que sucede realmente en la fábrica.

Normalmente, las materias primas y el resto de materiales entran en un almacén. Después son trasladados, a menudo mal manipulados, y recorren largas distancias, hasta un punto determinado de la fábrica o el taller, donde se producen stocks intermedios en los pasillos (que ocupan espacio y estorban). Esto provoca que haya materiales mal identificados, que sea preciso recontar piezas, etc.

Una vez dentro del proceso, se producen **cuellos de botella**, es decir, 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. También se producen esperas por falta de materiales para trabajar, averías en las máquinas, tiempos improductivos del operario que observa el funcionamiento de las máquinas, defectos en las piezas producidas, etc.

Todos estos aspectos resultan trabajo no productivo, no añaden valor al producto y, por lo tanto, pueden considerarse un despilfarro de recursos que hay que eliminar.

Fujio Cho, de Toyota, define **despilfarro** como todo lo que no sea la cantidad mínima de equipo, materiales, piezas, espacio y tiempo del trabajador, que resulte absolutamente necesario para añadir valor al producto.

Después de muchos años de actividad en el campo de la mejora de la productividad, la empresa Toyota determinó los siete tipos de despilfarro más típicos que se encuentran generalmente en una planta industrial:

1. Por exceso de producción

Cuando se producen más artículos de los que necesita el mercado, o cuando se producen más unidades de las que necesita el proceso o la operación siguiente.

Este despilfarro suele aparecer cuando el trabajo se realiza anticipadamente.

La consecuencia es que se consumen más materias primas, se pagan más salarios, etc., y se acumulan existencias (stocks finales, intermedios), lo que da lugar a más manipulación, más espacio ocupado, más papeles y más costes (intereses pagados por el dinero utilizado, costes de mantenimiento del stock, etc.).

2. Por existencias (inventarios o stocks)

Cuando se dispone de existencias innecesarias, es decir, cuando se tiene más material en inventario del que realmente hace falta, a causa de una mala gestión de materiales: no saber comprar la cantidad adecuada en el momento más adecuado.

Comprar una cantidad muy grande de un material no siempre comporta un ahorro, por mucho que los proveedores nos ofrezcan grandes descuentos (los costes asociados al mantenimiento de este stock pueden ser superiores al descuento conseguido en la compra).

3. Por tiempo de espera

Tiempo de espera o interrupciones del operario o de las máquinas.

Las interrupciones pueden ser ocasionadas por diferentes causas: espera de materiales, existencia de cuellos de botella, averías de las máquinas y del equipamiento de producción, diseño incorrecto de tareas –que puede provocar

que la carga de trabajo asignada a los operarios sea baja y que éstos permanezcan parados vigilando innecesariamente un proceso, u observando la máquina mientras trabaja-, etc.

4. Por transporte

Una organización incorrecta del sistema productivo, un diseño incorrecto del proceso, una distribución en planta u organización del puesto de trabajo incorrectos, pueden dar lugar a la utilización de muchos transportes, a recorrer grandes distancias y a la manipulación doble o triple de materiales.

5. De proceso

Procesos y métodos de fabricación mal diseñados, con actividades innecesarias, exceso de operaciones de manipulación de materiales (coger piezas, sujetarlas, dejarlas, etc.), operaciones mal ejecutadas a causa de la noutilización de equipos y herramientas más eficientes.

6. De movimientos

Este despilfarro puede darse en el mismo puesto de trabajo por culpa de un diseño incorrecto del método de trabajo del operario.

Se debe establecer la diferencia entre moverse y trabajar. Ir de acá para allá para buscar herramientas, buscar y llevar material, recoger y colocar piezas, agacharse y levantarse, sujetar manualmente, etc., incrementa el tiempo de producción, retrasa la entrega al cliente y puede fatigar innecesariamente al operario, pero no añade valor al producto.

7. Por defectos en los productos (baja calidad)

Ocasiona paros y esperas de los operarios en los siguientes puestos de trabajo. Obliga a rectificar, a repetir el trabajo, a desmontar, sustituir por otro y volver a montar y, en otros casos, a tirar materiales y piezas defectuosas. Todo estos aspectos incrementan el tiempo de trabajo, retrasan las entregas y aumentan los costes.

En el caso de que los artículos defectuosos lleguen al cliente, las consecuencias pueden ser más graves para la empresa, como la pérdida de la confianza del cliente o la pérdida del cliente mismo.

Por lo tanto, la respuesta a cómo incrementar la productividad es buscar, reducir y eliminar los despilfarros, es decir, eliminar, o al menos minimizar, todo lo que no aporte directamente valor al producto, para optimizar así la ejecución de todo aquello que sí aporte este valor.

Algunos de estos despilfarros se eliminarían si la empresa llevara a cabo una correcta gestión de materiales, si utilizara un buen procedimiento de planificación de la producción o si hubiera elaborado un correcto diseño de la planta.

Además, existen diferentes técnicas e instrumentos más específicos para mejorar la productividad. Uno de estos instrumentos es el denominado **estudio del trabajo**. El estudio del trabajo consiste en un conjunto de técnicas, en concreto, **el estudio de métodos y la medida del trabajo** (también denominada *estudio de tiempo*), que se utilizan para mejorar la productividad a corto plazo mediante el análisis y el diseño de métodos más eficientes.

5. Planificación

5.1. Conceptos básicos

5.1.1. Concepto de planificación

Entendemos por planificación un proceso continuo que tiene por objeto anticipar decisiones para optimizar el uso de los recursos productivos.

Importancia de la planificación

Sin planificación no es posible gestionar de manera correcta el sistema productivo. La planificación presupone un conocimiento suficiente del futuro, es decir, debemos conocer bien las circunstancias que se producirán (y cuándo) para que podamos anticiparnos a ellas.

Esto significa que tenemos que disponer de información sobre todas las variables significativas del problema, fundamentalmente sobre la demanda, las capacidades y la disponibilidad de recursos y costes.

La planificación es la manera como intentamos resolver el problema de ajustar las capacidades del sistema productivo a la demanda, sea real, en forma de pedidos firmes, sea prevista, resultado de la previsión de demanda. En general la demanda no se ajustará a nuestra capacidad productiva: en unos periodos nos sobrará capacidad y en otros nos faltará; o bien, puede suceder que en un momento dado falte capacidad en una sección o en una máquina y sobre en otras, y que al cabo de un cierto tiempo la situación sea la inversa (evidentemente, si nos falta o nos sobra capacidad de manera permanente en algún punto del proceso productivo, es que se ha dimensionado mal, y en ese caso el problema es otro). Mediante la planificación intentamos encontrar la manera más económica de ajustar estos excesos y estas carencias.

Dado que el resultado de la planificación se materializa en unos documentos que se acostumbran a denominar planes, es frecuente que se tienda a creer que el aspecto más importante en la planificación son estos documentos, pero esta afirmación no es cierta. Estos planes son importantes, pero sólo en la medida en que reflejan el consenso obtenido entre los diferentes responsables sobre lo que se puede hacer y lo que no, cómo y cuándo se hará, los recursos que se destinarán, etc.

Dicho de otra manera: una planificación es un compromiso, no un papel. El papel sólo expresa aquello a lo que todos los implicados se han comprometido, y sin este compromiso, el papel es absolutamente inútil.

El resultado será, probablemente, que en algunos periodos fabricaremos cantidades superiores a la demanda, y en otros, cantidades inferiores. Por lo tanto, se da un ciclo de stocks, que es una de las fuentes más importantes de costes y, por lo tanto, objeto preferente de atención en la planificación.

5.1.2. Niveles de planificación

La planificación es un proceso complejo, en el que hay que tener en cuenta muchos factores y considerar muchos objetivos. Precisamente por este motivo no es posible tenerlo todo en cuenta a la vez y, por lo tanto, debemos establecer una metodología racional si queremos obtener resultados útiles. Por eso, es habitual considerar diferentes niveles de planificación. Para definir estos niveles existen distintas clasificaciones.

La más clásica y conocida corresponde a la **división de las decisiones** (y la planificación es una de ellas) en estratégicas, tácticas y operativas.

Sin embargo, para el caso que nos ocupa resulta más frecuente y más apropiada esta clasificación:

- 1) Planificación agregada.
- 2) Planificación detallada.
- 3) Programación.

1. La planificación agregada tiene en cuenta el sistema productivo en su totalidad, con un grado de detalle bastante pequeño. Se trata de un nivel, por decirlo de alguna manera, a vuelo de pájaro, donde no se pueden ver mucho los detalles. Por lo tanto, con ella estudiaremos un espacio de tiempo (horizonte) relativamente largo, y lo haremos de manera poco precisa. Se intentan fijar las grandes líneas de actuación y detectar los problemas importantes con bastante anticipación. Las técnicas utilizadas en este nivel de planificación se describen en los apartados siguientes de este mismo módulo.

En este contexto, el término agregado hace referencia a los productos (se planifican familias de productos que tienen características similares o procesos productivos similares), a los recursos (no se tienen en cuenta todos los recursos sino únicamente los más críticos o, incluso, se agregan a la sección o sistema productivo) y a los periodos de tiempo (se consideran semanas o meses en lugar de horas o minutos).

2. En la **planificación detallada** ya estamos un poco más cerca de la realidad. Los problemas se prevén detalladamente, el horizonte que se analiza es menor y las decisiones tienen en cuenta la mayoría de los detalles de la realidad. Este nivel incluye (y a menudo, se confunde con ella) la gestión de materiales y, singularmente, el cálculo de necesidades.

3. Finalmente, la **programación** tiene por objeto estudiar los problemas reales en casi toda su complejidad (sólo es posible considerarla completamente en el nivel de realización). Se trata, por lo tanto, de analizar detalladamente qué pasará y cuáles son las acciones más apropiadas: el tiempo estudiado es muy corto, los detalles se estudian uno por uno y las decisiones son de un alcance muy corto. Se trata de un análisis "a ras de suelo", y las herramientas utilizadas en este nivel son sustancialmente diferentes de las de los otros dos niveles.

Planificación	Horizonte temporal	Objetivo	Tipo de decisiones
Añadida	Largo	Fijar las grandes líneas de actuación y detectar grandes problemas con antelación.	Poco concretas
Detallada	Medio	Gestión de materiales y cálculo de necesidades.	Bastante detalladas
Programación	Corto	Analizar detalladamente lo que sucederá y decidir las acciones más apropiadas.	Muy concretas

5.1.3. Planificación continua

En la definición de planificación que se ha dado antes aparece un término que quizá resulta sorprendente: la caracterización de la planificación como un *proceso continuo*. No obstante, ésta es una característica fundamental del concepto de planificación que propugnamos.

La idea básica es que coexistan simultáneamente diferentes planes / niveles vigentes, coordinados y jerarquizados, de manera que cada uno estudie el problema desde un punto de vista diferente y con objetivos y características también diferentes.

Estos planes tendrán en cuenta horizontes diferentes y se reelaborarán periódicamente, pero con una condición muy importante: todos los planes se reelaborarán mucho antes de que hayan llegado al final de su horizonte.

5.1.4. Características que definen un nivel de planificación

Para definir un plan, hay que fijar seis características:

- 1) **Finalidad:** tipo de decisiones que se expresan en el plan; objetivos que se pretenden conseguir con él.
- 2) **Nivel de detalle:** tipo de informaciones que contiene.
- 3) **Horizonte:** periodo de tiempo que se tiene en cuenta en el plan. Lo que sucede después del horizonte se ignora, porque se considera que se encuentra demasiado lejano como para influir en el presente, y las previsiones sobre lo que puede suceder son muy poco precisas.
- 4) **Unidades de tiempo:** segmentos temporales en los que se divide el horizonte. Se considerará que todo lo que suceda en cada uno de estos segmentos es simultáneo; esta afirmación es una simplificación, pero si deseamos un mayor nivel de detalle, tendremos que recurrir a planes de horizonte más corto: resulta absurdo planificar hora por hora los próximos tres meses. Lo más lógico es elaborar una planificación, por ejemplo, de semana a semana, y planificar de hora a hora un horizonte de una o dos semanas.
- 5) **Frecuencia:** tiempo que transcurrirá entre dos versiones sucesivas del plan.
- 6) **Rigidez:** periodo, al principio del plan, en el que las decisiones planificadas ya son definitivas. Este periodo depende de la frecuencia (es obvio que hasta la próxima revisión ya no se puede cambiar nada), pero también de circunstancias tecnológicas y organizativas del sistema productivo: las decisiones se caracterizan por una cierta inercia que impide cambiarlas de manera instantánea; además, es frecuente que sea diferente para un cierto tipo de aspectos que para otro, e incluso puede resultar variable con el tiempo.

5.1.5. Diseño de un sistema de planificación continua

Aceptados los razonamientos anteriores, todavía hay que resolver las cuestiones más importantes para diseñar nuestro sistema de planificación: ¿Cuántos niveles de planificación debe presentar? ¿Cuáles deben ser estos niveles? ¿Qué características deben poseer? Son preguntas a las que no se puede responder de una manera general. Cada caso es diferente, y sólo un buen conocimiento del problema, las capacidades de planificación de la empresa, la organización de ésta, sus sistemas de información y decisión y las personas que, a todos los niveles, desempeñan el trabajo pueden proporcionar una respuesta adecuada.

Nombre	Finalidad	Horizonte de tiempo	Unidad de tiempo	Frecuencia de la rigidez	Finalización de la rigidez	Detalle
Plan estratégico de productos	Definir nuevos productos o nuevo mercado	10 años	1 a 2	Anual / bianual	3 a 4 años	Grandes familias de productos
Plan estratégico de procesos	Modificaciones de la tecnología o la capacidad	5 a 7 años	1 a 2 años	Anual	1 a 4 años	Grandes opciones
Plan táctico de inversiones	Coordinar proyectos de inversión	3 a 5 años	1 trimestre a 1 año	Anual	1 año	Proyectos / actividades
Plan maestro de producción	Coordinar el uso de los recursos escasos	12 a 18 meses	1 mes a 1 trimestre	Mensual	2 a 4 meses	Unidades de base (familias) + opciones y variantes pesadas
Plan detallado de producción	Coordinar producción y ventas. Aprovisionamiento. Equilibrar MO	3 a 8 meses	1 semana a 1 mes	Semanal / mensual	1 a 3 meses	Unidades de base (familias) + proporción
Programa de producción	Asignar operaciones a periodos y lugares	1 a 6 semanas	Día Diaria / semanal	2 a 3 días	Unidades, subconjuntos, piezas, elementos	
Secuencia (lanzamiento)	Establecer la secuencia de operaciones.					

Evidentemente, decir esto es decir muy poco, y no es nada práctico para orientar el trabajo en un caso real. Por eso damos, a continuación, un ejemplo de los parámetros mencionados, no necesariamente real, con unos valores más o menos típicos, que permite que nos hagamos una idea del tipo de sistema que puede resultar adecuado para un caso particular.

5.2. Métodos para la planificación de la producción

Los planes de producción se tienen que elaborar teniendo en cuenta los condicionantes (la demanda, las capacidades de producción, etc.) y con ciertos objetivos (por ejemplo, cubrir la demanda con el menor coste posible). Evidentemente, esto no lo podemos hacer a mano, necesitamos seguir un método o técnica, y herramientas para aplicarlo.

Los métodos más básicos consisten en elaborar el plan de producción con la ayuda de una hoja de cálculo en que puede haber una parte manual y una parte que se calcule automáticamente, además de gráficos o figuras de apoyo. Con una hoja de cálculo podemos organizar los datos y la información de tal manera que veamos automáticamente el impacto de tomar unas u otras decisiones (por ejemplo, comprobar cómo cambian los costes con unos niveles de producción u otros). En definitiva, con una hoja de cálculo, lo que podemos hacer es generar y evaluar diferentes alternativas.

La ventaja que presenta la planificación con hoja de cálculo es la sencillez, pero el inconveniente es que difícilmente encontraremos la mejor solución posible (por ejemplo, la de mínimo coste) porque es imposible generar todas las alternativas. Además, normalmente tiene el inconveniente de que el resultado depende mucho del conocimiento y experiencia de la persona que planifica.

Una alternativa a la hoja de cálculo es aplicar un procedimiento que, a partir de unos datos y de unos criterios, genere automáticamente un plan de producción factible (por ejemplo, que no utilice más recursos de los necesarios) y con un buen nivel de calidad (costes bajos, por ejemplo). Estos procedimientos pueden estar basados en modelos matemáticos de optimización (y, en este caso, el resultado obtenido es el mejor posible) o en unos criterios y reglas adecuados (y, en este caso, el resultado puede no ser el mejor posible pero sí bastante bueno).

5.3. Elaboración del plan maestro mediante una hoja de cálculo

5.3.1. Gráfico de planificación

La elaboración del plan maestro corresponde al nivel de planificación agregada, es decir, al nivel de planificación de la producción más alto dentro del núcleo de la dirección de operaciones. El procedimiento presentado en este apartado, también denominado de *planificación intuitiva*, requiere la elaboración de un gran número de planes alternativos antes de que nos demos por satisfechos; efectivamente, se trata de un procedimiento con el que es muy sencillo elaborar y evaluar diferentes planes maestros, pero no ofrece ninguna garantía de que estos planes sean buenos, sino que la calidad de los resultados depende totalmente de la experiencia y habilidad del planificador que lo utiliza.

Plan maestro

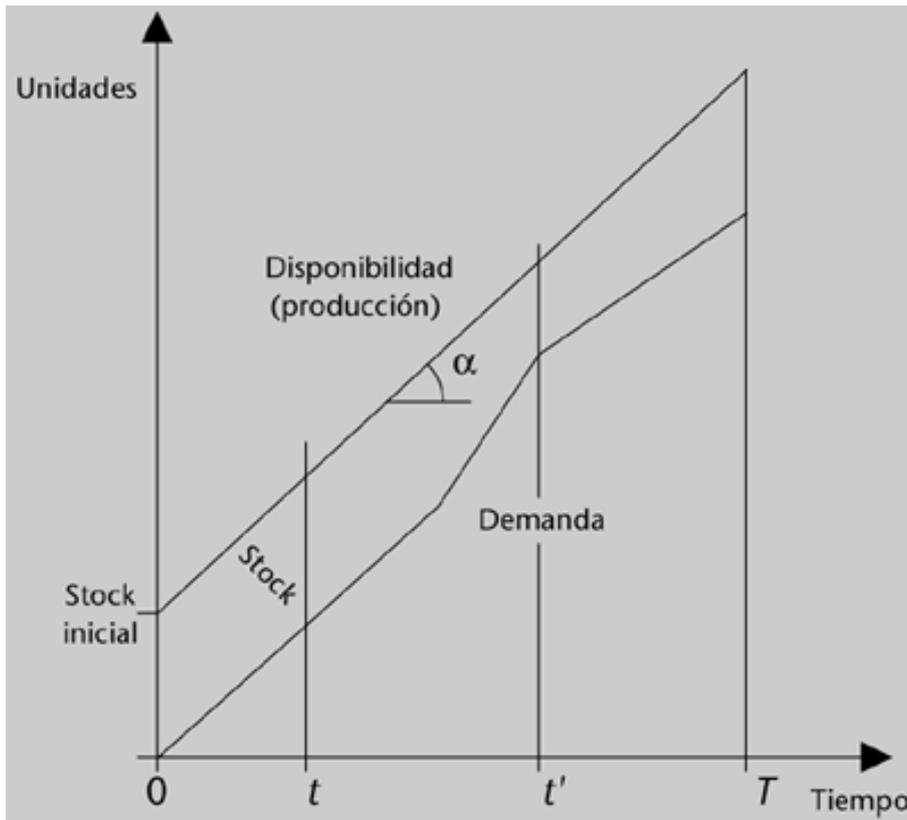
Se trata de uno de los niveles de planificación que más se utiliza. Corresponde al nivel de planificación agregada (el más alto dentro del núcleo de la DO). Generalmente tiene un horizonte temporal del orden de doce meses y una frecuencia de revisión mensual.

Características básicas del método gráfico

- Se deben elaborar diferentes planes alternativos y compararlos antes de escoger uno. Es muy sencillo elaborar y evaluar los diferentes planes.
- Se trata de un método intuitivo: la calidad de los resultados depende de la experiencia y la habilidad de la persona que elabora la planificación. Así, no podemos decir que los datos obtenidos representen la solución óptima, sino que la misma persona debe conseguir que se acerquen a ella.

Aunque la versión que exponemos aquí está pensada para implementarse sobre una hoja de cálculo, las ideas básicas se comprenden mejor si se presentan en la versión manual. El procedimiento parte de la elaboración de un gráfico en el que, de acuerdo con el tiempo, se representan dos datos básicos: la demanda y la disponibilidad acumuladas.

Se trata de un gráfico bidimensional en el que el eje de abscisas representa el tiempo, desde el inicio del plan, y el origen de coordenadas, el horizonte de planificación (T). En el eje de ordenadas hemos indicado simplemente *unidades*, entendiendo como tales cualquier tipo de unidades adecuadas para medir la producción, la demanda y los stocks. La definición de estas unidades es un problema que hay que resolver en cada caso, de acuerdo con las circunstancias concretas; si tenemos una situación multiproducto, hay que efectuar algunas manipulaciones para reducirlo todo a unas mismas unidades, que serán generalmente del tipo de horas de mano de obra, capacidad de la máquina para representar el cuello de botella o conceptos similares.



En el caso monoproducción, el problema puede ser relativamente simple, aunque pueden darse variantes (tallas, colores, submodelos, etc.) que pueden acercar el problema al caso multiproducción.

En este gráfico se representa (línea de demanda) la demanda acumulada a lo largo del periodo que hay que planificar: por lo tanto, se trata de una línea que empieza en el cero y se mantiene siempre no descendente (como máximo, puede llegar a ser horizontal en periodos de demanda nula).

La otra línea dibujada (línea de disponibilidad, llamada más a menudo *de producción*) parte de una ordenada que corresponde al nivel del stock inicial, y su ordenada en cada punto representa esta cantidad sumada a la producción acumulada hasta el momento en cuestión. También se trata de una línea no descendente, y cada línea que dibujamos con estas condiciones corresponde a un plan de producción diferente.

En este gráfico resulta muy sencillo observar dos datos: el stock y la tasa de producción. El stock en un instante cualquiera, t , será la diferencia de ordenada entre la línea de producción y la línea de demanda. En el gráfico se observa inmediatamente que el stock en el punto t es notablemente mayor que en el punto t' . Y si la primera línea baja por debajo de la segunda en algún punto, en este instante se produce una ruptura de stocks.

Ruptura de stocks

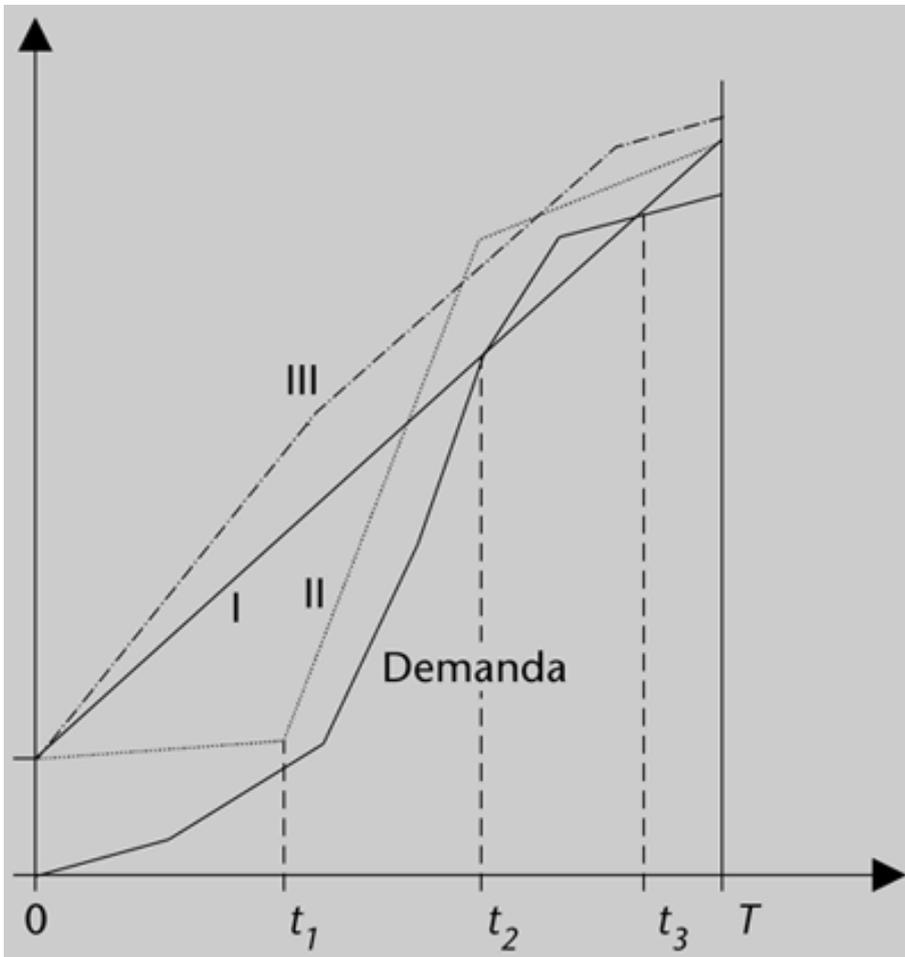
Se da cuando la empresa no dispone de suficientes materias primas o de productos acabados para continuar produciendo o para atender la demanda.

Si no disponemos de suficientes productos acabados (productos preparados para la venta) corremos el riesgo de perder clientes, ya que, al no disponer de nuestro producto, es posible que compren otro; si lo que nos falta es materia prima, nos vemos obligados a detener la producción.

En ambos casos se producen unos costes adicionales para la empresa.

Por otra parte, la pendiente de la línea de producción (el ángulo α) indica la tasa de producción que el plan prevé en cada punto, lo que significa que existe un ángulo máximo admisible, que corresponde a la producción máxima.

De esta manera, es intuitivo comprobar si un plan de producción es factible o no, e (incluso hasta cierto punto) si es mejor que otro o no. Consultad, por ejemplo, el gráfico.



En este gráfico se han representado, para una misma línea de demanda y stocks inicial y final, tres planes diferentes, numerados I, II y III.

El plan I mantiene siempre una tasa de producción constante, pero genera una ruptura de stocks entre los instantes t_2 y t_3 y, por lo tanto, posiblemente no resultará aceptable; además, al inicio del plan se genera un stock bastante alto.

