

# **ORGANIZACIÓN, PLANIFICACIÓN, CONTROL Y PROGRAMACIÓN**

**DIRECCIÓN DE LA PRODUCCIÓN**

Por:

- LUIS ARENCIBIA SÁNCHEZ

**Indice.**

1. Introducción.
2. Organización, planificación, control y programación.

**1. Introducción.**

- 1.1. La función de producción – operaciones.
- 1.2. Tipos de producción.
- 1.3. La dirección del sistema de producción.
  - 1.3.1. Productividad y competitividad en la dirección de producción/operaciones.
  - 1.3.2. Desarrollo de una estrategia para la dirección de producción/operaciones.
- 1.4. Objetivos de la producción.
- 1.5. Factores que influyen en la productividad.
- 1.6. Las funciones de la producción.
- 1.7. Relaciones de la función de producción.
- 1.8. Índices de productividad.
- 1.9. Medición y mejora de la productividad.
  - 1.9.1. Medición.
  - 1.9.2. Mejora de la productividad.

**1. Introducción.****1.1. La función de producción – operaciones.**

Un sistema de operaciones debe considerarse como un conjunto de recursos cuya función es la de transformar un cierto número de entradas o inputs en una cantidad de salidas u outputs deseado. El sistema de operaciones de una empresa puede abarcar tanto productos como servicios. De esta forma, el sistema está compuesto por los siguientes elementos:

- **Inputs:** son los ingredientes necesarios para que las operaciones se lleven a cabo. Pueden ser tangibles o intangibles.
- **Outputs:** resultan de la transformación de los "inputs" mediante el proceso.
- **Procesos:** los tipos de procesos que podemos encontrar en los sistemas de operaciones son cinco:
  - 1) **Producción:** cuya característica principal es la creación de un producto físico. El "output" consiste, por tanto, en bienes que difieren de los "inputs" incorporados al sistema.
  - 2) **Transporte:** su característica principal es el traslado de personas, cosas e información de un lugar a otro.
  - 3) **Intercambio/suministro:** la característica principal es el cambio que se produce en la propiedad o posesión de los bienes y/o información.
  - 4) **Almacenamiento:** cuya característica más importante es el cambio de disponibilidad de algo o alguien para ser consumido en un período posterior.
  - 5) **Servicio en sentido estricto:** su característica principal es el tratamiento directo con los clientes, ya sean personas o cosas.

Esta clasificación de los procesos no es perfecta, pero nos permite complementar nuestra definición de sistemas de operaciones de la siguiente forma: Un sistema de operaciones es un conjunto de recursos combinados cuya función es la de producir, transportar, intercambiar, almacenar o servir.

## **1.2. Tipos de producción.**

El objetivo final de la organización de la producción, en su sentido más amplio, es planificar y controlar la producción. El resultado final de cualquier tipo de actividad que se desarrolle es el objetivo de la producción; en consecuencia, la organización de la producción afecta a cualquier tipo de actividad empresarial y de sistemas de producción, aun cuando las características de las distintas actividades y procesos productivos configuran, asimismo las características de los sistemas de organización de la producción correspondiente.

Una primera clasificación de las actividades empresariales puede ser:

- **Empresas productoras de bienes**, en las que quedan encuadradas las manufactureras, transformadoras, comerciales y distribuidoras.
- **Empresas productoras de servicios**, como los transportes, empresas financieras, servicios profesionales, etc.

Para adaptar los modelos de organización de la producción se pueden efectuar dos amplios tipos de clasificación:

- Producción para pedidos.
- Producción para reposición de existencias.

La clasificación que más determina las características de la organización del proceso productivo es la que se refiere a los sistemas de producción, es decir, de los procesos básicos de funcionamiento para realizar el trabajo en las diferentes actividades.

Existen varios tipos de clasificaciones básicas siguiendo distintos criterios.

### **A) En función de los atributos del producto.**

De una forma general se pueden dividir en dos grandes categorías, atendiendo a la tangibilidad del producto.

- Producción de bienes tangibles, cuya característica principal es la creación física de bienes (fabricación), mediante:
  - Cambio de la naturaleza estructural o química.
  - Cambio de la forma física.
- Producción de servicios, cuyo producto es un resultado de naturaleza intangible, y cuyas características pueden ser:
  - Cambio de ubicación de personas o cosas.
  - Cambio de propiedad por transacción comercial.
  - Cambio de estado mediante algún tratamiento.

**B) En función de los atributos del proceso.**

- **Producción continua**, cuyo proceso, por razones tecnológicas, debe mantenerse en funcionamiento durante periodos 6 ciclos amplios, no pudiéndose parar de modo brusco, no previsto, sin riesgo de avería grave. Es imprescindible establecer tres turnos de trabajo.
- **Producción discreta**, cuyo proceso puede interrumpirse en cualquier momento, sin que la instalación ni el producto queden afectados por la parada. Técnicamente no es necesario establecer turnos de trabajo.

En este caso se pueden dar las variantes de:

- Producción no repetitiva.
- Producción repetitiva.
- Producción por proyecto.

**C) En función de la unidad de medida.**

- **Producción por unidades**. Lo importante es cada objeto en sí mismo, con independencia de su peso o volumen.
- **Por lotes** (conjunto de productos individual izados durante el proceso, pertenecientes a una agrupación superior, llamada lote, que define las características comunes a todos ellos).
- **Producción masiva** (el producto no es, definible individualmente, sino en forma de peso o volumen)

De las descripciones someras dadas anteriormente, los tipos de procesos más importantes se describen a continuación.

En este aspecto se puede efectuar la clasificación en los siguientes grupos fundamentales:

- **Producción continua**, en la que las instalaciones se adaptan a los productos y los flujos del proceso siguen un itinerario en el que las operaciones se combinan con el transporte.

La organización de la producción en el caso de producción continua tiene las siguientes características:

- Es básica la planificación previa, al incorporarse a la línea de fabricación todas las funciones de aprovisionamiento, métodos y tiempos, control y verificaciones, cargas y capacidades, etc.
- El objetivo fundamental es el equilibrio de capacidades de producción en la línea de fabricación, fundamentalmente en las máquinas, ya que en la mano de obra es más fácil de obtener. Hay que cuidar muy especialmente que no existan cuellos de botella.
- Una vez establecida la planificación previa de producción, y puesto que las distintas fases y operaciones se suceden, no es necesaria la programación de cada uno de los trabajos.
- Las reestructuraciones, normas y procedimientos de trabajo se efectúan una sola vez para cada producto o proceso de fabricación.

- El control de producción se limita a la contabilización del producto por períodos de tiempo establecidos, efectuándose, en algunos casos, de forma automática.
  - Las variaciones de cantidad de producto obtenido sólo pueden efectuarse a través de un aumento o disminución de las horas de funcionamiento de la línea de fabricación.
  - Es absolutamente necesaria la disposición de los materiales y elementos necesarios en el momento de su incorporación al proceso, estando, por otra parte, perfectamente determinados los consumos en la fase de planificación previa, lo que facilita la gestión de aprovisionamientos.
  - Los costes de producción quedan determinados en la planificación previa.
- **Producción intermitente**, que se caracteriza por una gama variada de los productos terminados, efectuándose la producción por lotes de fabricación determinados.

El sistema de producción intermitente, en lo que se refiere a los problemas de organización de la producción, se distingue por las siguientes características:

- La programación, preparación del trabajo, seguimiento y control se han de individualizar por lotes de fabricación.
  - La planificación previa es más compleja que en el proceso continuo, en cuanto a coordinación de capacidades y cargas necesarias, ya que hay que coordinar los diferentes programas o pedidos que utilizan los mismos recursos.
  - Al ser diferentes los lotes o pedidos, no solamente en cantidad, sino también en las especificaciones, calidad y materiales, se hace necesaria una previa preparación y documentación del trabajo en cada lote, determinación de cargas y tiempos de fabricación, métodos y procesos.
  - Es necesaria la previsión y asignación previa a cada lote pedido de los materiales y herramientas necesarios.
  - El control de costes se efectuará en forma provisional para cada lote, mediante estándares de unidades de recursos necesarios y valor de los mismos, efectuándose posteriormente la recogida de datos de los costes reales invertidos, para su análisis y futuro establecimiento de estándares de previsión.
  - El sistema de programación y control requiere, una actividad continua de ajustes de plazos y fechas, equilibrio de cargas y capacidades, y acciones correctivas al producirse las desviaciones, teniendo, por otra parte, mayor elasticidad que en el proceso continuo para los cambios de equipos y máquinas de uno a otro lote o pedido.
  - Las interrupciones, paradas imprevistas, retrasos, falta de material, etc., tienen menor importancia que en el proceso continuo, por afectar generalmente a uno o varios pedidos, y no al conjunto de la producción.
- **Proceso similar** en el caso en que los productos no sean idénticos, pero suficientemente iguales para que el proceso de fabricación sea el mismo o de análoga naturaleza.

En consecuencia, en este caso, las características específicas del sistema de organización de la producción tienen diferentes analogías con las de proceso continuo, y producción intermitente, pudiendo considerarse intermedias entre éstas.

- Es muy importante la planificación a la que se adaptará posteriormente la planificación y programación de cada proceso.
- La preparación de cada trabajo y las instrucciones para su realización son sencillas, al ser procesos iguales o análogos.

- La programación y el control están individualizados para cada programa o pedido, siendo más sencillos que en el trabajo intermitente, por la similitud de procesos.
- **Proyectos especiales** o actividades que nacen a partir de una decisión y se desarrollan a través de una serie de fases hasta su conclusión definitiva.

La organización de la producción, en este caso, fundamental para alcanzar el objetivo previsto, que es el producto único final, en el plazo y con los costes e inversiones mínimos necesarios, ofrece las siguientes características:

- La planificación previa es imprescindible en todos y cada uno de sus aspectos, fases del trabajo, interrelación y coordinación entre las fases, recursos de materiales, mano de obra necesarios y los momentos en que empieza la aportación de cada uno, interferencias y subordinaciones entre las distintas fases del proceso.
- El sistema de control ha de estar especialmente adaptado a la planificación y ha de ser permanente.
- Los métodos, procedimientos e instrucciones para realizar el trabajo han de establecerse para cada fase y operación.
- Puesto que para la planificación y programación solamente se dispone de experiencias anteriores análogas, se suelen producir frecuentes desviaciones de mayor o menor importancia, por lo que la acción correctiva ha de ser inmediata.
- Existe, generalmente, un alto grado de elasticidad en la aplicación de recursos, lo que favorece las actuaciones correctivas.
- Las interrupciones en determinadas fases del proceso pueden incidir en otras fases, e incluso afectar al proceso total en el caso de fases críticas.

Lo expuesto hasta este momento, sobre los tres tipos de producción, continua, intermitente y similar, son procesos típicos o arquetipos con los que se pueden identificar una gran cantidad de los procesos de producción existentes en la realidad en nuestras empresas.

Sin embargo, no todos los procesos de producción han de ser clasificados necesariamente en uno de estos tipos, tienen sus características y los condicionantes específicos de sus sistemas de organización de la producción. Existen determinadas empresas y actividades cuyo sistema de producción puede considerarse como intermedio entre dos de los tipos considerados, acercándose más o menos a uno de ellos.

Se quiere resaltar con esto, una vez más, que no pueden existir modelos rígidos de organización de la producción, en sus diferentes aspectos, planificación y control, aprovisionamiento de materiales, control de costes de fabricación, etc., que puedan aplicarse a diferentes empresas clasificadas por su tamaño, sector o tipo de actividad, sino que cada empresa es un sistema productivo, único y diferente a todas las demás, aun cuando pudieran existir varias o muchas características muy parecidas, por lo que los sistemas de organización adecuados para cada una deberán adaptarse a cada caso particular, adoptando los principios generales y específicos de cada tipo genérico de empresas.



### **1.3. La dirección del sistema de producción.**

Podemos definir la Dirección de Producción/Operaciones como el nivel alcanzado en las actividades directivas vinculadas a la selección, diseño, dirección, control y actualización de los sistemas productivos.

Por selección, diseño, control y actualización de los sistemas productivos entendemos lo siguiente:

- a) **Seleccionar** es una decisión estratégica de elegir el proceso mediante el cual un producto deberá fabricarse o un servicio prestarse.
- b) **Diseñar** son decisiones tácticas implicadas en la creación de métodos para llevar a cabo una operación productiva.
- c) **Dirigir** las decisiones de planificación de los niveles de producción a largo plazo sobre la base de la demanda prevista, y las decisiones a corto plazo en la programación de trabajos y asignación de obreros a los mismos.
- d) **Controlar** los procedimientos implicados en la adopción de medidas correctivas a medida que se crea el producto o servicio.
- e) **Actualización** de las correcciones más importantes introducidas en el sistema productivo, teniendo en cuenta los cambios en la demanda, los objetivos de la organización, la tecnología y la dirección.

Una excelente gestión de productos y servicios es la mejor de las oportunidades con las que se encuentran las empresas. Esta puede llevar a mejorar los beneficios y el flujo de caja, a conservar mejor los clientes y a conseguir otros nuevos, a mejorar la reputación entre los clientes, los empleados y los medios de comunicación; y por último, no por ello menos importante, hará aumentar el valor de la empresa.

**1.3.1. Productividad y competitividad en la dirección de producción/operaciones.**

Cuando se desea valorar una empresa y conocer su situación respecto a las de la competencia, cuando se quiere determinar las ventajas que ha producido la aplicación de las inversiones técnicas, cuando se precisa medir el rendimiento de ciertas instalaciones, etc., es necesario emplear una unidad de medida, la cual denominamos productividad.

Por productividad entendemos aquel índice, relación o cociente entre la producción que se obtiene y la cuantía de los recursos empleados en su consecución (básicamente terreno, máquinas, instalaciones, herramientas, materias primas y mano de obra).

El trabajo que debe realizar el director de producción/operaciones de una empresa con la finalidad de mejorar la productividad y la competitividad de la misma, estaría centrado en cuatro áreas:

- a) Diseño: esta actividad incluye áreas de decisión estratégica como la selección y diseño del producto y del proceso, el diseño de la capacidad, la localización y la distribución en planta.
- b) Planificación: el director de operaciones fija los objetivos del sistema de operaciones y desarrolla programas, políticas y procedimientos que ayuden a que la organización los alcance. Esta actividad incluye la planificación agregada y la programación de operaciones.
- c) Organización: asignación de tareas, estudio de métodos, medición de tiempos y los sistemas de motivación y recompensa.
- d) Control: control de stock, control de calidad, control de mantenimiento, estándares de actuación y líneas de comunicación.

**1.3.2. Desarrollo de una estrategia para la dirección de producción/operaciones.**

En orden a dirigir una empresa, el director general o consejo de administración debe definir, en primer lugar, la razón de la existencia de la misma, es decir, el propósito o misión global de la empresa. Una vez que se ha definido esta misión, cada función dentro de la empresa deberá definir su misión funcional, de tal forma que estas últimas apoyen a la misión global de la empresa.

Teniendo presente esto, la estrategia de la Dirección de Producción/Operaciones deberá ser consistente con:

- a) La estrategia global, es decir, lo que la empresa quiere ser.
- b) Demandas ambientales, bajo condiciones económicas, sociales y tecnológicas está funcionando la empresa, identificando las oportunidades y las amenazas.
- c) Demandas competitivas, teniendo en cuenta los puntos débiles y fuertes de sus competidores.
- d) El ciclo de vida de su producto y proceso, en que etapa del ciclo de vida se encuentran sus productos/mercados y sus proceso/tecnologías.

De tal forma que esta estrategia de la dirección de producción/operaciones incluye:

- 1) Identificar y organizar las actividades dentro de ella: va a organizar las actividades de la dirección de producción/operaciones con relación a las otras funciones y a la misión global de empresa.
- 2) Tomar decisiones tácticas y estratégicas dentro de la dirección de producción/operaciones. Las decisiones estratégicas tienen implicaciones a largo plazo y pueden tardar más de un año en implementarse. En cambio, las decisiones tácticas son aquellas que podemos modificar sustancialmente en menos de un año. Ambos tipos de decisiones deberán apoyar la misión global de la empresa.

Las decisiones estratégicas de la Dirección de Producción/Operaciones son:

- a) Decisiones sobre el producto: son aquellas relacionadas con el diseño de nuevos productos, su lanzamiento, modificación, etc.
- b) Decisiones sobre el proceso: varios posibles procesos pueden ser utilizados en la producción de un bien o en la prestación de un servicio. Las decisiones sobre el proceso van a determinar la tecnología que se va a utilizar y la estructura de costes de la empresa.
- c) Decisiones de localización: las decisiones de localización van a determinar en muchos casos el éxito o fracaso de la organización.
- d) Decisiones de recursos humanos: donde se determina la calidad de vida en el trabajo, las habilidades y talentos necesarios y su coste.
- e) Decisiones sobre proveedores: se determina lo que se va a fabricar y lo que se va a comprar, eligiéndose los proveedores en función de la calidad, innovación, precio, condiciones de entrega, etc.

En cuanto a las decisiones de tipo táctico, podemos incluir:

- a) Decisiones de planificación y programación: donde se planifica y programa la producción y la demanda de recursos necesarios.
- b) Decisiones de inventario: donde se optimiza las cantidades de stock.
- c) Decisiones de calidad: se determina la calidad del producto y las políticas, controles y procedimientos necesarios para alcanzarla.
- d) Decisiones de fiabilidad y mantenimiento: se determina el nivel deseado de fiabilidad y mantenimiento.

