

# Economía de la Empresa I

**AÑO: 2006-2009**

**TEMA: 9**

**PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN**



Profesor Vanesa F. Guzmán Parra

## Tabla de contenido

Introducción .....	2
1. Aspectos y fases que comprende la planificación de la producción .....	¡Error! Marcador no definido.
2. Concepto y teoremas fundamentales de la programación lineal .....	4
3. Técnicas de programación temporal: los gráficos Gantt y PERT .....	5
4. Optimización de duraciones y costes de proyectos .....	9

## Introducción

A continuación analizaremos qué Aspectos y fases que comprende la planificación de la producción y el concepto y teoremas fundamentales de la programación lineal. Por último veremos algunas técnicas esenciales de programación temporal tales como los gráficos Gantt y PERT.

## 1. Aspectos y fases que comprende la planificación de la producción.

**La planificación agregada de la producción determina la cantidad de recursos que la empresa precisa para poder alcanzar a su demanda** (Aguirre et al. 1992), planifica la producción de bienes y servicios en un horizonte temporal intermedio. Dentro de este intervalo de tiempo no suele ser factible incrementar la capacidad construyendo nuevas instalaciones o comprando más equipamiento; sin embargo, si que es posible contratar o despedir trabajadores, incrementar o reducir la jornada laboral, añadir turnos extra, subcontratar trabajo o recurrir a las horas extraordinarias (Aguirre et al. 1992).

De ese modo, la planificación agregada de la producción también se relaciona con la determinación, asignación y ajuste de los recursos necesarios para cubrir la demanda. El término agregada se usa debido a que los planes se desarrollan más para líneas o familias de productos que para productos concretos.

Algunos ejemplos de objetivos pueden ser:

- Desarrollar una **estrategia** que permita a la empresa cubrir su demanda.
- Diseñar un **plan** a nivel de toda la compañía para la asignación de recursos.

En los casos en los que la demanda de los productos de la empresa es estable y continua a lo largo del tiempo, o la disponibilidad de recursos es ilimitada, la planificación agregada de la producción no tiene mucho sentido. Sin embargo, cuando la demanda es variable, puede ajustársele la producción mediante diversas medidas (Aguirre et al. 1992):

1. Producir a un ritmo constante y **utilizar los inventarios** para absorber las fluctuaciones en la demanda.

2. **Contratar y despedir** trabajadores para ajustar demanda y producción.

3. Mantener recursos suficientes para satisfacer los niveles elevados de demanda.
4. Aumentar o reducir el **horario de trabajo**.
5. **Subcontratar** trabajo a otras empresas.
6. Utilizar empleados a **tiempo parcial**.
7. Proporcionar **con posterioridad** el producto o servicio.

La programación de la producción **señala cuándo se necesitan el trabajo, las máquinas o las instalaciones** para elaborar un producto o prestar un servicio (Aguirre et al. 1992). Es la etapa de planificación que precede a la producción propiamente dicha. La forma en que se desarrolla la programación es muy distinta en función de cual sea el tipo de sistema productivo por el que se haya decantado la empresa. En industrias de procesamiento, el problema de la asignación de recursos puede resolverse recurriendo a la programación lineal.

En la producción masiva, la programación de la producción se ve fuertemente condicionada por la organización de la cadena de montaje. Lo normal es que solamente haya que decidir cuál es el ritmo al que circulan los productos por la cadena, y durante cuantas horas diarias se mantiene ésta en actividad.

Si además en la cadena se ensamblan varios productos, habrá que decidir su secuencia. En los proyectos se utilizan técnicas especiales, tales como el método PERT o CPM. En los sistemas productivos intermitentes, se recurre a la planificación agregada, a la programación maestra o a la planificación de las necesidades de materiales (MRP). Los objetivos a lograr con la programación son entre otros los siguientes (Aguirre et al. 1992):

1. **Cumplir con las fechas** de entrega a los clientes.
2. Minimizar los **retrasos en el trabajo**.
3. Minimizar el **tiempo de respuesta**.
4. Minimizar la **duración del ciclo de fabricación**.
5. Maximizar la **utilización de los recursos** (máquinas o mano de obra).
6. Minimizar los **tiempos de espera** en el proceso.
7. Minimizar el **inventario de productos** en curso.