El plan II no genera ruptura y mantiene siempre un nivel muy bajo de stocks, y, por lo tanto, parece bastante bueno; pero durante el tramo de los instantes t_1 a t_2 se da una tasa de producción muy alta, que habría que comprobar si es factible o no y, si lo es, con qué coste. Además, tanto al principio como al final, la tasa de producción es muy baja. Este aspecto quizá podría representar recursos no utilizados. Por todo ello, este plan puede resultar no factible o muy caro, incluso contando con el bajo nivel de stocks.

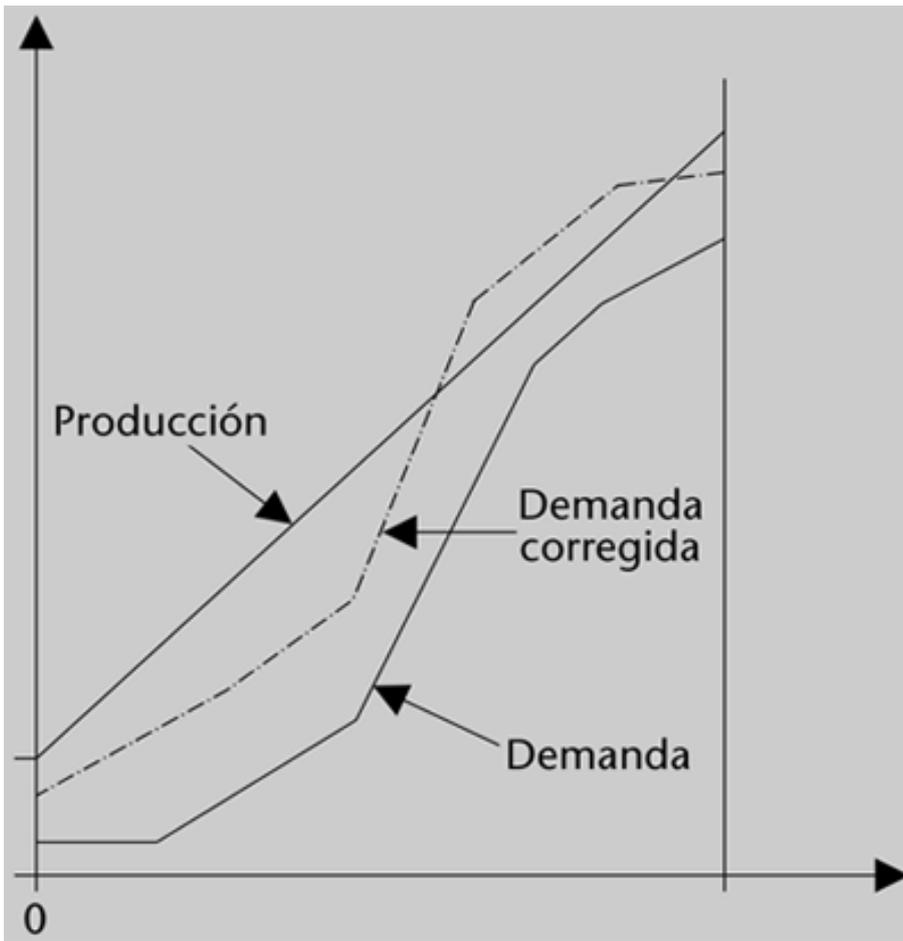
Finalmente, el plan III mantiene siempre unas tasas de producción razonables, ni muy altas ni muy bajas, pero a costa de crear un stock considerable durante más de la mitad de tiempo.

Naturalmente, sin datos numéricos concretos es imposible ir más allá de estos comentarios generales, pero es obvio que con estos gráficos es casi inmediato aceptar o descartar planes de producción, y sólo en pocos casos hará falta efectuar cálculos detallados. Esto, junto con la facilidad con la que pueden idearse nuevos planes de producción (sólo hay que dibujar líneas como la I, II y III del gráfico), proporciona al método una gran flexibilidad y potencia, pero no evita, al final, cálculos largos y tediosos para ver si, por ejemplo, el menor nivel de stocks compensa el coste de horas extras y puntos similares. Y es aquí donde aparece la gran ventaja de disponer de una hoja de cálculo.

5.3.2. Demanda corregida

En general, siempre se da alguna limitación referente al nivel de stocks a la hora de establecer el plan maestro. Esto significa que debemos mantener un stock mínimo en el almacén (stock de seguridad), que puede presentar un nivel constante o no. En cualquier caso, si contamos con este stock mínimo, quiere decir que la línea de producción no sólo debe bajar por debajo de la de demanda, sino que se debería mantener a una cierta distancia, más o menos grande, según cual sea el stock mínimo.

En esta figura se ha indicado, además de las líneas de demanda y de producción ya conocidas, otra línea, que representa en cada punto la demanda acumulada más el stock mínimo que hay que respetar en cada momento. Se trata de la línea de demanda corregida.



Como puede verse, el plan de producción representado incumple la regla del stock mínimo durante una parte del tiempo. Esto puede ser más o menos grave: puede suponer simplemente un cierto coste o puede provocar que el plan sea inviable.

Si el stock mínimo es variable, en cada periodo de planificación existe una cierta cantidad de unidades que se deben añadir o extraer de la demanda, a causa de la variación de stock. Así si, por ejemplo, la demanda en un periodo es de 500 unidades y el stock mínimo baja de 200 a 150 unidades, quiere decir que no hará falta fabricar 50 unidades de la demanda, sino que podremos obtenerlas de la disminución del stock.

Este saldo se llama también *demanda corregida*, ya que su acumulación es la línea que hemos descrito antes.

La demanda corregida para un periodo cualquiera será, pues:

$$\text{Demanda corregida} = \text{demanda} + \text{stock mínimo al final} - \text{stock mínimo al principio}$$

Dado que en el primer periodo de planificación no existe un stock mínimo anterior, se toma en su lugar el stock inicial.

Usualmente, para planificar se toma como dato base la demanda corregida en lugar de la demanda sin corrección, ya que representa la cantidad que realmente debemos obtener en cada periodo.

5.3.3. Enunciado y hoja de cálculo del ejemplo

Ya que se trata de un procedimiento eminentemente práctico, lo mejor para explicar con detalle el funcionamiento es utilizarlo para resolver un problema concreto, para lo que planteamos el caso siguiente.

Se trata de planificar la producción del año 2014, tomando como unidad de tiempo el mes. La demanda prevista y los días laborables de cada mes son:

Periodo	Demanda	Días laborables
Enero 2014	800	18
Febrero 2014	650	14
Marzo 2014	900	19
Abril 2014	700	17
Mayo 2014	1.050	17
Junio 2014	1.400	12
Julio 2014	1.600	14
Agosto 2014	1.550	0
Septiembre 2014	1.350	17
Octubre 2014	1.250	18
Noviembre 2014	700	19
Diciembre 2014	900	18

En cada día de producción pueden fabricarse hasta 50 unidades (de las que hemos utilizado para expresar la demanda), pero esta producción puede incrementarse en un 16% con horas extras, aunque eso obliga a un sobrecoste de 40 u.m./unidad adicional sobre el coste que tendríamos si las realizáramos en horas normales.

Si con esto no basta, se puede subcontratar producción a un taller próximo, con un sobrecoste de 60 u.m./unidad, pero limitada: en los cuatro primeros meses pueden subcontratarse hasta 800 unidades/mes; en mayo y en junio, sólo 400 unidades/mes; entre julio y octubre, ninguna, y en noviembre y en diciembre, sólo 200 unidades/mes.

El stock inicial es de 400 unidades, y al final de cada mes se debe tener un stock de seguridad equivalente al 20% de la demanda del mes siguiente. El stock a final de mes se debe valorar en 30 u.m./unidad.

No obstante, si se considera necesario, se puede diferir la entrega de unidades a un coste estimado en 300 u.m. por unidad y mes.

Para tratar este problema, preparamos una hoja de cálculo, y para seguir adecuadamente la explicación debéis disponer de la hoja de cálculo "UOC_0".

El sentido de las columnas 1 y 2 es lo suficientemente claro; las columnas 3, 4 y 5 expresan la capacidad de producción disponible con los tres tipos de recursos posibles: normal, horas extras (titulada extra 1) y subcontratación (extra 2).

En las columnas 6 y 7 se indican, respectivamente, el stock mínimo y la demanda corregida, calculados según los datos anteriores.

En las columnas 8, 9 y 10 indicaremos la producción que planificamos en cada periodo de cada origen. Generar un nuevo plano de producción es tan sencillo como rellenar estas columnas y equivale a dibujar la línea de producción en el gráfico descrito anteriormente.

En la columna 11 se calcula el stock final de cada periodo, según la producción total y la demanda en el periodo.

Las columnas 12, 13 y 14 contienen las acumulaciones de demanda, demanda corregida y producción más el stock inicial, y las utilizaremos para dibujar el gráfico, ya que estas columnas contienen la ordenada de las tres líneas que lo componen.

Las columnas 15-18 se han previsto como comprobación de la factibilidad del plan propuesto. Si algún mes se incumple la regla del stock mínimo, o la producción prevista de cualquiera de los tres tipos es superior al límite posible, aparecerá en la columna correspondiente un *no*, que nos indica que se da una anomalía; en caso contrario, continuará en blanco. Naturalmente, un *no* en la primera columna debe interpretarse como un simple aviso, mientras que en las otras tres indicaría que el plan no es factible.

Observaciones

No describimos detalladamente los cálculos de cada celda, porque, por una parte, son bastante evidentes y, por otra, pueden verse examinando la hoja de cálculo; en todo caso, deducir por nuestra cuenta los cálculos precisos es un ejercicio recomendable.

Finalmente, las columnas 19-23 se utilizan para la valoración del plan. En las cuatro primeras se valoran los costes para cada concepto (stock, entregas diferidas y capacidades extra utilizadas) que corresponden a cada periodo, y la última da la suma de estos costes, por lo tanto, el total de la columna es el coste total del plan, que es lo que queremos minimizar.

Una última observación: no nos han dado la demanda de enero de 2015 y, por lo tanto, no podemos calcular el stock mínimo previsto para el final de 2014. Dado que no tenemos más información, hemos supuesto que esta demanda será igual que en enero del 2014, de manera que hemos establecido el stock mínimo de final de año de acuerdo con estos datos.

5.3.4. Plan inicial

El resultado que ofrece la hoja de cálculo tal como está es, evidentemente, absurdo, ya que corresponde a un plan de producción que consiste en no producir nada y, obviamente, no es factible. Debemos pensar cómo podemos generar un plan mínimamente razonable. En el resto de la explicación, el alumnado deberá reproducir sobre la hoja de cálculo las explicaciones y comprobar que los resultados que obtiene son correctos.

Podemos observar que la demanda corregida total es de 12.610 unidades, mientras que la capacidad total es de 15.014, y, por lo tanto, se da un plan factible, si entendemos como tal el que fabrica toda la demanda sin rebasar las disponibilidades.

Parece lógico que en una primera aproximación prefiramos siempre la producción normal, que es la más barata, a continuación la *extra 1* y después la *extra 2*, según la regla de los costes. Dado que la demanda corregida total es mayor que la suma de las capacidades *normal* y *extra 1*, podemos elaborar un plan consistente en saturar estas dos capacidades y complementar lo que falte con la *extra 2*, que tomaremos desde junio hacia atrás, con el fin de atender la demanda de verano, que es muy alta justamente cuando no se dispone de capacidad *extra 2*; el plan quedará como nos muestra el cuadro.

Es recomendable, para hacer más visibles los resultados, dibujar también el gráfico de planificación correspondiente.

Periodo	Normal	Extra 1	Extra 2
Enero 2014	900	144	
Febrero 2014	700	112	122
Marzo 2014	950	152	800
Abril 2014	850	136	800
Mayo 2014	850	136	400

Periodo	Normal	Extra 1	Extra 2
Junio 2014	600	96	400
Julio 2014	700	112	
Agosto 2014	0	0	
Septiembre 2014	850	136	
Octubre 2014	900	144	
Noviembre 2014	950	152	
Diciembre 2014	900	144	

El resultado no parece ser muy bueno: el stock es muy alto, sobre todo en los meses de abril y mayo, e incluso el stock al final de año supera de largo el mínimo deseado.

5.3.5. Mejora del plan

Así pues, hay que mejorar el plan, es decir, encontrar uno más barato. A partir de aquí, pueden efectuarse varias tentativas, según lo que nos parezca que puede resultar más interesante. Según la experiencia, habilidad (e inspiración) del usuario, podemos encontrar unos más o menos buenos, con mayor o menor rapidez, hasta que nos demos por satisfechos con el que hayamos encontrado.

En este punto, el alumnado debe mejorar el plan hasta que crea que ya no puede mejorarlo más.

5.3.6. Elección del plan maestro (PM)

La gran ventaja del método es la gran facilidad que, una vez montada la hoja de cálculo, se tiene para elaborar una gran cantidad de planes alternativos. Será, pues, relativamente fácil encontrar alguno que nos resulte lo suficientemente satisfactorio.

La elección entre los planes estudiados es, en principio, bastante sencilla: el más económico es el que representa un menor coste, y éste es el que escogemos. Pero nos queda una duda: el escogido es el mejor que tenemos, pero, ¿hasta qué punto es bueno? ¿Existen otros mucho más baratos? ¿Es mucho más barato el plan que cuesta menos? No lo sabemos. Y reside aquí la debilidad del método, y de aquí parte la necesidad de probar muchas alternativas antes de darse por satisfecho.

5.4. Modelo de Bowman del transporte

5.4.1. Aplicación del problema del transporte a la elaboración del plan maestro

Con el procedimiento de elaboración de PM descrito en el apartado anterior, es fácil generar y evaluar nuevos PM, pero su calidad depende completamente de la habilidad, la experiencia y la inspiración del planificador. En este apartado presentaremos uno que da directamente la solución matemáticamente óptima si puede aplicarse.

El método se basa en la aplicación del llamado *problema del transporte*, uno de los modelos más conocidos de la programación lineal, a la planificación de la producción.

En síntesis, la cuestión que hay que resolver consiste en transportar, con un coste mínimo, la capacidad de producción desde un periodo determinado a otro donde se da una demanda por satisfacer.

La aplicación de este modelo exige identificar tres conjuntos:

- 1) Un conjunto de *fábricas* u *orígenes* desde donde transportar la producción. Se trata de las parejas formadas por los diferentes periodos de tiempo y los tipos de recurso. Si se da más de un recurso, cada uno será un origen diferente dentro de un mismo periodo.
- 2) Un conjunto de *consumos* o *destinos* a donde llevar la producción. Los destinos de la capacidad productiva son las cantidades de la demanda corregida de los diferentes periodos.
- 3) Unos costes unitarios de transporte, uno para cada par origen-destino, constituidos por los costes variables derivados del uso de los diferentes recursos de producción más los costes derivados de la posesión de stocks y los de demoras.

El problema de la planificación puede verse como la decisión de encontrar la manera de atender la demanda de los diferentes periodos usando la capacidad de cada uno con los diferentes tipos de producción posibles: se trata de ver desde qué orígenes hay que servir a cada uno de los destinos.

Transporte

De esta manera, el *transporte* que planteamos no es físico, las unidades no se mueven de lugar, sino que se trata de un transporte en el tiempo.

Bajo este punto de vista, la **materia que hay que transportar** es la producción, expresada en unidades convenientes (consultad el apartado anterior) y sus **orígenes** son los pares formados por los diferentes periodos de tiempo y tipo de recurso; si disponemos de más de un tipo de recurso, cada uno presenta un origen diferente dentro de un mismo periodo. Los **destinos** de esta capacidad son las cantidades de la demanda corregida de los diferentes periodos.

Los **costes de producción** tienen que definirse teniendo en cuenta que sólo deben intervenir costes estrictamente directos; es decir, que si no se usa el recurso, no hay coste y, si se utiliza, el coste es proporcional a la cantidad de recurso utilizada. De esta manera, la nómina del personal productivo, por ejemplo, no debe contar como coste de producción, ya que tendremos que pagarla tanto si hacemos trabajar a los obreros, como si no (excepto, naturalmente, situaciones especiales, como regulaciones de ocupación, etc.).

En cambio, las horas extras, primas y conceptos similares sí deben considerarse, porque son estrictamente proporcionales.

Para calcular los costes unitarios, hay que considerar dos tipos de conceptos: la producción propiamente dicha y su transporte en el tiempo.

En lo que concierne al **transporte**, presenta dos vertientes. El transporte hacia el futuro (usar la capacidad de enero para satisfacer la demanda de mayo, por ejemplo) tiene un sentido claro: se trata de hacer stock del material; por lo tanto, su coste será el de posesión del stock.

El transporte hacia el pasado representa la situación inversa: usar capacidad de mayo para satisfacer la demanda de enero equivale a decir que no serviremos la demanda de enero hasta mayo, es decir, habrá entregas que se retrasarán. Y éste será el coste de este tipo de transporte. Por descontado, si no es posible diferir, siempre se puede poner un coste infinito a este tipo de movimiento.

Evidentemente, transportar capacidad de producción de un periodo a otro implica la suma de los dos tipos de coste, por lo que podemos pronunciar la siguiente regla: *los costes unitarios entre cada par origen-destino están constituidos por aquellos costes variables derivados del uso de los diferentes recursos de producción, más los de stock o los de diferir, si es el caso.*

5.4.2. Planteamiento del problema ejemplo

Procederemos ahora a identificar los diferentes elementos para el caso del ejemplo estudiado ya en el apartado anterior.

1) **Orígenes:** en este caso, habrá 30 orígenes diferentes, uno para cada tipo de producción diferente (*normal*, *extra 1* y *extra 2*) y mes. Estos datos darían un total de 36, pero en el mes de agosto no existe capacidad de ningún tipo, y entre julio y octubre no hay *extra 2*.

2) **Destinos:** evidentemente, serán los 12 meses del horizonte de planificación.

3) **Costes de producción:** en el caso de la producción *extra 1* y *extra 2*, dado que son recursos que se contratan expresamente, no hay problema: los costes indicados, de 40 y 60 u.m./unidad respectivamente, son proporcionales y presentan, por lo tanto, las características indicadas.

En lo que concierne a la producción *normal*, la cuestión se complica un poco. Ya hemos dicho que el coste del personal, amortizaciones, etc., no se tienen que contar aquí, ya que, de hecho, son independientes del nivel de producción; si los contáramos, equivaldría a suponer que no pagaríamos las horas no utilizadas, lo que no es cierto, en general. Por lo tanto, este tipo de costes son fijos y no cuentan para nuestro planteamiento. Los costes que sí que pueden considerarse aquí son el consumo de materias primas, energía, etc., costes directamente proporcionales a la producción, que, obviamente, tendrían que contarse también en el resto de tipo de producción y que no figuran en el enunciado que estamos analizando. En principio, pues, este coste sería cero, en nuestro caso.

4) **Costes de transporte:** tampoco presentan ninguna dificultad. Hacia el futuro serán los costes de stock, a razón de 30 u.m./unidad y mes, y, hacia el pasado, los de diferir, a razón de 300 u.m./unidad y mes.

Obtenemos, así, la tabla indicada en la hoja de cálculo "UOCB0".

En las columnas se han identificado los diferentes orígenes de producción, y debajo figura la capacidad disponible.

En la parte izquierda de la tabla, tres columnas contienen los datos de demanda: en la primera, figuran el mes y el título de la fila; en la segunda, las necesidades (demanda corregida) y en la tercera, la parte todavía no atendida, es decir, la demanda corregida menos las asignaciones; esta columna sirve como auxiliar para elaborar una solución y contendrá sólo ceros cuando hayamos atendido toda la demanda.

Los destinos ocupan cuatro filas cada uno:

a) **Coste:** lo que vale producir una unidad en el origen de la columna para satisfacer la demanda correspondiente a la fila.

Contenido complementario

Las cifras que figuran en la tabla se deducen fácilmente de lo que se ha expuesto anteriormente. Dejamos para el alumnado el ejercicio de efectuar la comprobación.

b) Asignación: número de unidades de la capacidad correspondiente a la columna asignado a la demanda correspondiente a la fila.

c) Coste total: producto de los dos valores anteriores. A la derecha de estas filas figura su suma, y al pie de esta última columna se encuentra la suma total, que es la valoración del plan.

d) Disponible: capacidad disponible en la columna después de esta asignación; es la diferencia entre esta misma fila anterior y la capacidad asignada.

5.4.3. Método de los mínimos

Así, pues, se trata de rellenar las filas de asignación de manera que atendamos toda la demanda sin que las sucesivas filas de disponible lleguen a tener valores negativos, todo de manera que el valor total sea mínimo.

Una manera sencilla de llevarlo a cabo es rellenar la tabla por filas, empezando por la primera y utilizando sistemáticamente las horas más baratas de entre todas las disponibles. Este método es sólo aproximado, ya que no garantiza lo óptimo en todos los casos, y, por lo tanto, sólo lo utilizaremos si no disponemos del programa adecuado para aplicar el método exacto.

De todos modos, si lo aplicamos a nuestro caso, resulta la tabla que encontrareis en el documento "UOCBF" (recomendamos que intentéis reproducirlo por vuestra cuenta en una copia de la hoja de cálculo anterior para seguir los razonamientos que se exponen).

Hasta el mes de abril incluido, no hay problema: se dispone de bastante capacidad *normal* para atender la demanda. En mayo debemos usar la capacidad *normal* del mes anterior (a un coste de 30 u.m./u.) antes de tomar la capacidad *extra*. Observe que no usaremos capacidad disponible normal de enero ni de febrero, aunque la haya disponible, porque con el coste de stock ya suben más que las 40 u. m./u. del *extra 1* y las 60 u. m./u. del *extra 2* de mayo.

En junio tomamos toda la capacidad de los tres tipos (ya que no queda nada disponible de meses anteriores a menos de 60 u.m./u.), pero, a pesar de todo todavía no basta. Así pues, hará falta tomar *extra 2* de mayo hasta completar la demanda. Observad que la capacidad normal de enero ya cuesta 150 u. m./u. y, por lo tanto, no nos interesa. También en julio tendremos que recurrir a capacidades anteriores, hasta un coste máximo de 150 u.m./u.

Agosto no tiene capacidad de producción y, por lo tanto, habrá que tomar exclusivamente la capacidad de meses anteriores, hasta un coste máximo de 210 u.m./u., que ahora sí que incluye capacidad *normal* de enero.

En setiembre se debe "pasar el rastrillo" para completar la demanda, hasta un máximo de 270 u.m./u., correspondientes al *extra 2* de febrero.

Lo mismo sucede en octubre, pero en este caso con una diferencia: el *extra 2* de febrero ya cuesta 300 u.m./u., el mismo precio que diferir un mes la entrega. Lógicamente, precio por precio, preferimos acumular stock desde febrero, pero si el coste de diferir hubiera sido de 299 u.m. habría sido preferible diferir, ya que saldría más a cuenta (al menos en teoría) retrasar parte de la demanda de un mes y hacerla con la capacidad normal del mes siguiente, que tenerla en stock desde 10 meses antes, aunque se fabricara con capacidad *normal*.

El método de los mínimos

Este procedimiento, aunque no asegura la optimización del problema del transporte en general, sí que da siempre buenas soluciones y, a menudo, incluso da la mejor. Puede demostrarse que, si los costes de stock son positivos (cosa nada extraña) y no se admite que pueda diferirse (es decir, su coste se considera infinito, lo que tampoco sería muy extraño), el método descrito proporciona la solución óptima de este problema del transporte; incluso si no se dan estas dos condiciones, en ocasiones, puede acertar lo óptimo.

Por suerte, en noviembre todavía hay bastante capacidad para atender la propia demanda y todavía queda disponible parte de la normal, toda la *extra 1* y toda la *extra 2*.

Finalmente, en diciembre volvemos a tener capacidad de sobra: incluso con la normal es suficiente, y todavía queda una parte sin asignar.

Así pues, esta solución nos da, por una parte, capacidad normal no utilizada en diciembre y, por otra, un uso bastante extenso de *extra 1* y *extra 2*.

El coste que resulta es de 620.920 u.m. que, evidentemente, no puede compararse con los costes obtenidos en los planes desarrollados en el apartado anterior, ya que las reglas de valoración utilizadas han sido diferentes.

5.5. Método exacto

Para obtener un plan de producción que sea factible y, a la vez, optimice una función de utilidad (como, por ejemplo, el coste), hay que formular y resolver un programa matemático (modelo matemático de optimización).

Antes de plantear el programa matemático adecuado para el ejemplo que nos ocupa, haremos una breve introducción, con un pequeño ejemplo.

5.5.1. Programación matemática

Un programa matemático consta de tres elementos:

1) Variables: son las incógnitas del problema, lo que queremos determinar y que representa la solución a nuestro problema.

2) Función objetiva: es una expresión cuyo resultado nos dice cómo de buena es la solución (por ejemplo, el coste del plan de producción).

3) Restricciones: son expresiones matemáticas que se corresponden con las condiciones que tiene que cumplir la solución (por ejemplo, no usar más recursos de los disponibles, no superar cierto límite de stock, etc.).

Ejemplo

Un taller dispone de dos máquinas (A y B) que se usan para fabricar tres tipos de piezas. Durante un mes dispone de 200 horas de máquina A y 300 horas de máquina B. El tiempo necesario para fabricar una unidad de cada tipo de pieza, en cada máquina, es el que figura en la tabla siguiente (todas las piezas tienen que pasar por las dos máquinas).

	A	B
Pieza 1	0,20	0,35
Pieza 2	0,40	0,60
Pieza 3	0,10	0,75

Se trata de determinar el plan de producción de forma que se maximice el margen económico. El margen unitario de cada tipo de pieza es de 6, 10 y 15 euros, respectivamente.

Programa matemático:

Datos: los datos que tenemos son las disponibilidades de las dos máquinas, el tiempo de proceso para cada tipo de pieza y máquina, y los márgenes unitarios de cada tipo de producto.

Variables: x_1 , x_2 , x_3 número de piezas de cada tipo que tenemos que fabricar

Función objetivo: [MAXIMIZAR] $z = 6 x_1 + 10 x_2 + 15 x_3$ € (margen total, que queremos hacer máximo)

Restricciones:

$$0,20 x_1 + 0,40 x_2 + 0,10 x_3 \leq 200 \text{ horas máquina A}$$

$$0,35 x_1 + 0,60 x_2 + 0,75 x_3 \leq 300 \text{ horas máquina B}$$

además, hay que especificar que las variables no pueden tomar valor negativo ($x_1, x_2, x_3 \geq 0$).