En la tabla siguiente ilustramos algunos ejemplos de diferentes tipos de decisiones:

| DECISIONES   |                            | EJEMPLOS DE ALTERNATIVAS  |
|--------------|----------------------------|---|
| ESTRATEGICAS | PRODUCTO                   | Estandarizado o exclusivo   |
|              | PROCESO                    | Tecnología, tamaño de la instalación.   |
|              | LOCALIZACIÓN               | Cerca de los clientes o proveedores.  |
|              | LAYOUT                     | Distribución por producto o por proceso.  |
|              | PROVEEDORES                | Un único proveedor o muchos.  |
|              | RECURSOS HUMANOS           | Trabajos enriquecidos o simplificados.  |
| TACTICAS     | PROGRAMACIÓN               | Indices de producción estables o variables.   |
|              | INVENTARIO                 | Cuándo realizar el pedido, en qué cantidad.   |
|              | CALIDAD                    | Ser líder en calidad o seguidor, definir los estándares de calidad.                   |
|              | FIABILIDAD Y MANTENIMIENTO | Realizar un mantenimiento preventivo o realizar las reparaciones cuando se necesiten. |

#### 1.4. Objetivos de la producción.

Los objetivos de producción constituyen una parte integrada de los objetivos de la empresa, con los que deberán estar debidamente coordinados.

Al estar todas las funciones de la empresa relacionadas entre sí, las actividades y objetivos de producción no deberán examinarse desde el punto de vista de la optimización de la gestión de producción, sino desde el punto de vista de sus relaciones con las restantes funciones de la empresa, con criterios de optimización para el conjunto y en el tiempo.

En determinados casos los resultados óptimos o satisfactorios en producción no van unidos a unos resultados óptimos o satisfactorios en el conjunto de la empresa. En la misma forma los buenos resultados de un ejercicio no siempre constituyen unos resultados satisfactorios al contemplar la evolución de varios ejercicios en el desarrollo a medio o largo plazo, de la empresa.

Los objetivos y políticas generales que han de constituir la base de los objetivos de producción pueden clasificarse en dos grupos:

- **Objetivos a largo plazo**, que configuran las políticas de producción en el largo plazo, y que suelen ser de naturaleza irreversible, por lo que representan un compromiso fundamental.
- **Objetivos a corto plazo**, que por su dimensión temporal más reducida pueden permitir un mayor grado de maniobra.

Los objetivos a corto plazo deben enmarcarse en la tendencia definida por los objetivos a largo, constituyendo por lo tanto etapas a cumplir para alcanzar los

objetivos que configuran la empresa en el largo plazo.

En lo que respecta a producción pueden considerarse como objetivos concretos:

- **Alcanzar los volúmenes de producción previstos**, con la necesaria elasticidad para ajustarse a las variaciones de las necesidades de producción en cada momento, motivadas por fluctuaciones en la demanda.
- **Cumplimiento de los plazos y fechas de entrega**, con la optimización de los mismos mediante el adecuado sistema de programación y control.
- **Obtención de la necesaria calidad y fiabilidad del producto**.
- **Producir a costes mínimos**, mediante la utilización óptima de mano de obra y equipo, gestión y aprovisionamiento de materiales, mejoras de métodos, sistemas y lotes de fabricación, reducción al mínimo de rechazos, recortes y desperdicios, etc.
- **Reducción al mínimo del circulante necesario** en fabricación en curso y stocks.
- **Producir con la inversión mínima necesaria**, en maquinaria y equipos, utillaje, etc., para obtener de esta forma la tasa de retorno más elevada posible.
- **Producir con los adecuados sistemas de seguridad y motivación del personal**.

Los objetivos de producción deberán establecerse en forma operativa, concreta y cuantificable para cada uno de los departamentos o secciones que intervienen en el proceso productivo.

Dadas las circunstancias del cambio constante, tanto del medio en el que la empresa desarrolla sus actividades como de la empresa en sí misma, es necesario que las características de la función producción puedan adaptarse de forma coherente a las nuevas exigencias de los cambios en los entornos exterior e interior.

A modo de resumen podemos concretar que los dos principales objetivos del sistema de producción son:

- La satisfacción del cliente: La dirección de producción tiene como función crear bienes y servicios que satisfagan las necesidades y gustos de los clientes, además de los objetivos de la propia empresa. Se han de procurar bienes o servicios a un precio competitivo y en un margen de espera razonable, tanto en tiempo de espera como en tiempo de servicio.
- La productividad de los recursos: Dados infinitos recursos, cualquier sistema de producción podrá adecuarse al objetivo anterior, aunque esté mal dirigido. Sin embargo la realidad es bien distinta y el objetivo consiste en conseguir un máximo de salidas o 'outpus' con el empleo de un mínimo de entradas o 'inputs'.

$$\text{Maximizar} \Rightarrow \frac{\text{Unidades producidas}}{\text{Unidades utilizadas}}$$

En muchos casos resulta difícil su medición, debido a diversas causas, como el aumento de calidad permaneciendo la cantidad de entradas y salidas constantes.

### 1.5. Factores que influyen en la productividad.

- **La intensidad del capital.**

Una forma de medir la intensidad de capital es en términos de gastos de capital por trabajador, o en términos de Producto Interior Bruto (P.I.B.). Entre los factores que afectan a la disminución o aumento de la intensidad del capital están:

- **La presión fiscal.** En los períodos económicos en los que los impuestos directos son elevados y los niveles de inflación también, se produce una disminución de las tasas de inversión.
- **Inflación.** Un elevado incremento del nivel de precios sostenido en el tiempo produce efectos negativos en las oportunidades de inversión y se puede considerar como un impuesto adicional en la medida que los beneficios de las empresas se encuentran sobrestimados y los costes de los inventarios (stocks, amortizaciones...) son mayores que los de reposición.
- **Crecimiento del sector público.** El tamaño de la inversión estatal en la economía es inversamente proporcional a la tasa de crecimiento económico de un país, ya que se produce un efecto expulsión o desplazamiento de la inversión privada (efecto crowding-out), lo que conlleva una reducción de utilidades y por consiguiente, la disminución de la inversión de capital.
- **Aumento de los costes salariales.** Precios más altos de la mano de obra llevan a las compañías a invertir en capital, en sustitución del trabajo, puesto que les resulta más efectivo en cuanto a costes, pero no eficiente considerando la productividad laboral.
- **Burocratización gubernamental.** Los costes de oportunidad asociados con las demoras en la introducción de nuevos productos, así como el incremento de los costes que supone el cumplir las leyes y reglamentos estatales, difieren en gran medida nuevas inversiones.
- **Envejecimiento de plantas y equipos.** La productividad depende no sólo de las cantidades de capital no amortizadas, sino también de su actualización tecnológica, previniendo de este modo la obsolescencia económica.

- **Inversiones en Investigación y Desarrollo (I+D).**

Una gran parte de las mejoras conseguidas en la productividad son resultado de la innovación tecnológica, basada en la utilización de nuevos métodos de producción, materiales, procesos, maquinaria...

Por lo tanto, invertir en I+D es una fuente de avance tecnológico y por lo tanto de la productividad.

Sin embargo, ello implica asumir unos riesgos por parte de los empresarios, así como altos costes a corto plazo. Esto ha restado bastantes recursos económicos, disminuyendo en la actualidad bastante los procesos de I+D.

- **Cambios en la composición de la fuerza laboral y la economía.**

- ***La fuerza laboral.***

En etapas de crecimiento demográfico alto se suelen producir descensos de la productividad, debido a la incorporación de una nueva mano de obra sin experiencia, aunque tras un cierto paso de tiempo se produce el efecto contrario.

- ***La economía.***

La tendencia en la productividad general del sector privado se refleja tanto en los cambios en la productividad de los sectores componentes como en las modificaciones y desplazamientos en los tamaños relativos de estos sectores.

Por otro lado la productividad en servicios suele crecer más lentamente que la de los bienes, ya que la primera es una relación entre hombre y máquina, y la segunda una relación entre personas, lo que inevitablemente provoca un crecimiento más lento.

Por otro lado, la economía sumergida provoca que las mediciones oficiales de la productividad mantengan niveles inferiores a los reales.

- **Cambios en las actitudes y valores sociales.**

- ***La ética del trabajo.***

Cada vez resulta más importante para los trabajadores tener más tiempo libre y de ocio. Esto, unido a la reducción de la jornada laboral y del tiempo empleado en trabajar (llegar tarde, exceso de tiempo en las comidas, llamadas telefónicas personales, salir temprano, gestiones personales, etc.) es lo que se llama *tiempo robado*. Esta pérdida de tiempo trabajado corresponde muy de cerca de posibles caídas de la productividad.

- ***Abuso de sustancias alucinógenas.***

El consumo de alcohol y otras drogas acarrearán costes muy altos, tales como cuidados médicos, períodos de baja laboral, etc., lo que influye negativamente en la productividad.

## **1.6. Las funciones de la producción.**

El primer problema que se nos plantea es la **determinación de los límites de la función de producción**, saber dónde empiezan y dónde terminan las tareas relacionadas con este concepto.

Otro aparente problema es el derivado, de la «terminología», al no existir una universalmente aceptada. Según cuál sea el tipo de empresa, características de su proceso productivo, estructura y organigrama de la misma, e incluso su tradición, la función de producción abarca distintos ámbitos.

No vamos a plantearnos en este libro esta problemática de límites y terminología, sino que, atendiendo al concepto más general de producción, expuesto anteriormente, como **el conjunto de actividades que constituyen el proceso de transformación** que tiene lugar en la empresa, actividades **que están íntimamente relacionadas, por lo que requieren un sistema de organización coherente**, trataremos de una serie de funciones que, si bien en determinadas empresas pueden no estar incluidas en producción, es evidente su relación e importancia para esta función.

### **- Planificación general:**

- Previsiones de producción.
- Especificaciones del producto.
- Evaluación de costes.

Esta función es básica para proyectar la carga de trabajo futuro en función de los objetivos y programas a corto, medio y largo plazo, determinando las necesidades de mano de obra, máquinas, materiales, circulante, etc., necesarios para cumplir estos objetivos, así como sus plazos de realización.

En esta faceta interviene la Ingeniería de Producción, que es la responsable del producto ó servicio, cualitativa y/ morfológicamente. Para ello debe establecer planos y/o especificaciones, que en unas ocasiones son realizados por el fabricante (según catálogo y gustos del cliente) y en otras son hechas por el cliente (bajo pedido).

Determina la forma en que debe realizarse la fabricación del bien o prestación del servicio (Proceso).

Determina los costes previsibles, que se pueden conocer de antemano si el producto ó servicio es repetitivo o de catálogo o, en caso contrario, hay que fijarlos con la rapidez exigida por el cliente.

### **- Planificación detallada:**

- Planning de producción.
- Determinación de las necesidades de materiales.
- Determinación de las necesidades de mano de obra.
- Determinación de las necesidades de máquinas.
- Programación.

Se trata con esta función de obtener el mejor rendimiento de los medios de producción, evitando tiempos muertos en las máquinas, horas de parada del personal por falta de materiales, equilibrar las secuencias de fabricación, cumplir con los plazos de entrega, etc.



- **Lanzamiento.**

Para que el trabajo se realice como se ha previsto, cuando se ha previsto y donde se ha previsto es necesaria una relación entre toda la actividad coordinadora y planificadora y cada puesto de trabajo en donde se realiza la fase «activa» de la producción. Esta función consiste en proporcionar a cada puesto de trabajo instrucciones concretas sobre la realización del mismo.

- **Ejecución.**

Fabricación, que es la responsable del proceso de elaboración, propiamente dicho, del producto. Se puede definir, de una forma general, como la aplicación racional de diversas tecnologías para llevar a cabo la elaboración de un producto, con un nivel de calidad preestablecido y de la manera más económica, compatible con los medios disponibles.

La actividad de Fabricación lleva consigo un cambio de la estructura, física y química, en el producto, ó un cambio de la conformación de los materiales hasta conseguir una forma geométrica y dimensional determinada, bien sin arranque de material (forja, fundición...), o bien con arranque de material (mecanización).

Cada uno de los trabajos o actividades de la fase activa de la producción se ha de realizar con unos métodos determinados, siguiendo unas secuencias determinadas y en unos tiempos prefijados.

- **Control.**

Durante la ejecución del trabajo será necesario constatar que se realiza en el tiempo y forma previstos, de tal manera que se puedan detectar en el momento que se produzcan las posibles desviaciones, con el fin de tomar las acciones correctas necesarias en el plazo más breve, y, si es necesario, el replanteo de la programación.

- **Control de existencias. Stocks.**

Dada la importancia del coste de los materiales, que en determinados casos llegan a ser el factor más importante en el coste total del producto, una adecuada gestión de materiales, materias primas, productos en transformación, aparatos y elementos terminados, etc., constituye una actividad relevante en producción.

Un correcto control de existencias incide en la producción en dos aspectos:

- Económico, al no tener inmovilizados excesivos con el coste que esto representa.
- Organizativo, al no dificultar el proceso productivo si se conoce siempre la cantidad, lugar y condiciones en que se encuentran todos los materiales necesarios para la fabricación.

- **Control de calidad:**

- Cantidades producidas.
- Determinación de las calidades necesarias.
- Sistema de control.

Es evidente la importancia que tiene el control de calidad, tanto de las primeras materias como de los productos y piezas semielaborados y terminados, para eliminar fases y trabajos improductivos.

Control de Calidad, responsable de prevenir, detectar, analizar y corregir las desviaciones que se produzcan en los planes de Calidad de la producción.

Estas actividades están agrupadas normalmente en tres unidades: Ingeniería de la Calidad, que planifica y administra el sistema de Calidad, define los métodos de control, estudia los costos de Calidad y evalúa los proveedores; Inspección de Calidad, que detecta los fallos de Calidad, identifica las causas y establece las medidas preventivas y correctivas; por último, Auditoría de Calidad, que examina y evalúa las normas y procedimientos que afectan a la Calidad, establece programas de mejora controlando su ejecución y eficacia.

En este línea, la Calidad de un producto se define como el grado en que contiene los requerimientos del consumidor, y, por tanto, su medida viene dada por el grado de satisfacción que produce al usuario.

El nivel de calidad de un producto se fija en las especificaciones que lo definen, y está influenciada por todas las actividades que se realizan a lo largo del proceso productivo, desde el Marketing hasta el servicio posventa, pasando evidentemente por el diseño y la fabricación.

- **Conservación.**

Mantenimiento, cuya misión es mantener operativos y disponibles la maquinaria y medios de producción, es decir, que la probabilidad de producirse una avería en alguno de ellos sea siempre inferior a un valor previamente determinado.

El servicio de mantenimiento debe actuar con carácter anticipativo y preventivo, evitando tiempos de parada no previstos, que alteran el desarrollo normal del ciclo productivo, con el consiguiente incremento del coste añadido.

La automatización de los procesos productivos incrementa la importancia del mantenimiento de los equipos e instalaciones.

Las paradas de las máquinas por averías, así como el inadecuado funcionamiento de máquinas, equipos e instalaciones, repercuten en unas pérdidas de producción que es necesario reducir al mínimo estructurando el necesario sistema de:

- Reparación de averías.
- Mantenimiento preventivo.

- **Métodos y tiempos.**

Para alcanzar los rendimientos necesarios, tanto de las máquinas y equipos como del personal, será necesario que las distintas fases y operaciones que intervienen en el proceso de fabricación se realicen según unos métodos determinados y en unos tiempos también determinados.

Estas funciones que consideramos principales en el concepto general de producción deben organizarse en forma coherente, y en cada caso adaptadas a las necesidades de la empresa en función de las características del proceso productivo y la dimensión de la misma.

### **1.7. Relaciones de la función de producción.**

El sistema de producción aparece como el subsistema central de la empresa, al que se destinan los recursos económicos y de donde salen los productos a colocar en el mercado.

Las relaciones con las funciones principales de la empresa son:

Aprovisionamiento – Producción  
Inversión – Producción  
Producción – Comercialización – Distribución

Esto implica un análisis de las decisiones a la vez que un estudio de las mismas cuyo efecto retroalimentador (feed-back) servirá para mejorar la programación de la producción.

La forma de comprender la naturaleza de estas relaciones es definiendo el sistema logístico, el cual solapa las tradicionales funciones de marketing y de producción coordinándolas de forma que tales subsistemas se dediquen a las funciones que propiamente le corresponden. El sistema logístico coordina funciones tales como:

- Localización y diseño de planta.
- Adquisición de terrenos productivos.
- Distribución física y control de inventarios.

Por lo tanto, la correcta estructuración de las actividades debe efectuarse de la siguiente forma:

- El sistema comercial predice respecto a mercados, productos, precio y comunicación.
- El sistema de producción atiende a la creación de bienes con el mayor valor posible, controlando la calidad.
- El sistema logístico abarca las actividades que tienden a situar el producto en los lugares y tiempos adecuados.

Con respecto al subsistema de financiación – inversión, hay que destacar la importancia básica de las variables financieras en las decisiones de adquisición de tecnología y mantenimiento de niveles de producción. En muchos casos, la financiación actúa como una restricción muy importante acotando la posibilidad de soluciones productivas.

La contribución de la producción a la empresa debe medirse en términos de mejora de calidad, variedad de productos y adaptación inmediata a las exigencias de cada cliente, reducción de los tiempos de introducción de nuevos productos, fabricación y contribución, rapidez de respuesta a los pedidos y servicios post-venta, entre otros.