## 2. Concepto y teoremas fundamentales de la programación lineal

La programación lineal es una de las técnicas cuantitativas más populares y extendidas para la toma de decisiones en el área de operaciones. Pérez Gorostegui (1989) expone que la técnica fue diseñada por George Dantzig en los años cuarenta, cuando advirtió que los problemas relacionados con el despliegue de unidades aéreas de combate podían ser contemplados como un sistema de inecuaciones lineales. Originalmente, la técnica se bautizó como programación en estructuras lineales, abreviándose su nombre posteriormente.

La programación lineal es una técnica determinista de modelización, que se emplea para resolver problemas en los que hay que tomar decisiones respecto a un cierto nivel de actividad, con la vista puesta en el logro de un objetivo, y sujeto a ciertas restricciones (Pérez Gorostegui, 1989). El problema más común en programación lineal pasa por determinar el número de unidades de un producto que se han de elaborar sujeto a limitaciones respecto a los materiales, la mano de obra disponible, etc. Todos los componentes de la situación de decisión, las propias alternativas, los objetivos, y las restricciones, se expresan mediante relaciones lineales, que juntas conforman un modelo.

Deberemos identificar una función objetivo, que se ha de optimizar, donde  $Z$  representa el objetivo a alcanzar y tendremos  $X_n$  variables que condicionan el logro del objetivo, y  $C_n$  coeficientes que determinan la intensidad y el sentido de cada una de las variables, tal y como muestra la siguiente expresión (Pérez Gorostegui, 1989).

$$\text{Max(Min): } Z = c_1 X_1 + c_2 X_2 + c_3 X_3 + \dots + c_n X_n$$

Pueden existir restricciones. Las  $m$  restricciones vienen a poner de manifiesto las limitaciones del sistema o de la disponibilidad de determinados recursos, o la necesidad de que se alcancen ciertos requerimientos en cuanto a algún aspecto concreto.

$$a_{m1} X_1 + a_{m2} X_2 + a_{m3} X_3 + \dots + a_{mn} X_n \leq b_m$$

Donde cada  $b$  representará el valor absoluto de una determinada restricción y  $a_{ij}$  la medida en que la variable  $i$  se relaciona con dicha restricción. Además, debe

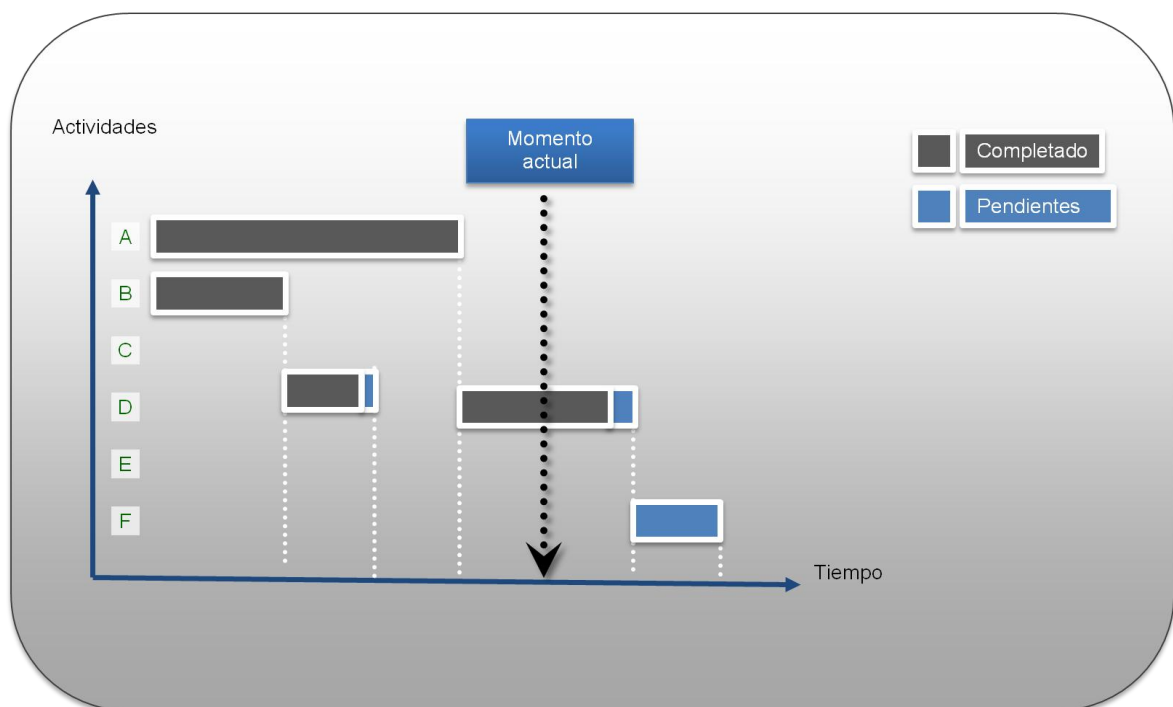
satisfacerse la restricción de no negatividad de ninguna de las variables.