Para resolver el programa matemático anterior, se pueden usar diferentes programas (optimizadores). El propio Excel dispone de un complemento (el Solver) para resolver programas matemáticos.

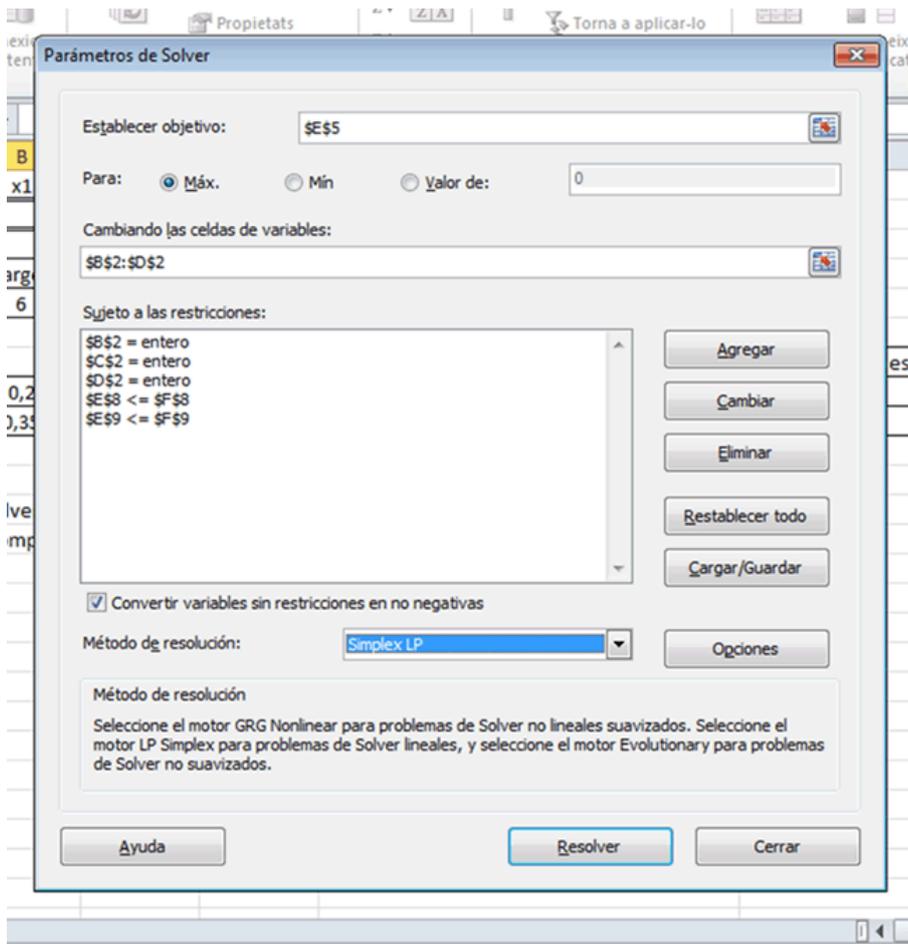
En el archivo "UOCPM", pestaña UOCPM-1, encontraréis este ejemplo resuelto.

Lo primero que hacemos es organizar los datos y el modelo en la hoja de cálculo, tal como podéis ver en la figura siguiente:

	A	B	C	D	E	F	G
1	VARIABLES	x1	x2	x3			
2	VALOR VARIABLES						
3							
4		marge 1	marge 2	marge 3	Marge total (funció objectiu a maximitzar)		
5		6	10	15	0		
6							
7					Hores (A o B) necessàries	Hores disponibles	
8	RESTRICCIÓ CAPACITAT A	0,2	0,4	0,1	0	200	
9	RESTRICCIÓ CAPACITAT B	0,35	0,6	0,75	0	300	
10							
11							
12	NOTA: si no us apareix la opció Solver a la pestanya de "Datos" heu d'anar a les Opcions d'Excel						
13	"Complements", "Adiminstrar" Complementos (Vés...) i seleccionar "Solver"						
14							
15							

En la primera fila está el nombre de las variables; en la fila 2, está el valor de las variables (inicialmente estas celdas están vacías dado que son las incógnitas de nuestro problema); en la fila 5 están los márgenes unitarios y el margen total, calculado según estos valores y el valor de las variables; finalmente, en las filas 8 y 9 están los datos y el resultado de las restricciones.

Si vamos a Solver (pestaña de Datos), podemos introducir nuestro programa matemático, tal como veis en la figura siguiente:



Lo que decimos en esta ventana es en qué celda está calculada la función objetivo, qué queremos hacer (en este caso, maximizar), en qué celdas está el valor de las variables y, finalmente, qué restricciones se tienen que cumplir. También decimos que las variables tienen que ser no negativas. Una vez hemos introducido esta información, podemos hacer clic en el botón de resolver. En la fila 2 nos pondrá la solución óptima que, en este caso, consiste en fabricar 300 piezas tipo 3 y ninguna pieza tipo 1 o tipo 2. El margen total es de 6.000 euros, y es el máximo posible.

5.5.2. Aplicación en el ejemplo

Planteamos a continuación un programa matemático para el ejemplo inicial:

Los datos que tenemos son:

- La demanda de cada mes, D_t
- El número de días laborables, d_t
- La capacidad en horas normales en cada mes, Kn_t ($50 \cdot d_t$)
- La capacidad en horas extraordinarias en cada mes, Ke_t ($16\%Kn_t$)
- La capacidad de subcontratación en cada mes, Kc_t
- El coste de las horas extraordinarias, Ce (40 um/u)
- El coste de la subcontratación, Cc (60 um/u)

- El stock ideal al final de cada mes, S_i
- El coste de mantener el stock, C_s (30 um/u)
- El coste de diferir demanda, C_r (300 um/u)

Las variables que tenemos que definir son:

- La producción en horas normales en cada mes, Pn_t
- La producción en horas extraordinarias en cada mes, Pe_t
- La producción subcontratada en cada mes, Pc_t
- El stock al final de cada mes, S_t
- La demanda diferida, R_t

La función objetivo consiste en minimizar el coste total:

$$[MIN]z = \sum_{t=1}^{12} (C_e \cdot Pe_t + C_c \cdot Pc_t + C_s \cdot S_t + C_r \cdot R_t) \quad (1)$$

Y, finalmente, hay que formular las restricciones:

$$\text{Capacidad de producción en horas normales: } Pn_t \leq Kn_t \quad t = 1, \dots, 12$$

$$\text{Capacidad de producción en horas extraordinarias: } Pe_t \leq Ke_t \quad t = 1, \dots, 12$$

$$\text{Capacidad de subcontratación: } Pc_t \leq Kc_t \quad t = 1, \dots, 12$$

$$\text{Balance de stock: } S_{t-1} + Pn_t + Pe_t + Pc_t = (D_t + R_{t-1}) - R_t + S_t \quad t = 1, \dots, 12$$

Como se puede apreciar en la restricción del balance de stock, a la izquierda tenemos todo el disponible mes t (el stock que nos había sobrado más la producción y subcontratación) y a la derecha tenemos, por un lado, las ventas (que son iguales a la demanda –corregida con la demanda que hemos diferido del periodo anterior– menos la demanda diferida) y el stock final, que tomará valor positivo solo si hay exceso de producción.

En el archivo UOCPM, pestaña UOCPM-2, tenéis este ejemplo resuelto. Si vais al Solver, veréis cómo se ha introducido el programa matemático.

En este caso, no hemos tenido en cuenta el stock mínimo deseado. Habría que añadir la restricción siguiente:

$$S_t \geq Si_t \quad t = 1, \dots, 12 \quad (2)$$

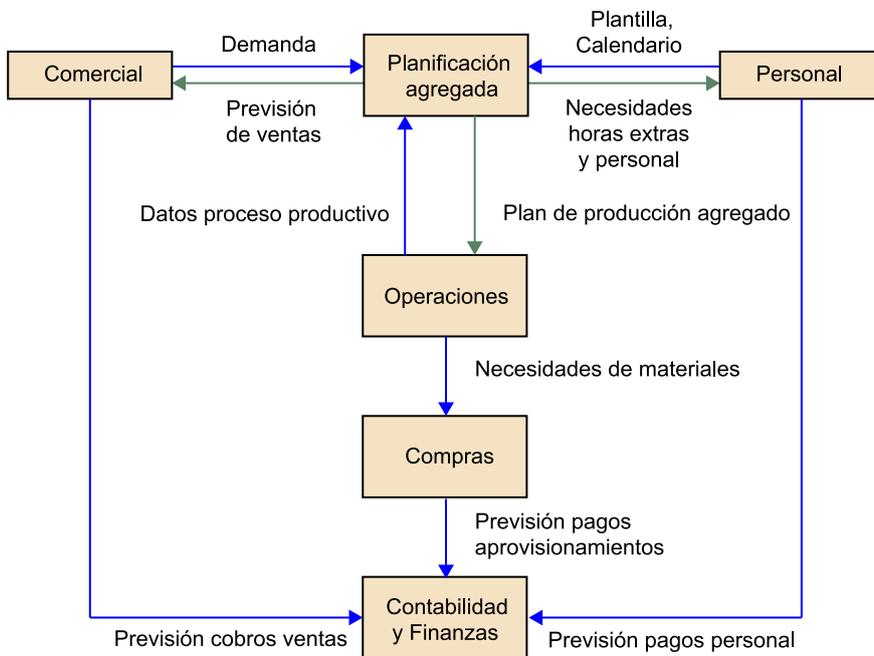
Las ventajas de utilizar la programación matemática son variadas. Además de proporcionar la solución óptima en relación con un criterio, permite añadir muchos tipos de condiciones que, con métodos como el de Bowman, no es posible considerar. Por ejemplo, podríamos añadir una limitación al número

total de unidades producidas en horas extraordinarias; de hecho, sería realista puesto que, además de haber un límite diario, también suele haber un límite anual.

Otra ventaja de la programación matemática es que podemos incluir otros tipos de decisiones que pueden estar muy ligadas a la planificación de la producción. De esto hablamos en el punto siguiente.

5.6. Integración con las otras áreas funcionales de la empresa

Resulta bastante evidente que las decisiones que se toman en el área de operaciones, como por ejemplo la planificación agregada de la producción, afectan a la actividad de toda la empresa. La figura siguiente muestra, de manera esquemática y sin pretender ser exhaustiva, algunas de las relaciones que hay entre las diversas áreas funcionales de una empresa:



Del plan de producción se desprenden necesidades que afectan al área de personal, los aprovisionamientos y las ventas. Se derivan, en definitiva, unos pagos y cobros que dependen de la actividad de la empresa y que afectan a la gestión de la tesorería. Si al planificar la producción no se tiene en cuenta todo esto, el plan resultante quizás no será viable, y se tendrá que revisar. Es posible que, para realizar el plan de producción, haya que hacer un número muy elevado de horas extraordinarias y que esto requiera unos pagos a los que la empresa no puede hacer frente si no es endeudándose, cosa que quizás no es lo más conveniente.

Evidentemente, lo más deseable sería hacer una planificación que incluyera, además de las decisiones que afectan al área de operaciones, otras decisiones y actividades que están íntimamente relacionadas con ello, como por ejemplo la planificación de la plantilla (cuántos trabajadores, cuántas horas de trabajo), la planificación de los aprovisionamientos y la gestión de la tesorería.

5.7. Sistemas flexibles de organización del tiempo de trabajo

Hay muchas organizaciones que tienen que afrontar demandas que no son constantes en el tiempo, ya sea porque presentan una tendencia (creciente o decreciente) o porque tienen cierta estacionalidad. En estos casos, las herramientas tradicionales consisten en planificar horas extraordinarias o bien almacenar stock. De este modo, la capacidad que no es necesaria en periodos en que la demanda es baja, se usa para poder cubrir la demanda en periodos en que esta es superior a la capacidad de producción. Estas dos herramientas ofrecen cierta flexibilidad, pero ambas presentan inconvenientes o limitaciones: las horas extras suelen tener un coste elevado y, por lo tanto, se tendrían que usar solo en caso de extrema necesidad; además, hay muchos convenios colectivos que las prohíben explícitamente, a no ser en casos muy especiales. Los stocks, además de representar un coste (tanto de almacenamiento como por el hecho de tener producto inmovilizado), comportan el riesgo de pérdidas, obsolescencia, caducidad, etc. y, por supuesto, solo se pueden usar en empresas de producción de bienes ya que, como es obvio, los servicios no pueden ser almacenados.

El personal es la fuente principal de flexibilidad. La capacidad suele depender, además de las instalaciones, del tamaño y composición de la plantilla y del número de horas de trabajo. Así, una manera de incrementar puntualmente la capacidad es mediante la contratación de personal temporal (cuando esto sea posible). La polivalencia del personal también es una fuente importante y muy interesante de flexibilidad, especialmente cuando la composición de la demanda o del tipo de tareas que se requieren también es variable. El otro elemento clave para incrementar o reducir la capacidad es el tiempo de trabajo. Por eso, en los últimos años han proliferado esquemas flexibles de organización del tiempo de trabajo, como por ejemplo la jornada anualizada o las cuentas de horas.

La jornada anualizada consiste en trabajar cierto número de horas al año, con la posibilidad de distribuir las horas de modo irregular a lo largo del tiempo, trabajando más horas cuando la actividad lo requiere y menos cuando la demanda es baja. Con las cuentas de horas, cada trabajador tiene una cuenta a la que se le suman horas cuando la jornada es superior a la media y se le restan cuando la jornada es inferior al valor medio. Cuando tiene un saldo positivo quiere decir que la empresa le debe horas (ha hecho más horas de las que le tocarían) y cuando tiene un saldo negativo es al revés (ha hecho menos horas de las que haría con una jornada estable).

Estos sistemas comportan un empeoramiento de las condiciones laborales (casi todo el mundo prefiere tener un horario estable y poder organizar mejor su tiempo libre), y es por eso que las empresas no pueden implantarlo de forma unilateral. Tienen que ser negociados y pactados y, por lo tanto, suelen ir acompañados de compensaciones (a cambio de la flexibilidad) y de condiciones que evitan sobrecargar en exceso a los trabajadores (por ejemplo, que no estén más de cierto número de semanas consecutivas trabajando muchas horas).

En casos en que la empresa tenga que hacer frente a una demanda variable, conviene plantear la adopción de un sistema flexible de organización del tiempo de trabajo. Ahora bien, entonces, no se podrá desligar la planificación de la producción de la planificación del tiempo de trabajo (se tendrá que hacer conjuntamente). Además, el sistema de planificación puede incorporar también las preferencias de los trabajadores por unos u otros tipos de jornada.

6. La planificación de las necesidades de materiales: MRP

6.1. Introducción

El sistema MRP (*Material Requirements Planning*) nace como un método para el control de los inventarios de forma integrada, de manera que los volúmenes de stocks de los componentes están relacionados con la cantidad de productos finales que hay que producir. Se trata, pues, de llevar a cabo una planificación y un control integrados de todos los componentes y productos finales de la empresa.

Para entender el funcionamiento del sistema MRP habrá que distinguir entre demanda dependiente y demanda independiente de un producto o componente determinado. La demanda de un producto o componente es **independiente** cuando su *evolución está condicionada por las características del mercado* de manera que escapa a la capacidad discrecional de la empresa. Tenemos un ejemplo claro de ello en la mayoría de productos destinados a satisfacer las necesidades del consumidor final.

La demanda de un producto o componente es **dependiente** cuando *está condicionada por la demanda de otro producto o componente*. Por ejemplo, cuando se fabrica un producto formado o integrado por diferentes partes o componentes, la demanda de cada uno de estos componentes es dependiente, porque se halla directamente relacionada con la demanda del producto final.

Los métodos clásicos de gestión de inventarios, cuya aplicación resulta adecuada cuando la demanda de los bienes es independiente, resulta inadecuada cuando esta demanda es dependiente. Un buen ejemplo que nos permite intuir por qué las técnicas clásicas son inadecuadas es el que tomamos de Domínguez Machuca y otros:

"Un producto tiene 20 componentes y sus inventarios están gestionados de forma independiente mediante las técnicas clásicas. Supongamos que se consigue, para cada uno de ellos, que las rupturas de stocks sean como máximo del 5% o, lo que es lo mismo, que no falten stocks en el 95% de los casos. Dada la interrelación entre los distintos componentes, es suficiente que falte uno de ellos para que no pueda construirse el conjunto completo. Estadísticamente, esto se traduce en que la probabilidad de que la producción se lleve a cabo sin problemas es del $(0,95)^{20} = 0,36 = 36\%$, lo que implica que, posiblemente, en un 64% de ocasiones faltará al menos un elemento para formar el conjunto en el tiempo deseado."

J.A. Domínguez Machuca y otros (1996). *Dirección de operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*. Madrid: Mc Graw-Hill (pág. 120).

Podemos encontrar los primeros desarrollos de este método hacia 1950, cuando Andrew Vaszonyi presentó un enfoque de la gestión de materiales de demanda dependiente basado en el álgebra matricial. Aun así, este método no se popularizó hasta finales de los años sesenta, de la mano de Joseph Orlicky, quien extendió su uso.

Al principio, el método MRP se aplicó sin tener en cuenta las restricciones de capacidad y las posibles dificultades derivadas de la ejecución de los planes de materiales en los talleres. A menudo, los planes de materiales obtenidos no resultaban factibles porque la capacidad era insuficiente. Con el fin de resolver estos problemas, se empezaron a utilizar en paralelo técnicas de planificación de capacidad en los distintos niveles (por ejemplo, *Capacity Bills Resource Profiles* y *Capacity Requirements Planning*). De esta manera se conseguían mejorar los resultados, pero, al tratarse de un uso en paralelo, faltaba una auténtica integración real y una base de datos común. El paso siguiente en la evolución del sistema MRP fue, por lo tanto, integrar las técnicas de planificación de capacidad y las de gestión de talleres en el MRP originario, integración que dio lugar a la aparición de los denominados sistemas MRP de bucle cerrado (BC).

Estos sistemas BC supusieron un paso considerable hacia la integración de la gestión empresarial, pero todavía quedaban fuera áreas importantes de la empresa. Los desarrollos sucesivos del sistema MRP han ido integrando otros campos, como las finanzas o el marketing, que han hecho aparecer un sistema llamado planificación de los recursos de fabricación y conocido como el sistema MRP II (*Manufacturing Requirements Planning*). El método MRP II se ha convertido en una técnica para la simulación de planes capaces de conectar los recursos necesarios para llevar a cabo de manera coordinada las funciones de compras, fabricación y distribución de productos con el menor volumen de inventarios posible. Integra todos los departamentos de la empresa en la planificación: partiendo de las previsiones de ventas, se planifica la producción teniendo en cuenta los inventarios de materiales disponibles, el factor humano, los recursos financieros, los planes de mantenimiento, los planes de compra, etc. En definitiva, integra en un método todas las funciones de una empresa para optimizar los recursos productivos, con la finalidad de responder a una demanda cambiante.

Finalmente, queremos destacar el hecho de que los sistemas MRP no son sólo técnicas para la planificación de recursos, sino que representan una verdadera filosofía de *gestión integrada*, ya que permiten obtener una base de datos centralizada y coordinar las diferentes funciones de una empresa.

Contenido complementario

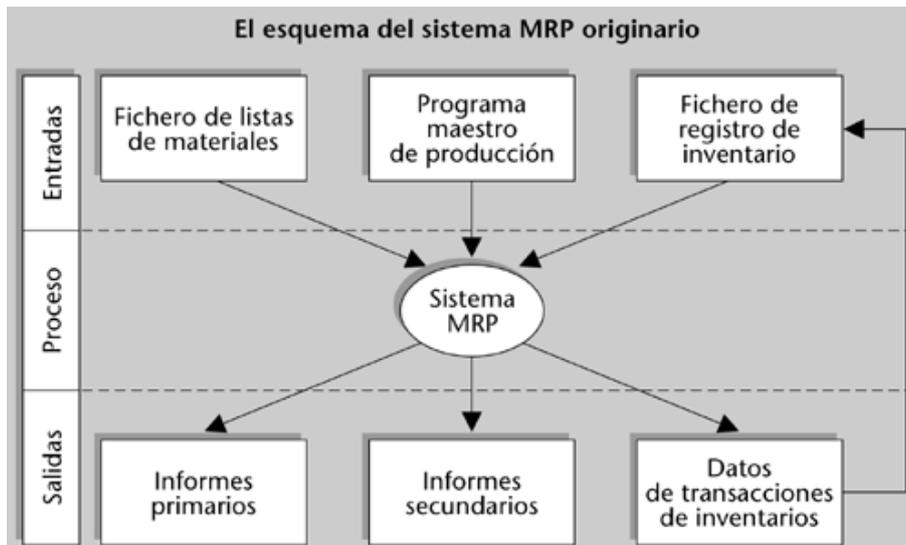
Andrew Vaszonyi presentó el método gozinto en el primer número de la reconocida revista *Management Science* (1954).

6.2. Estructura del sistema MRP

El sistema MRP parte de un conjunto de informaciones básicas que, una vez procesadas, dan lugar al **plan de materiales**, que contiene los pedidos planificados, las compras y/o las órdenes de fabricación. Estas informaciones para el sistema MRP son:

- 1) Las *cantidades del producto* final que hay que elaborar y las fechas libremente previstas, o sea, el programa **maestro de producción**.
- 2) La *estructura de fabricación y montaje* del artículo en cuestión, es decir, la **lista de materiales**.
- 3) Datos sobre los diferentes ítems, como tiempo de suministro, existencias disponibles en almacén, recepciones programadas, etc., que se recogen en el llamado **fichero de registro de inventarios**.

El programa MRP procesa estas entradas y, mediante la **explosión de necesidades**, da lugar a lo que denominamos **plan de materiales**. El plan de materiales consiste en un informe primario que constituye una de las principales salidas del sistema MRP. El resto de salidas del sistema son los llamados informes secundarios o residuales (informes de material en exceso, informes de compromisos de compras, etc.) y las transacciones de inventarios, que sirven para actualizar el fichero de registro de inventarios en función de los datos obtenidos en el proceso MRP.



Fuente: J.A. Domínguez Machuca y otros (1996). *Op. cit.* (pág. 125).

La definición más difundida del sistema MRP originario es la que lo caracteriza como un "**sistema de planificación de componentes de fabricación** que, mediante un conjunto de procedimientos lógicamente relacionados, traduce un programa maestro de producción en necesidades reales de componentes, con fechas y cantidades" (Domínguez Machuca y otros, 1996, *op. cit.*, pág. 125).

6.3. Entradas del sistema

6.3.1. El programa maestro de producción

El punto de partida del método MRP es el programa maestro de producción (PMP), que nos informa del volumen de productos finales que hay que poseer para satisfacer la demanda del mercado. Denominaremos a este volumen como **necesidades brutas**. Por otra parte, llamaremos **necesidades netas** a las necesidades brutas una vez que hayamos descontado las disponibilidades de estos productos demandados, de manera que sólo se lancen órdenes de compra y/o fabricación por valor del volumen realmente necesario para satisfacer la demanda del mercado.

Debemos tener en cuenta que existe una demanda directa de determinados componentes, los cuales se venden como piezas de repuesto o para reparaciones, que no aparece reflejada en el PMP. Por lo tanto, las necesidades de estos componentes deben introducirse directamente durante el proceso de explosión en el momento en que son computadas las necesidades que se derivan de la demanda dependiente.

Finalmente, en relación con el sistema MRP, es preciso que realicemos una observación: el PMP utilizado en el sistema MRP originario no tiene en cuenta las limitaciones de capacidad, por lo que puede suceder que el plan de materiales resultante sea inviable.

6.3.2. La lista de materiales

Las órdenes concretas para cada una de las etapas del proceso de producción se generan a partir del PMP por medio de la denominada **explosión de partes**. La explosión de partes consiste en desglosar cada uno de los productos finales en sus componentes y determinar el momento en que hace falta fabricar cada uno de estos componentes. Para llevar a cabo este desglose debemos disponer de las informaciones siguientes: la estructura de fabricación y/o ensamblaje del producto final y el tiempo de fabricación y/o ensamblaje de las diferentes partes que la integran. El primer tipo de información (estructura del producto) lo obtenemos en la lista de materiales, y la información relativa a los tiempos de fabricación la obtenemos en el fichero de registro de inventarios.

La lista de materiales contiene, para cada tipo de producto final, los siguientes elementos:

- Los componentes que lo integran.
- Las cantidades necesarias de cada uno para formar una unidad del producto.
- La secuencia como se combinan estos componentes.

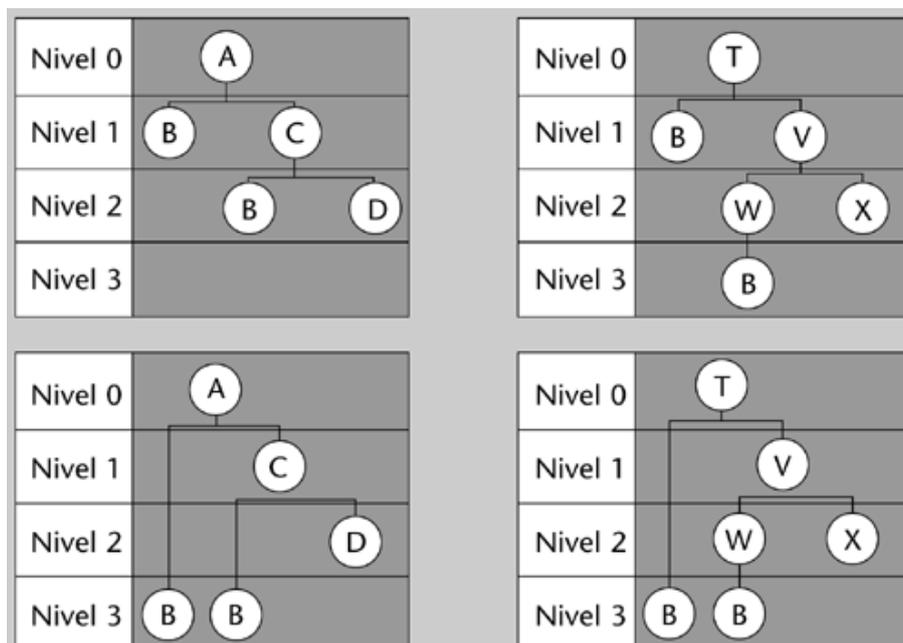
Generalmente, expresamos la lista de materiales en forma de árbol. El árbol recoge las diferentes etapas en la fabricación y el montaje de los componentes del producto, de manera que podemos identificar los diferentes niveles de fabricación. La utilización de estos niveles facilita la explosión de las necesidades a partir del elemento final. Su funcionamiento es el siguiente:

- Asignamos **nivel 0** a los productos finales.
- Asignamos **nivel 1** a los componentes unidos a un elemento del nivel 0.
- Y, en general, asignamos **nivel i** a los componentes unidos a un elemento del nivel $i-1$.