En resumidas cuentas, la integración de todas las actividades relacionadas con la producción da un enfoque global al proceso productivo, que permite satisfacer mejor las necesidades del mercado.

Si consideramos la empresa como un, sistema que actúa dentro de un entorno, cada una de las diferentes funciones son subsistemas, que pueden descomponerse también en subsistemas más pequeños. En esta concepción de la **empresa como un conjunto de partes relacionadas entre sí, con objetivos que convergen en un objetivo único**, es necesario analizar, con el fin de **estructurarlas en forma coherente, las relaciones de la función de**

**producción con el resto de funciones** de la empresa.

- **Función administrativa.**

Considerando esta función en su sentido amplio, es decir, como responsable de las actividades financiera y fiscal, de la información y control de la empresa, y de los sistemas administrativos.

La gestión de la producción tiene una influencia muy importante sobre las **necesidades financieras** de la empresa, **al derivarse de los planes de producción unas necesidades de recursos que atender**, por lo que una adecuada gestión de la producción limitará estos recursos a los mínimos necesarios.

Es necesario que producción tenga el suficiente **conocimiento** de las **limitaciones financieras**, tanto actuales como previstas, dentro de las cuales ha de desarrollar su actividad.

Los **criterios de rentabilidad** que se hayan establecido en la empresa no solamente han de ser conocidos por producción, sino que en su determinación deben ser tenidas en cuenta sus opiniones para una actuación real y coherente.

Es de la mayor importancia la relación y colaboración de administración y producción para el establecimiento de los criterios de inversiones y amortizaciones.

**Para el conocimiento real de los costes de producción** es necesario el funcionamiento de un sistema lo más sencillo y concreto posible de información sobre la utilización y aplicación de los recursos de **producción**.

- **Función comercial.**

Se presenta con excesiva **frecuencia el problema** de relaciones entre los hombres de comercial y los hombres de producción por la ausencia de una suficiente información mutua, lo que produce incomprensión y **actuación sin coordinación**.

Comercial exige de producción: cumplimiento de los plazos, elasticidad para el cambio de productos. calidad y garantía, cumplimentación de pedidos urgentes excepcionales, fabricación de prototipos, reparaciones urgentes, piezas y elementos de recambio, un stock permanente, costes de producción competitivos, etc.

Por su parte, producción exige: agrupación de pedidos con el fin de obtener series lo más grandes posibles, previsiones concretas con la suficiente antelación, equilibrio de las cargas de trabajo, plazos posibles, previsiones anticipadas en los cambios de características del producto, etc.

Las razones de los responsables de comercial y de producción son, desde las diferentes ópticas, totalmente lógicas.

La **solución a este problema** parte de la consideración de los siguientes puntos:

- Al **evolucionar** la estrategia de la empresa **en función del mercado y de los productos**, será necesario adaptar la estructura a los cambios de estrategia. **El peso específico de comercial y de producción deberá adaptarse a las necesidades de cada situación.**
- Es absolutamente **necesario hacer previsiones y planificar**, aceptando la incertidumbre que conlleva por el comportamiento del entorno de la empresa. **A mayor incertidumbre, más necesidad de hacer previsiones**, colaborando todas las áreas de la empresa afectadas.

- **Colaboración** entre comercial y producción **en una estrategia común.**

- **Función técnica.**

**La concepción y diseño de los productos**, responsabilidad de la función técnica, **está íntimamente relacionada con la función de producción, tecnología de los equipos y de los procesos.**

Todos los aspectos desde el comienzo de la concepción de un nuevo producto, pasando por los prototipos, ensayos, normalización de materiales, piezas, diseño, tolerancias, intercambiabilidad, procesos de fabricación, sistemas de montaje, etc., hasta la componente económica o costes de fabricación, afectan a producción, ya que el producto se va a obtener en cantidades y plazos determinados utilizando los medios disponibles o la adecuación de nuevos medios si ello es necesario.

- **Personal.**

Prácticamente todos los aspectos relacionados con el personal repercuten muy directamente en producción. Todas y cada una de las circunstancias referentes a: disposiciones oficiales, reglamentos, convenios, comité de empresa, comité de seguridad, ingresos y ascensos, formación, régimen de trabajo, flexibilidad de horarios y turnos, valoración de puestos de trabajo, retribuciones, incentivos, etc., inciden de una u otra manera en la organización de la producción.

Será por lo tanto necesario, y en la medida de lo posible, **tener en cuenta en la política de personal de la empresa los factores que inciden en la organización del proceso productivo.**

- **Aprovisionamientos y logística de almacenes.**

En determinados sectores, y según las características y tamaño de la empresa, la función de aprovisionamiento y gestión de almacenes está incluida en la función de producción.

Otra variante en la estructura organizativa de la empresa, dependiendo siempre de las características de cada caso, puede ser el que la gestión de stocks y almacenamiento esté integrada en el área de producción, y las compras dependan de otra área, tal como comercial o financiera.

Sea cual fuere la relación estructural entre producción, almacenes y compras, la coordinación, y sobre todo información mutua y constante, se hace imprescindible.

### **1.8. Índices de productividad.**

El objetivo principal de toda empresa u organización es alcanzar y sostener una adecuada rentabilidad, con el fin de alcanzar sus objetivos y sobrevivir en un ámbito cada vez más competitivo.

Los índices de productividad relacionan:

- Lo que se produce (outputs).
- Lo que se utiliza para producir (inputs).

Estos índices han de identificar los aspectos de la empresa que influyen en la rentabilidad obtenida y que ofrecen una posibilidad de mejora.

Los indicadores han de orientarse a:

- Medir la ejecución.
- Diagnosticar la situación actual.
- Proyectar el pasado hacia el futuro.

Deben informar sobre las repercusiones sobre la rentabilidad que tengan:

- Lo que se produce.
- Lo que se utiliza para producir (recursos).
- Cómo se produce.
- El comportamiento del mercado.

No existen indicadores universales, debido a que cada empresa presenta problemas específicos, influyendo también el momento en que se utilizan. Sin embargo, para elegir el índice que nos sea más útil tendremos que:

- Definir unos ratios claves que marquen el éxito de una empresa.
- Emplear el número menor de indicadores posible (principio de eficiencia).
- Contrastar el valor de la información que aporta el indicador con el costo de obtención y utilización.

Dentro de los tipos de indicadores podemos destacar:

#### **1. La función de producción.**

Indica cómo se realiza el proceso de transformación de entradas en salidas del sistema. Consiste básicamente en un análisis de las relaciones entre los factores y los productos.

Representando la producción en un período de tiempo determinado como  $Q$  y los  $n$  factores empleados como  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , la función de producción se puede expresar de la siguiente forma.

Entre los muchos factores que influyen en la producción podemos nombrar: el capital o disponibilidades financieras, la mano de obra, los bienes de equipo, las materias primas y productos semielaborados, energía, etc.

Existen otros factores que inciden de forma indirecta sobre la producción, como son: depreciación o pérdida de valor de los bienes y servicios con el paso del tiempo, el progreso tecnológico, su utilización, etc.

Los recursos se obtienen de una serie de fuentes como son los directivos, trabajadores, proveedores, etc. Por otro lado los productos hacen referencia a los bienes y servicios obtenidos por el proceso productivo mediante una combinación dada de recursos.



En consecuencia cada empresa tiene una determinada función de producción basada en tres principios básicos.

- La elección y control de entradas.
- El diseño y control del proceso (análisis de su rendimiento y productividad).
- El estudio de la producción obtenida con relación a temas de calidad, utilidad y envejecimiento económico de los productos (obsolescencia).

La función es un elemento matemático abstracto que puede presentar dificultades a la hora de su comprensión, por lo que resulta más útil y fácil de entender el empleo de curvas de producción, las cuales relacionan gráficamente la relación de productos con factores.

Este tipo de curva tiene el inconveniente que sólo se puede utilizar para un factor, es decir, para casos muy sencillos, debido a la imposibilidad de representar en tres dimensiones.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de estos tipos de curva.

En dicha curva observamos que la producción aumenta lentamente al principio, rápidamente después y de nuevo lentamente hasta alcanzar un máximo y comenzar a descender.

Esto es debido a que al aumentar algunos factores en relación con otros causará un incremento de producción, pero a partir de cierto momento, la producción adicional resultante de incrementar unas cantidades iguales de factores será cada vez menor, siendo esta disminución del rendimiento una consecuencia de que las nuevas dosis de los medios de producción tienen cada vez menos medios con los que trabajar.

Esta fase de la evolución en el tiempo se refleja claramente al tratar la curva de productividad marginal.

En cuanto al indicador de la productividad empleado, se expresa como el cociente entre:

$$\frac{\text{Lo que se produce}}{\text{Lo que se emplea para producir}} = \frac{\text{Producción}}{\text{Recursos}} = \frac{\text{Outputs}}{\text{Inputs}}$$

De esta manera, el aumento de la productividad se puede conseguir tanto con un incremento del numerador como con un descenso de denominador.

## **2. La productividad marginal.**

La productividad marginal de un factor de producción se define como la cantidad adicional de producto que puede ser obtenida con el empleo de una unidad adicional de factor, siendo constantes todos los demás factores.

Dicha relación se expresa mediante la siguiente relación analítica:

$$\frac{\text{Incremento de producción}}{\text{Incremento de factor}} = \frac{\Delta Q}{\Delta F}$$

Esta productividad marginal disminuye a medida que se agregan cantidades de factor.

### **3. La productividad promedio.**

La productividad promedio es el cociente entre lo producido y uno de los recursos utilizados

Existen dos leyes económicas que relacionan la producción con la productividad media y marginal.

La **ley de los rendimientos marginales decrecientes** explica que cuando se eleva la cantidad de un factor o recurso, manteniéndose los demás constantes, se alcanzará un punto a partir del cual, con cada unidad adicional de factor, la producción total aumentará a una tasa decreciente. Es decir, el rendimiento decreciente corresponde a una productividad marginal decreciente.

La **ley de las proporciones variables** señala que al mantenerse constante uno o más factores, aumentos proporcionales de todos los demás llevarán a un aumento de la producción cada vez menor.

Estas dos leyes se refieren a los procesos ocurridos a corto plazo, donde todos los factores son fijos.

Sin embargo a largo plazo todos los factores pueden ser variables, introduciéndose aquí el concepto de **rendimientos de escala**, los cuales hacen referencia a variaciones de la producción ante alteraciones proporcionales de todos los factores.

- Si se alteran todos los factores proporcionalmente y la producción varía en la misma proporción, estamos ante **rendimientos de escala constantes**.
- Si se modifican todos los factores proporcionalmente y la producción varía en proporción menor, estamos ante **rendimientos de escala decrecientes**.
- Si al modificar los factores proporcionalmente obtenemos variaciones mayores de la producción estamos ante **rendimientos de escala crecientes**.

En general los rendimientos de escala deberían ser constantes, ya que cuando todos los factores son homogéneos y se alteran proporcionalmente, equivale a una variación en la misma medida de la producción. Sin embargo esto sólo será cierto si las actividades productivas son independientes en el sentido de que la variación de un nivel de un factor no altera la eficacia con que se puede utilizar otro.

A medida que una empresa aumenta el número de actividades relacionadas con la producción, también aumenta la complejidad de la planificación y coordinación de la producción, por lo que las variaciones de la cantidad de factores utilizados podrían afectar a su calidad y disminuir el rendimiento.

Las economías de escala derivadas de la actividad productiva ponen de manifiesto problemas de sobrecapacidad, resueltos con plantas industriales de menor tamaño y mayor flexibilidad para adaptarse a posibles cambios, produciéndose un efecto de



sinergia positiva, entendiéndolo por ello la cooperación entre personas u organizaciones para realizar funciones de forma más efectiva que si se mantuviesen independientes.

#### **4. Relación de las curvas de producto total, productividad media y producto marginal.**

En la siguiente figura se muestran las curvas de productividad marginal y producción total media.

La curva de productividad marginal comienza aumentando al aumentar una unidad más de factor, alcanzando un máximo y empezando después a descender.

Esto ocurre no porque ese último factor introducido sea menos eficiente, sino porque la tasa de producción disminuye por los cambios en las proporciones entre los factores fijos y variables.

Se observa como la productividad media sigue aumentando todavía cierto tiempo cuando la productividad marginal ha comenzado a disminuir, lo cual ocurre por si el último factor incrementa la producción total, la productividad media aumenta aún cuando la marginal sea mayor, menor o igual que la del último factor considerado. Es decir, si la producción marginal del último factor es mayor que la producción media de sus precedentes, la producción media sigue aumentando.

La curva de la producción marginal corta a la de la producción media en su punto máximo, ya que cuando la producción marginal es menor que la media, ésta disminuye.

Como definíamos con la ley de los rendimientos marginales decrecientes, se puede afirmar que, dado un estado de tecnología, el incremento de un factor variable de producción (trabajo, capital, etc.) manteniendo constantes los demás factores, producirá rendimientos marginales crecientes por unidad de incremento de factor variable hasta que se alcance un punto más allá del cual los nuevos incrementos del factor variable producirán rendimientos marginales decrecientes por cada unidad de incremento del factor variable.

Esta relación se representa en las curvas denominadas **isocuantas**, que representan puntos donde se produce la misma cantidad con diferentes cantidades de factores. En la siguiente figura se muestran dichas curvas.

Como se observa en la figura, las curvas isocuantas deben tener una pendiente negativa (decrece de izquierda a derecha) para resultar económicamente interesantes, es decir, se debe dar la sustitución propia de los factores (incrementos de uno deben dar disminuciones del otro, sin que la producción varíe)

Sin embargo las curvas isocuantas, debido a factores tecnológicos, presentan distintas formas distintas a las de pendiente negativa:

##### **- Pendiente (RMST) creciente.**

Esta curva con pendiente positiva significa que la empresa sólo puede optar por los vértices de la curva, si actúa de forma económicamente racional (con el objetivo básico de la maximización del beneficio).

En estos dos puntos extremos estaríamos en procesos de producción eficiente, entendiéndolo que un proceso eficiente es aquél que con una menor cantidad de

factores obtiene una mayor cantidad de producto. Puntos intermedios no lo serían, ya que en los extremos estaríamos utilizando un solo factor.

- **RMST constante.**

En este caso la sustitución de los factores es constante y no influiría el elemento tecnológico, ya que los factores se sustituyen perfectamente entre sí.

- **RMST nula.**

La pendiente nula carece de importancia económica, ya que con ella la empresa carece de toda posibilidad de elección.

- **RMST decreciente.**

Cuando hablamos de pendientes decrecientes, queremos decir que a medida que sustituimos un factor (hombres por máquinas o viceversa) por cada factor adicional, la cantidad de producción que resulta de ello es cada vez menor, ya que es más difícil realizar la sustitución entre factores.

## **5. Productividad bruta o neta.**

El concepto de productividad bruta o neta parte de introducir o no los bienes intermedios dentro de las salidas.

La **productividad bruta** es el cociente entre el valor de los outputs (incluido el valor de todos los recursos) y los inputs.

En la **productividad neta** (también denominada **valor añadido**) no se considera el valor de la materia prima y productos semielaborados de la empresa, dejando en consideración el valor añadido de los recursos a los productos que la empresa agrega para obtener los productos finales. No se trata de una productividad parcial, ya que eliminamos tanto del numerador como del denominador el valor de materias primas y productos semielaborados, relacionando de esta manera parte de los outputs con parte de los inputs.

## **6. Productividad e ingreso.**

La relación productividad – ingreso marginal de un factor es el incremento monetario proporcionado por la venta de una unidad más de producto, y es siempre igual a la productividad marginal física multiplicada por el ingreso marginal.

El empresario, para maximizar sus beneficios, necesita conocer cuál es la proporción correcta de factores de producción que debe utilizar, para lo cual ha de conocer la demanda de factores, la cual es una **demanda dependiente**, que se fundamenta en:

- La demanda del producto para el cual se va a utilizar el factor (por ejemplo, el incremento de la demanda de acero depende en parte de la demanda de automóviles).
- El precio del producto. Al incrementarse el precio del producto, parte de dicho incremento es debido al encarecimiento de los factores que influyen e intervienen en su elaboración.

- El precio relativo del factor. La cantidad de factor demandada puede variar debido al incremento o disminución del precio de los factores sustitutivos (si el precio del aluminio baja y el del acero aumenta, se tenderá a sustituir en los procesos productivos acero por aluminio).

Para determinar el nivel de equilibrio en la utilización de un factor consideramos que el equilibrio en el mercado de productos y factores se alcanza cuando el ingreso marginal es igual al coste marginal; es decir, cuando el incremento del ingreso que supone vender una unidad más se iguala al coste de producir esa unidad.

### **7. Índice global de productividad.**

Este indicador de producción se apoya en comparar la productividad de dos años consecutivos, midiendo la relación de la productividad de un año con la del anterior.

Por lo tanto lo que interesa es el comportamiento a lo largo del tiempo:

- midiendo cómo está variando la productividad,
- determinando posiciones relativas (la productividad de un año es válida, pero no suficiente),
- buscando tendencias.

**1.9. Medición y mejora de la productividad.****1.9.1. Medición.**

La productividad mide la eficiencia de un proceso productivo en términos físicos, basada en aspectos tecnológicos. Para medirla debemos establecer una serie de etapas:

**a) Análisis inicial.**

Elaborando un diagnóstico preliminar sobre la evolución de la empresa y previsiones futuras de actuación, lo que nos ayudará a determinar los objetivos a conseguir.

**b) Estrategia de instalación.**

La implantación eficaz de un sistema de análisis requiere:

- Elección de la estrategia a seguir.
- Estudio de las interrelaciones del sistema productivo y del capital humano.

**c) Interpretación de los indicadores.**

Debemos obtener una serie de índices de productividad con datos históricos y previsionales, tanto de la empresa como de los competidores y del sector en el que está inmersa dicha empresa.

**d) Estudio de la empresa y del mercado.**

El método a seguir establece tres fases:

- Obtención de las variables más significativas en la rentabilidad de la empresa.
- Clasificación según importancia cualitativa de las variables analizadas.
- Estudio individual de los aspectos más importantes, dentro de los cuales se puede destacar en la empresa: productos, objetivos y estrategias, sistemas de información y control, recursos humanos, toma de decisiones, rentabilidad, organización y métodos, costes, promoción y publicidad, financiación, proveedores, tecnología, infraestructuras, sistema de distribución, precios, clientes... mientras que en el entorno destacamos: competidores actuales y potenciales, proveedores actuales y potenciales, compradores actuales y potenciales, I+D, financiación externa, mercado de trabajo, situación política y social, evolución de la economía, situación de la administración pública...

**e) Análisis de la empresa y el mercado.**

A partir de aquí estamos en disposición de realizar una matriz DAFO o análisis de las fuerzas y debilidades de la empresa, y oportunidades y amenazas del entorno.

**f) Identificación de las áreas de mejoras y modificaciones a introducir.**

En esta etapa concretamos los aspectos a modificar y las distintas alternativas existentes para transformar las fuerzas internas de la empresa en mayor rentabilidad, protegiéndonos de los efectos negativos de las amenazas del entorno sobre la rentabilidad.

**g) Concretar planes de acción.**

Las modificaciones introducidas se traducirán en uno o varios planes de acción, los cuales son proyectos para la implantación de las medidas en busca de una mejora de la rentabilidad.

Los planes se confeccionan a partir de propuestas de acción y a partir de ahí, cuidando la programación y la ejecución, de forma que las acciones logren los objetivos previstos.

Los aspectos a tener en cuenta son:

- Relación eficacia/coste.
- Viabilidad.
- Riesgo que el cambio supone.

#### **h) aprobación del plan de acción.**

Es una de las etapas más importantes, ya que la toma de decisiones provoca cambios cualitativos y cuantitativos:

- Las actitudes (comportamientos) y aptitudes (capacidades) personales.
- La estructura de poder.
- Los sistemas de control.
- La evaluación de competencias.

Por otro lado también se generan incertidumbres en la propia eficacia del programa y su posible asimilación.

#### **i) Instalación del plan de acción.**

Adoptada la decisión se ha de proceder a ejecutar las mejoras contenidas en el plan.

#### **j) Control y seguimiento del proceso y evaluación de resultados.**

Por último hay que comparar los resultados obtenidos con los objetivos, y valorar el control cualitativo de las mejoras instaladas

La mejora ha de medirse respecto al tiempo, debiendo considerar las evoluciones futuras tanto de nuestra empresa como del sector, así como la marcha de la economía en general.

### **1.9.2. Mejora de la productividad.**

Algunas formas de mejorar la productividad son:

- Aumentando la producción, manteniendo constante el empleo de factores productivos.
- Aumentando la producción disminuyendo el empleo de factores.
- Aumentando la producción, aumentando en menor medida el empleo de factores.
- Permaneciendo constante la producción, disminuyendo el empleo de factores.
- Disminuyendo la producción pero haciéndolo en mayor medida el empleo de factores.
- Mejorar la calidad de la producción, manteniendo los factores o combinando esta situación con una baja o mejora de la producción.

#### **1. Mejora de la productividad a corto plazo.**

La mejora de la productividad a corto plazo se basa en considerar que las condiciones estructurales (tamaño de la planta, grado de capitalización, nivel de inversión) son constantes, lo cual significa que existen costes fijos.

De esta manera para mejorar la productividad a corto plazo se han de tomar medidas que opten por el aprovechamiento de los recursos disponibles, sin entrar en cambios estructurales.

Algunas de estas medidas podrían ser:

- Estudio de los métodos de trabajo.
- Estudio y reducción de los tiempos de trabajo.
- Mejora de la estructura organizativa.
- Estudio del clima laboral y mejora de la motivación del personal.
- Énfasis en la calidad a todos los niveles.

#### **2. Mejora de la productividad a medio plazo.**

Una de las formas de mejorar a medio plazo viene dada por la **tipificación** de los productos que fabrica y por la **estandarización** o normalización de los procesos y componentes empleados en la fabricación.

**Tipificar** o unificar significa reducir la variedad de tamaños, prestaciones, calidades, etc., lo cual presenta las siguientes ventajas:

- Supone una menor diversidad de productos y simplifica la ordenación de la producción.
- Reduce la variedad, lo que implica series mayores de producción que hacen posible el aprovechamiento de las ventajas de la producción a escala.

**Normalizar** o estandarizar procesos se refiere a todas las actuaciones que se adoptan en el ámbito productivo:

- Reducción de la cantidad de tareas.
- Eliminar operaciones ineficientes o innecesarias.
- Estimular la comunicación y el conocimiento.
- Facilitar el control de actividades.

La estandarización se amplía a los componentes y materiales que forman el proceso productivo, de forma que también se reduce su variedad, permitiendo su adecuado control y su correcta utilización. Todo esto asienta las bases para la implantación de técnicas Just in Time o producción por pedidos y MRP (planificación de las necesidades de materiales).

La utilización conjunta de tipificación y estandarización ofrece las siguientes **ventajas**:

- Reducir costes de producción.
- Utilizar técnicas avanzadas.
- Incrementar la productividad de recursos humanos.
- Disminuir inventarios.
- Potenciar la calidad de los productos.

Sin embargo también existen **inconvenientes** al usar estos métodos:

- Los mercados deben ser poco exigentes ante la restricción que supone mantener poca variedad de productos.
- Las ventajas de la diferenciación de la empresa disminuyen si no nos diferenciamos vía marca, imagen, variedad de productos, pudiendo disminuir nuestras ventajas frente a la competencia.
- Tenemos que ponderar la relación reducción del coste/calidad, de forma que no disminuya esta última.

Otra posibilidad es la **segmentación de mercados**, es decir, considerar a qué estrato del público va dirigido el producto y si es posible utilizar los métodos anteriores para un determinado segmento del mercado, para una línea de productos, etc.

Una forma posible de conseguir este equilibrio se viene siguiendo por muchas empresas y consiste en presentar una amplia gama de productos, donde la variedad está más en el aspecto externo de los productos que en su propio proceso productivo, al mismo tiempo procuramos obtener recursos aplicables a todos los productos.

Como ejemplo podemos citar la industria del automóvil, la cual ofrece una amplia gama de modelos a nivel comercial, pero que desde el punto de vista productivo no presentan tantas diferencias.

Se trata de introducir en el mercado muchas versiones de pocos productos, que surgen como combinaciones de una serie de elementos (carrocerías, cilindradas, colores, acabados, accesorios...).

### **3. Mejora de la productividad a largo plazo.**

La capitalización de una empresa es la relación capital/trabajo, la cual es la raíz del volumen de inversión relativo a las explotaciones de una empresa.

El grado de capitalización mide la proporción relativa en la que estos dos factores se emplean en el proceso productivo.

Cuando la relación capital/trabajo es elevada, se emplean en el proceso una cantidad mayor de factor fijo (maquinaria, instalaciones...) que de factor variable (mano de obra, materiales...). Por lo tanto se trataría de procesos muy mecanizados provistos de equipos muy especializados y automatizados, que requieren personal cualificado.

Sin embargo, cuando esa relación es baja es porque se emplean menos medios técnicos y más factor humano en el desarrollo del proceso productivo, hablando por lo tanto de procesos poco especializados.

Capitalizar la empresa es una medida a largo plazo de aumento de la productividad, ya que no existen factores fijos y se puede modificar la estructura industrial y productiva de la empresa.

Todo esto lleva un amplio período de tiempo en la empresa en la que se introducen modificaciones en la empresa.

Lo ideal es disponer en la empresa de las herramientas más perfectas y eficaces, aunque la modificación estructural a largo plazo presenta ***inconvenientes:***

- Restricciones financieras; ya que son necesarias inversiones monetarias fuertes que a veces la empresa no puede asumir.
- Restricciones laborales; ya que invertir en activos fijos provocará alteraciones en la plantilla en el sentido de su reducción, lo cual ocasiona conflictos.



## **2. Planificación, programación y control.**

### **2.1. Organización de la producción.**

### **2.2. Planificación de la producción.**

#### **2.2.1. Capacidades de producción.**

#### **2.2.2. Cargas de trabajo.**

#### **2.2.3. Métodos de planificación de la producción.**

### **2.3. Programación en la producción.**

#### **2.3.1. Métodos de programación temporal de proyectos.**

### **2.4. Control de la producción.**

## **2. Planificación, programación y control.**

No existe una denominación claramente definida y universalmente admitida sobre los conceptos de planificación, programación, apalancamiento, etc. En la práctica empresarial las funciones que abarcan estos conceptos, el ámbito a las que están referidas, así como su nivel y su amplitud, dependen en cada caso de la estructura y organización de la empresa.

En lo que se refiere a producción puede considerarse como planificación, desde un planteamiento general del proceso productivo, incluyendo a todos los factores que intervienen en el mismo, hasta un planning concreto de cargas y distribución del trabajo para una sección determinada.

En cuanto al factor plazo o tiempo, en unos casos la planificación se refiere a las realizaciones a plazo medio y largo, en relación con las previsiones de ventas y económico-financieras, refiriéndose en otros casos, al hablar de planificación, a los trabajos a realizar a corto plazo o inmediato, teniendo en cuenta la situación de cargas y disponibilidades, en cada momento y en cada centro de trabajo.

Al existir una relación entre la amplitud, el nivel de detalle de la planificación y el mayor o menor plazo de la misma, en lo sucesivo, al referirnos a los conceptos de planificación y programación, lo haremos de acuerdo con los siguientes criterios:

- **Planificación.** Proyección, con la mayor anticipación posible y en función de las previsiones, de las futuras actividades, determinando y coordinando los medios necesarios para su realización.
- **Programación.** Previsión y coordinación de medios disponibles y trabajos a efectuar en cada centro de producción, grupo funcional homogéneo de máquinas o equipos, con el mayor grado de detalle posible, a muy corto plazo, teniendo en cuenta las condiciones de cada momento, con la finalidad de obtener el rendimiento óptimo en cada centro de producción, así como la de cumplir con los plazos y fechas determinados en la planificación previa.

Por lo tanto, la programación es el desarrollo concreto y detallado de las distintas etapas de la planificación, adaptándolas a las disponibilidades existentes, adaptando y cumpliendo las desviaciones que, por su propia naturaleza de amplitud y plazo, pueden producirse en la planificación.

La función de programación tiende a prever y a coordinar los factores de producción con la menor anticipación posible, así como con el máximo detalle, para obtener el rendimiento óptimo de cada centro de producción, al tener disponible, en el momento de su utilización, materiales, herramientas, útiles, planos, etc. necesarios para la ejecución del trabajo.

La programación ha de estar adaptada a la planificación previa, menos concreta en cuanto a la forma, lugar y momento de realizar el trabajo, pero buscando la anticipación máxima para obtener un planteamiento general del proceso productivo, a partir del cual efectuar las acciones necesarias sobre factores relacionados con la función de producción, tales como oficinas técnicas, compras, comercial, etc.

## **2.1. Organización de la producción.**

Organizar es definir las estructuras, agrupar las actividades, determinar las relaciones y establecer los métodos necesarios para alcanzar los objetivos establecidos.

Al considerar los principios clásicos de la organización, los cuales nombramos a continuación:

- Prever,
- Organizar,
- Coordinar,
- Controlar.

Nos encontramos con que el segundo es tan fundamental que puede decirse que engloba a los restantes, ya que contiene todas las normas para cumplir correctamente con los otros principios.

Atendiendo a esta definición nos encontramos con que la organización no tiene sentido si no es para alcanzar unos objetivos, a los que habrá que adaptar las estructuras y los métodos.

La estructura es la ordenación racional de los medios, ya que éstos, ya sean humanos, materiales o económicos, si no están coordinados, relacionados y jerarquizados adecuadamente no proporcionan los resultados que de ellos pueden alcanzarse. Solamente si los medios están distribuidos racionalmente serán los necesarios y suficientes para alcanzar los objetivos previstos, evitando de esta forma la inflación de medios disponibles.

Al ser el método el procedimiento a seguir, partiendo de unas estructuras, para alcanzar unos objetivos determinados, se ve la relación existente entre los métodos y los medios de que se dispone. Unos mismos objetivos se pueden alcanzar disponiendo de diferentes configuraciones de medios, equipos más o menos automatizados, menor o mayor proporción de mano de obra, mayor o menor inversión de capital, etc., por lo que será necesario adaptar los procedimientos a las estructuras y medios existentes.

Para obtener el rendimiento óptimo de los recursos de todo tipo de que disponemos es necesario ordenarlos en forma racional, para lo cual nos habrán de servir como guía de actuación los principios fundamentales de organización.

### **- Fijación de objetivos.**

Cada unidad de la empresa debe contribuir en alguna forma al logro de los objetivos generales, por lo que cada una debe tener unos objetivos parciales concretos para su contribución a la meta común.

- **Especialización.**

Determinando, las actividades necesarias para alcanzar los objetivos, se agruparán estas actividades en unidades de características homogéneas.

- **Unidad de dirección.**

Todas las funciones que tengan un objetivo común deberán ser agrupadas bajo una sola responsabilidad.

- **Unidad de mando.**

Cada persona deberá tener un solo jefe, del que recibirá órdenes, y ante el que será responsable de su actuación.

- **Jerarquización.**

Deberá establecerse de forma concreta las relaciones y dependencias de las personas, así como sus atribuciones y responsabilidades.

- **Equilibrio.**

La importancia de cada actividad deberá ser objetiva y no estar influenciada por circunstancias, como un mayor conocimiento de la especialidad, preferencias, etc.

- **Información.**

Establecer el sistema de información que debe producirse, fuentes de información, tipos de información, niveles de información, emisores y receptores.

En el caso concreto de la producción el éxito de su funcionamiento depende, en una proporción muy importante, de la estructura organizativa de todas las personas y actividades que constituyen la función producción, así como de la situación estructural de esta función en la empresa, y sus relaciones con las restantes funciones.

## **2.2. Planificación de la producción.**

Al planificar un proceso productivo cualquiera será necesario **determinar** en forma concreta:

- **La cantidad que se va a producir.** En determinados casos será necesario añadir al volumen de trabajo derivado de los pedidos existentes una previsión de pedidos futuros o repetidos.
- **Información necesaria en cuanto a calidad, terminación, materiales a emplear,** cte., que pueden determinar las máquinas y equipos necesarios para la realización del trabajo.
- **Equipo y personal necesario,** es decir, los tipos y capacidades de producción necesarios, en cada una de las fases del proceso productivo.
- **Capacidades disponibles y su reparto en el tiempo** de cada uno de los centros o grupos de producción.
- **Proceso de trabajo de cada producto,** de cada uno de sus componentes, y las

operaciones secundarias. En muchos casos es de la mayor utilidad, con el fin de adaptar el proceso de producción a las disponibilidades de máquinas y equipo en cada momento, diferenciar las exigencias técnicas rígidas en cuanto a terminación, tolerancias, mecanización cte., de las que admiten cierta variación, especificando los límites de ésta.

Al efectuar la planificación de un nuevo proceso de producción, integrándolo en la empresa dentro de otros procesos que en ésta se puedan estar realizando, ya que, en consecuencia, ocupan capacidades de los factores de producción, puede darse la circunstancia de que las capacidades disponibles, es decir, las no ocupadas por los procesos de producción en curso, no sean suficientes en algunas de las fases del proceso que se planifica para la carga que éste requiere, en cuyo caso será necesario:

- Reconsiderar la planificación del proceso en cantidades, plazos, etc.
- Reconsiderar la planificación y programación de los procesos en curso.
- Adquirir o subcontratar nueva capacidad productiva.

Las decisiones entre cada una de las distintas opciones corresponden a la dirección, al incidir factores económicos, de oportunidad, comerciales, etc.

La coordinación de la planificación de los distintos procesos productivos, obras o programas de producción constituye el **plan general de producción**, que puede establecerse en dos niveles:

- **A nivel fases principales y plazos generales de los distintos procesos.** Normalmente, en este nivel únicamente se consideran los centros de producción que determinan los plazos. Se establecen las cargas necesarias medias, y ofrece un panorama general del exceso o defecto de capacidad productiva para la realización de las distintas obras o programas de fabricación.
- **A nivel fases secundarias o subfases, que abarca a todos los centros de** cada uno de sus centros y secciones de trabajo. En este nivel se determinan plazos intermedios y se concretan las cargas necesarias, así como los excesos y las ausencias de carga en cada centro de producción.