Debemos seguir este proceso de asignación de niveles hasta llegar a las materias primas y partes compradas al exterior.

Veamos un ejemplo (figura 2). La lista de materiales dispone de dos productos finales: A y T. Si los estructuramos en forma de árbol, podemos observar los componentes que integran cada uno de estos productos finales. Supongamos que necesitamos un componente para cada elemento del nivel superior; es decir, nos hace falta un componente B para cada producto final, un componente C para cada producto final A, un componente B para cada componente C, etc.

Podemos observar que encontramos el componente B en diferentes niveles de ensamblaje. Así pues, la cuestión es: ¿qué nivel debemos asignar a este componente? Tenemos que asignarle el nivel más bajo (en el dibujo) en el que lo encontramos en cualquiera de los productos que la empresa acopla o fabrica. En nuestro ejemplo, el componente B debe tener nivel 3, porque en la obtención del producto final T, B se encuentra en el nivel 3.



6.3.3. Los registros de inventarios

El fichero de registro de inventarios contiene, para todos y cada uno los ítems, información sobre la identificación de los ítems, tiempos de suministro, stock de seguridad (si procede), la manera de determinar el pedido, etc. Además, informa sobre la disponibilidad que presenta el almacén, las cantidades comprometidas en pedidos emitidos en periodos anteriores al de la planificación, recepciones programadas, etc.

6.3.4. Actualización de la planificación: reprogramación en MRP

Las entradas al sistema (el programa maestro de producción, la lista de materiales y el fichero de registro de inventarios) pueden quedar alteradas por diferentes factores, lo que puede afectar al cálculo de las necesidades y la programación de pedidos. Por eso hay que actualizarlas constantemente.

6.4. Un caso básico de MRP

6.4.1. Las entradas al sistema

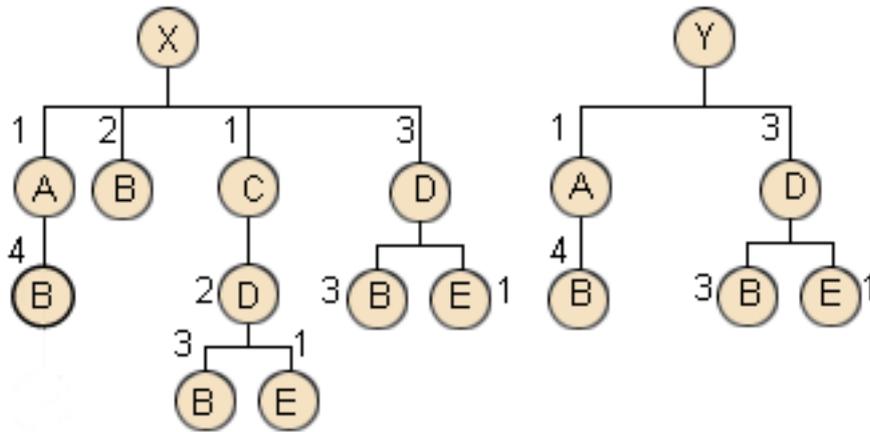
Programa maestro de producción (PMP). Tomemos como ejemplo una empresa que fabrica dos productos, X e Y, y que vende el componente D como pieza de repuesto. Para simplificarlo, sólo tenemos en cuenta ocho periodos del horizonte de planificación.

Las necesidades que se derivan de la demanda externa del componente D no aparecen en el PMP; esta información se almacena en el fichero de registro de inventarios y la utilizaremos cuando calculemos las necesidades totales del ítem en cuestión.

Programa maestro de producción								
	1	2	3	4	5	6	7	8
X					10		10	40
Y				10			20	30

Demanda externa de componentes								
	1	2	3	4	5	6	7	8
D				20		20		20

Lista de materiales. Presenta la estructura de los diferentes productos en forma de árbol:



Fichero de registro de inventarios. Hemos previsto un stock de seguridad para aquellos ítems sujetos a demanda independiente, la cual, por lo tanto, es aleatoria. En lo que concierne al método de cálculo del lote, hemos utilizado el más sencillo, que consiste en pedir exactamente las necesidades netas que hay que cubrir en cada periodo (planificación del volumen de los lotes lote a lote).

Segmento maestro de datos		
Ítem	Es	Ts
X	10	1
Y	10	1
A		1
B		1
C		2
D	15	1
E	0	1

Fichero de registro de inventarios		
Ítem	Disp.	Recep. prog.
X	25	
Y	10	
A		
B		
C		20 en t = 7
D	30	100 en t = 7
E		

6.4.2. Planificación de las necesidades de materiales

Debemos comenzar el proceso por la parte superior de la lista de materiales, calculando las necesidades netas y, a partir de éstas, los pedidos de los productos de nivel 0 que debemos efectuar. Las fórmulas que utilizamos para determinar las necesidades netas (NN) de un periodo i , y lo que tenemos disponible (D) en aquel periodo son:

$$NN(i) = NB(i) + ES - [RP(i) + D(i - 1)]$$

$$D(i) = D(i - 1) + RP(i) - [NB(i) + UC(i)]$$

Siendo:

NN(i)	necesidades netas del periodo i
NB(i)	necesidades brutas del periodo i
ES	stock de seguridad
RP(i)	recepciones programadas en el periodo i
D(i)	disponibilidades en el periodo i
UC(i)	unidades comprometidas en el periodo i

Iniciamos la explosión de necesidades con el ítem X, cuyo nivel es 0. El primer paso es colocar la información que nos han facilitado sobre este ítem en la hoja de resultados. Lo que sigue es una parte de la hoja de resultados.

Q	Ts	Disp.	ES	Compr.	Nivel	Código		1	2	3	4	5	6	7	8
Lote a lote	1	25	10	0	0	X	NB					10		10	40
							Rec. Prog.								
							Disponible								
							NN								
							Rec. ord. prod.								
							Lanz. ord. prod.								

El paso siguiente es calcular las necesidades netas que derivan de las necesidades brutas que tenemos, y observar qué efectos producen en nuestras disponibilidades.

Observamos que para este ítem X hay unas disponibilidades iniciales de 25 u.f., de las que debemos mantener 10 como stock de seguridad.

Iniciamos el proceso!

Si calculamos las necesidades netas (NN) de los periodos que van de 1 a 4, observamos que son negativas. De hecho, resulta lógico que así sea, porque no existen necesidades brutas (NB) si el stock de seguridad (ES) está cubierto. Para el periodo 5, el valor de las NN también es negativo, aunque se produzcan NB en este periodo, porque es posible satisfacer estas NB del mercado con las disponibilidades existentes y, por lo tanto, no hace falta emitir órdenes de producción.

Si la expresión de las NN es una cantidad negativa, significa que podemos afrontar la demanda y que, por lo tanto, las NN correspondientes son nulas. Así, por ejemplo, para el producto X en el periodo 5, las NN son nulas:

$$NN(5) = NB(5) + ES - [RP(5) + D(4)] = 10 + 10 - [25] = -5$$

$$NN(5) = 0$$

Las disponibilidades en los periodos de 1 a 4 son iguales a las disponibilidades iniciales, porque no se producen movimientos. No obstante, para el periodo 5, las disponibilidades (D) son:

$$D(5) = D(4) + RP(5) - [NB(5) + UC(5)]$$

$$D(5) = 25 + 0 - [10 + 0] = 15$$

Las necesidades netas y las disponibilidades para X en el periodo 7 se calculan de la siguiente manera:

$$NN(7) = NB(7) + ES - [RP(7) + D(6)]$$

$$NN(7) = 10 + 10 - 15 = 5$$

$$D(7) = D(6) + RP(7) - [NB(7) + UC(7)]$$

$$D(7) = 15 - 10 = 5; 5 < ES \rightarrow D(7) = 10$$

Las disponibilidades para el periodo 7 son menores que el stock de seguridad y, por lo tanto, como nuestras disponibilidades no son suficientes, debemos emitir una orden de producción.

Si nos hace falta ES, cuando las disponibilidades sean negativas o inferiores al ES adoptarán el valor del ES. En cambio, si no nos hace falta mantener ES, el valor de las disponibilidades cuando sean negativas pasará a ser nulo.

Para mantener disponibles las cantidades expresadas por las NN en el periodo correspondiente, es necesario que los pedidos que se derivan se reciban durante estos periodos (fila de recepción de órdenes de producción) y se soliciten una semana antes en el caso de X, porque el tiempo de suministro es de una semana. Este hecho da lugar a la fila de lanzamiento de órdenes de producción.

El resultado de esta explosión de necesidades es:

Q	Ts	Disp.	ES	Compr.	Nivel	Código		1	2	3	4	5	6	7	8
Lote a lote	1	25	10	0	0	X	NB					10		10	40
							Rec. Prog.								
							Disponible	25	25	25	25	15	15	10	10
							NN							5	40
							Rec. ord. prod.							5	40
							Lanz. ord. prod.						5	40	

Una vez obtenidas las órdenes de producción/compra del ítem X que necesitamos lanzar, pasamos a obtener las del ítem Y, que también presenta nivel 0.

Si seguimos el mismo procedimiento que en el caso anterior, obtenemos:

Q	Ts	Disp.	ES	Compr.	Nivel	Código		1	2	3	4	5	6	7	8
Lote a lote	1	10	10	0	0	Y	NB				10	0		20	30
							Rec. Prog.								
							Disponible	10	10	10	10	10	10	10	10
							NN				10			20	30
							Rec. ord. prod.				10			20	30
							Lanz. ord. prod.			10			20	30	

Una vez obtenida la explosión de necesidades de los productos de nivel 0 (X e Y), el proceso continúa y debemos pasar a la explosión de necesidades para los niveles siguientes. Es preciso que lo hagamos nivel a nivel siguiendo la estructura del árbol del producto.

Con el fin de cumplir las fechas que se han previsto en la programación llevada a cabo, los pedidos correspondientes planificados para el periodo 0 deben generar, para el mismo periodo, las NB de los ítems del nivel 1 que en la lista de materiales estén relacionados directamente.

Así, por ejemplo, para calcular las NB del componente A, debemos proceder de manera siguiente:

1) Observamos cuál es la relación del componente de nivel 1 con los de nivel 0. Vemos que, en este caso, necesitamos un componente A por cada X que deseamos obtener, y otro componente A por cada Y que debemos producir.

2) Las filas de lanzamiento de órdenes de producción de X e Y nos indican en qué momento sus componentes serán necesarios para iniciar la producción o ensamblaje. Por lo tanto, a partir de estas filas de lanzamiento de órdenes de producción de X e Y obtendremos las NB del componente A.

Periodos	1	2	3	4	5	6	7	8
Lanz. ord prod. (X)						5	40	
Lanz. ord prod. (Y)			10			20	30	
NB(A)			10			25	70	

La explosión de necesidades de este ítem será:

Q	Ts	Disp.	ES	Compr.	Nivel	Código	1	2	3	4	5	6	7	8
Lote a lote	1	0	0	0	1	A	NB			10		25	70	
							Rec. Prog.							
							Disponible							
							NN			10		25	70	
							Rec. ord. prod.			10		25	70	
							Lanz. ord. prod.		10			25	70	

Continuando con los ítems de nivel 1, realizamos la explosión del componente C (consultad la hoja de resultados de la página siguiente). A continuación, pasamos al siguiente nivel y así sucesivamente.

A veces existen componentes de un nivel utilizados por más de un ítem de nivel superior, como pasa en el caso de D. Además, en nuestro caso, este componente está sujeto a demanda independiente. Entonces, el cálculo de las necesidades brutas se efectúa teniendo en cuenta, en cada periodo, los lanzamientos de órdenes de producción de los diferentes ítems que utilizan el componente común, al cual hay que añadir, cuando aparezcan, las necesidades provocadas por la demanda independiente.

$$NB(D) = 3X + 3Y + 2C + \text{demanda independiente}$$

Periodos	1	2	3	4	5	6	7	8
Lanz. ord prod. (X)						5	40	
Periodos	1	2	3	4	5	6	7	8
Lanz. ord prod. (Y)			10			20	30	
Periodos	1	2	3	4	5	6	7	8
Lanz. ord prod. (C)				5	20			
Periodos	1	2	3	4	5	6	7	8
Demanda independiente				20		20		20

NB(D)		30	30	40	95	210	20	
-------	--	----	----	----	----	-----	----	--

Seguimos el mismo procedimiento para B y E. Teniendo en cuenta el árbol de los productos X e Y, obtendremos las NB de B y E de la siguiente manera:

- Para B: $4A + 2X + 3D$
- Para E: $1D$

A continuación presentamos el resultado de la explosión de necesidades:

Q	Ts	Disp.	ES	Compr.	Nivel	Código		1	2	3	4	5	6	7	8
Lote a lote	1	25	10	0	0	X	NB					10		10	40
							Rec. Prog.								
							Disponible	25	25	25	25	15	15	10	10
							NN							5	40
							Rec. ord. prod.							5	40
							Lanz. ord. prod.					5	40		

Q	Ts	Disp.	ES	Compr.	Nivel	Código		1	2	3	4	5	6	7	8
Lote a lote	1	10	10	0	0	Y	NB				10			20	30
							Rec. Prog.								
							Disponible	10	10	10	10	10	10	10	10
							NN				10			20	30
							Rec. ord. prod.				10			20	30
							Lanz. ord. prod.			10			20	30	

Q	Ts	Disp.	ES	Compr.	Nivel	Código		1	2	3	4	5	6	7	8
Lote a lote	1	0	0	0	1	A	NB			10			25	70	
							Rec. Prog.								
							Disponible								
							NN			10			25	70	
							Rec. ord. prod.			10			25	70	
							Lanz. ord. prod.		10			25	70		

Q	Ts	Disp.	ES	Compr.	Nivel	Código		1	2	3	4	5	6	7	8
Lote a lote	2	0	0	0	1	C	NB						5	40	
							Rec. Prog.							20	
							Disponible								
							NN						5	20	
							Rec. ord. prod.						5	20	
							Lanz. ord. prod.				5	20			

Q	Ts	Disp.	ES	Compr.	Nivel	Código		1	2	3	4	5	6	7	8
Lote a lote	1	30	15	0	2	D	NB			30	30	40	95	210	20
							Rec. Prog.							100	
							Disponible	30	30	15	15	15	15	15	15
							NN			15	30	40	95	110	20
							Rec. ord. prod.			15	30	40	95	110	20
							Lanz. ord. prod.		15	30	40	95	110	20	

Q	Ts	Disp.	ES	Compr.	Nivel	Código		1	2	3	4	5	6	7	8
Lote a lote	1	0	0	0	3	B	NB		85	90	120	385	620	140	

Q	Ts	Disp.	ES	Compr.	Nivel	Código		1	2	3	4	5	6	7	8
							Rec. Prog.								
							Disponible								
							NN		85	90	120	385	620	140	
							Rec. ord. prod.		85	90	120	385	620	140	
							Lanz. ord. prod.	85	90	120	385	620	140		

Q	Ts	Disp.	ES	Compr.	Nivel	Código		1	2	3	4	5	6	7	8
Lote a lote	1	0	0	0	3	E	NB		15	30	40	95	110	20	
							Rec. Prog.								
							Disponible								
							NN		15	30	40	95	110	20	
							Rec. ord. prod.		15	30	40	95	110	20	
							Lanz. ord. prod.	15	30	40	95	110	20		

El resumen de la información obtenida con la explosión de las necesidades realizada con el sistema MRP es:

Periodo / Ítem	1	2	3	4	5	6	7	8
X						5	40	
Y		10			20	30		
A		10			25	70		
B	85	90	120	385	620	140		
C				5	20			
D		15	30	40	95	110	20	
E	15	30	40	95	110	20		

De la tabla anterior, deducimos que si la empresa se aprovisiona del componente C en el exterior, debe pedir 5 unidades en el periodo 4, y 20 en el periodo 5. Si el componente D es de aprovisionamiento interno, debe emitir las órdenes de producción siguientes: 15 unidades en el momento 2, 30 en el periodo 3, etc.

6.5. Planificación del volumen de lotes

Hasta ahora hemos seguido la técnica lote a lote de planificación del volumen de lotes, es decir, hemos lanzado los mismos pedidos a las necesidades netas de cada periodo. Sin embargo, existen otras técnicas de planificación del vo-

lumen de lotes para los casos de demanda discreta (no continua). A continuación, exponemos algunas tomando como ejemplo las necesidades netas del componente D.

6.5.1. Periodo constante

Con esta técnica se fija de forma intuitiva un intervalo entre pedidos. Una vez establecida, los lotes se igualan a la suma de las necesidades netas en el intervalo escogido, de manera que, lógicamente, los lotes resultan variables. En esta técnica y en las otras, en las que los pedidos agrupan necesidades netas de diferentes periodos, los lotes deben llegar en el primer periodo computado. Por ejemplo, si suponemos que debemos realizar pedidos del componente D cada dos periodos:

Q	Ts	Disp.	ES	Compr.	Nivel	Código		1	2	3	4	5	6	7	8
Lote a lote	1	30	15	0	2	D	NB			30	30	40	95	210	20
							Rec. Prog.							100	
							Disponible	30	30	15	15	15	15	15	15
							NN			15	30	40	95	110	20
							Rec. ord. prod.			45		135		130	
							Lanz. ord. prod.		45		135		130		

Nótese que al final del período 3 las unidades disponibles reales son las 15 (para el stock de seguridad) más las 30 para satisfacer las necesidades netas del período 4. De forma análoga ocurre con los períodos 5 y 7.

6.5.2. POQ (Period Order Quantity)

Esta técnica resulta análoga a la anterior, pero el cálculo del periodo constante se efectúa a partir del lote económico obtenido por el método clásico.

Después, se deducen la frecuencia y el tiempo entre pedidos, que se toma como periodo constante.

La fórmula que utilizamos es:

$$Q = \sqrt{2CeD / CpHP}$$

Coste de emisión = Ce

Coste de posesión = Cp

Horizonte temporal = HP

Demanda en el horizonte temporal = D

En el ejemplo anterior, tendremos que:

- $C_e = 100$ u.m.
- $C_p = 1$ u.m. / unitat i període
- $H_p = 8$ períodes
- $D = 15 + 30 + 40 + 95 + 110 + 20 = 310$

$$Q = \sqrt{(2 \cdot 100 \cdot 310) / (1 \cdot 8)} = 88$$

Por lo tanto, para una demanda de 310 unidades, la frecuencia de pedidos sera:

$$f = D/Q = 310/88 = 3,52 \rightarrow 4 \text{ periodos}$$

Lo que implica que, si deseamos un intervalo constante entre cada dos pedidos, este sea igual a:

$$T = H_p/f = 8/4 = 2$$

Cada pedido debe cubrir las necesidades de dos periodos. En este caso, esta tecnica de planificacion del volumen de lotes coincidiria con la del apartado anterior, ya que habiamos supuesto que este intervalo era constante.

6.5.3. Mínimo coste unitario

En esta técnica, la decisión se basa en el coste unitario, entendiendo por coste unitario la suma del coste de emisión y de posesión por unidad. Primero se calcula el coste unitario para el caso de pedir un lote igual a las necesidades netas del primer periodo. Después se calcula para los dos primeros periodos, etc., seleccionando el lote que origine el primer mínimo relativo. Seguidamente se realiza la misma operación para las necesidades netas todavía no cubiertas, hasta llegar al límite del horizonte de planificación.

Siguiendo nuestro ejemplo, tenemos que:

$$\text{Para } Q = 15$$

C_{pu} = coste de producción unitario = 0 (supongamos que el lote se consume al llegar)

$$C_{eu} = \text{coste de emisión unitario} = C_e/Q = 100/15 = 6,66$$

$$Cu = \text{coste unitario} = Cpu + Ceu = 6,66$$

$$\text{Para } Q = NNr3 + NNr4 = 15 + 30 = 45$$

$$Cpu = (0 + Cp.NNr4.1 \text{ periodo})/Q = 1 \cdot 30 \cdot 1 / 45 = 0,66$$

$$Ceu = Ce/Q = 100/45 = 2,22$$

$$Cu = 0,66 + 2,22 = 2,88$$

Dado que 2,88 u.m. es menor que 6,66 u.m., mantenemos el mismo proceso para analizar si podemos conseguir reducir el coste unitario agrupando las necesidades netas del periodo 5 (NNr5) en el lote anterior.

$$\text{Para } Q = NNr3 + NNr4 + NNr5 = 85$$

$$Cpu = 0 + (Cp.NNr4.1 \text{ periodo})/Q + (Cp.NNr5.2 \text{ periodos})/Q = (1.30.1 + 1.40.2)/85 = 1,29$$

$$Ceu = 100/85 = 1,17$$

$$Cu = 1,17 + 1,29 = 2,46$$

Por la misma razón, debemos continuar el proceso.

$$\text{Para } Q = NNr3 + NNr4 + NNr5 + NNr6 = 180$$

$$Cpu = 0 + (Cp.NNr4.1 \text{ periodo})/Q + (Cp.NNr5.2 \text{ periodos})/Q + (Cp.NNr6 \cdot 3 \text{ periodos})/Q = (1.30.1 + 1.40.2 + 1.95.3)/180 = 2,19$$

$$Ceu = 100/180 = 0,55$$

$$Cu = 2,19 + 0,55 = 2,74$$

Dado que el coste unitario es mayor que el del lote ensayado anteriormente, este último es un mínimo relativo y, por lo tanto, se escoge $Q = 85$ unidades, que cubrirá las necesidades netas de los periodos 3, 4 y 5. (Tendrá que ser lanzado en el periodo 2, ya que el tiempo de suministro es de una semana.)

Continuando con el ejemplo, debemos analizar qué sucede si sólo pedimos las NNr6; después estudiamos si agrupando las NNr6 y las NNr7 reducimos el coste unitario, etc.

6.5.4. El método Silver-Meal

Esta técnica permite seleccionar el lote que origina el **mínimo coste total (emisión + posesión) por periodo** para el intervalo que cubre el reaprovisionamiento (Silver y Meal, 1978). Los diferentes lotes que hay que considerar se obtienen de manera similar a la que hemos utilizado anteriormente, y los costes de posesión que se derivan de ello se determinan análogamente. El coste total por periodo viene determinado por:

$$CTP = \frac{\text{coste de emisión} + \text{coste de posesión}}{\text{número de períodos cubiertos por } Q}$$

En el ejemplo tenemos que:

Período	Tiempo	NN	Lote acum.	Núm. Semanas almacén	Coste posesión	Coste emisión	Coste total	CT (por período)
3	1	15	15	0	0	100	100	100,00
4	2	30	45	1	30	100	130	65
5	3	40	85	2	110	100	210	70
5	1	40	40	0	0	100	100	100
6	2	95	135	1	95	100	195	97,5
7	3	110	245	2	315	100	415	138,33333
7	1	110	110	0	0	100	100	100
8	2	20	130	1	20	100	120	60

Los pedidos que hay que efectuar son $Q = 45$ unidades en $t = 2$; $Q = 135$ unidades en $t = 4$, y $Q = 130$ unidades en $t = 6$.

No podemos decir que una técnica de planificación del volumen de lotes sea mejor que otra, sino que, en función del criterio que priorizamos, escogemos una u otra (Domínguez Machuca y otros, 1996, *op. cit.*, pág. 142).

1) Si queremos seleccionar una técnica que produzca una mejor nivelación de cargas en los centros de trabajo, según diferentes estudios, las que dan mejor resultado son la de lote a lote y la de cantidad constante.

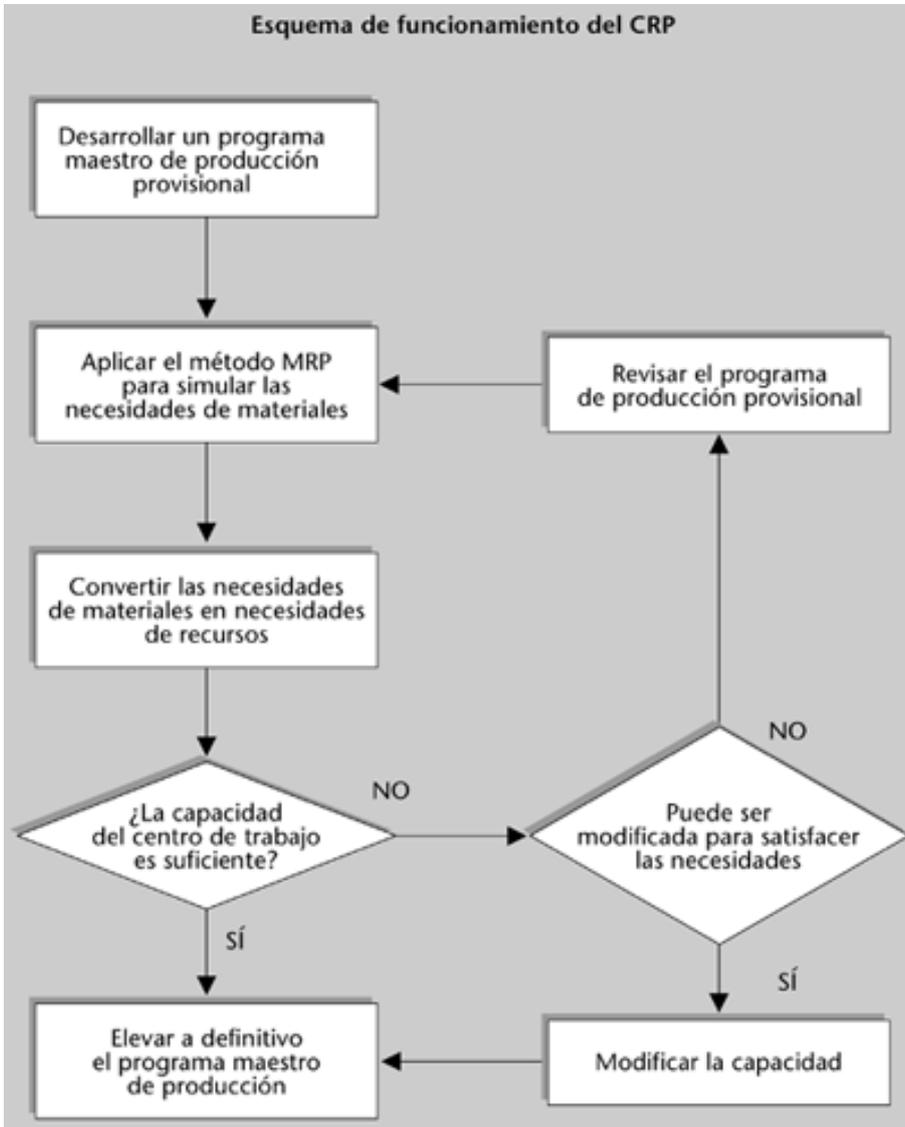
2) Si nos conviene seleccionar la que genera menos inestabilidad en el sistema y, por lo tanto, produce unos resultados de planificación más reales, parece que la técnica de Silver-Meal da buenos resultados en este campo.