En general, los distintos sistemas de planificación, que ofrecen variantes en cuanto a documentos utilizados, gráficos, planning, etc., se fundamentan en:

- Los condicionamientos y ordenación de las distintas fases del proceso de producción. Hay fases que para su comienzo es necesaria la terminación de una o más de las otras fases, mientras que otras fases pueden realizarse con independencia de las restantes. Por otra parte, determinadas fases del proceso que requieren una determinada carga pueden realizarse en mayor o menor plazo, en función de los medios que intervengan, habiendo otras cuya carga determina un tiempo sin posibilidad de reducción por aplicación de más medios.
- Sistemas o tarifas de valoración, para la evaluación de las cargas necesarias en cada una de las diferentes fases o subfases del proceso de producción, mediante las que se obtienen las horas-máquina, horas-hombre, etc., necesarias, en función de variables técnicas conocidas.
- Distribución de las cargas, en el tiempo, mediante curvas de carga-tiempo, al ser necesario conocer, además de las cargas necesarias en las distintas fases o subfases del proceso, la distribución de estas cargas en el tiempo para cada sección

o centro de trabajo.

- Capacidades de producción de los distintos centros productivos, con las capacidades totales, las capacidades ocupadas, y, por diferencia, las capacidades libres. El conocimiento de estas capacidades debe estar constantemente actualizado, recogiendo en el cuadro de situaciones las variaciones de las capacidades, tanto totales, por posibles aumentos o disminuciones, de medios, máquinas nuevas, turnos complementarios, disminución de jornadas, máquinas fuera de servicio, etc., como ocupadas, por comienzo o terminación de trabajos. A partir del conocimiento de estos datos se obtienen:
  - Gráficos de situación de cargas en función del tiempo, y, por diferencia a la capacidad de producción, la capacidad disponible.
  - Gráficos lineales de planificación, en los que se representan a escalas determinadas los hechos previstos, y en las que se representarán también, posteriormente, las realizaciones, en forma que se pueda efectuar la constatación en todo momento de la cumplimentación de la planificación mediante la comparación entre la previsión y la realización.

Puesto que la planificación consiste en adecuar las cargas de trabajo que se derivan del proceso de fabricación en cada fase y en cada centro de trabajo a las disponibilidades de capacidades libres en cada uno de estos centros, adaptándose a las cumplimentaciones de los plazos mínimos necesarios, y a las condicionantes de las secuencias determinadas por el proceso, el problema fundamental en las representaciones gráficas es la existencia de tres variables:

- Capacidades de producción.
- Cargas necesarias.
- Tiempo.

La solución adoptada más generalmente en los distintos sistemas prácticos de planificación es representar en un eje del sistema de coordenadas, el tiempo; y en el otro eje los centros o medios de producción, utilizándose diferentes procedimientos para representar las capacidades, cargas, previsiones y realizaciones.

### **2.2.1. Capacidades de producción.**

La **capacidad** de una unidad productiva de trabajo, entendiendo como unidad productiva el centro de trabajo, la sección, el grupo funcional homogéneo de máquinas, la máquina, etc., se define como el volumen de trabajo que puede producir en un tiempo dado.

Será necesario, a efectos de un conocimiento concreto de la capacidad productiva, y para su utilización práctica al planificar y programar la producción, diferenciar los siguientes conceptos de capacidad:

- **Capacidad teórica**, como número de horas de trabajo que se pueden realizar en un determinado período de tiempo. Esta capacidad teórica será función de la jornada de trabajo establecida, y por lo tanto podrá incrementarse en la medida en que sea posible la implantación de más turnos, realización de horas extraordinarias, etc. También quedará determinada en función de una cierta actividad, que denominaremos actividad normal en el caso en que, por las características del trabajo, el rendimiento, tanto de máquinas como de hombres, puede variar existiendo sistemas de motivación o de incentivos.
- **Capacidad práctica**, al ser imposible alcanzar siempre la capacidad teórica por diversas circunstancias, que dependerán de las características de cada empresa y del tipo de producción, siendo en general las más frecuentes: paradas para el entretenimiento o conservación, averías, reparaciones, montaje y desmontaje de dispositivos y útiles, esperas por aprovisionamiento de materiales, etc.

Esta capacidad de producción es siempre menor que la teórica; para determinarla habrán de tenerse en cuenta la serie de factores que hacen disminuir la capacidad teórica. La capacidad práctica de producción será la que deberá utilizarse en la planificación.

Algunos de los factores que hacen la capacidad práctica menor que la teórica son intrínsecos al propio proceso de producción o al funcionamiento adecuado de los equipos, por lo que son inevitables en una dimensión mínima óptima. Otros factores pueden derivarse de la falta de coordinación, por lo que deberán eliminarse.

El grado de utilización productiva de los medios de que dispone la empresa será la relación entre la capacidad práctica y la capacidad teórica.

La capacidad práctica se calculará a partir de la capacidad teórica mediante datos históricos y técnicos registrados y calculados, aplicando a cada unidad de producción el correspondiente coeficiente de reducción. Esta capacidad calculada podrá incrementarse mediante la obtención de rendimientos mayores, tanto en el conjunto de máquinas y equipos como en la mano de obra, por la aplicación racional de acciones organizativas, como pueden ser:

- Estudios de tiempos y mejoras de métodos.
- Incentivos al rendimiento.
- Entretenimiento preventivo.
- Aprovisionamiento de materiales, etc.

Al intervenir en el proceso de producción diferentes talleres, secciones, grupos homogéneos de máquinas, equipos, etc., habrá de tenderse a alcanzar un equilibrio entre las capacidades prácticas de producción de los diferentes centros y puestos de trabajo.

**2.2.2. Cargas de trabajo.**

Puede definirse la **carga** como la asignación de una cantidad de trabajo a un medio de producción. Para la realización de un trabajo determinado se determinarán las cantidades de trabajo, medido en las unidades adecuadas, que cada medio de producción debe realizar. Al ser los medios de producción, máquinas y operarios, las unidades de estos medios, a efectos de asignación de cargas de trabajo, serán puestos de trabajo o grupos homogéneos de puestos de trabajo.

La función previa de asignación de cargas o determinación de las cargas necesarias en cada puesto o grupo de puestos de trabajo de los diferentes centros de producción que intervienen en el proceso de fabricación, y cuya suma es el total de cargas necesarias para la realización del trabajo, no especifica cuándo ni en qué orden debe realizarse el trabajo, correspondiendo estas funciones a planificación o programación, según el nivel de concreción o detalle.

Las unidades a utilizar para la determinación de cargas son finalmente horas-máquina y horas-hombre. Estas unidades se determinarán siempre a partir de las unidades físicas de cada tipo de proceso de producción, número de piezas, toneladas, metros de construcción, mecanización, etc., mediante el estudio del proceso, del que obtendrán las unidades físicas y el conocimiento de las capacidades de producción o rendimientos de los medios de producción en las unidades correspondientes.

En cualquier momento las cargas de trabajo existentes, tanto en el ámbito de empresa en su conjunto como para cada uno de los puestos de trabajo de los diferentes centros de producción, pueden clasificarse de la forma siguiente:

- Carga derivada de trabajos comenzados, que pueden subdividirse en:
  - En ejecución normal.
  - Retrasados.
- Carga derivada de trabajos programados, y que todavía no han sido comenzados:
  - Programados, para su lanzamiento en el momento correspondiente.
  - Bloqueados, los que estando programados y preparados para lanzar no ha sido posible comenzarlos por determinadas circunstancias.

Por otra parte habrá que tener en cuenta las cargas correspondientes a trabajos aún no programados, en los que todavía no han sido determinadas las unidades de cargas asignadas a cada medio de producción, ni el momento de comienzo del trabajo.

Para la adecuada coordinación de los distintos factores que intervienen en todo proceso será necesario conocer, en forma cuantitativa, las situaciones de las cargas respecto a la capacidad de producción disponible.

La contabilización de las cargas se efectuará de acuerdo con el sistema adoptado para determinar las capacidades, es decir, según la determinación de grupos funcionales homogéneos de producción establecida. En cada caso particular se efectuará la clasificación de las máquinas, medios y equipos que intervienen en el proceso productivo, en forma tal que sea suficientemente eficaz en cuanto a las necesidades de planificación y coordinación.

El sistema práctico operativo, y grado de detalle del control de capacidades y cargas, dependerá de las necesidades de cada empresa, dependiendo del tipo de actividad y volumen de producción. Las distintas variantes generalmente utilizadas pueden resumirse en dos:

Sistema de fichas. Para cada grupo funcional homogéneo se establecerá una ficha, en la que constarán las cargas programadas para cada período, obteniéndose por acumulación la carga programada total. En estas fichas se registrará la terminación de cada trabajo, disponiéndose así del conocimiento, en cada momento, de la situación de cargas, en cuanto a: disponible, programada para lanzamiento, bloqueada, etc.

Sistema de planning. Variante dinámica del anterior, representando cada línea un grupo funcional homogéneo, abarcando la longitud de ésta el plazo total de previsión. Con diferentes colores se representarán para cada período la situación de las cargas, programada, bloqueada, disponible, etc., modificándose en cada momento en función de las realizadas.

Cualquiera de estos dos sistemas, descritos en sus grandes líneas, pueden adoptar diversas formas y grados de detalle en su aplicación, así como la utilización conjunta de fichas y planning, que reúne las ventajas de conservar registrada la información y la movilidad y visión rápida de la situación.

### **2.2.3. Métodos de planificación de la producción.**

La programación de la producción pretende seleccionar un programa que asigne correctamente los recursos disponibles a los procesos productivos más convenientes, y obtener un volumen de producción que haga factible los objetivos planteados.

Para ello existen una serie de modelos que por su operatividad y fácil tratamiento en ordenador permiten resolver con cierta sencillez los problemas de planificación y control de la producción.

En todo proceso de optimización el objetivo es conseguir el valor máximo o mínimo de una función. En el subsistema de producción se pueden establecer de las siguientes maneras:

- Minimizar la función de coste.
- Maximizar el volumen de producción para unos recursos limitados.
- Determinar el volumen de producción que maximiza el beneficio.

Según el análisis matemático, en un punto en el cual la función alcanza un máximo o un mínimo (punto de inflexión) la primera derivada de dicha función ha de anularse. Para comprobar si ese punto es un máximo o un mínimo se ha de recurrir a la segunda derivada de la función. Si ésta es negativa estaremos hablando de un punto máximo, mientras que si es positiva hablaremos de un mínimo.

La función de ingresos (I) de la empresa viene dada por:

$$I = P \cdot Q = \text{Precio} \cdot \text{Cantidad}$$

mientras que los costes totales son función de la cantidad producida:

$$C_t = C(Q)$$

El beneficio será la diferencia entre ingresos y costes:

$$B = I - C_t = P \cdot Q - C(Q)$$

donde el beneficio máximo se alcanzará para aquella cantidad Q que anule la primera derivada de la función:

$$\frac{\partial B}{\partial Q} = P - C'(Q) = 0$$



lo cual se produce cuando el ingreso marginal es igual al coste marginal, punto en el cual además se cumple que la segunda derivada es negativa, luego se trata de un máximo de la función beneficio.

Sin embargo se ha de tener en cuenta que en el ámbito empresarial el problema de la optimización se encuentra siempre sometido a restricciones que no permiten el desarrollo simple de la decisión. Es decir, la empresa ha de lograr un óptimo que cumpla con todas y cada una de las restricciones impuestas por el entorno socioeconómico al cual se encuentran sometidas todas sus decisiones.

De esta manera la empresa está ante un problema de **óptimos condicionados**, campo dentro del cual existen diferentes técnicas de optimización, entre las cuales destacan:

- **Multiplicadores de Lagrange.**

La principal función del multiplicador es optimizar las variables en la que se incluyen las restricciones junto a la función objetivo (maximizar/minimizar), donde habrá de determinarse el máximo de una función  $f$  de  $n$  variables, sometida a un número de restricciones  $m$ .

De esta manera habrá que buscar los valores que maximicen la función objetivo  $Y$ :

$$\text{Maximo } Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

cumpliendo las restricciones:

$$r_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1$$

$$r_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_2$$

$$r_3(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_3$$

...

$$r_m(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_m$$

Sin embargo, al introducir una variable adicional  $h$  por cada ecuación de restricción, tendremos la siguiente función combinada:

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n; h_1, h_2, \dots, h_m) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) - \sum [h_i(x_1, x_2, \dots, x_n) - c_i]$$

De aquí se obtendrá un óptimo al calcular las condiciones de primer orden:

$$\frac{\partial L}{\partial x_g} = 0 \quad (g = 1, 2, 3, \dots, n)$$

$$\frac{\partial L}{\partial h_i} = 0 \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m)$$

Los valores tomados para las distintas  $h$  tienen una importancia económica, ya que muestran el efecto marginal de la función objetivo al presentarse un cambio en las  $c_i$  en cada unidad.

La limitación de este método es que las restricciones se presentan en forma de igualdades, lo cual es una premisa poco operativa en la economía, ya que lo habitual es que las restricciones en la realidad se presenten en forma de desigualdades, condiciones a las que han de amoldarse la mayoría de las decisiones empresariales.

Así, por ejemplo, se puede analizar que para minimizar los costes de producción no es necesario utilizar toda la capacidad productiva disponible.

- **Método lineal de programación de la producción.**

La forma más general de solucionar problemas de optimización condicionada es a través de modelos de programación matemática, dentro de los cuales está la programación lineal.

Con las relaciones lineales se entiende que cuando se incrementa el volumen de producción, se aumentan linealmente los ingresos, costes y beneficios.

Se asume, por tanto, que la función de producción es homogénea y que los rendimientos de escala son constantes. También se asume que la función de costes totales es lineal y los precios de los factores son constantes.

La programación lineal parte de tres supuestos básicos:

- Las oportunidades de la unidad económica se definen por los recursos y procesos productivos disponibles. Las cantidades de los recursos y procesos son finitas.
- El consumo de factores y la obtención de productos es proporcional al nivel de empleo del proceso.
- Es posible la combinación de varios procesos de producción mediante el adecuado suministro de factores.

- **Método del Simplex.**

En el momento en el que las dimensiones de un problema alcanzan unos valores considerables, es decir, con un número alto de variables y restricciones, se han de emplear técnicas algebraicas que den solución a los problemas de programación lineal, empleando el método 'simplex', ya que, como es obvio, sería demasiado complicado resolver ese tipo de problemas por el método tradicional.

En este tipo de problemas partimos de una función objetivo  $Z$  que se pretende maximizar o minimizar:

$$Z = \sum c_j \cdot x_j \begin{cases} c_j \rightarrow \text{rendimiento del elemento } j \\ x_j \rightarrow \text{nivel o volumen del elemento } j \text{ (valor a determinar)} \end{cases}$$

A esta función se le imponen una serie de restricciones de varios tipos: técnicas, humanas/laborales, financieras, etc. Dichas restricciones se pueden mostrar como igualdades (=) o desigualdades ( $\geq$ ,  $\leq$ ).

$$\begin{aligned} a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + \dots + a_{1n} \cdot x_n &\leq A_1 \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{212} \cdot x_2 + \dots + a_{2n} \cdot x_n &\geq A_2 \\ &\dots\dots\dots \\ a_{n1} \cdot x_1 + a_{n2} \cdot x_2 + \dots + a_{nn} \cdot x_n &= A_n \end{aligned}$$

Una restricción obligatoria es que las variables  $x_i$  no pueden ser negativas ( $x_i \geq 0$ ).

Estas restricciones nos forman mediante los coeficientes  $a_{ij}$  la denominada **matriz tecnológica**:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

De esta matriz se obtienen los **vectores procesos**  $P_j$ , los cuales indican el conjunto de aspectos que afectan a cada una de las variables a determinar. Existen  $n$  vectores proceso (al existir  $n$  productos,  $n$  posibles inversiones...).

$$P_j = \begin{pmatrix} a_{1j} \\ a_{2j} \\ \dots \\ a_{nj} \end{pmatrix} \rightarrow j = 1, 2, \dots, n$$

El **vector de existencias**  $P_0$  viene dado por los términos independientes de las restricciones.

$$P_0 = \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_n \end{pmatrix}$$

El primer paso para resolver el algoritmo del simplex es convertir las desigualdades en igualdades. Para ello, a cada restricción definida por una desigualdad se le introduce una **variable de holgura**  $X_i^H$  que se colocará sumando si hablamos de una desigualdad tipo menor o igual ( $\leq$ ) o restando si hablamos de una desigualdad mayor o igual ( $\geq$ ). De este modo cada restricción recibirá su variable de holgura, excepto aquellas restricciones que vengan definidas por una igualdad.

Estas nuevas variables hacen que la función quede de la siguiente manera:

$$Z = \sum (c_j \cdot x_j) + \sum 0 \cdot x_i^H$$

Es decir, los rendimientos directos o coeficientes de las variables de holgura introducidas se consideran nulos, salvo indicación contraria.

El conjunto de variables de holgura introducidos conforma los denominados vectores proceso de holgura  $P_i^H$ :

$$P_1^H = \begin{pmatrix} x_1^H \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix} \dots P_2^H = \begin{pmatrix} 0 \\ x_2^H \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix} \rightarrow P_n^H = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ x_n^H \end{pmatrix}$$

A partir de estos datos se forma el denominado programa base (o primera tabla del simplex).

Los procesos que entran a formar parte del programa base serán aquellos cuyos vectores sean unitarios y canónicos respecto de la dimensión del espacio vectorial considerado.

Los procesos de holgura son vectores unitarios, pero no necesariamente canónicos, ya que puede haber holguras negativas (cuando la restricción sea mayor o igual).

$$P_1^H = \begin{pmatrix} \pm 1 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix} \dots P_2^H = \begin{pmatrix} 0 \\ \pm 1 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix} \rightarrow P_n^H = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ \pm 1 \end{pmatrix}$$

Las restricciones a las que corresponda introducir la holgura restando (ruptura de la canonicidad) se han de modificar introduciendo una *variable artificial*  $X_i^A$  de funcionalidad meramente matemática, y el coeficiente o rendimiento directo que se le asigna a esa variable artificial es M (un valor muy elevado), positivo si la función objetivo es de minimización y negativo si la función objetivo es de maximización.

A continuación mostramos un ejemplo de la introducción de estas variables de holgura y artificiales.

$$\begin{aligned} a_{21} \cdot x_1 + a_{212} \cdot x_2 + \dots + a_{2n} \cdot x_n &\geq A_2 \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{212} \cdot x_2 + \dots + a_{2n} \cdot x_n - x_2^H &= A_2 \\ a_{n1} \cdot x_1 + a_{n2} \cdot x_2 + \dots + a_{nn} \cdot x_n - x_2^H + x_2^A &= A_n \end{aligned}$$

Cada variable artificial genera su propio vector proceso artificial. En este caso dicho vector sería:

$$P_2^H = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix}$$

En el caso de restricciones expresadas mediante igualdades se introducen variables artificiales en las condiciones anteriormente señaladas, para conseguir una base de vectores unitarios y canónicos.

Para continuar con el desarrollo del método nos basaremos en el siguiente problema ejemplo:

*Una empresa fabrica 3 tipos de productos (X1, X2, X3), en cuyos procesos productivos intervienen 3 secciones: estampado, torneado y montaje (T1, T2, T3). Los tiempos (expresados en horas) utilizados por cada unidad de producto en cada uno de los talleres son:*

|   | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 1 |   |   |   |
| 2 |   |   |   |
| 3 |   |   |   |

La disponibilidad máxima en horas al mes de cada taller es:

- T1, estampado = 230 h.
- T2, torneado = 200 h.
- T3, montaje = 280 h.

Sabiendo que los beneficios unitarios de los productos son, respectivamente, 8, 9 y 13, se desea conocer el programa de fabricación de la empresa que permita maximizar el beneficio.

Del enunciado del problema obtenemos que la función beneficio a maximizar Z viene dada por:

$$Z = 8 \cdot x_1 + 9 \cdot x_2 + 13 \cdot x_3$$

Sometida a las siguientes restricciones temporales:

$$2 \cdot x_1 + 2 \cdot x_2 + 4 \cdot x_3 \leq 230$$

$$2 \cdot x_1 + 6 \cdot x_3 \leq 200$$

$$4 \cdot x_1 + x_2 \leq 280$$

Además de estar sometido a las restricciones de no negatividad ya consabidas ( $x_1, x_2, x_3 \geq 0$ ).

Como las restricciones temporales son desigualdades (menor o igual que), habrá que introducir las correspondientes variables de holgura.

$$2 \cdot x_1 + 2 \cdot x_2 + 4 \cdot x_3 + x_1^H \leq 230$$

$$2 \cdot x_1 + 6 \cdot x_3 + x_2^H \leq 200$$

$$4 \cdot x_1 + x_2 + x_3^H \leq 280$$

De estas restricciones obtenemos los vectores correspondientes:

- Vectores proceso.

$$P1 = \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \\ 4 \end{pmatrix} \quad P2 = \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad P3 = \begin{pmatrix} 4 \\ 6 \\ 0 \end{pmatrix}$$

- Vectores proceso de holgura.

$$P_1^H = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad P_2^H = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad P_3^H = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

- Vector de existencias.

$$P_0 = \begin{pmatrix} 230 \\ 200 \\ 280 \end{pmatrix}$$

A partir de aquí formamos la primera tabla del simplex, que tendrá tantas columna como vectores proceso.

El cuerpo central tendrá tantas filas como restricciones presente el problema (sin incluir las de no negatividad) y se completa la tabla con las casillas como se ve en la siguiente figura.

En la parte central van por lo tanto los coeficientes de la matriz tecnológica (vectores proceso).

En la zona izquierda se sitúa inicialmente la base unitaria y canónica, formada en este caso por los vectores proceso de holgura, colocándose en la columna adyacente los rendimientos unitarios de esas variables de holgura.

En la zona derecha se sitúa el vector de existencias del proceso.

En la primera fila se sitúan los vectores procesos y en la columna inmediatamente por debajo se colocan los rendimientos directos ( $C_j$ ) asociados a la cantidad  $X_j$  correspondiente (los costes directos de las variables de holgura son nulos mientras no se indique lo contrario).

En la parte baja de la tabla se sitúan los rendimientos indirectos  $Z_j$ , los cuales son el resultado del producto escalar del vector proceso correspondiente por el rendimiento directo de los vectores situados en la base izquierda. Bajo esta fila se sitúa la de los rendimientos marginales  $W_j$ , la cual es la diferencia entre los rendimientos directos e indirectos de cada columna.

|         | $P_1$                               | $P_2$                               | $P_3$                               | $P_1^H$                             | $P_2^H$                             | $P_3^H$                             |       |
|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------|
| $C_j$   | 8                                   | 9                                   | 13                                  | 0                                   | 0                                   | 0                                   | $P_0$ |
| $P_1^H$ | 0                                   | 2                                   | 2                                   | 4                                   | 1                                   | 0                                   | 230   |
| $P_2^H$ | 0                                   | 2                                   | 0                                   | 6                                   | 0                                   | 1                                   | 200   |
| $P_3^H$ | 0                                   | 4                                   | 1                                   | 0                                   | 0                                   | 1                                   | 280   |
| $Z_j$   | $2 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 4 \cdot 0$ | $2 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 1 \cdot 0$ | $4 \cdot 0 + 6 \cdot 0 + 0 \cdot 0$ | $1 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0$ | $0 \cdot 0 + 1 \cdot 0 + 0 \cdot 0$ | $0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 1 \cdot 0$ |       |
| $W_j$   | 8                                   | 9                                   | 13                                  | 0                                   | 0                                   | 0                                   |       |

Se observa como los vectores base de la izquierda son unitarios y canónicos. Además, los rendimientos marginales ( $W_j$ ) de los procesos base siempre serán nulos.

Con esta primera tabla no hemos alcanzado el programa óptimo, ya que éste se obtiene, al estar hablando de un proceso de maximización, cuando los rendimientos marginales son nulos o negativos.

Para continuar desarrollando el problema, un proceso ha de salir de la base para dar entrada a otro en la misma. Este cambio en la base se produce de la siguiente manera:

Proceso que entra:

- el de rendimiento marginal más positivo (al estar tratando un problema de maximización), siendo  $P_3$  en el ejemplo tratado.
- si hay más de un proceso con igual valor del rendimiento marginal, elegiremos de forma aleatoria uno de ellos.

Proceso que sale:

- sale el proceso al que corresponda el menor cociente de dividir los componentes del vector existencias entre los coeficientes del proceso entrante. En nuestro ejemplo:

$$\begin{cases} 230/4 = 57,5 \\ 200/6 = 33,33 \Rightarrow \text{sale } P_2^H \\ 280/0 = \infty \end{cases}$$

Para completar la siguiente tabla en el desarrollo del problema se han de tener en cuenta los siguientes consideraciones del cambio de base:

- **Pivote:** coeficiente situado en la intersección del vector que entra en la base con el vector que sale de la misma (en la tabla anterior a la que se pretende rellenar. Dicho coeficiente en nuestro ejemplo es igual a 1).
- **Semipivotes:** resto de coeficientes situados por encima y por debajo del pivote (4 y 0 en nuestro caso).

Los valores a situar en la fila entrante son sus homólogos de la tabla anterior divididos por el pivote.

En cuanto a los valores a situar en las filas que permanecen, son los correspondientes en la tabla anterior menos el producto del semipivote por el homólogo de la fila entrante en la tabla actual.

Se han de seguir cumpliendo que los vectores que formen parte de la base sean unitarios y canónicos y que sus rendimientos marginales sean nulos.

A continuación mostramos la segunda tabla siguiendo estas consideraciones.

|         |    | $P_1$                 | $P_2$             | $P_3$             | $P_1^H$           | $P_2^H$                | $P_3^H$           |                             |
|---------|----|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------|-------------------|-----------------------------|
|         |    | 8                     | 9                 | 13                | 0                 | 0                      | 0                 |                             |
| $P_1^H$ | 0  | $2-4 \cdot 2/6 = 4/6$ | $2-4 \cdot 1 = 2$ | $4-4 \cdot 1 = 0$ | $1-4 \cdot 0 = 1$ | $0-4 \cdot 1/6 = -4/6$ | $0-4 \cdot 0 = 0$ | $230-4 \cdot 200/6 = 580/6$ |
| $P_3$   | 13 | $2/6$                 | 0                 | 1                 | 0                 | $1/6$                  | 0                 | $200/6$                     |
| $P_3^H$ | 0  | $4-0 \cdot 2/6 = 4$   | $1-0 \cdot 0 = 1$ | $0-0 \cdot 1 = 0$ | $0-0 \cdot 0 = 0$ | $0-0 \cdot 1/6 = 0$    | $1-0 \cdot 0 = 1$ | $280-0 \cdot 200/6 = 280$   |
|         |    | $26/6$                | 0                 | 13                | 0                 | $13/6$                 | 0                 |                             |
|         |    | $22/6$                | 9                 | 0                 | 0                 | $-13/6$                | 0                 |                             |

De nuevo no hemos alcanzado la solución óptima, ya que existen rendimientos marginales negativos.

Hemos de realizar un cambio en la base, entrando en este caso  $P_2$ , al tener el mayor rendimiento marginal.

En cuanto al proceso que sale:

$$\begin{cases} (580/6)/2 = 48,3 \Rightarrow \text{sale } P_1^H \\ (200/6)/0 = \infty \\ 280/1 = 280 \end{cases}$$

A continuación se crea las siguientes tablas siguiendo el método descrito, hasta que alcancemos la solución óptima.

|         | $P_1$ | $P_2$ | $P_3$ | $P_1^H$ | $P_2^H$ | $P_3^H$ |   |
|---------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|---|
|         | 8     | 9     | 13    | 0       | 0       | 0       |   |
| $P_2$   | 9     | 2/6   | 1     | 0       | 1/2     | -2/6    | 0 |
| $P_3$   | 13    | 2/6   | 0     | 1       | 0       | 1/6     | 0 |
| $P_3^H$ | 0     | 22/6  | 0     | 0       | -1/2    | 2/6     | 1 |
|         | 22/3  | 9     | 13    | 9/2     | -5/6    | 0       |   |
|         | 2/3   | 0     | 0     | -9/2    | 5/6     | 0       |   |

Hemos de realizar un cambio en la base, entrando en este caso  $P_2^H$ , al tener el mayor rendimiento marginal.

En cuanto al proceso que sale:

$$\begin{cases} (290/6)/(-2/6) \leq 0 \\ (200/6)/(1/6) = 200 \Rightarrow \text{sale } P_3 \\ (2780/12)/(2/6) = 695 \end{cases}$$

|         | $P_1$ | $P_2$ | $P_3$ | $P_1^H$ | $P_2^H$ | $P_3^H$ |   |
|---------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|---|
|         | 8     | 9     | 13    | 0       | 0       | 0       |   |
| $P_2$   | 9     | 1     | 1     | 2       | 1/2     | 0       | 0 |
| $P_2^H$ | 0     | 2     | 0     | 6       | 0       | 1       | 0 |
| $P_3^H$ | 0     | 3     | 0     | -3      | -1/2    | 0       | 1 |
|         | 9     | 9     | 18    | 9/2     | 0       | 0       |   |
|         | -1    | 0     | -5    | -9/2    | 0       | 0       |   |

Con esta distribución hemos llegado a la solución óptima, al ser todos los rendimientos marginales negativos o nulos. Además se verifica que los vectores proceso de la base son canónicos y unitarios y sus rendimientos marginales son nulos.

$$X_1=0, X_2=115, X_3=0, X_1^H=0, X_2^H=200, X_3^H=165$$



Interpretación de los resultados:

- El programa óptimo de la empresa viene dado por la base existente en esta última tabla, por lo tanto será aquél que sólo produzca el producto X2 a un nivel de 115 unidades físicas.
- En el taller de torneado quedarán inactivas 200 horas.
- En el taller de montaje quedan inactivas 165 horas (se utilizan 115).
- Los rendimientos marginales de las holguras que no se encuentran en el programa óptimo, cambiados de signo, expresan lo que estamos dispuestos a pagar como máximo por disponer de una unidad más de factor restringido. De esta forma estaríamos dispuestos a pagar 9/2 unidades monetarias por una hora más de estampado (si la hora costara menos la compraríamos, si fuera superior no).
- No existen horas inactivas en el taller de torneado.

En el caso de que hubiéramos hablado de un problema de minimización, tendríamos en cuenta lo siguiente:

- El óptimo se alcanzará cuando todos los rendimientos marginales sean nulos o positivos.
- En cada cambio de base entra el proceso que presente el rendimiento marginal más negativo.
- En cuanto al proceso que sale se emplea el mismo proceso que en el caso de maximización.
- El proceso del cambio de base es igual que el descrito en el caso anterior.

Para terminar con el método del simplex se proponen los siguientes problemas para su resolución:

♦ **Problema 1.**

*En una determinada empresa se fabrican dos tipos de productos (P1, P2) cuyos componentes se consiguen utilizando dos talleres (T1, T2). La capacidad mensual de T1 es tal que podría fabricar como máximo 50 componentes de P1 si sólo se dedicara a ello o 150 componentes de P2 en caso opuesto.*

*En cuanto al taller T2, podría producir cada mes 50 componentes de P1 si sólo se dedicara a él, o 50 componentes de P2 en caso contrario.*

*Los precios y costes unitarios de los productos permiten unos beneficios unitarios de 12 u.m. para P1 y 10 u.m. para P2.*

*Plantear el programa, obtener la solución óptima e interpretar los resultados (los talleres pueden dedicarse a los dos productos a la vez).*

♦ **Problema 2.**

*Un especulador en bolsa decide invertir, durante un año, 2.000.000 de u.m., pretendiendo obtener la máxima rentabilidad.*

*Después de un detallado estudio de los diferentes valores cotizados, cree conveniente dividirlos en tres tipos, en función de su rentabilidad anual y su índice de riesgo:*

- valores especulativos.
- títulos de Estado.
- títulos normales.

*En el supuesto de seguir la economía el desarrollo de los últimos meses, no apareciendo causa atípica alguna que influya en los dividendos bursátiles, el citado especulador estima que los rendimientos netos de las inversiones, en cada uno de los valores anteriores, por año, son, respectivamente, del 12%, 5% y 6% sobre la cantidad invertida.*

*Por otra parte, estima que no debe invertir más del 20% de su disponibilidad inicial en valores especulativos, al objeto de no correr un excesivo riesgo. Además, por interés en percibir, como mínimo, una renta segura, decide que la inversión en bonos debe ser superior al 40% de su disponibilidad inicial.*

*A la vista de la información anterior, se desea calcular el porcentaje a adquirir de cada tipo de valor, con objeto de maximizar el rendimiento de la cartera de valores en el año de referencia. Calcúlese, asimismo, el importe de dicho beneficio.*

### **2.3. Programación en la producción.**

La **función de programación** es la coordinación de medios a corto plazo, teniendo en cuenta la situación y posibilidades de cada momento, utilizando datos concretos y actuales, y adaptándose a las modificaciones que, en función de las realizaciones, han de hacerse en las previsiones efectuadas en la planificación previa.

La programación de la producción consiste en asignar las órdenes de fabricación o las operaciones en que se descomponen a centros de trabajo (máquinas) concretos en fechas determinadas, es decir, el programa es una asignación más un calendario. La programación es la última de las fases de preparación de las actividades productivas, después de la planificación y del cálculo de las necesidades de materiales.

La planificación general, al utilizar condiciones medias previsibles, capacidades, cargas y plazos medios, y al pretender alcanzar objetivos de conjunto, deberá efectuarse en forma centralizada al abarcar a los diferentes talleres, secciones o centros de trabajo que intervienen en el proceso de producción.

No existe ninguna razón funcional, sin embargo, para que la programación se realice de forma centralizada, ya que al ser más inmediata a la fase de realización del trabajo, y al tener en cuenta las condiciones en cada momento de cada máquina y puesto de trabajo, se puede realizar independientemente para cada taller, sección o centro de trabajo.

- **La programación centralizada** tiene las ventajas de un posible menor costo, mayores posibilidades de relación y adaptación a la planificación general, así como unidad de criterio en los sistemas y en las acciones.
- **La programación descentralizada** tiene un mayor contacto con la ejecución del trabajo, conocimiento de las circunstancias reales de cada momento y de los equipos y procesos de producción, así como una posible mayor integración de los mandos de producción en el sistema.

Estos criterios de centralización y descentralización han de considerarse como generales, pero no de aplicación, necesaria en todos los casos, sino que habrá que adaptar cada caso particular a sus circunstancias específicas, teniendo en cuenta en todo caso la necesidad de una unidad de criterio en el establecimiento de las funciones.

El proceso de programación sigue los siguientes pasos:

- Arranca de las órdenes de fabricación, cada una de ellas planificada de terminación.
- Las órdenes de fabricación se desglosan en operaciones específicas a las cuales se le asignan tiempos, es decir, se determina el periodo de comienzo y de terminación de cada una de ellas, cargándolas a centros de trabajo concretos, en función de la relación carga / capacidad que tengan. Esta relación, en sistemas productivos intermitentes, es compleja de calcular y para evitar, posteriormente, retrasos no deseados se suele usar como valor máximo alrededor de 0.75, aunque se pueden utilizar valores menores si el coste de almacenamiento es alto.
- Se determinan las necesidades agregadas (horas extras, turnos) de mano de obra, tiempo de máquina, etc. a nivel de operaciones en centros de trabajos, y se comparan con las capacidades existentes. En función de esta comparación y de criterios de prioridad que se establezcan, se toman decisiones en relación a

movimientos de plantilla, horas extras, subcontrataciones, etc., así como a cambios de asignación de órdenes modificando el centro ó el periodo de ejecución.