3) Si queremos seleccionar la que genera menos costes, podemos utilizar la técnica de mínimo coste total o la de mínimo coste unitario.

6.6. Planificación de las necesidades de la capacidad: CRP

Hasta ahora hemos supuesto que la capacidad productiva era ilimitada, por lo que podríamos encontrarnos con que los planes de materiales obtenidos no fueran factibles por falta de capacidad. Para resolver los problemas que pueden

derivarse de la falta de capacidad, se empiezan a utilizar, en paralelo, técnicas de planificación de la capacidad. El esquema de funcionamiento del CRP es el siguiente:



Adaptado de Love (1979, pág. 164) en E. Fernández Sánchez; C. Vázquez Ordás, (1994). *Dirección de la Producción: Métodos operativos*. Madrid: Civitas (pág. 119).

Primero hace falta diseñar un programa maestro de producción provisional, que debe disociarse en necesidades de materiales mediante la aplicación del sistema MRP. Estas necesidades de materiales se traducen en necesidades de recursos por periodo (horas/persona u horas/máquina). A continuación, comparamos las necesidades de recursos con su capacidad real.

Ejemplo: ensamblaje del componente D.

	Tiempo de iniciación/lote	Tiempo de proceso/unidad
Ensamblaje de D	90 minutos	5 minutos

Necesidades en hora/máquina para el periodo de planificación:

Periodos	1	2	3	4	5	6	7	8
Ensamblaje de D (en minutos)		165	240	290	565	640	190	

Para el periodo 2 hacen falta:

90 minutos (iniciación) + 5 minutos/pieza * 15 piezas = 165 minutos.

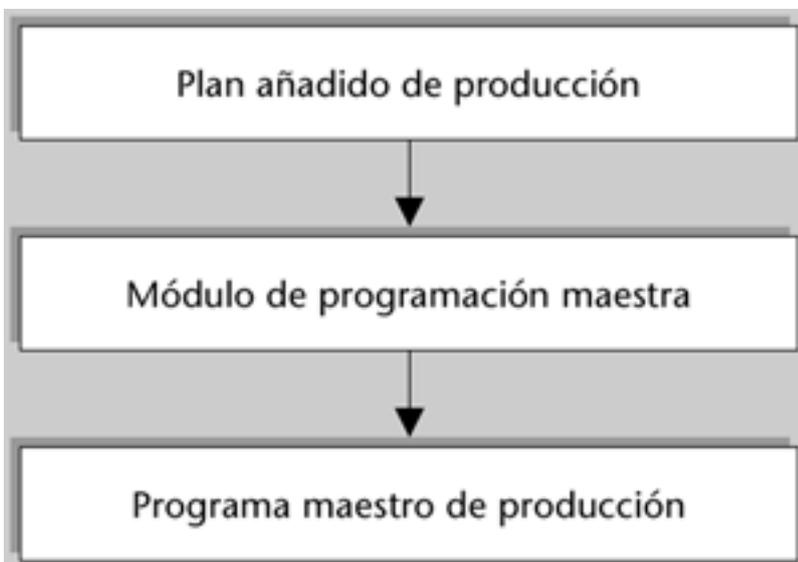
Dado que la capacidad máxima del centro que analizamos es de 8 horas/día, es decir 480 minutos/día, podemos concluir que los días 5 y 6 se darán problemas de capacidad.

Nota
Partimos de la base de que los periodos de planificación corresponden a días.

6.7. El sistema MRP de bucle cerrado

Del sistema MRP originario se pasó al MRP de bucle cerrado mediante la integración de las técnicas de planificación de capacidad y de gestión de talleres al sistema MRP originario. Este hecho fue un paso muy importante hacia la integración de la gestión empresarial.

EL MRP II parte de un plano añadido de producción elaborado fuera del sistema; se convertirá en un programa maestro de producción por medio del módulo de programación maestra.



El programa maestro de producción es el punto de partida para la planificación de la capacidad a medio plazo con una técnica aproximada (*Rough-Cut*). Si este plan resulta viable, el programa maestro pasa a servir de *input* en el módulo MRP.

Los planes de pedidos MRP se destinan a la gestión de compras.

Los pedidos en taller servirán para la planificación de capacidad (CRP).

Si el plan que se deduce de CRP es viable, los pedidos pasan a formar parte de la gestión de talleres.

En este punto, el sistema debe controlar las prioridades y programar las operaciones (listas de expedición).



El término *bucle cerrado* hace referencia al hecho de que el sistema global no incluye sólo cada uno de estos elementos, sino que también se produce retroalimentación para mantener siempre planes válidos.

6.8. El sistema MRP II (*Manufacturing Requirements Planning*). Planificación de las necesidades de manufactura

A causa de la interrelación entre las decisiones productivas y las decisiones comerciales y financieras, el método MRP ha ido incorporando aspectos no productivos. Este método MRP ampliado se denomina MRP II, y tiene como punto de partida la cuantificación de las necesidades de materiales y de producción de cada etapa que surgen como consecuencia de la aplicación del método MRP. EL MRP II permite obtener, para cada categoría de producto, los presupuestos de cada departamento para todo el periodo de planificación. Por lo tanto, consigue integrar la información de tipos financieros y productivos. Por otra parte, este método también permite la coordinación con las tareas comerciales, ya que las previsiones de ventas implican un *input* básico del método MRP; sin estas previsiones, no es posible elaborar el plan operativo ni el programa maestro de producción.

Una de las mayores utilidades del MRP II es que permite observar, por medio de un proceso de simulación, las consecuencias o implicaciones derivadas de alguna decisión o de algún incumplimiento.

El método MRP:

- Participa en la planificación estratégica.
- Programa la producción.

- Planifica los pedidos de los diferentes ítems que componen un producto.
- Programa las prioridades y las actividades que los diferentes talleres deben desarrollar.
- Planifica y controla la capacidad disponible y necesaria.
- Gestiona los inventarios.

Además, partiendo de los *outputs* obtenidos:

- Efectúa **cálculos de costes**.
- Desarrolla **estados financieros** en unidades monetarias.

Puede llevar a cabo todas estas funciones corrigiendo las divergencias entre lo que se había planificado y lo que ha sucedido realmente.

Un sistema tan complejo como el MRP II debe utilizar un conjunto de datos amplio. Los tres *inputs* fundamentales son:

- 1) **Plan de ventas** (o previsiones), a partir del cual se establece el plan añadido de producción, que inicia las diferentes fases de planificación y programación.
- 2) **Base de datos** del sistema.
- 3) **Retroalimentación**, desde las fases de ejecución hasta las de planificación.

Cualquier empresa debe disponer del **plan de ventas**, use o no, el sistema MRP II.

Para presentar una buena **base de datos** es preciso que los datos sean fiables y que no se encuentren duplicados. Los ficheros principales de la base de datos de MRP II son:

- **Registro de inventarios**, que recoge la información básica de cada ítem.
- **Fichero maestro de familias**, que contiene los datos para desagregar el plan en programa maestro, para la planificación añadida de capacidad y, en general, los datos añadidos de planificación a medio plazo.
- **Listas de materiales**.
- **Fichero maestro de rutas**, o secuencia de operaciones que cada ítem tiene que desarrollar.

Referencia bibliográfica

Los *inputs* del sistema MRP II (Dominguez Machuca y otros, 1996, *op. cit.*, pág. 157).

- **Fichero maestro de control de trabajo.**
- **Fichero maestro de operaciones.**
- **Fichero maestro de herramientas.**
- **Calendario de taller.**
- **Fichero maestro de pedidos.**
- **Fichero maestro de proveedores.**
- **Fichero maestro de clientes.**

7. El *just in time*

7.1. Introducción

A partir de la II Guerra Mundial, las características del mercado empiezan a cambiar de forma. Hasta aquel momento había poca variedad de productos, que, además, se fabricaban masivamente; desde entonces, sin embargo, la tendencia a diferenciar unos de otros ha ido aumentando, de manera que se han puesto de manifiesto los deseos de cambios de diseño, color, estética, etc. En definitiva, los usuarios finales cada vez desean productos más personalizados, lo que implica que exista una variedad de productos mayor, que tengan una vida más corta y que sea más difícil predecir la demanda.

Tradicionalmente se había considerado que para conseguir los costes más bajos era indispensable emitir grandes series de productos, entre otras razones, a causa de la importancia que tenía sobre los costes el tiempo que había que invertir en la preparación de las máquinas –*machine transfer*–. Este hecho implicaba la ocupación de las máquinas durante una serie de días, lo que impedía la fabricación de cualquier otro elemento que pudiera ser urgente para un cliente determinado. Igualmente, la gran cantidad producida cubría las necesidades previstas durante un periodo de tiempo muy largo, cosa que implicaba, por una parte, unos importantes gastos financieros de posesión de stocks, que incidían sobre el margen de beneficio del producto y, por la otra, un elevado activo circulante, que daba lugar a una baja rotación, y todo afectaba a la rentabilidad global de la empresa. También ocurría que los productos quedaban obsoletos y que grandes cantidades de productos permanecían en stock durante más tiempo de lo previsto, a causa, por ejemplo, de que la competencia lanzaba al mercado productos más atractivos, o bien, que los canales de ventas y los usuarios finales deseaban incluir características propias, con lo que cada vez se exigía que los productos fueran más personalizados.

En consecuencia, podemos decir que se ha producido un cambio en el modelo productivo, que ha dejado de ser masivo para pasar a ser selectivo.

Bibliografía recomendada

J.M. Castán Farrero; X. Triado Ivern (1998, enero-agosto) "Consideraciones sobre la gestión de las principales variables productivas que influyen en la rentabilidad global de la Empresa" *Revista de Economía y Empresa* (núm. 20/ 21, pág. 181-182).

La tendencia a solicitar productos más personalizados y a disminuir los stocks supone reducir el volumen de las series de fabricación. Por otra parte, la existencia de servicios asociados al producto y el deseo de atender al cliente en el momento en el que lo pide obligan a que el sistema sea flexible. Además, cada día se exigen productos más fiables, por lo que tienen que cumplir los

niveles de calidad necesarios en todas las fases del proceso; este efecto se consigue mediante la corresponsabilización de la empresa y de las personas que trabajan en ella, quienes se encuentran en formación continua para adaptarse a la evolución de las tecnologías del proceso.

De hecho, lo que pretende el método de gestión que expondremos es lo siguiente: controlar y coordinar los materiales para que se encuentren a punto y en el momento necesario, sin que sea preciso disponer de un inventario excesivo; reducir los tiempos de cambio de utillajes y reglaje de maquinaria; establecer líneas de fabricación; impulsar el autocontrol; crear utillajes que detecten errores, y reducir el volumen del lote. En definitiva, mejorar la productividad.

7.2. El sistema *just in time* (JIT)

Todo el mundo desea que las cosas sean cómodas. Cuando el nivel de existencias es alto, parece que las cosas van mejor: si una máquina se avería o el número de piezas defectuosas se incrementa de repente, las operaciones subsiguientes no se ven afectadas por este hecho, porque hay un stock suficiente; y, si no se produce la cantidad de unidades necesaria durante las horas regulares de trabajo, generalmente hay que programar horas extraordinarias para conseguir los objetivos de producción. Mientras estos problemas permanezcan tras altos niveles de existencias, no serán ni identificados ni eliminados y, en consecuencia, continuarán siendo responsables de diferentes tipos de ineficacias: de tiempo, de trabajo, de material, etc.

Los japoneses utilizan este símil para explicar el espíritu del sistema JIT: así como las mareas altas ocultan al navegante las rocas peligrosas, que sólo quedan al descubierto cuando baja la marea, los elevados stocks que se producen en Occidente a causa de la producción para grandes lotes ocultan los problemas. En la empresa, el agua representa los stocks, y las rocas, los distintos problemas que quedan escondidos. En la figura 1 ofrecemos una ilustración de este símil; en ella observamos que mientras hay stocks, el "barco navega tranquilamente", es decir, los problemas de productividad y, en definitiva, las ineficacias, quedan ocultos.

A medida que los inventarios se reducen van apareciendo los problemas. Por lo tanto, el método JIT consiste en hacerlos aparecer para resolverlos a tiempo, lo que se consigue disminuyendo lentamente los stocks sobrantes de productos en curso de fabricación y de productos acabados. Es importante que la disminución de los stocks se realice progresivamente y que en el momento en el que aparezca la primera ineficacia se actúe para solucionarla. En la figura 1 nos encontramos con que si procedemos de la manera indicada, el primer tropiezo corresponde a "falta de calidad". Probablemente, con una política de control de calidad acertada (autocontrol, por ejemplo), se evitarían muchos de los problemas derivados de la falta de calidad (como el hecho de que no pueda llevarse a cabo un proceso porque las piezas que han llegado del proce-

Referencia bibliográfica

J.M. Castán Farrero,; X. Triado Ivern. *Op. cit.* (pág. 183).

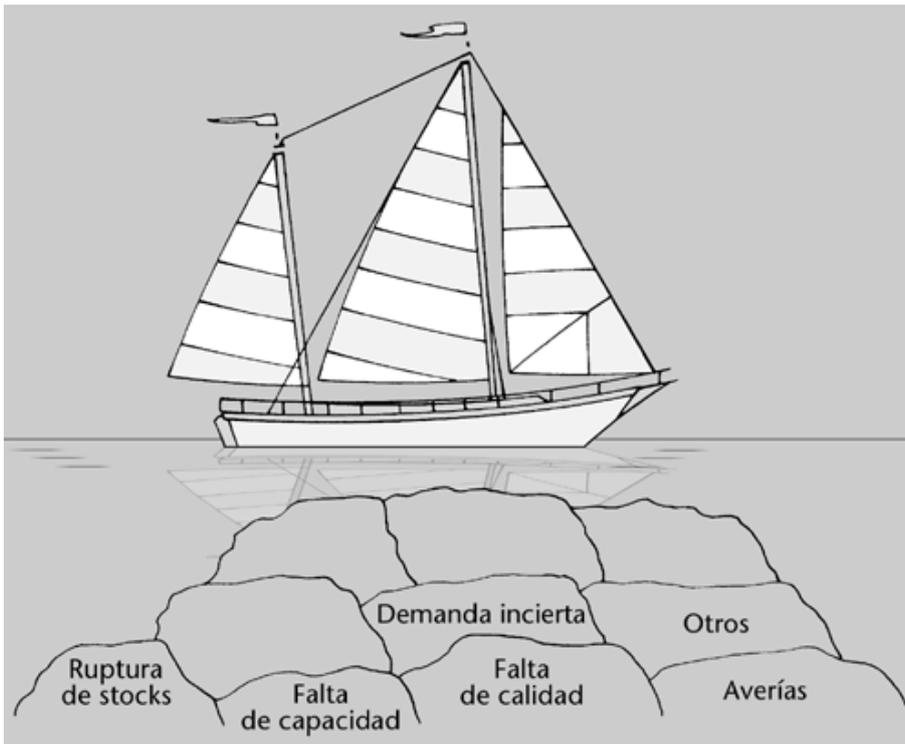
Referencia bibliográfica

Y. Monden (1987). *El sistema de producción Toyota*. Barcelona: Prince Waterhouse, IESE. (pág. 3-4).

so anterior son defectuosas). Así pues, una vez resuelta la ineficacia, no será necesario tener producción en exceso –stocks– si la fase siguiente del proceso y/o el almacén del producto no tuviera material a causa de este problema.

El objetivo principal del método *just in time* es incrementar el beneficio y reducir los costes. Además, permite conseguir tres objetivos secundarios orientados a lo largo del objetivo principal:

- 1) Control cuantitativo, porque permite adaptarse, en cantidad y variedad, a las fluctuaciones diarias y mensuales de la demanda.
- 2) Calidad asegurada, porque permite tener la certeza de que cada proceso proporciona al siguiente sólo unidades aceptables.
- 3) Respeto por la dimensión humana, en tanto que el sistema utiliza recursos humanos para alcanzar los objetivos de coste.



Fuente: Machuca, J.A.D.; Álvarez, M.J.; García, S.; Domínguez, M.A.D.; Ruiz, A. (1994). *Dirección de operaciones: Aspectos estratégicos en la producción y en los servicios*. Madrid: McGraw-Hill (pág. 203).

El JIT es un método racional de fabricación que elimina completamente los elementos innecesarios con el fin de reducir los costes. La idea básica reside en obtener el tipo requerido de unidades en el tiempo y en la cantidad necesarios.

Mediante la puesta en práctica de dos conceptos clave –*just in time* y autocontrol–, se consigue un flujo de producción adaptado a las fluctuaciones en la cantidad y en la variedad de la demanda. Como ya hemos dicho, JIT significa producir, ante todo, las unidades necesarias en la cantidad y el tiempo necesarios. El autocontrol debemos interpretarlo como *autocontrol de defectos*, y sirve

de apoyo al concepto de *producción en el momento* oportuno, porque impide la entrada en el flujo, como resultado de cada proceso, de unidades defectuosas que perturbarían el proceso siguiente.

El sistema incluye dos conceptos clave más: *flexibilidad de la mano de obra*, que implica variación del número de trabajadores en función de las variaciones de la demanda, y *pensamiento creativo o ideas innovadoras y aprovechamiento de las sugerencias del personal*.

Ahora bien, para hacer realidad estos conceptos, hay que poner en funcionamiento diferentes técnicas:

1. *Reducir los tiempos de preparación*. Los departamentos de métodos y diseño de utillaje deben estudiar la fabricación de herramientas y los métodos de cambio y reglaje de máquinas para reducir los tiempos de preparación.

2. *Establecer tecnología de grupos* (líneas de analogía). La tecnología de grupos consiste en un sistema de racionalización de la producción que se basa en un procedimiento de clasificación y codificación de piezas que permite agruparlas en familias de acuerdo con las características similares de diseño de fabricación. Hay que destacar que una de las dificultades principales a la hora de desarrollar la tecnología de grupos es cómo definir las familias de piezas, es decir, cómo determinar la semejanza entre ellas.

Para el departamento de diseño de productos, la característica más importante es la de la pieza y el tamaño. Para el departamento responsable de fabricación, la similitud se basa en el proceso de fabricación. Dos piezas con la misma forma pero de material diferente –acero, plástico– no son similares desde el punto de vista de la fabricación; en cambio, piezas de formas muy diferentes pueden tener el mismo proceso de fabricación.

La tecnología de grupos busca coordinar ambos criterios en la clasificación de las piezas similares.

3. *Autocontrol y Poka-Yoka*. La obra en curso de fabricación y los almacenes intermedios deben ser tan reducidos como sea posible. Por eso habrá que garantizar al máximo que lo que se fabrica presenta la calidad necesaria –hay que evitar productos defectuosos–; esto se consigue impulsando el autocontrol y creando utillajes que impidan errores humanos (*Poka-Yoka*, "a prueba de error").

4. *Reducir el volumen de los lotes*. Como ya sabemos, existe un volumen del lote económico o, mejor dicho, un volumen de la serie económica de fabricación, que es aquella cantidad que iguala el coste de preparación al coste de posesión o manejo del stock. Durante muchos años, la serie económica de fabricación ha sido la piedra angular de la administración de inventarios. Pero en la concepción actual de la gestión de la producción, se considera inadecuado aplicar

Bibliografía recomendada

R. Ferré Masip. (1998). *La fábrica flexible*. Barcelona: Marcombo (Colección Productiva; pág. 37 y siguientes).

este concepto tal como se hacía. La tendencia es que el lote o serie económica de fabricación sea la unidad, es decir, stock cero. Hay que decir que este enfoque (enfoque japonés) no pone en cuestión la fórmula de Wilson, sino que la lleva a sus máximas consecuencias.

Esta cantidad es cuantificable mediante la famosa fórmula del lote económico desarrollada por F.W. Harris en 1915, aunque se conoce como fórmula de Wilson porque éste fue el consultor que la divulgó y la aplicó en diferentes empresas.

Lógicamente, en la medida en que se llevan a la práctica las fases 1, 2 y 3 que hemos apuntado anteriormente, se puede y se debe reducir el volumen del lote de fabricación. Por otra parte, reducirlo pone en movimiento el sistema JIT y se produce una reacción en cadena de las ventajas y, en consecuencia, beneficios, de manera que constituye la base de la productividad allí donde el método se implanta.

Así pues, las ventajas que supone son las siguientes:

1) Disminución de elementos defectuosos y mejora de la calidad. Conviene que los lotes mínimos generen menos elementos defectuosos y sean de mejor calidad. Si un trabajador sólo produce un determinado número de partes e inmediatamente las pasa al trabajador siguiente, si la parte no se ajusta en una de las estaciones de trabajo siguientes, aquel trabajador se dará cuenta muy pronto. Así, los defectos se descubren rápidamente, pueden cortarse de raíz sus causas, y se evita el hecho de producir grandes lotes que contienen un porcentaje elevado de piezas defectuosas.

2) Ahorro de costes de recuperación, menos materiales desperdiciados y reducción del tiempo dedicado a la recuperación de productos defectuosos.

3) Reducción de la obra en curso de fabricación. Dado que el volumen de los lotes es menor, se da una mayor fluidez, y prácticamente desaparecen los stocks intermedios; por lo tanto, también se gana espacio, aspecto que hay que tener en cuenta si se planifica llevar a cabo una redistribución de la planta.

4) Reducción de la mano de obra indirecta. Al reducir los stocks, se reduce la necesidad de manejo de productos y de instalaciones. Hay que decir que el tiempo de manipulación de los materiales suele representar entre un 10% y un 30% del tiempo de los operarios; por lo tanto, es mejor evitar estas manipulaciones, porque no generan valor añadido al producto.

5) Responsabilidad y motivación del personal. Las personas que intervienen en el proceso tienen rápidamente información de los propios resultados. Si se detectan problemas, se pueden eliminar las causas claramente, porque aparecen a tiempo y en un lugar próximo al puesto de trabajo y al momento en el que se han producido y, además, en medio no hay stocks que los separen.

Contenido complementario

En nuestra opinión, dadas las características del entorno socioeconómico del Estado español, el stock cero es todavía una utopía.

Bibliografía recomendada

R.J. Schonberger (1988). *Técnicas japonesas de fabricación*. México: Limusa (pág. 35 y siguientes).

6) Flexibilidad de la producción. Dado que el volumen de los lotes se ha reducido, la producción es más flexible, de manera que puede adaptarse rápidamente a la demanda de los clientes.

7) Participación de las personas que trabajan en la empresa. Dado que los problemas son menos visibles, las cosas se intentan hacer bien a la primera y se proponen sugerencias positivas para actuar sobre las causas de los defectos de calidad, con el fin de reducir los tiempos de preparación.

Hasta aquí hemos visto cuál es el espíritu del sistema JIT, su objetivo principal, las técnicas que hay que aplicar para conseguirlo y la cadena de ventajas que se deriva de todo ello. Antes de pasar a ver cómo hay que aplicarlas para incrementar el beneficio, ilustraremos un resumen del comentario de Schonberger (*op. cit.*, pág. 29) sobre el origen del término *just in time* (justo a tiempo), conocido con la sigla JIT.

Mientras que *kanban* es una palabra japonesa que significa "tarjeta" o, literalmente, "registro visible", *just in time* es una locución inglesa que la industria japonesa ha adoptado y que quizás no tiene un equivalente adecuado en japonés; de hecho, en la conversación cotidiana de los hombres de negocios de Japón encontramos muchas palabras inglesas, sobre todo términos técnicos. Resulta difícil decir en qué momento esta expresión y el concepto que va ligado a ella cobraron importancia en la industria japonesa. En Japón, algunas personas de edad media relacionadas con la industria han dicho que *just in time* se empezó a utilizar ampliamente en la industria de la construcción de barcos hace más de veinte años. Parece que las plantas de fabricación de acero se habían ampliado excesivamente y disponían de una capacidad sobrante tan enorme que los constructores de naves podían recibir los pedidos de forma muy rápida. Entonces los constructores aprovecharon plenamente la situación y disminuyeron los inventarios de este metal, de una reserva hecha para un mes aproximadamente a un aprovisionamiento de tres días. Recibían el acero "justo a tiempo". La idea de JIT se propagó a otras compañías FEO (Fabricantes de Equipo Original) japonesas, que empezaron a exigir a sus proveedores entregas de pedidos justo a tiempo, así como a aplicar el sistema JIT en las operaciones internas.

Actualmente, conocemos el sistema JIT desde que a mediados de los años sesenta Taiichi Ohno, uno de los vicepresidentes de Toyota, y otros colegas suyos explicaron claramente el concepto en artículos, informes y libros. Pero según nuestras fuentes de información, la acción *just in time* estaba en marcha en muchas compañías japonesas bastante antes de que apareciera documentación escrita, lo que no resta importancia a la contribución de Toyota, porque parece que el sistema JIT de esta empresa es el más adelantado e incluye detalles más innovadores que los de cualquier otra compañía japonesa.

A veces suele identificarse el sistema JIT con la producción sin existencias. Consideramos que esta formulación no es correcta, porque es muy restrictiva. La producción sin existencias capta el mensaje JIT del control de inventarios, pero desde nuestro punto de vista, la producción *just in time* es bastante más que eso, es una filosofía. El JIT es un método que sirve para controlar la calidad y evitar despilfarros. Se concibe como una configuración modernizada de la planta que aumenta el rendimiento de los procesos, una manera de equilibrar la línea de producción y un mecanismo de participación y motivación de las personas que intervienen en ella.