- Se procede a la secuencia de lanzamiento en cada centro de trabajo.
- Se desarrolla el programa detallado.

Para la coordinación de las cargas y su asignación a cada puesto de trabajo será necesario conocer no solamente la carga total en un puesto de trabajo determinado, sino también el momento en que el trabajo debe realizarse. Esta coordinación y asignación de cargas en los diferentes puestos de trabajo, contando con la realidad de cada momento, exige frecuentemente modificaciones y actualizaciones en la programación, por lo que éstas deberán realizarse mediante sistemas y representaciones claras y de fácil interpretación, que faciliten la actualización de la situación de avance del proceso de producción.

La mayor parte de los sistemas de representación, así como de planning, están basados en el sistema gráfico de Gantt, fundamentalmente práctico en numerosas aplicaciones. Este sistema se fundamenta en que la producción prevista y realizada se representa en el mismo espacio y relacionándola con el tiempo, por lo que permite obtener información en cada momento sobre:

- Previsiones de cargas, por período, para cada máquina o puesto de trabajo.
- Previsiones de cargas acumuladas, al final de cada período.
- Trabajos terminados en cada momento y realizaciones en cada período.
- Relaciones entre previsiones, realizaciones y tiempos invertidos.

Existe una gran variedad de gráficos, tableros o planning utilizados para la programación, debiéndose utilizar en cada caso los de mayor simplicidad posible, dentro de las necesidades de eficacia, para conocer:

- Utilización de las máquinas. Porcentaje de utilización y causas de inactividad.
- Rendimiento de la mano de obra.

Control de realizaciones. Tareas asignadas a cada puesto de trabajo, tiempo asignado e invertido.

Control de cargas. Índice de saturación de cargas de cada puesto de trabajo. Capacidades disponibles.

Gráfico de proceso. Indicando para cada programa de fabricación las diferentes fases y operaciones, previsiones y realizaciones.

Para adaptar el sistema al cumplimiento de los **objetivos** básicos:

- Coordinar los medios productivos para conseguir realizar las previsiones.
- Realizar las acciones correctoras con el fin de adaptarse a las circunstancias y variaciones que en cada momento se produzcan.

Abarcando el sistema organizativo todas las fases de la producción, desde la recepción de las primeras materias hasta el montaje de los productos acabados, se han de realizar las funciones siguientes:

- Determinación de las necesidades y plazos de fabricación de productos acabados, semiacabados, cargas necesarias y materiales para la cumplimentación de las previsiones.
- Distribución en el tiempo de las necesidades.
- Distribución y lanzamiento, en el momento necesario, de las órdenes de

- fabricación, pedidos a compras y vales de materiales y herramientas.
- Actualización continua de las previsiones de existencias.
- Recogida de la documentación lanzada, comprobando las realizaciones, y tomando las medidas correctoras necesarias para adaptar la situación a las necesidades de cada momento.
- Recopilación de la información, órdenes de fabricación y pedidos cumplimentados, con el fin de actualizar los procesos de fabricación.

El sistema constituye, por lo tanto, un ciclo cerrado y constantemente realimentado, en el que se parte de las previsiones, determinando las necesidades en el tiempo y seleccionando en cada momento las órdenes correspondientes para el proceso productivo, y controlándose las realizaciones como información de entrada en el sistema, para su contraste con la programación, con el fin de actualizar las previsiones y necesidades y volver a emitir las órdenes necesarias.

### **2.3.1. Métodos de programación temporal de proyectos.**

La actividad productiva se caracteriza por la realización de una serie de tareas concatenadas y que han de cumplir necesariamente unas condiciones de prioridad de unas sobre otras, las cuales vienen impuestas por exigencias tecnológicas.

Por lo tanto parece fuera de discusión el hecho de que todo proyecto debe ser objeto de un proceso previo de programación antes de abordar su ejecución. La necesidad de conocer a priori el calendario de trabajos y, en consecuencia, las fechas más probables en las que se espera tengan lugar los diferentes sucesos del proceso, ha hecho que desde siempre se haya intentado establecer planes de producción que cumplieran ese calendario, que es siempre el objeto final de todo proceso planificador.

Básicamente un sistema de programación debe servir para:

- Permitir una visión conjunta del desarrollo a lo largo del tiempo de los diferentes campos de actividad de un mismo proyecto y así hacer visible la relación entre ellos, permitiendo su control.
- Señalar los puntos críticos que ponen en peligro el alcance de la meta perseguida, por ejemplo un plazo previamente fijado, y así poder tomar las pertinentes medidas para encontrar la solución.
- Posibilitar y valorar las alternativas de la planificación, informar de las faltas de seguridad en algunas partes del trabajo y establecer su influencia en el conjunto del proyecto.

Algunas de las técnicas más empleadas para dicha programación lineal son:

- **Gráfico de Gantt.**

Esta técnica consiste básicamente en representar gráficamente las tareas a realizar en el eje de ordenadas o eje de abscisas y el tiempo previsto para la realización de dichas tareas en el eje de coordenadas o eje básicas.

Mediante el sistema de sombreado se puede conocer el estado de ejecución del proyecto y las actividades que marchan por encima o por debajo del tiempo previsto, sirviendo dicho gráfico como un elemento de control de las distintas actividades.

Este método se denomina también diagrama de barras, expresando gráficamente las fechas de inicio y terminación de las distintas partes del proyecto en que, de un modo más o menos detallado, se ha decidido dividir éste.

Este método deja muchas cosas en el tintero, como pueden ser las dependencias entre tareas, la repercusión del retraso de una tarea dada sobre el resto del plan, no es posible modificarlo para introducir tareas nuevas, la duración del proyecto es un dato de entrada y no un resultado de él, además de otros inconvenientes.

Sin embargo es un sistema muy fácil de entender y que puede servir de apoyo para la visualización de otros métodos.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de este tipo de representación gráfica de proyectos, mostrando diversas actividades de una obra en función del tiempo.

De esta forma, se puede considerar que estos gráficos son muy sencillos y, por lo tanto, presentan inconvenientes cuando se trata de representar proyectos muy complejos donde las tareas están interrelacionadas. En estos casos dichos gráficos son sustituidos por otros métodos basados en la teoría de grafos o de mallas.

- **Método PERT (Program Evaluation and Review Technique – Evaluación, Medición y Revisión Técnica de un Programa).**

Este método pretende poner de manifiesto las interrelaciones existentes entre las diferentes tareas que componen un programa, mostrando de esta forma las limitaciones de orden temporal que surgen de las mismas.

Es un método prácticamente semejante al conocido como CPM (Critical Path Method), basándose ambos en el camino crítico y persiguiendo las mismas metas. Sin embargo se puede trazar una división entre la utilización del PERT y el CPM, ya que el primero se presta más a planes de desarrollo y a proyectos a largo plazo (tales como por ejemplo la ejecución de un cohete en instalaciones militares) mientras que el CPM parece adecuarse más al sector industrial (de la construcción, por ejemplo).

Al igual que derivaciones posteriores de este método, son sistemas que utilizan una representación gráfica característica en forma de malla, método que hace visible la interrelación de diversos procesos de trabajo al tiempo que permite la observación de cada uno de ellos. A continuación describiremos mejor estos sistemas de mallas o teoría de grafos.

- **Teoría de Grafos.**

El método PERT se basa en la **teoría de Grafos** o de mallas, los cuales son figuras geométricas formada por una serie de puntos o nodos (vértices) y por un cierto número de segmentos o flechas (aristas) que unen dichos puntos.

Los métodos basados en la técnica de mallas tienen como objetivo hacer desaparecer los inconvenientes de los diagramas de barras. Esto se hace a través de las medidas siguientes:

- Se separa la realización gráfica del desarrollo del proyecto de la representación de los tiempos requeridos para cada proceso parcial, ya que la base del orden de sucesión de la producción está fijada por la tecnología y en cambio la determinación de tiempos está sujeta a modificaciones.

- Se posibilita un perfecto solape de las fases del proceso, haciendo que aparezcan visiblemente los diferentes procesos y sus interrelaciones mediante una representación en forma de malla.
- Mediante nuevos sistemas de cálculo se averiguan valores más representativos de la marcha del proceso y que pueden proporcionar al planificador datos importantes para una racionalización del desarrollo del proceso.

Estos métodos de grafos son empleados en los procesos como medios auxiliares para:

- Controlar el proceso con relación al cumplimiento de un plazo prefijado.
- Averiguar los plazos de inicio y terminación de cada uno de los itinerarios de trabajo y procesos parciales que sean importantes para la ejecución del proyecto.
- Averiguar los nuevos plazos de inicio y terminación del proceso en caso de la existencia de perturbaciones.
- Obtener y valorar planes alternativos.
- Planificar los medios disponibles o disponibilidades.
- Disminuir los costes.
- Conocer los estrangulamientos y puntos críticos que pueden retrasar la continuación del proyecto.
- Planificar de forma externa, coordinando todas las partes participantes en el proceso, así como para especificar las responsabilidades en caso de haber fallos o sobrepasarse los plazos.

Dentro de la teoría de grafos existen una serie de conceptos utilizados con frecuencia, entre los que destacan:

- **Arco:** es una arista orientada entre dos vértices.
- **Bucle:** es un arco cuyo origen y extremidad se confunden.
- **Cadena:** es una sucesión de aristas adyacentes entre las cuales no se considera orientación.
- **Camino:** es una sucesión de arcos adyacentes que permite ir de un vértice a otro.
- **Circuito:** es un camino cuyo vértice inicial coincide con el final.
- **Grafo conexo:** es aquél en el que entre todo par de vértices existe por lo menos una cadena.
- **Grafo fuertemente conexo:** es aquel en el que entre todo par de vértices existe por lo menos un camino.

De esta forma, dentro de una malla, las flechas representan procesos de un proyecto relacionados con el tiempo, y son conocidas como actividades. Estas actividades transcurren a lo largo del tiempo entre dos eventos, que aparecen en la malla como nodos. Dichos nodos representan estadios o momentos de la realización del proyecto general, como por ejemplo la terminación de un proceso. Éstos en sí mismos no tienen ninguna extensión temporal (duración), sino que dividen el desarrollo total en instantes en los cuales debe empezar o terminar una actividad (puede darse el caso que los significados de flechas y nodos se cambien, pero el concepto es el mismo).

En la siguiente figura se muestra el ejemplo anterior de diagrama de barras convertido en malla.

Se puede ver que en una malla como ésta sí aparecen todas las interdependencias que no se podían reconocer en el diagrama de barras. Se ve, por ejemplo, que los procesos C y F han de estar terminados antes de que pueda comenzar la actividad D. Esto se observa a través de la actividad ficticia S (flecha de trazos). Tales actividades ficticias no traen consigo ningún consumo de tiempo o dinero. Sirven únicamente para representar el desarrollo lógico dentro del proyecto.

Para la realización de una malla que represente un proyecto o un proceso productivo han de seguirse una serie de **reglas**:

- La colocación de dos flechas, una a continuación de otra, separando un nodo, indica que el proceso A debe estar concluido para que de comienzo el proceso B.
- La disposición de las flechas según la figura siguiente indica que el proceso A debe estar concluido para que puedan iniciarse las actividades B y C.
- La disposición de las flechas según la siguiente figura indica que los procesos A y B deben estar concluidos antes de empezar con la actividad C.
- La longitud y la dirección de los vectores que representan las actividades son a voluntad, sin tener relación alguna la longitud de la flecha con el tiempo del proceso.
- La figura siguiente expresa que el proceso C sólo puede dar comienzo al terminar los A y B, pero que D depende tan sólo de B. Para ello se ha empleado un proceso ficticio S (trazos) que representa esta relación.
- Se debe evitar la conexión de dos nodos iguales mediante dos o más vectores, tal como se ve en la siguiente figura. Las dependencias recíprocas deben ser representadas mediante la introducción de actividades ficticias.
- Una actividad no debe conducir a un evento que es previo al comienzo del proceso.
- Si el comienzo de una actividad no depende de la culminación de un proceso complejo, sino que tan sólo depende de una parte del mismo, hay que descomponer ese proceso complejo de forma racional según criterios tecnológicos.
- Normalmente los proyectos han de tener un nodo de inicio y uno de terminación.
- Los proyectos pueden representarse con diferente grado de sintetización. Las mallas superiores o principales están entonces formadas por vectores o flechas que comprenden varias actividades unitarias. Estas actividades unitarias deben ser en el caso más general redes cerradas en sí mismas.

De esta forma, al investigar cada una de las actividades que forman un proceso, para poder representar su malla correctamente se han de formular las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las actividades inmediatamente precedentes a ésta?.
- ¿Qué actividades pueden desarrollarse simultáneamente con ésta?.
- ¿Qué actividades vienen absolutamente condicionadas por la terminación de ésta?.



Como conclusión de este apartado de la teoría de grafos se puede decir que la primera operación a realizar dentro de un plan PERT es la representación gráfica del desarrollo del proceso mediante una malla de flechas, la cual viene a materializar las dependencias lógicas y de tiempo entre las distintas actividades.

El método PERT utiliza grafos conexos sin circuitos y denomina sucesos, acontecimientos o etapas a los vértices, y actividades u operaciones a los arcos.

El primer paso para la realización del problema es representar gráficamente el proceso mediante una malla.

Cada actividad tiene asignada una letra mayúscula o dos números indicativos de los sucesos origen y final de dicha actividad.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Suceso origen } (i) \\ \text{Suceso final } (j) \end{array} \right\} \text{Actividad } A(ij)$$

Los nodos o vértices reciben una numeración, la cual se realiza de forma sucesiva, de manera que nunca se pueda numerar un vértice si no están numerados las correspondientes actividades que confluyen en ese vértice.

Sin embargo, si entre dos sucesos existe más de una actividad, surgen **sucesos o actividades ficticias** que no tienen un significado real y cuya duración es nula, como ya habíamos comentado, y cuya misión es forzar que dos nodos o sucesos consecutivos no estén unidos por más de una flecha o actividad. Se colocarán tantas actividades ficticias (arcos que se representarán mediante trazos) como sean necesarias, pero no más.

Para realizar la malla comentada es de gran ayuda realizar una tabla de precedencias, en las cuales se reflejan las actividades, así como las anteriores y posteriores a las mismas.

Las actividades que no presentan ninguna anterior se denominan iniciales, mientras que las actividades que no presentan otras posteriores se denominan actividades terminales.

La duración total de un proyecto dependerá del tiempo parcial  $t_{ij}$  de cada una de las actividades (ij) que componen dicho proyecto. Los instantes en que se producen los eventos i y j se definen por  $t_i$  y  $t_j$  respectivamente.

Para desarrollar el método PERT es necesario conocer una serie de definiciones como son:

- **Tiempo early o fecha más temprana (más optimista)**: es el tiempo más corto posible en el que se puede llegar a verificar un suceso ( $E_i$ ). Se calcula comprobando todos los caminos posibles existentes para llegar al nudo desde el comienzo del proceso (flechas que entran) y eligiendo la ruta más larga de ellas (la que tenga una suma de tiempos de sus actividades mayor). El tiempo early del suceso inicial se supone cero.
- **Tiempo last o fecha más tardía (más pesimista)**: es el tiempo más largo en el que se puede llegar a verificar un suceso ( $L_i$ ). Se procede a su cálculo partiendo de derecha a izquierda, mirando los arcos que salen del nodo. Se toman los recorridos de arcos invertidos que llegan al nudo y se toma el menor valor de la sumatoria de tiempos de las actividades de esos arcos. Es decir, se

calculan sumando la duración de las actividades siguiendo el camino más largo que conduce desde el evento que queremos calcular al nodo final (meta), y restando este valor del de duración total. Se cuenta, por decirlo así, desde atrás. Para el nodo final suponemos el tiempo last igual al tiempo early, es decir, se igualan los tiempos más optimistas y más pesimistas de dicho evento final.

- **Camino crítico:** es aquél en el cual uniendo un suceso inicial y final se supera en duración temporal a los restantes caminos. Está formado por actividades críticas, las cuales son determinadas por los nudos en los que los tiempos last y early coinciden (nudos críticos). Es decir, está formado por actividades que no se pueden retrasar, ya que las desviaciones que se produzcan sobre los datos de entrada actuarán de lleno sobre los procesos siguientes.

Pueden existir varios caminos críticos paralelos. Las actividades del camino crítico determinan formalmente la duración global del proyecto y son las que hay que vigilar con mucho cuidado durante la realización de la obra. Los caminos críticos se marcan en la malla representativa del proceso con doble línea.

El camino crítico muestra al organismo encargado de la planificación externa los mecanismos sobre los cuales él puede y debe actuar para conseguir modificar el plazo de terminación. El organismo planificador controla el desarrollo de la obra a la vista de los plazos calculados. En los procesos críticos es imprescindible que se observen dichos plazos. De ser posible debería ejercerse presión con la amenaza de sanciones contractuales. Desde el momento en que no se cumpla el plazo de una actividad crítica hay que realizar una corrección de la red y de los tiempos de las actividades posteriores.