Una vez efectuadas estas reflexiones, consideramos que la metodología que hay que seguir para aplicar las técnicas que conducen a esta filosofía de producción es parecida a la del caso de Toyota, del que podríamos decir que es un método de dirección de la producción equivalente en importancia a los métodos tayloristas (dirección científica de trabajo) y al de producción en cadena, aplicado por Ford para la fabricación de sus modelos.

Taiichi Ohno, creador y promotor del método de producción Toyota, ha expresado en muchas ocasiones que para conseguir el objetivo estratégico prioritario que estableció para su empresa en la década de 1950, de reducción de costes y mejora de la productividad, enfatizó la eliminación de cualquier tipo de funciones innecesarias en las factorías.

La táctica que siguieron fue investigar una por una las causas de todo aquello que resultaba innecesario en las operaciones industriales y diseñar métodos para eliminarlo, frecuentemente por medio de aproximaciones sucesivas. La técnica del *kanban* como medio para obtener una producción *just in time*, los métodos para reducir el tiempo de preparación de las máquinas o de cambio de matrices en prensas y los diferentes sistemas de identificación y eliminación a tiempo de defectos *jidoka*, han sido creados a raíz de estas aproximaciones sucesivas en los diferentes lugares de producción.

El método de producción Toyota ha sido creado a partir de los métodos que previamente existían en las factorías de esta empresa, priorizando los efectos prácticos de las innovaciones aplicadas sobre los análisis teóricos.

Con el objetivo fundamental de incrementar los beneficios por medio de la reducción de costes –sobre la base de que el término *costes* para Toyota incluye los costes de oportunidad–, se elaboraron dos estrategias básicas y, para sostenerlas, cuatro grandes programas de actuación, que constituyen la esencia de todo el sistema productivo Toyota.

Bibliografía recomendada

Y. Monden, *El sistema de producción Toyota*. Op. cit.

La figura 2 ilustra cómo se confeccionan los objetivos, los programas y las estrategias; el objetivo principal es sostenido por las dos estrategias básicas, los cuatro grandes programas para la aplicación de estas estrategias y los tres objetivos complementarios que hay que conseguir simultáneamente. A continuación, exponemos cada uno de estos conceptos.

7.2.1. Objetivo fundamental

Como ya hemos dicho, el objetivo fundamental del método de producción Toyota es aumentar los beneficios mediante la reducción de costes. El esquema que exponemos a continuación ilustra cómo este aumento de beneficio se consigue aprovechando al máximo los recursos de los que dispone la empresa.

La denominación de *coste* y *gasto* a la que nos referimos aquí ha sido tomada desde un punto de vista global, ya que, como sabemos, estos conceptos difieren desde el punto de vista contable o económico. Mientras que el concepto de *gasto* hace referencia a la adquisición de factores, el de *coste* se refiere a su aplicación en el proceso productivo y, más concretamente, a la expresión monetaria de la cantidad de cada uno de estos factores utilizados o consumidos en la actividad productiva.

En definitiva, aprovechar los recursos es realizar un planteamiento de base para estudiar cómo se puede ahorrar en el sistema de producción. La respuesta inmediata es mediante la eliminación de costes sobrantes o innecesarios, a los que a veces se denomina *gastos*.

El término *gasto* en el contexto de la producción significa despilfarro o gasto inútil. En éste sentido Cho-Hay, uno de los pioneros de las nuevas teorías japonesas de productividad, define el *gasto* como un uso mayor de lo mínimo para añadir valor al producto.

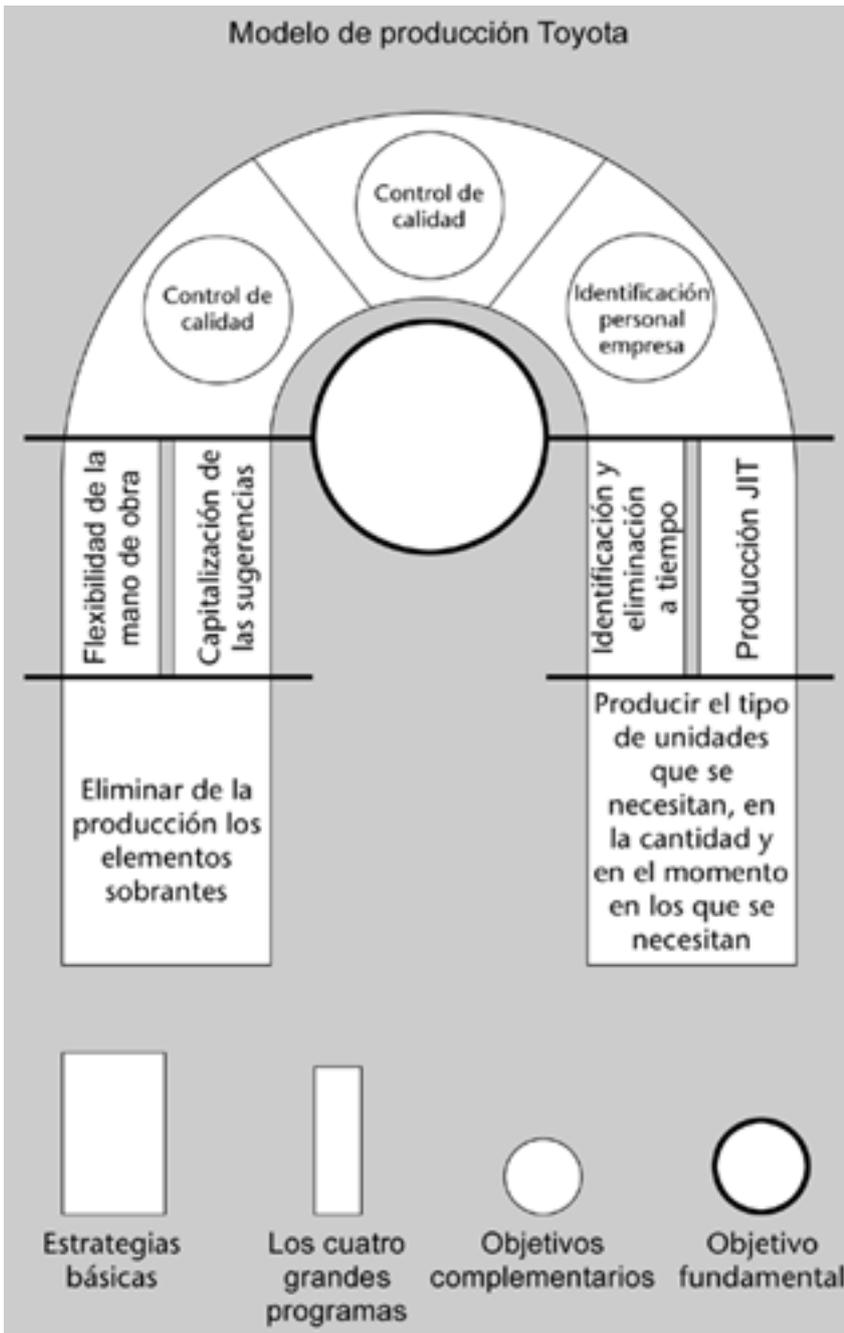
Bibliografía

Castán Farrero, J.M. (1989). "La Fabricación Flexible: una modalidad organizativo-tecnológica de los sistemas actuales de producción, a utilizar por la empresa para mejorar su posición competitiva en el entorno industrial actual". *III Congreso AEDEM*: Bilbao, 22-24 de mayo. *Revista de Economía y Empresa* (en prensa).

Podemos entender esta definición de dos maneras: todo aquello que sea más de lo mínimo necesario para añadir valor es despilfarro; o bien, todo lo que está por debajo de lo mínimo necesario no es un *gasto* pero sí un despilfarro. Esto significa que, si yo necesito 100, tengo que invertir 100; si invierto 105, estoy penalizando con un *gasto* excesivo del 5%, pero si sólo invierto 95 y no llego a 100, estoy tirando 95, porque no he llegado a la masa crítica que convierte al entorno en rentable.

Referencia bibliográfica

F. Soler Mateo (1987). "Células de Fabricación Flexible" Seminario "Competitividad hoy" (*Op. cit.* pág. 272-273).



Precio de venta - coste = beneficio	
Reducción de coste implica aprovechar al máximo los recursos	
Eliminar stocks	Mínima intervención humana
1. Evitar averías de máquinas - Control visual - Mantenimiento preventivo	1. Mejora de los movimientos humanos - Mejorar antes de mecanizar
2. Evitar productos defectuosos - Inspección para evitarlos - Inspección al 100% - Utilizar procedimientos sencillos	2. Unificar suplementos y esperas - Centralizar operaciones para las que sean necesarias personas - Evitar operaciones aisladas

Precio de venta - coste = beneficio	
3. Reducir el tiempo total de producción <ul style="list-style-type: none"> - Eliminar demoras entre procesos - Reducir el tiempo de proceso de los lotes - Formar líneas de producción - Controlar la totalidad del trabajo - Absorber los suplementos - Establecer tiempo de ciclo - Desarrollar un flujo de productos entre los procesos externos y la fábrica 	3. Adoptar el manejo de diferentes máquinas <ul style="list-style-type: none"> - Atender varias máquinas - Atender varios procesos
4. Reducir el volumen del lote <ul style="list-style-type: none"> - Cambio de herramientas en tiempo de un solo dígito (SMED) - Sistema sin-tocar 	4. Mecanizar el trabajo intelectual y los movimientos humanos <ul style="list-style-type: none"> - Mecanizar es convertir movimientos realizados por personas en movimientos realizados por máquinas

El concepto de coste utilizado incluye, además de los de fabricación, administración y ventas, el coste del capital inmovilizado en el proceso de fabricación. Es decir, el concepto de coste incluye los costes de oportunidad. Es por este motivo por lo que se presta una atención especial a conseguir la producción necesaria con el mínimo de existencias, materias primas, componentes y obra en curso. Un exceso sobre lo mínimo que se necesita para conseguir la producción indispensable es un sobrante que implica un coste de oportunidad (coste de capital inmovilizado) y, consecuentemente, de acuerdo con la filosofía del método, debe ser eliminado.

Por lo tanto, para conseguir el objetivo fijado, la producción debe adaptarse, de manera flexible y pronto, a los cambios de la demanda del mercado, sin que se produzcan desfases que originen bolsas de costes innecesarios, fundamentalmente de capital.

7.2.2. Estrategias básicas

Las dos estrategias básicas del método consisten en eliminar todas las funciones innecesarias en las operaciones industriales y en producir el tipo de elementos (productos o componentes) que hacen falta en el momento preciso y en las cantidades necesarias.

Con la aplicación de estas dos estrategias básicas se eliminan los costes originados por la utilización de recursos innecesarios (fuerza de trabajo y recursos materiales) y por la existencia de stocks sobrantes de productos acabados y en curso de fabricación.

Todos los sistemas anteriores de dirección de la producción han pretendido el mismo objetivo. La novedad en el método de producción de Toyota consiste en el énfasis en conseguirlo y en añadir, como estrategia básica, la producción del tipo de productos y componentes que se necesitan en el momento y la cantidad justos, y en considerar estas dos estrategias fundamentales para establecer los grandes programas de actuación.

7.2.3. Los cuatro grandes programas

Los cuatro pilares que sostienen el método y que aplicados conjuntamente permiten obtener el objetivo fundamental y los objetivos complementarios son los siguientes:

- Identificación y eliminación a tiempo de los defectos: *Jidoka*.
- Flexibilidad de la mano de obra: *Shojinka*.
- Capitalización de las sugerencias del personal: *Soikufu*.
- Producción justo a tiempo (JIT): *just in time*.

En la terminología industrial de Toyota, estos términos se utilizan en un sentido más amplio que el sentido estricto que tienen en el idioma japonés, de manera que resumen una frase de donde se han extraído e, incluso a veces, con un sentido más amplio que el significado de esta frase (Sáenz de Viguera y Azpurua. *Op. cit.*, pág. 555).

Identificación y eliminación a tiempo de los defectos: *Jidoka*

Según el uso que hace Toyota, el término *jidoka* se aplica a sistemas mecánicos o técnicos operacionales para identificar a tiempo las piezas defectuosas producidas en cada uno de los puestos de trabajo y minimizar la repetición de defectos. Mediante el *jidoka* también se evita que ninguna pieza defectuosa pase a la siguiente operación. Así, un ejemplo de sistema *jidoka* puede ser el dispositivo automático que se instala en una máquina para identificar las piezas defectuosas que se han producido. Cuando aparece una de estas piezas, el dispositivo la detiene y avisa al operario para que realice las correcciones pertinentes. O también la técnica operacional de comprobar manualmente las primeras y las últimas piezas de cada lote de producción.

Por lo tanto, el significado de *jidoka* en Toyota equivale al programa en su conjunto y a cada uno de los sistemas automáticos y técnicos manuales para controlar instantáneamente los defectos en cada lugar de trabajo y para evitar, pues, que piezas defectuosas puedan pasar a la fase de producción siguiente.

La aplicación de *jidoka* en el conjunto de Toyota implica la garantía de calidad de salida de los componentes después de cada fase de producción y, por lo tanto, de los productos acabados, y se trata de un factor fundamental de alta fiabilidad y calidad de sus automóviles.

Flexibilidad de la mano de obra: *Shojinka*

El *shojinka* prevé que el número de personas que trabajan en cada sección aumente o disminuya para acomodarse inmediatamente a los aumentos o la mengua de producción que el sistema de la sección necesita. Con el fin de que esta movilidad sea posible, las personas que operan, en vez de trabajar de forma uniproceso, deben ser multiproceso (polivalentes, multifuncionales), es decir, deben ser capaces de manejar herramientas y, sobre todo, máquinas de características funcionales diferentes.

La distribución en planta específica de las fábricas favorece el *shojinka*, porque facilita el intercambio de las personas que trabajan en ellas y fomenta la polivalencia por medio de la rotación de tareas, lo que, a su vez, elimina el amodorramiento de las tareas repetitivas, tan características del sistema de producción en cadena, por lo que contribuye a mejorar los ánimos del personal y a aumentar la identificación con la empresa y sus objetivos.

Capitalización de las sugerencias del personal: *soikufu*

La dirección promueve el *soikufu* fundamentalmente por medio de la formación, organización y motivación del personal para participar en los círculos de calidad. Las sugerencias del personal se orientan principalmente a diseñar sistemas y técnicas para la identificación a tiempo de defectos en la producción (*jidoka*), a reducir el tiempo de preparación de maquinaria, a mejorar y reducir la duración de las operaciones de producción y a mejorar la distribución en planta de la empresa; en definitiva, a mejorar la productividad y la calidad de la producción.

La recogida y aplicación de las sugerencias del personal, que es quien mejor conoce su puesto de trabajo y el reconocimiento de las mejoras conseguidas, contribuyen a elevar el ánimo, su identificación con la empresa y a motivarlo para que aporte más sugerencias.

La dirección ofrece al personal cursos para mejorar las técnicas de pensamiento creativo y resolución de problemas en grupo, que favorezca el nacimiento y la elaboración de nuevas ideas y sugerencias prácticas.

Producción justo a tiempo (JIT): *just in time*

Evidentemente, este propósito se consigue cuando todas las unidades producidas son utilizadas inmediatamente en la fase de fabricación siguiente; contrariamente, si las unidades producidas deben esperar, esto es señal de que han sido producidas antes de tiempo y, por lo tanto, se da un coste innecesario porque se mantiene un inventario superfluo (coste de capital). Igualmente, a fin de que la fase de producción siguiente disponga de todas las unidades necesarias de la fase anterior en el momento oportuno, para que pueda actuar ella misma justo a tiempo, ninguna de estas unidades puede ser defectuosa, porque si pasan piezas defectuosas de una fase a la siguiente se produce un exceso

de piezas en la fase productiva anterior o faltarán piezas en la fase siguiente para producir las unidades necesarias. Por lo tanto, podemos deducir que sin *jidoka* es absolutamente imposible conseguir una producción *just in time*.

Estos cuatro programas de actuación que hemos expuesto están muy relacionados entre ellos y tienen que aplicarse simultáneamente si se quieren reducir los costes mediante la eliminación de las actividades innecesarias y los productos sobrantes. Además de la reducción de coste que supone este hecho, el sistema obtiene tres objetivos complementarios: el control de la cantidad producida en cada fase del proceso gracias a la aplicación del *just in time*, el control de la calidad en cada fase del proceso y, consiguientemente, en el producto final, gracias a la aplicación del programa *jidoka*, y la identificación de los trabajadores y trabajadoras con la empresa y sus objetivos, potenciada por el respeto que el conjunto del sistema muestra por la dimensión humana y creativa y por el *soikufu*. Para conseguir una producción *just in time* es estrictamente necesaria la aplicación del *jidoka* y del *soikufu*. Estos tres objetivos no pueden conseguirse por separado.

7.2.4. Tecnologías y técnicas de gestión desarrolladas

La combinación del exhaustivo y competente trabajo de los directivos de Toyota, el talento del señor Ohno y la formidable contribución de todo el personal de la empresa han permitido crear un gran número de técnicas de gestión y tecnologías que constituyen las herramientas que sostienen los cuatro grandes programas de actuación (Sáenz de Viguera y Azpurua; pág. 562).

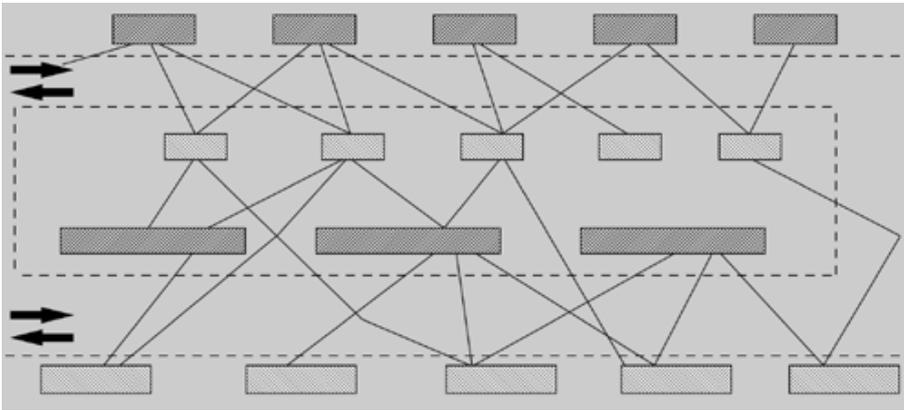
En primer lugar, tenemos el *kanban*, que consiste en un sistema de información para controlar de manera armónica la cantidad producida en cada proceso. Diríamos que el *kanban* es una herramienta para conseguir la producción *just in time*. Más adelante dedicamos todo un apartado a él.

Como herramienta esencial para capitalizar las sugerencias del personal (*soikufu*), Toyota ha desarrollado un programa de círculos de calidad. Otras herramientas de su método de producción son: los dispositivos y las técnicas de control de calidad para conseguir el *jidoka* en diferentes tipos de máquinas y procesos de la industria del automóvil e industrias afines; las técnicas para reducir los tiempos de preparación de máquinas en industrias, que permiten reducir el volumen de los lotes económicos de fabricación; las mejoras de distribución en planta y en concreto, el *lay out* forma de *u*, específico de Toyota; las técnicas para equilibrar cadenas de fabricación y evitar costes innecesarios ("bolsas de basuras") por tiempo de espera, a causa de errores de aprovisionamiento de las fases precedentes o exceso de inventarios y operaciones inútiles.

A la hora de crear un centro de trabajo, hay que tener muy en cuenta los criterios de productividad. En lo que concierne a la distribución en planta, la distribución en forma de u da buenos resultados. Si observamos las figuras siguientes nos damos cuenta de la notable diferencia entre la distribución de un taller clásico y la distribución en línea –en forma de u– e, incluso, con la de un taller flexible.

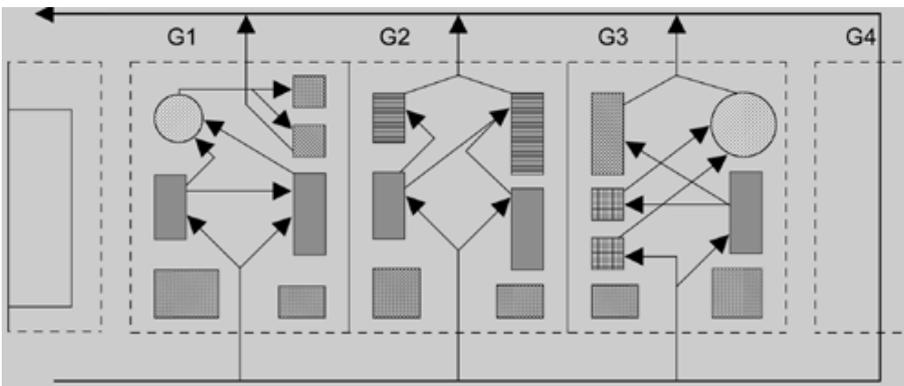
Referencia bibliográfica

R. Ferré Masip *Op. cit.* (pág. 47) y Y. Monden, *Op. cit.* (pág. 47).



Taller clásico

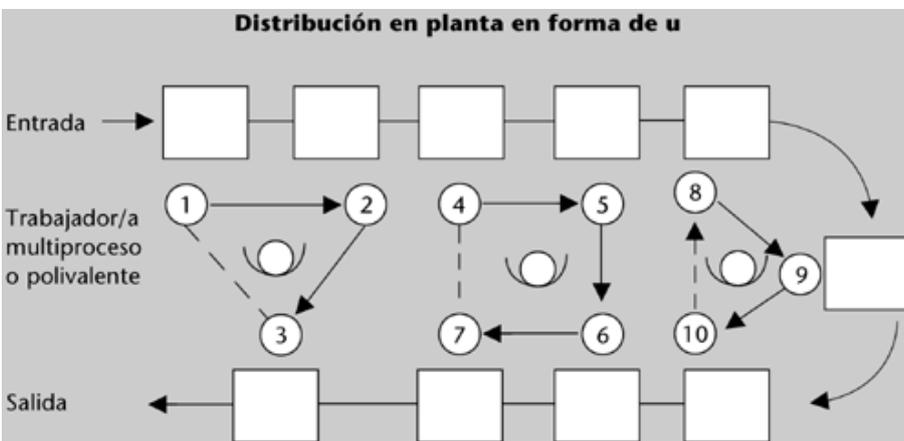
Distribución de una planta basada en el proceso, en el que las máquinas se agrupan segundas características funcionales. La representación del flujo de materiales ilustra el complejo y costoso sistema de transporte que se necesita.



Taller flexible

Contenido complementario

La distribución en planta en células de mecanizado racionaliza los sistemas de transporte y reduce la mano de obra en curso de fabricación a pie de máquina.



Con una distribución en planta por centros de trabajo homogéneos, es decir, agrupaciones de máquinas análogas (taller clásico), es impensable aplicar el método de producción *just in time*, ya que imposibilitaría la rotación de tareas, cuestión que, en cambio, sí que favorece la distribución en u. No obstante, queremos resaltar que aquel tipo de configuración de la planta –agrupación de máquinas análogas o distribución funcional– no ha sido un error, sino una necesidad provocada por el nivel de tecnología que existía cuando se crearon.

Otro instrumento que debemos considerar es la mejora de las operaciones manuales. En cualquier fábrica, todas las operaciones manuales pueden clasificarse en tres categorías:

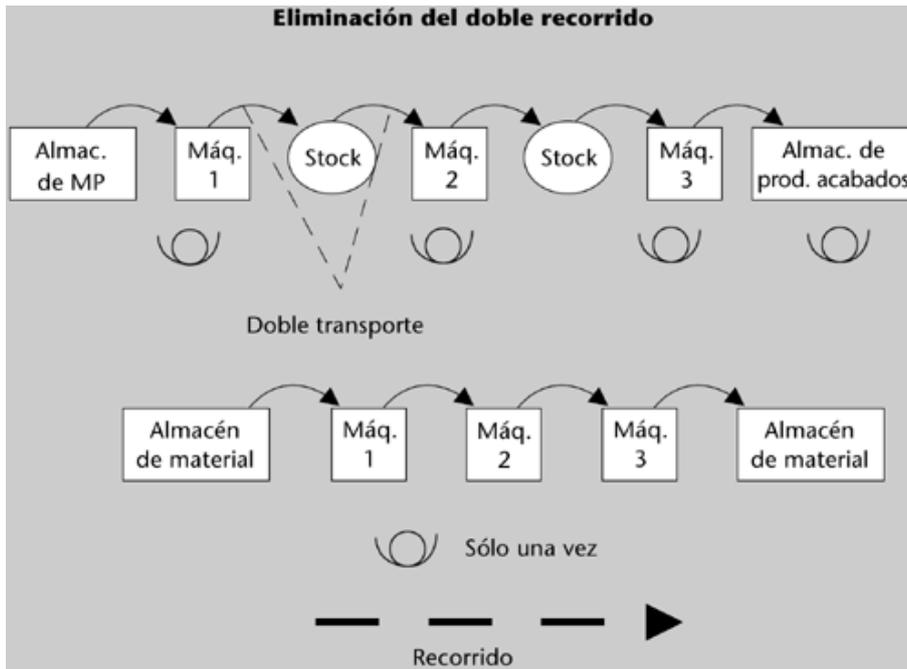
- Acciones de carácter innecesario. Acciones inútiles que deben ser eliminadas inmediatamente, por ejemplo, el tiempo de espera, el almacenamiento de productos intermedios y los dobles transportes.
- Operaciones sin valor añadido. Operaciones esencialmente inútiles pero que resultan necesarias en los procesos de operación actuales. Se incluyen en ellas los desplazamientos excesivos para llevar piezas o el desempaqueado de envases de proveedores, el cambio de herramientas de una mano a otra, etcétera. Para eliminar estas operaciones hay que realizar cambios en la distribución en planta de la línea o negociar con los proveedores que las piezas vengan sin envasar, cosas que no son siempre practicables a corto plazo.
- Operaciones netas para incrementar el valor añadido. Operaciones de proceso o de transporte que aumentan el valor añadido de las materias primas o de los productos semielaborados añadiéndoles trabajo manual; por ejemplo, subensamblaje de piezas, forjado de materias primas, temple de engranajes, pintura de chapa, etcétera.

Bibliografía

J.M. Castán Farrero, *La Fabricación Flexible... Op. cit.*

Bibliografía

Y. Monden, *Op. cit.*; pág. 134 y siguientes



Además, en la fábrica pueden llevarse a cabo operaciones correctivas para arreglar o sustituir productos, herramientas o equipos defectuosos.

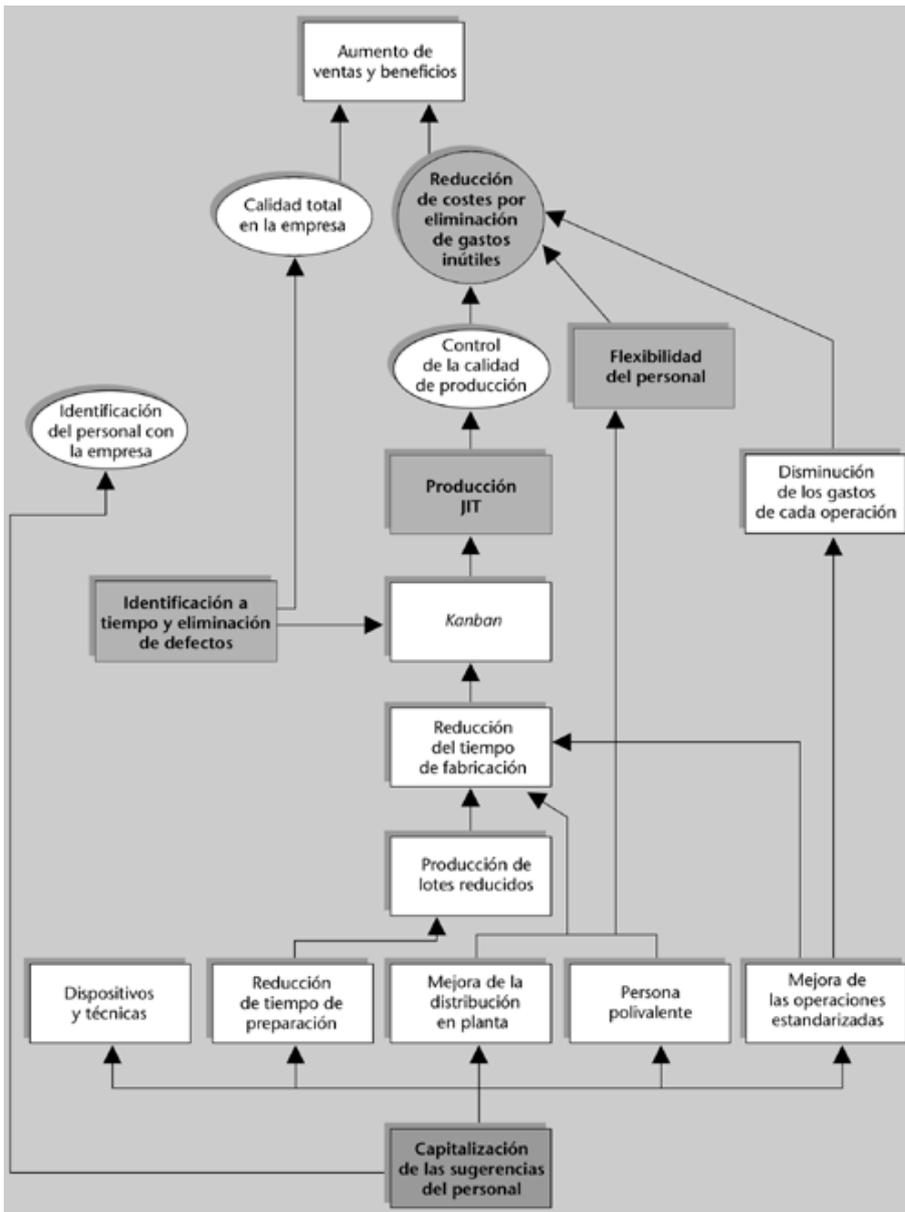
En general, las operaciones netas para incrementar el valor añadido constituyen sólo una pequeña parte del total de operaciones, cuya mayor parte sólo sirve para incrementar el valor añadido, *aunque a veces puede reducirse el trabajo necesario para cada unidad*, lo que reduce el número de personas que trabajan en cada sección. La primera fase es la eliminación de las operaciones de carácter innecesario; después hay que reducir las operaciones sin valor añadido tanto como sea posible, intentando no incurrir en costes poco razonables; finalmente, conviene analizar incluso las mismas operaciones netas para incrementar el valor añadido, con el fin de comprobar si pueden mejorarse, introduciendo algún tipo de automatización que sustituya las operaciones que habitualmente se efectúan a mano.

La figura siguiente es un diagrama que refleja las categorías de operaciones. Se han incluido, además de los objetivos y programas de actuación, algunas de las herramientas del método de producción Toyota. Nos muestra cómo, mediante la ejecución de los cuatro grandes programas de actuación, se obtienen conjuntamente el objetivo principal y los tres objetivos complementarios.

Finalmente, a continuación recogemos algunas de las sugerencias de Sáenz de Viguera y Aizpurua (*Op. cit.*; pág. 570 y siguientes) con respecto a la implantación del método en empresas u organizaciones que consideren atractivos y viables las ventajas que se derivan de él.

El método de Toyota es transferible a otros países y empresas, siempre que se entienda que lo que resulta esencial y plenamente aplicable del sistema a casi todas las empresas industriales es su estructura de objetivos, estrategias y grandes programas de actuación y que, además, es prácticamente imposible aplicar uno de estos programas sin poner en marcha el resto.

En lo que concierne a las herramientas del método, éstas son aplicables a otras empresas en función de que la anatomía de su proceso productivo sea más o menos parecido a la anatomía de un proceso productivo de automóviles. Así, por ejemplo, el *kanban* puede resultar muy útil para una empresa que fabrica electrodomésticos o automóviles, o que fabrica componentes para estas industrias, pero no tiene ningún sentido aplicarlo en una empresa de proceso continuo, como una refinería, o en una empresa que trabaja por proyectos individuales de largo periodo de maduración, como un taller de calderería pesada que trabaja pedido a pedido y que en las mismas instalaciones produce tanto una colada continua, como fabrica una plataforma de prospección petrolera.



Leyenda:



Objetivo fundamental



Objetivos



Grandes programas



Herramientas complementarios

Por lo tanto, la metodología de la producción *just in time* continúa siendo válida siempre que cada industria adopte o diseñe las herramientas más adecuadas a su proceso de fabricación, para lo que es necesario disponer de proximidad. Así, se consigue que las herramientas actúen como un traje hecho a medida. Pretender que las herramientas diseñadas por Toyota para su propio proceso de fabricación sean aplicables a cualquier tipo de industria es un error que ha dado lugar a muchos fracasos.

Por otro lado, las diferencias culturales entre países pueden hacer recomendable modificar las herramientas para llevar a cabo el programa *soikufu*, o sea, la capitalización de ideas del personal. En países donde la tradición cultural y la educación propugnan una actitud más individualista de los ciudadanos ante la vida que la que se da en Japón, es posible que un sistema de recogida y aplicación de sugerencias individuales sea más eficaz que los círculos de calidad, siempre que en la empresa exista un organismo responsable de impulsar su generación y aplicación y, en el caso de que no se apliquen, que explique a la persona que las ha propuesto las razones para ello. Sin duda, este organismo será un refuerzo positivo para la generación de ideas que la empresa puede capitalizar.

Si el método y sus contenidos se explican en profundidad y con calma, probablemente los sindicatos no presentarán demasiados impedimentos para implantarlo, ya que este método de producción recoge el deseo de participación del personal en el futuro de la empresa y es respetuoso con la condición humana de quienes trabajan en ella. Es un hecho que el principal activo de una empresa u organización es el capital humano; es por este motivo por el que entendemos que ninguna empresa puede sobrevivir si sus objetivos fundamentales son opuestos a los del personal empleado.

Recordemos que, cuando hemos expuesto las tendencias del modelo productivo, ya hemos visto que uno de sus componentes es la formación del personal.

Esto nos conduce a reflexionar que, si bien las empresas y organizaciones dispondrán cada vez de personal más capacitado, este hecho no implicará que sea más fácil de dirigir, sino que obligará a que los programas que se desarrollen para conseguir los objetivos apuntados sean explicados con claridad a fin de que todo el personal de la empresa los asuma.

En conclusión, consideremos que el método de producción Toyota es transferible a otras empresas y países, siempre que lo que se transfiera sea la esencia del método –objetivos, estrategias y grandes programas de actuación–, pero las tecnologías y técnicas de gestión –las herramientas– deben diseñarse para cada caso. Tal como hemos expuesto anteriormente: como un traje a medida para cada empresa.

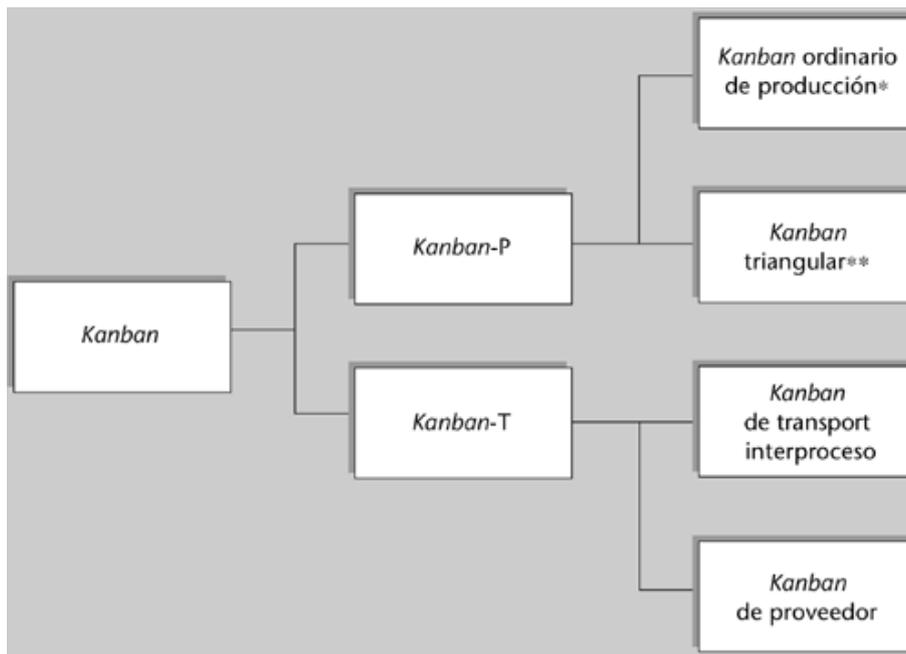
7.3. El *kanban* como herramienta para controlar la producción

En síntesis, el *kanban* es un sistema de información para controlar de manera armónica las cantidades que se producen en cada proceso. Diríamos que se trata de una herramienta para conseguir la producción *just in time*. Significa

'registro visible' o 'placa visible'. De manera más general, se le da el significado de 'tarjeta', de una tarjeta rectangular con funda de plástico, aunque no hace falta que se identifique siempre con esta forma porque puede ser, por ejemplo, un pequeño trozo de superficie pintado de color blanco.

7.3.1. Tipos de *kanban*

Aunque existen diferentes tipos de *kanban*, básicamente se utilizan dos: *kanban* de transporte (*kanban-T*) y *kanban* de producción (*kanban-P*), tal como expresamos en el cuadro siguiente.



* para producción que no sea por lotes
 ** para producción por lotes

Las figuras que presentamos a continuación (tomadas de Y. Monden, *Op. cit.*; pág. 17) expresan cada uno de éstos dos tipos de *kanban*. En el caso del *kanban* de transporte, nos indican que el proceso anterior es el de forja y el transporte o trájín del proceso siguiente deberá dirigirse a la posición B-2 del sector de forja para retirar piñones de transmisión. El proceso siguiente es mecanización. Cada caja contiene 20 unidades del tipo B y éste es el cuarto *kanban* de los ocho emitidos. En cuanto al *kanban* de producción, muestra que el proceso SB-8 de mecanización debe producir el eje de cigüeñal para el coche de tipo SX50BC- 150, pieza que será depositada en el almacén F26-18.

Bibliografía

Comanys, R.; Fonollosa, J. *Nuevas técnicas de gestión de stocks: MRP y JIT*. Barcelona: Marcombo (Colección Productiva; pág. 125 y siguientes).

Contenido complementario

No es necesario que lo haga una persona; actualmente, en muchas plantas industriales esta tarea la ejecuta un carro "filoguiado".

Almacén			Proceso anterior Forja B-2	
Estante núm.	5E21	Código artículo		A2-15
Artículo núm.	35670			
Nombre artículo	Piñón de transmisión			
Tipo de producto			Proceso siguiente Mecanización M-6	
Cap. caja	Tipo caja	Salida núm.		
20	B	4/8		

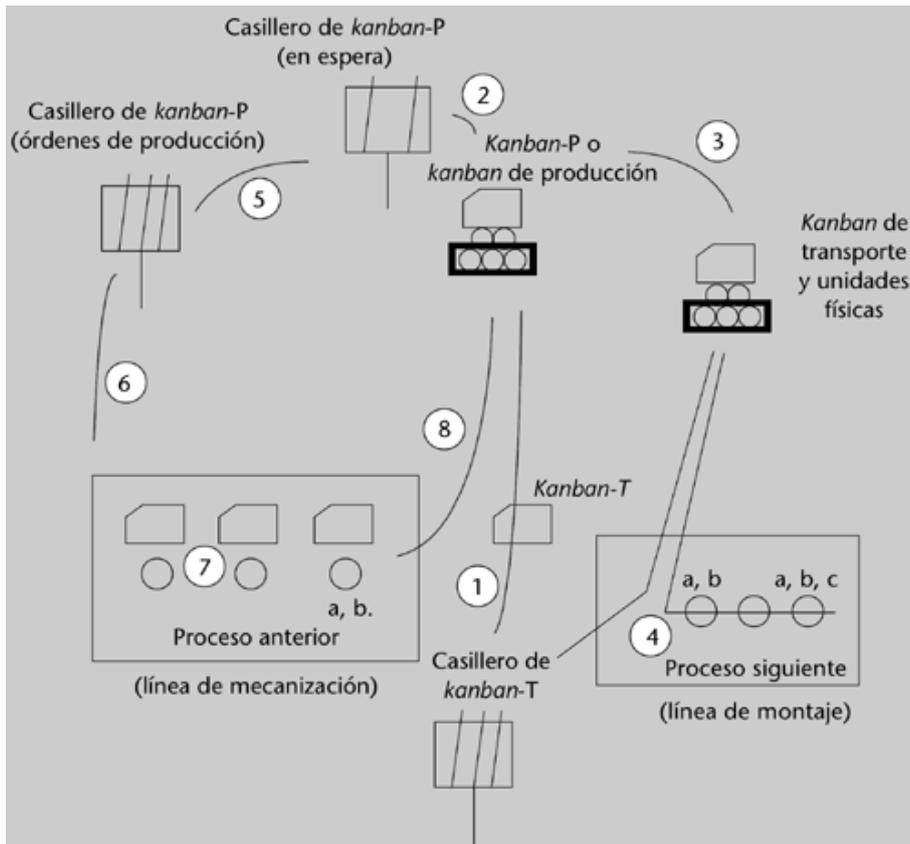
Kanban de transporte

Almacén			Proceso anterior Mecanización SB-8	
Estantería núm.	F26-18	Código artículo		A5-3
Artículo núm.	35790-1			
Nombre artículo	Eje de cigüeñal			
Tipo de producto				
SX50BC-150				

Kanban de producción

7.3.2. Funcionamiento del *kanban*

La figura muestra la utilización de los *kanban* de transporte y el de producción. Aquí es donde el sistema de Toyota presenta particularidades, al crear una conexión física entre los diferentes niveles de la lista de materiales mediante la puesta en circulación de dos tipos de tarjeta llamados *kanban* de transporte (*kanban-T*) y *kanban* de producción (*kanban-P*). El proceso siguiente (taller posterior) monta A, B y C, siendo a y b componentes que se fabrican en el proceso anterior (taller anterior).



A continuación ilustramos cómo se llevan a cabo las diferentes fases de utilización de *kanban* partiendo del proceso siguiente (véase Y. Monden, *Op. cit.*; pág. 22-23):

- 1) El operario u operaria del transporte del proceso siguiente se dirige al almacén del proceso anterior en una carretilla o *jeep* donde lleva el número necesario de *kanban* de transporte y de paletas vacías (contenedores). Lleva a cabo esta operación cuando en el casillero de *kanban* de transporte se ha acumulado un número predeterminado o según una cadencia de tiempo predeterminada.
- 2) Al recoger las piezas del almacén tampón, el operario de transporte despega los *kanban* de producción adheridos a las unidades físicas en las paletas –cada paleta lleva una ficha *kanban*–, las deja en el casillero de recepción correspondiente y después lleva las paletas vacías al lugar designado en el proceso anterior.
- 3) Adhiere un *kanban* de transporte de los que llevaba para cada *kanban* de producción que ha despegado, comparando atentamente, a modo de comprobación, los datos de los *kanban* de ambos tipos.
- 4) Al iniciar el trabajo en el proceso posterior, hay que dejar cada *kanban* de transporte en el casillero correspondiente.

5) En el proceso anterior, hay que recoger las órdenes *kanban* de producción del casillero de espera o recepción en cada periodo de tiempo establecido o cuando se haya producido el número de unidades determinado y colocarlas en el casillero de *kanban* de producción en la misma secuencia con la que se hayan despegado en el almacén tampón.

6) Las piezas se deben fabricar siguiendo la secuencia ordinal de los *kanban* de producción en el casillero.

7) Las unidades físicas recorren el proceso de forma paralela a los *kanban*.

8) Una vez completado el proceso de las unidades físicas, hay que dejarlas junto a los *kanban* de producción en el almacén tampón, a fin de que estén recogidas en su momento para el proceso posterior.

Una cadena como la que hemos descrito, con los dos tipos de *kanban*, debe establecerse de manera continua en los procesos precedentes, con lo que cada proceso recibe los tipos necesarios de unidades en el momento y en la cantidad justa, de manera que se consigue el ideal de la producción *just in time* para cada proceso. La cadena de *kanban* ayuda a equilibrar la línea de los diferentes procesos, que producen las piezas o componentes de acuerdo con sus ciclos de fabricación.

Naturalmente este comportamiento puede generalizarse a una sucesión de talleres, o entre la fábrica y alguno de sus proveedores. El sistema *kanban* significa, pues, la gestión de órdenes y seguimiento del taller en la medida en que es el montaje final el que estira del resto de la producción en función de las necesidades reales, pero sólo se adapta a las producciones en serie.

Un método de este tipo aporta muchas ventajas allí donde se aplica:

- Cada centro de trabajo sabe en todo momento qué tiene pendiente por producir. Las tarjetas de producción depositadas en los casilleros son sus "órdenes de trabajo".
- Las necesidades de cada centro productivo se evidencian claramente porque en el área de entrada hay contenedores vacíos.
- El volumen del papeleo en la planta disminuye radicalmente y se limita a un conjunto de tarjetas fijo.
- El valor del inventario en curso se limita al estrictamente necesario para el plan de fabricación del día mediante el control de las tarjetas existentes en la planta. Todos los contenedores deben disponer de una tarjeta tipo T o P. Al reducir el número de tarjetas emitidas para una pieza o subconjunto, se reduce el valor del inventario en curso.

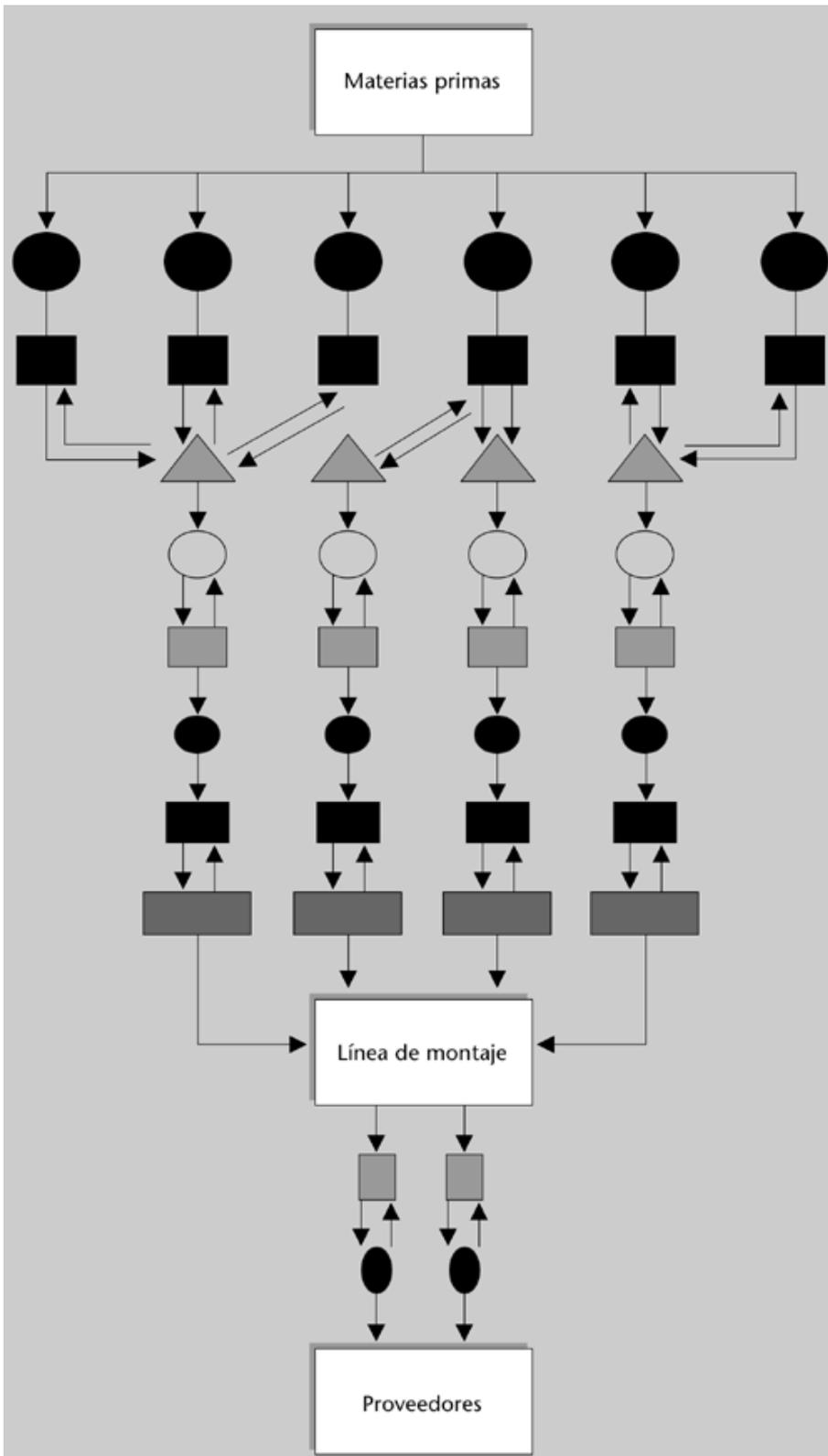
Contenido complementario

El hecho de que cada proceso necesite los elementos o las piezas del anterior es conocido como *sistema de arrastre (pull)*, en contraposición al sistema que actúa para *empuje (push)*.

- Las tarjetas de movimiento correspondientes a los subconjuntos fabricados externamente pueden ser usadas como pedidos para los proveedores. Cuando los contenedores llegan, se despachan directamente en el área de entrada del centro de consumo correspondiente, y no hace falta pasar por el almacén de aprovisionamiento.
- La productividad de los centros de trabajo se incrementa en gran medida gracias al trabajo en cadena y a la fuerte dependencia que existe en unos centros respecto de los demás.
- Los centros de baja productividad son identificados fácilmente por la acumulación de tarjetas pendientes, de manera que se puede realizar un estudio detallado del método de fabricación utilizado para mejorar la productividad.
- El flujo de fabricación es fácilmente equilibrable entre secciones mediante la emisión o retirada de tarjetas del sistema.

Finalmente, diremos que el objetivo central del método es conseguir un flujo suave de fabricación, tomando como centro principal la línea final de montaje, donde tienen que confluir puntualmente y de forma sincroniza los componentes necesarios procedentes de los diferentes centros productivos.

El objetivo ideal sería conseguir un grado tan elevado de sincronismo entre los diferentes centros que confirman el proceso productivo, que a la línea de montaje final llegaran las piezas y subconjuntos necesarios recién fabricados. En el límite de este sincronismo, los contenedores se moverían continuamente de un centro a otro sin detenerse un solo minuto en las áreas correspondientes de entrada o salida de cada centro. Habríamos convertido un proceso de fabricación discreto (por lotes) en un proceso de fabricación continuo.



7.4. Conclusiones

Empezábamos este trabajo haciendo referencia a cómo la variación de las características del entorno socioeconómico ha influido en la creación de una serie de nuevas necesidades. Satisfacerlas implica disponer de nuevos objetivos, los cuales han obligado a efectuar cambios físicos –nuevos procesos producti-

vos: ubicaciones, células, líneas, etc.–; cambios organizativos –nuevos procedimientos: *kanban*, programas, grupos, etc.–, y cambios culturales –nuevas actitudes en el sentido de la responsabilidad, colaboración, departamentos, etc.–. El espíritu JIT recoge todos estos cambios.

Considerar el sistema JIT sólo como la producción sin existencias es una interpretación muy restrictiva. La producción sin existencias capta el mensaje JIT del control de inventarios. Creemos que la producción *just in time* abarca mucho más que eso –decíamos que es una filosofía–, porque consiste en un método de control de inventarios y un instrumento para producir calidad y evitar despilfarros, y se concibe como una configuración modernizada de la planta que aumenta el rendimiento de los procesos, una manera de equilibrar las líneas de producción y un mecanismo de participación y motivación del personal.

A lo largo de este trabajo, también hemos podido advertir que muchos de los principios JIT resultan de aplicación general porque, al fin y al cabo, no se alejan mucho de las ideas de racionalización vigentes en el mundo occidental. Es suficiente con acudir al manual *Estudio del trabajo* editado por la OIT para observar que los tres primeros capítulos, entre otras cosas, nos describen las técnicas que hay que aplicar para reducir y/o eliminar las causas o factores que tienden a reducir la productividad. Quizá ahora es el momento de reflexionar sobre las diferencias entre Japón y Occidente conocidas por todos nosotros, las cuales se materializan en el hecho de que en Japón hacen bien las cosas sencillas y todo aquello que requiere atención, saben esperar resultados y tienen constancia, mientras que en Occidente se saben hacer grandes cosas, se desean resultados inmediatos y no se presta mucha atención al dinero, porque se dispone de él.