De esta forma, el comienzo más optimista para la actividad (i,j) se da en el momento  $E_i$ , mientras que como muy tarde debe haber finalizado en el momento  $L_j$ , pues de lo contrario sufriría un retraso el plazo final previsto.

La duración máxima de un proyecto viene determinada por el tiempo last del nudo final menos el tiempo early del nudo inicial.

La forma de calcular el camino crítico de un suceso es determinar los tiempos last y early de dicho suceso.

¿Qué significa el hecho de que para una determinada actividad difieran los tiempos más optimistas y más pesimistas de comienzo y terminación?. Esto viene a reflejar que entre los eventos que determinan la actividad existe un determinado cojín de tiempo, es decir, tiempo en el que podemos aplazar el inicio de la actividad.

De esta forma, para realizar un análisis completo temporal del proyecto sería conveniente conocer cuáles son los retrasos en el comienzo de cada actividad que pueden ser tolerados. Para ello se realiza el análisis de **márgenes u holguras** de las actividades, los cuales nos dan indicaciones sobre las reservas de tiempo, a partir de los siguientes conceptos:

- **Margen u holgura libre:** es el retraso se puede sufrir al comienzo de una actividad (ij) sin peligro de retrasar la fecha más baja o tiempo early de realización del suceso (j):  $H_L = E_j - E_i - t_{ij}$ .

- **Margen u holgura total:** es el retraso máximo que puede sufrir el comienzo de una actividad (ij):  $H_T = L_j - E_i - t_{ij}$ . La holgura total de las actividades o tareas críticas es igual a cero.
- **Margen de indiferencia u holgura independiente:** es el retraso que puede sufrir el inicio de una actividad (ij) sin peligro de retrasar la fecha más baja o tiempo early del suceso (j) cuando el suceso (i) se ha realizado en su fecha más alta o tiempo last =  $E_j - L_i - t_{ji}$ . Es decir, alcanzada una actividad en la situación más extrema, se quiere iniciar la siguiente en las condiciones de mayor holgura posible de tiempo.

En definitiva, el sistema PERT ordena las actividades en función de las que se necesitan terminar con antelación y calcula la duración total del proyecto e identifica las tareas más cruciales con el análisis del camino crítico.

Hay que hacer notar que las estimaciones de los tiempos están íntimamente ligada a la cantidad de mano de obra y maquinaria de la que se disponga. La distribución de estos factores productivos es objeto de una planificación interna. En una planificación interna el concepto de huelgo difiere un poco del anterior, puesto que no se puede tener a un grupo de los operarios parados esperando a que termine una actividad para empezar ellos otra, sería ilógico. Luego, partiendo de la base de que todas las disponibilidades están aprovechadas, los huelgos significarán únicamente posibilidades de elección, o sea, un proceso X no debe encargarse a un determinado grupo Z dentro de un plazo fijo Y para no poner en peligro el desarrollo general. Es mejor que el grupo Z disponga de un margen de tiempo entre el plazo más pesimista y el más optimista para empezar el proceso X; de este modo no se altera la actuación conjunta de todos los procesos.

***El cálculo de probabilidades en el PERT.***

El PERT, diferenciándose del CPM, introduce mediante el cálculo de probabilidades criterios que indican dónde la planificación es relativamente segura y en qué lugares es especialmente incierta. Permite emitir un juicio sobre la seguridad del plazo de terminación previsto para un determinado proyecto.

Así, el tiempo de duración de una actividad,  $t_{ij}$ , se puede calcular en base a tres estimaciones de la duración de ese proceso unitario:

- tiempo más probable (m).
- tiempo favorable o más corto de la actividad (a).
- tiempo desfavorable o más largo de la actividad (b).

De estos tres valores se determina el tiempo  $t_{ij}$ , también conocido como tiempo medio esperado,  $t_e$ , el cual sirve, como vimos anteriormente, de base a los cálculos posteriores.

Además, para cada actividad se determina la varianza  $\sigma_{te}^2$ , la cual es una medida asociada de incertidumbre para cada tiempo esperado.

En la siguiente gráfica se muestra la distribución beta, usada como base para el cálculo del PERT.

Las fórmulas son las siguientes:

$$t_e = \frac{1}{6} \cdot (a + 4 \cdot m + b)$$
$$\sigma_{te}^2 = \left( \frac{b - a}{6} \right)^2$$

Al mismo tiempo se calculan las varianzas correspondientes a los tiempos early y last para cada estado  $\sigma_{Ei}^2$  y  $\sigma_{Li}^2$  a base de sumar las varianzas  $\sigma_{te}^2$  a lo largo de los caminos correspondientes.

Para las holguras también se calculan unos valores probabilísticos P en los que intervienen las varianzas de los valores Ei y Li. Los valores así obtenidos nos dan la probabilidad de que un evento determinado tenga o no holgura. Los valores de P oscilan entre 0 y 0,5. Para  $P=0,5$  la probabilidad de que haya holgura es mínima, mientras que para  $P=0$  es máxima.

***El coste en el PERT.***

La duración de una actividad también es susceptible de variación en función del coste que la empresa esté dispuesta a asumir. La empresa habrá de evaluar el coste correspondiente a cada fecha y determinar si económicamente interesa entregar en determinado momento.

El comportamiento racional del empresario será reducir el tiempo en aquellas cuestiones cuyo coste sea menor.

La duración normal de un proyecto (D) puede reducirse a una duración mínima (d) con un incremento del coste normal (Cn) hasta el coste máximo (Cm). A partir de un determinado momento no existirá posibilidad de reducir el tiempo por condicionantes de tipo tecnológicos aunque se incremente el coste, como se observa en el siguiente gráfico.

De esta forma se tendría para cada actividad que compone el proyecto una relación duración-coste.

Sin embargo, nos resultará más fácil en vez de operar con la curva anterior AB actuar con el segmento AB. Se puede determinar para cada actividad un coeficiente (aij) indicativo del incremento de coste por unidad de tiempo reducida:

$$a = \frac{C_m - C_n}{D - d} \quad (\text{coste de aceleración})$$

Dentro del proyecto convendrá reducir el tiempo en aquella actividad que perteneciendo al camino crítico tenga un coste unitario de reducción temporal 'a' menor.

En el siguiente gráfico se puede apreciar la zona de posible variación de los costes al disminuir la duración, la cual está comprendida entre OAB. Sin embargo, lo más importante es la curva OA, que es la relación de coste mínimo del proyecto para cada unidad de tiempo.

De esta manera debemos minimizar los costes totales del proyecto y establecer un programa lineal: Min. E (Cmij - aij tij).

Cuando se traza la curva OA, no podemos decir que represente los costes totales óptimos, sino tan sólo los mejores costes directos. Junto a ello se tienen los costes de estructura o indirectos, no ligados a la producción, sino al tiempo, que serán imputables al proyecto considerado, en mayor cuantía cuanto mayor sea la duración de éste. Al contrario de lo que ocurre con los costes directos, éstos crecen con el tiempo.

Existen métodos más evolucionados que el PERT y el CPM, como el RAMPS, el cual conjuga la distribución de disponibilidades desde varios puntos de vista - minimización de la duración del proyecto, maximización del número de procesos que pueden realizarse simultáneamente, etc. - con una planificación múltiple, o sea, en la que no se estudie una parte aislada del proyecto, sino el mismo en su totalidad.

A continuación se mostrará un problema **ejemplo** para la aplicación del método PERT.

*Un proceso productivo tiene las 11 actividades siguientes: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J y K, cuyas duraciones respectivas, en días, son: 10, 3, 10, 5, 11, 2, 6, 11, 8, 4 y 2.*

*Entre las citadas actividades existen determinadas relaciones de precedencia y consecuencia, tal como se describe a continuación:*

- Las actividades A, B y C pueden comenzar a la vez una vez concluida la fase de elaboración del proyecto.
- La actividad D se iniciará cuando se hayan culminado las actividades B y J.
- Sólo cuando se termine la actividad A se podrán iniciar las actividades J y H.
- La actividad I se podrá comenzar cuando se acabe la H.
- Una vez cumplida la actividad C se dará comienzo a la F.
- Para comenzar la actividad K hay que terminar, previamente, las actividades E, F y G.
- Las actividades G e I se iniciarán una vez terminada la actividad D.
- La actividad G comenzará al terminarse la actividad H.

*Con estos datos se pide:*

- Dibujar el grafo del PERT.
- Cálculo de las holguras totales de cada actividad.
- Indicar el camino crítico.

Para dibujar el gráfico del proceso, nos basaremos en la tabla de precedencias, que creamos en base a las restricciones comentadas en el enunciado.

|                    |     |     |   |     |     |   |     |     |     |     |       |
|--------------------|-----|-----|---|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-------|
| <b>Anteriores</b>  | -   | -   | - | B,J | B,J | C | D,H | A   | D,H | A   | E,F,G |
| <b>Actividad</b>   | A   | B   | C | D   | E   | F | G   | H   | I   | J   | K     |
| <b>Posteriores</b> | J,H | D,E | F | G,I | K   | K | K   | I,G | -   | D,E | -     |

En base a esta tabla dibujamos el proceso según mostramos en la siguiente figura.

Del gráfico anterior obtenemos las siguientes tablas de actividades y sucesos.

| <b>Suceso</b> | <b>Tiempo early (Ei)</b> | <b>Tiempo last (Li)</b> |
|---------------|--------------------------|-------------------------|
| 1*            | 0                        | 0                       |
| 2*            | 10                       | 10                      |
| 3             | 14                       | 16                      |
| 4             | 10                       | 25                      |
| 5*            | 21                       | 21                      |
| 6*            | 27                       | 27                      |
| 7*            | 29                       | 29                      |

Los sucesos marcados con un asterisco son los críticos, en los que el tiempo early coincide con el tiempo last.

| Actividad | Suceso inicial | Suceso final | Duración | Holgura total |
|-----------|----------------|--------------|----------|---------------|
| A*        | 1              | 2            | 10       | $10-0-10=0$   |
| B         | 1              | 3            | 3        | $16-0-3=13$   |
| C         | 1              | 4            | 10       | $25-0-10=15$  |
| D         | 3              | 5            | 5        | $21-14-5=2$   |
| E         | 3              | 6            | 11       | $27-14-11=2$  |
| F         | 4              | 6            | 2        | $27-10-2=15$  |
| G*        | 5              | 6            | 6        | $27-21-6=0$   |
| H*        | 2              | 5            | 11       | $21-10-11=0$  |
| I*        | 5              | 7            | 8        | $29-21-8=0$   |
| J         | 2              | 3            | 4        | $16-10-4=2$   |
| K*        | 6              | 7            | 2        | $29-27-2=0$   |

Las actividades marcadas con un asterisco tienen la holgura total nula, por lo tanto son actividades críticas, enlazan sucesos críticos y forman los caminos críticos del proceso.

Como se observa, existen dos caminos críticos:

- A, H, I.
- A, H, G, K.

A continuación se proponen para su resolución por parte del lector una serie de problemas.

♦ **Problema 1.**

*Un proyecto tiene las actividades siguientes: A, B, C, D, E, F, G, H, I y J, cuyas duraciones respectivas, en días, son: 10, 15, 20, 12, 10, 10, 15, 20 y 10.*

*Las relaciones de precedencia son:*

- *Una vez terminada la actividad A se podrán iniciar las actividades D y E.*
- *Sólo cuando se culminen las actividades B, C, D y E podrá iniciarse la actividad H.*
- *Cuando se termine la actividad D se comenzarán las actividades F, G y H.*
- *La actividad G exige para ser comenzada que estén acabadas las actividades B y E.*
- *Una vez terminada la actividad B se podrá iniciar la actividad F, pero nunca antes.*
- *La actividad I se realizará cuando haya culminado la actividad F.*

*Con estos datos se pide:*

- *Dibujar el grafo del PERT.*
- *Cálculo de las holguras totales, libres e independientes.*
- *Indicar el camino crítico.*

## **2.4. Control de la producción.**

La finalidad del **control de la producción** es conocer en cada momento la situación en que se encuentra el proceso, productivo. El conocimiento de la realidad en cada momento permitirá emprender acciones para corregir, lo más rápidamente que sea posible, las desviaciones que hayan podido producirse en relación con las previsiones efectuadas.

El objetivo, por lo tanto, del control, es la verificación de que la ejecución se adapte al plan establecido. Las fases a que da lugar esta función pueden definirse en líneas generales como:

- Fase de obtención de los datos necesarios para el conocimiento de las realizaciones.
- Comparación de las realizaciones en cada momento con, las previsiones efectuadas.
- Información sobre el grado de cumplimentación de las previsiones y las desviaciones que hayan podido producirse.
- Acción correctiva, cuando sea necesario, para rectificar la actuación y conseguir en el conjunto los resultados previstos.

En la función de control comienza, por lo tanto, el flujo ascendente de documentación, con el registro de:

- La cantidad de trabajo realizado.
- La fecha de comienzo y terminación de cada fase del proceso de producción.
- Los tiempos invertidos y la utilización de máquinas y equipos.
- Los tiempos de paradas de hombres y máquinas. Retrasos en los trabajos y razones de los mismos. Trabajos rechazados y las causas de los rechazos. Materiales empleados, etc.

Un tratamiento adecuado y sistemático de estos datos ha de conducir al conocimiento y control de la situación del proceso de producción, en cuanto a:

- Estado de avance de los trabajos en relación con el tiempo.
- Estado de avance de los trabajos en relación con los recursos invertidos, horas, materiales, etc.

Es importante resaltar que no existe unificación de criterios respecto a las actividades correspondientes a control de producción, control de calidad, control de existencias, etc. En cualquier caso, son funciones independientes, referidas todas al proceso productivo, aun cuando su ubicación y dependencia correspondan en cada caso a la estructura organizativa de la empresa.

El control relativo a la cumplimentación de las diferentes fases, subfases u operaciones, planificadas y programadas, se efectuará comprobando en cada hoja de proceso y al término de las mismas, la relación entre las fechas de comienzo y terminación previstas y las reales.

El control relativo a los recursos invertidos en medios de producción, para cada centro, taller, sección y grupo homogéneo de trabajo, se realizará, determinando cada período de tiempo del proceso productivo, a partir de los gráficos de carga-tiempo previstos, las inversiones en horas o unidades de recursos productivos, acumuladas al final de cada período.

Se utilizan muy frecuentemente los gráficos de carga-tiempo para representar estas situaciones. En estos gráficos, y en ordenadas, se representa el porcentaje de unidades de producción previstos y realizados, y en abscisas los períodos o fases. La situación del proceso productivo se obtendrá a partir de las representaciones efectuadas en los gráficos.



La materialización de los sistemas de control es muy variada, debiendo estudiarse para cada caso particular la aplicación más adecuada.

En una organización de la producción debidamente estructurada es fundamental el control y conocimiento de los recursos empleados, fundamentalmente máquinas y hombres.

Existen diversos índices de rendimiento, que dependen también de las características del proceso productivo de que se trate. Los más importantes, y de los que pueden considerarse derivados los restantes, son:

$$\text{Índice de utilización de la maquinaria} = \frac{\text{Tiempo de trabajo real}}{\text{Tiempo disponible}}$$

$$\text{Índice de rendimiento de la máquina} = \frac{\text{Tiempo asignado a la operación}}{\text{Tiempo invertido en la operación}}$$

$$\text{Índice de utilización efectiva de la máquina} = \frac{\text{Tiempo asignado a la operación}}{\text{Tiempo disponible}}$$

$$\text{Rendimiento del operario} = \frac{\text{Tiempo asignado al trabajo}}{\text{Tiempo invertido en el trabajo}}$$

$$\text{Rendimiento global} = \frac{\text{Tiempo productivo global}}{\text{Tiempo invertido global}}$$

El control de los rendimientos de máquinas y operarios, así como la obtención de unos índices y rendimientos adecuados, es fundamental para:

- El cumplimiento de los plazos establecidos.
- La reducción de los costes de fabricación.

Al efectuar la programación se toman como base de partida los tiempos de realización de las diferentes operaciones establecidos mediante las técnicas de estudios de métodos y tiempos, a partir de los cuales se obtienen las tarifas de tiempos o tiempos standard.

En cuanto a los tiempos de realización de los trabajos correspondientes a las diferentes operaciones del proceso de producción, y sus posibilidades de variación en función del rendimiento, existen dos tipos de trabajos que generalmente se definen como:

- Trabajo libre.

El trabajo libre, en el que el rendimiento de los operarios depende de su voluntad, motivaciones, etc., tiene una duración variable, es decir, el tiempo invertido en los trabajos puede ser mayor o menor que los tiempos establecidos en las tarifas de tiempos.

- Trabajo limitado.

Por el contrario, el trabajo limitado es aquel en que la duración es fija, al estar condicionada por las máquinas, sus condiciones técnicas de utilización, velocidades, avances, etc.

A partir de la sistemática de control que se establezca se obtendrá, con el fin de dirigir y corregir las actuaciones, una acción informativa con las características siguientes:

- Ha de ser dada, en forma periódica, con intervalos regulares y no de forma accidental, es decir, ha de ser continua y normalizada.
- No ha de aportarse en cada caso nada más que los datos necesarios, suficientes, característicos y significativos.
- Ha de ser integral, mediante un proceso de síntesis creciente de la información, a medida que se asciende en su destino, en la escala jerárquica.
- Se han de destacar, en forma comparativa, las anomalías desviaciones, mediante índices y parámetros significativos.

El grado de detalle del control y la información ha de ser similar al de la planificación y programación, formando un sistema integrado y homogéneo.