Las características del entorno para avanzar en la implantación del método JIT no pueden ser cualesquiera. Como mínimo, hace falta una relativa estabilidad de los productos, tanto en lo que concierne a la demanda, como a las innovaciones, una participación entusiasta de la dirección de la empresa y una plantilla laboral mentalizada y dispuesta a encontrar vías de mejora de la productividad.

La implantación del JIT es un proyecto que consta de diferentes fases. Se suele comenzar el proceso por:

- Empezar un conjunto de actuaciones a escala reducida para conseguir obtener unos niveles de calidad muy elevados.
- Establecer o formular programas piloto –en argot del ramo, se denomina "construir una fábrica dentro de una fábrica"– sobre algunos artículos escogidos con cuidado que hay que desarrollar, tanto en el suministro a las líneas, como en el aprovisionamiento de los proveedores.

- Preparar al personal para que sea polivalente y pueda realizar distintas funciones.

Hasta que no se considera que el desarrollo de estos aspectos se encuentra muy adelantado, no se puede iniciar el camino hacia el flujo continuo de producción reduciendo el volumen de los lotes, estabilizando las tasas de producción de cada uno de los productos y descentralizando la gestión. En estas condiciones se puede implantar el sistema de tarjetas para el lanzamiento y control de las órdenes de producción y el mecanismo de paro automático de toda la línea por el mismo personal de la empresa.

En último lugar, consideramos que llevar a cabo la filosofía de producción que impulsa el método JIT implica pagar un precio, que se materializa en el hecho de cambiar la organización, los procedimientos, la metodología y las costumbres. La cuestión reside en valorar si el sistema productivo, el sistema de gestión y la cultura industrial de la empresa lo permiten.

8. Planificación, programación y control de proyectos

8.1. Introducción

La técnica de planificación, programación y control de proyectos basada en los gráficos de Gantt, fue desarrollada durante el proyecto Polaris de la armada norteamericana.

Normalmente, el objetivo de la planificación es minimizar la duración total del proyecto, pero puede haber otros objetivos secundarios, por ejemplo, que el uso de los recursos sea lo más equilibrado posible.

Cualquier proyecto presenta tres categorías de elementos: operaciones (tareas que lo forman), recursos (personas, materiales, máquinas y dinero) y condiciones (limitaciones bajo las cuales se trabaja).

Las limitaciones más habituales son las siguientes:

- Relaciones de precedencia entre actividades, de modo que una actividad no puede empezar hasta que otra haya acabado (estas condiciones tienen motivos técnicos).
- Limitación de recursos (hay que planificar las actividades de manera que no se necesiten más recursos de los que hay disponibles).
- Relaciones disyuntivas entre actividades, cuando dos o más actividades no pueden hacerse a la vez (por ejemplo, porque utilizan el mismo recurso crítico o por motivos técnicos).

8.2. Relaciones de precedencia entre actividades

El diagrama de precedencias ofrece una visualización de las relaciones existentes entre las diferentes actividades. Para la construcción del diagrama, hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Las actividades se representan con nodos o vértices.
- Un arco que va de la actividad (vértice) i a la actividad j indica que j no puede empezar hasta que i no haya acabado (es decir, que i es precedente de j).
- α y ω son actividades ficticias que indican, respectivamente, el inicio y el final del proyecto.
- Un arco desde α a i indica que i no tiene actividades precedentes.
- Un arco de i a ω indica que i no precede a ninguna otra actividad.

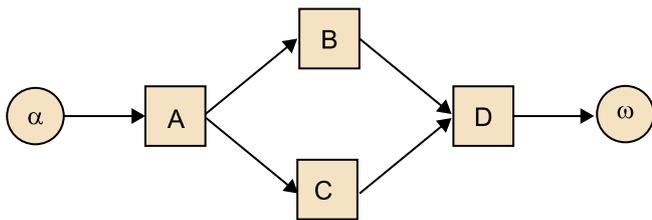
Veamos un pequeño ejemplo:

Actividad	Precedentes
A	-
B	A
C	A
D	B, C

La tabla nos indica que:

- A precede a B
- A precede a C
- B y C preceden a D

El grafo de precedencias es el siguiente:

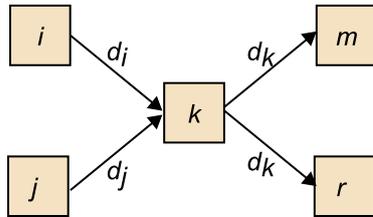


El grafo de precedencias, además, constituye una herramienta muy útil que permite calcular la primera fecha en que puede empezar cada actividad teniendo en cuenta las actividades que la preceden, la duración total mínima del proyecto y la fecha máxima en que tiene que empezar cada actividad para no provocar un retraso en la duración total del proyecto. Conociendo las fechas mínimas y máximas de inicio de cada actividad, podemos calcular el margen de cada actividad (diferencia entre ambas fechas) e identificar las actividades críticas, que son aquellas que no tienen margen. Es decir, aquellas que, al retrasarse, provocan un alargamiento del proyecto. Las actividades críticas forman el camino o caminos críticos.

Para calcular estas fechas, hay que seguir los criterios siguientes:

- La duración de la actividad se pone en el arco o arcos que salen de la actividad. El valor que ponemos en el arco que va desde α a la actividad i (puede ser 0) se corresponde con el tiempo que tiene que pasar, desde el inicio del proyecto, hasta que la actividad i puede empezar (por ejemplo, porque quien lo tiene que hacer todavía no está disponible).

- Para cada actividad, podemos calcular el instante o fecha mínima de inicio t_i (i no puede empezar antes de t_i debido a las relaciones de precedencia) y el instante máximo de inicio, T_i (si i empieza después de T_i entonces todo el proyecto sufre un retraso). $T_i - t_i$ indica el margen que tiene la actividad i . Las actividades sin margen ($T_i - t_i = 0$) forman el camino o caminos críticos. Las fechas t_i y T_i se calculan de manera siguiente (para calcular t_i se recorre el grafo de izquierda a derecha; para calcular T_i se recorre de derecha a izquierda):



$$t_\alpha = 0 \quad (T_\alpha = 0)$$

..

$$t_k = \max(t_{i+d_i}, t_{j+d_j})$$

$$t_m = t_k + d_k$$

$$t_r = t_k + d_k$$

...

t_ω (indica la duración mínima del proyecto, instante en que puede terminar la actividad que acaba más tarde; esto es, de hecho, el camino más largo entre α y ω)

$$T_\omega = t_\omega$$

...

$$T_k = \min(T_m - d_k; T_r - d_k)$$

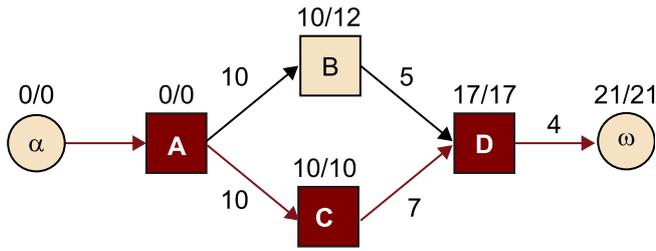
$$T_i = T_k - d_i$$

$$T_j = T_k - d_j$$

..

Añadimos las duraciones al ejemplo anterior y calculamos los instantes mínimos y máximos de inicio:

Actividad	Duración	Precedentes
A	10	-
B	5	A
C	7	A
D	4	B, C



Actividad	Duración	Precedentes	ti	Ti	Margen
A	10	-	0	0	0
B	5	A	10	12	2
C	7	A	10	10	0
D	4	B, C	17	17	0

El camino crítico está formado por las actividades A, C y D. Esto quiere decir que si alguna de estas no empieza en su fecha mínima de inicio, el proyecto durará más de 21 unidades de tiempo. En el seguimiento del proyecto, hay que prestar una atención especial a estas actividades, sin olvidar las que son casi críticas (aquellas que tienen un margen muy pequeño).

8.3. Problema

Un proceso productivo está compuesto por 14 actividades, A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M y N, cuyas duraciones respectivas son 10, 3, 10, 5, 11, 2, 6, 11, 8, 4, 1, 11, 13 y 10. Entre estas actividades se dan las siguientes relaciones de precedencia inmediata:

- Las tareas A, B y C pueden empezar simultáneamente después del tiempo de preparación del proyecto.
- Para realizar la tarea D es necesario que las tareas B y J hayan acabado.
- Acabada la tarea A, podrán empezar las tareas J y H.
- La actividad E empezará una vez acabadas las tareas B y J.
- Para que pueda empezar I tiene que haber acabado H.
- Una vez acabada la actividad C podrá empezar F.
- Para iniciar la tarea K previamente deben haber acabado E, F y G.
- Las actividades G e I empezarán una vez finalizada D.

- Cuando haya acabado H podrá empezar G.
- Para que pueda empezar la actividad L, tienen que haber acabado K e I.
- La actividad N sólo podrá iniciarse cuando B, C y J hayan acabado.
- Una vez finalizadas E, G y F podrá iniciarse la actividad M.

Nota

Este problema corresponde a una adaptación del caso desarrollado por Machuca, Durbán y Martín (1990) en la obra *El subsistema productivo de la empresa*. (Madrid: Pirámide, pág. 315-325), en cuya metodología nos hemos inspirado para resolverlo.

A partir de estos datos y sin considerar el tiempo de preparación del proyecto, queremos:

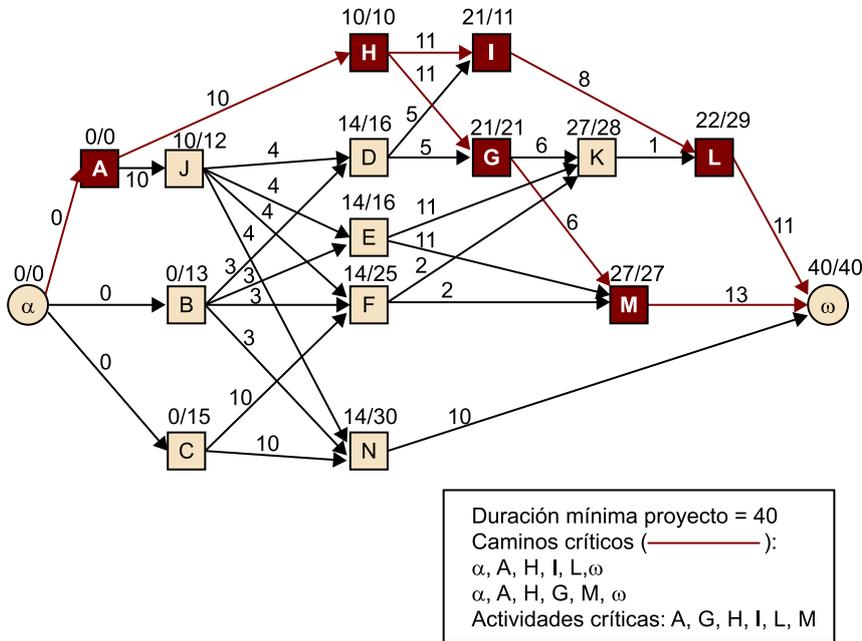
- 1º. Deducir la tabla de preferencias.
- 2º. Dibujar el grafo de precedencias correspondiente.
- 3º. Determinar la duración del proyecto.
- 4º. Indicar el camino o caminos críticos.

1. Construimos la tabla de precedencia

Actividad	Precedentes
A	-
B	-
C	-
D	B, J
E	B, J
F	B, C, J
G	D, H
H	A
I	D, H
J	A
K	E, F, G
L	K, I
M	G, E, F
N	B, C, J

2. Construimos el grafo de precedencias

En el mismo grafo, calculamos los instantes mínimo y máximo de inicio (t_i y T_i , respectivamente) e indicamos las actividades críticas.



Podemos hacer los cálculos de t_i y T_i a partir del grafo, tal como se indica en las tablas siguientes:

Actividad	Precedentes	Duración	t_i
α		0	0
A		10	0
B		3	0
C		10	0
D	B, J	5	14 (max (tB+dB, tJ+dJ))
E	B, J	11	14 (max (tB+dB, tJ+dJ))
F	B, C, J	2	14 (max (tB+dB, tC+dC, tJ+dJ))
G	D, H	6	21(max (tD+dD, tH+dH))
H	A	11	10 (tA+dA)
I	D, H	8	21 (max (tD+dD, tH+dH))
J	A	4	10 (tA+dA)
K	E, F, G	1	27 (max (tE+dE, tF+dF, tG+dG))
L	K, I	11	29 (max (tI+dI, tK+dK))
M	G, E, F	13	27 (max (tE+dE, tF+dF, tG+dG))

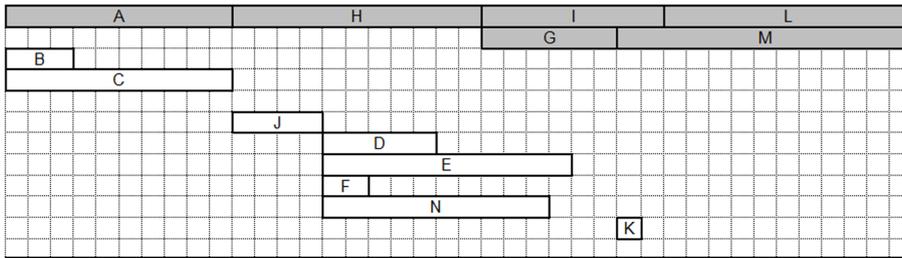
Actividad	Precedentes	Duración	t_i
N	B, C, J	10	14 (max (tB+dB, tC+dC, tJ+dJ))
ω	L, M, N	0	40 (max (tL+dL, tM+dM, tN+dN))

Actividad	Precedentes	Duración	t_i	T_i	Margen
α		0	0	0	0
A		10	0	0 (min(TH, TJ)-dA)	0
B		3	0	13 (min(TD, TE, TF, TN)-dB)	13
C		10	0	15 (min(TF, TN)-dC)	15
D	B, J	5	14	16 (min(TI, TJ)-dD)	2
E	B, J	11	14	16 (min(TK, TM)-dE)	2
F	B, C, J	2	14	25 (min(TK, TM)-dF)	11
G	D, H	6	21	21 (min(TK, TM)-dG)	0
H	A	11	10	10 (min(TI, TG)-dH)	0
I	D, H	8	21	21 (TL-dI)	0
J	A	4	10	12 (min(TD, TE, TF, TJ)-dJ)	2
K	E, F, G	1	27	28 (TL-dK)	1
L	K, I	11	29	29 (T ω -dL)	0
M	G, E, F	13	27	27 (T ω -dM)	0
N	B, C, J	10	14	30 (T ω -dN)	16
ω	L, M, N	0	40	40	0

Tened en cuenta que cuando una actividad consume su margen (o parte de su margen), está consumiendo también parte del margen de las actividades a las cuales precede. Por ejemplo, la actividad C podría retrasar su inicio hasta el instante 15, de modo que acabaría en el instante 25 (porque dura 10). Entonces, la actividad F se volvería crítica (no puede empezar más tarde del instante 25) y la actividad N ya no tendría un margen de 16 sino de (30 – 25).

8.4. Diagrama de Gantt

La ejecución del proyecto se puede representar con un diagrama de barras que se conoce como diagrama de Gantt. En el eje horizontal está el tiempo, y en el eje vertical situamos las actividades. En la figura siguiente, que se corresponde con el problema anterior, hemos pintado de oscuro las actividades críticas y hemos dejado en color claro las que tienen margen (aquellas que pueden retrasar su inicio sin comprometer la duración total del proyecto).



Hay programas informáticos que permiten introducir la información básica de un proyecto y obtener el diagrama de precedencias y el diagrama de Gantt, que sirve como herramienta de planificación y también como herramienta de seguimiento y control.

8.5. Limitación de recursos

Todas las tareas o actividades de un proyecto necesitan recursos para poderlas ejecutar, y la disponibilidad de estos recursos no se puede considerar ilimitada. Por eso, lo primero que hay que hacer, dada una planificación (un diagrama de Gantt), es comprobar que en ningún momento se usan más recursos de los disponibles.

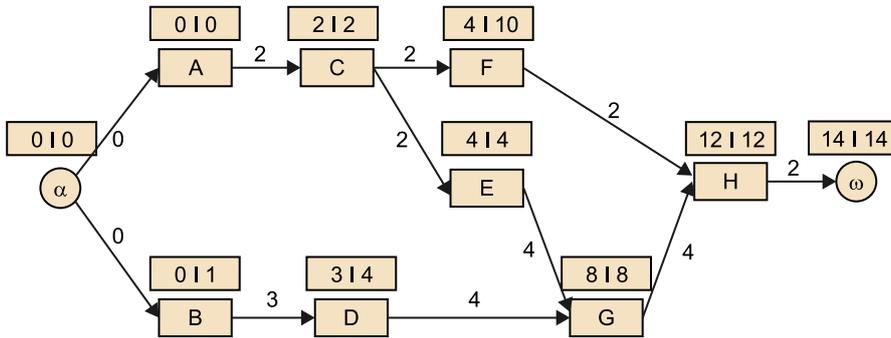
Las curvas de carga de los recursos son una herramienta clave para ver el uso que se hace de ellos. No solo para comprobar que un programa de actividades sea factible, sino también para ver si hay recursos que se están utilizando de una manera poco equilibrada (o, también, si están infrautilizados).

Para dibujar la curva de carga de un recurso, hay que poner el tiempo en el eje horizontal y el número de unidades del recurso que se usan en el eje vertical.

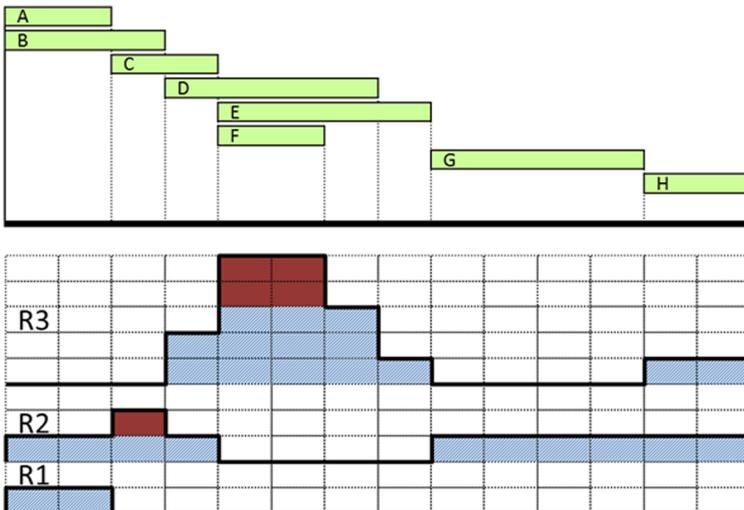
Veamos un ejemplo a continuación, añadiendo los recursos necesarios a las actividades:

Actividad	Duración	Precedentes	Recursos (tipos y cantidad)
A	2	-	R1 (1)
B	3	-	R2 (1)
C	2	A	R2 (1)
D	4	B	R3 (2)
E	4	C	R3 (1)
F	2	C	R3 (2)
G	4	D, E	R2 (1)
H	2	F, G	R2 (1) + R3 (2)

Construimos, en primer lugar, el grafo de precedencias y calculamos los instantes mínimos y máximos de inicio:



A continuación, se dibuja el diagrama de Gantt y las curvas de carga, en el supuesto de que la disponibilidad de los recursos R1, R2 y R3 sea de 1, 1 y 3 unidades, respectivamente.



Como se puede observar, el plan de actividades no es factible, porque hay momentos en que requiere más recursos de los disponibles. Cuando pasa esto, hay dos opciones: o bien se incrementa la disponibilidad de recursos (esto no siempre es posible y, además, supone un coste adicional); o bien se modifica el calendario moviendo algunas actividades, o se hace uno nuevo que tenga en cuenta, además de las precedencias, la disponibilidad de los recursos.

Para construir un calendario factible, se puede proceder de la manera siguiente:

- 1) Nos situamos en el instante 0, determinamos la lista de actividades candidatas a ser programadas y las vamos seleccionando, mientras haya recursos suficientes, siguiendo alguna regla de prioridad.

2) Cuando ya no podemos programar más actividades, vamos al próximo instante de tiempo en que pueda empezar alguna actividad, o bien porque sus precedentes hayan acabado, o bien porque se hayan liberado recursos. Volvemos a seleccionar las actividades a programar.

Vamos repitiendo el paso 2 hasta que todas las actividades hayan sido programadas.

Las actividades candidatas a ser programadas en un instante dado son aquellas cuyas precedentes ya han finalizado y que, además, no necesitan más recursos de los que hay disponibles en ese instante.

Hay varias reglas de prioridad que se pueden usar para ir seleccionando las actividades a programar en un instante concreto (en el supuesto de que no haya bastantes recursos, en ese instante, para programarlas todas). Por ejemplo, podemos elegir la actividad más corta o la más crítica (la que tiene menos margen).

Si seguimos este procedimiento con el ejemplo anterior priorizando las actividades más críticas, llegamos a la solución siguiente:

Tiempo	Lista de espera	Margen	Programadas	Duración	Acaba	Recursos (1, 1, 3)	Fin
0	A (R1-1) B (R2-1)	0 1	A B	2 3	2 3	R1 (0) R2 (0) R3 (3)	
2	C (R2-1)	0	B	3	3	R1 (1) R2 (0) R3 (3)	A
3	C (R2-1) D (R3-2)	0 1	C D	2 4	5 7	R1 (1) R2 (0) R3 (1)	B
5	E (R3-1) F (R3-2)	0 6	D E	4 4	7 9	R1 (1) R2 (1) R3 (0)	C
7	F (R3-2)	6	E F	4 2	9 9	R1 (1) R2 (1) R3 (0)	D
9	G (R2-1)	0	G	4	13	R1 (1) R2 (0) R3 (3)	E, F
13	H (R2-1, R3-2)	0	H	2	15	R1 (1) R2 (0) R3 (1)	G
15							H

En el instante 2 no se ha podido programar la actividad C por carencia de recursos y, como era crítica, esto quiere decir que el proyecto ya no podía durar 14 unidades de tiempo.

Bibliografía

La planificación de las necesidades de materiales: MRP

Aquilano, N.R.; Chase, R.B. (1994). *Dirección y administración de la producción y de las operaciones*. Addison-Wesley Iberoamericana.

Buffa, E.; Sarin, R. (1992). *Administración de la producción y de las operaciones*. México: Limusa.

Chase, R.; Aquilano, N.; Jacobs, F. R. (2009). *Administración de Operaciones. Producción y cadena de suministros* (12.ª ed.). McGraw-Hill.

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

Domínguez Machuca, J.A. y otros (1996). *Dirección de operaciones: aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*. Madrid: McGraw-Hill.

Fernández Sánchez, E.; Vázquez Ordás, C.J. (1994). *Dirección de la producción. Métodos operativos*. Madrid: Civitas.

Heizer, J.; Render, B. (2007). *Dirección de la producción y operaciones: decisiones tácticas* (8.ª ed.). Prentice-Hall.

Krajewski, L. J.; Ritzman, L. P. (2008). *Administración de operaciones: procesos y cadenas de valor* (8.ª ed.). Prentice-Hall.

Prida Romero, B; Gutiérrez Casas, G. (1996). *Logística de aprovisionamiento: El cambio en las relaciones proveedor-cliente, un nuevo desafío para la empresa del s. XXI*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España, S. A.

Turban, E.; Meredith, J. R. (1994). *Fundamentals of management science*. Irwin.

El just in time

Adam, E.; Ebert, R.J. (1992). *Production and operations management: Concepts, models and behavior*. Prentice-Hall International.

Aquilano, N.J.; Chase, R.B. (1991). *Fundamentals of operations management*. Irwin.

Bañegil, T.M. (1993). *El sistema just in time y la flexibilidad de la producción*. Madrid: Pirámide.

Castán, J.M. (1998, enero-agosto). "Consideraciones sobre la gestión de las principales variables productivas que influyen en la rentabilidad global de la Empresa." *Revista de Economía y Empresa* (núm. 20/21, pág. 177-190).

Companys, R; Fonollosa, J. (1989). *Nuevas técnicas de gestión de stocks: MRP y JIT*. Barcelona: Marcombo (Colección Productiva).

Dilworth, J.B. (1993). *Production and operations management: manufacturing and services*. McGraw-Hill.

Heizer, J.; Render, B. (2007). *Dirección de la producción y operaciones: decisiones tácticas* (8.ª ed.). Prentice-Hall.

Krajewski, L. J.; Ritzman, L. P. (2008). *Administración de operaciones: procesos y cadenas de valor* (8.ª ed.). Prentice-Hall.

Ikuta, S.; Nakajim, S. (1989). *Mantenimiento productivo total en Japón, en el estilo japonés de dirección de empresas, T.G.P.*

Larrañeta, J.C.; Onieva, L.; Lozano, S. (1998). *Métodos modernos de gestión de la producción*. Madrid: Alianza.

Machuca, J.A.D; Álvarez, M.J.; García, S; Domínguez, M.A.D.; Ruiz, A. (1994). *Dirección de operaciones: Aspectos estratégicos en la producción y en los servicios*. Madrid: McGraw-Hill.

Miranda, F. J.; Rubio, S.; Chamorro, A.; Bañegil, T. (2005). *Manual de dirección de operaciones*. Thomson.

Planificación, programación y control de proyectos: PERT

Aguer Hortal, M.; Pérez Gorostegui, E. (1991). *Curso teórico-práctico de Economía de la Empresa*. Barcelona: Hispano Europea.

Fernández Sánchez, E.; Vázquez Ordás (1994). *Dirección de la Producción II. Métodos Operativos*. Madrid: Civitas.

Heizer, J.; Render, B. (2007). *Dirección de la producción y operaciones: decisiones tácticas* (8.^a ed.). Prentice-Hall.

Machuca, J.A.D.; Durbán Oliva, S.; Martín Armario, E. (1990). *El subsistema productivo de la Empresa*. Madrid: Pirámide.

Machuca, J.A.D.; García, S.; Ruiz, A.; Machuca M.A.D.; Álvarez, M. J. (1994). *Dirección de Operaciones: Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*. Madrid: McGraw-Hill.

Miranda, F. J.; Rubio, S.; Chamorro, A.; Bañegil, T. (2005). *Manual de dirección de operaciones*. Thomson.

Pérez Gorostegui, E. (1989). *Economía de la Empresa (Introducción)*. Madrid: Centro de Estudios Ramón Areces.

Yu Chuen-Tao, L. (1983). *Aplicaciones prácticas del PERT y CTM*. Bilbao: Deusto.