$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n \geq 0$$

Planteado el problema de esta forma, la solución consiste en ofrecer un valor óptimo de la función objetivo, y que respete las restricciones impuestas.

### 3. Técnicas de programación temporal: los gráficos Gantt y PERT.

El gráfico Gantt consiste en un gráfico donde se representa en el eje horizontal el tiempo o fechas de realización del trabajo, y en el vertical cada una de las tareas a programar (Pérez Gorostegui, 1989). Mediante barras horizontales se refleja el tiempo necesario para realizar cada tarea siendo el tamaño de la barra es proporcional a su duración. Mediante un sombreado se puede conocer en cualquier momento cuál es el estado de ejecución del proyecto y las actividades que marchan por encima y por debajo del tiempo previsto, sirviendo de esta forma como elemento de control.



Fue desarrollado por Henry L. Gantt en 1917 y es una sencilla herramienta de gráficos de tiempos, que resulta bastante eficaz para la planificación y la evaluación de cómo

avanza un proyecto.

Un gráfico de Gantt es un sencillo gráfico de barras. Cada barra simboliza una tarea del proyecto. El eje horizontal representa el tiempo. Verticalmente, y en la columna izquierda, se ofrece una relación de las tareas.

Una ventaja importante de los gráficos Gantt es que ilustran claramente el solapamiento entre tareas planificadas. A diferencia con los gráficos PERT los gráficos Gantt no muestran demasiado bien la dependencia que existe entre tareas diferentes, ni si las tareas están interrelacionadas.

## EL GRAFO PERT

El **método PERT** (*Program Evaluation and Review Technique, Técnica de evaluación y revisión de programas*) es un instrumento utilizado para la planificación, ejecución y control de proyectos (Pérez Gorostegui, 1989).

A lo largo de un proyecto, deben de ejecutarse multitud de actividades distintas, claramente diferenciadas, y frecuentemente existen relaciones de prelación entre ellas, es decir, es necesario que algunas actividades hayan terminado para que comiencen las siguientes.

Fue llevado a cabo por la Oficina de Proyectos Espaciales de la Marina de Estados Unidos los años 1957-58, La técnica PERT surgió como consecuencia del esfuerzo tecnológico realizado durante la guerra fría con el objetivo de terminar lo antes posible la construcción de los primeros submarinos nucleares.

El PERT es una técnica basada en la teoría de grafos que se aplica a la planificación, programación y control de proyectos con el objeto de optimizar su ejecución.

El método PERT nació ante la necesidad que presentaba la planificación, ejecución y control de proyectos que exigían coordinar un gran número de operaciones que debían ser llevadas a cabo en un tiempo limitado y con unos medios limitados.

Se trata de analizar las actividades a las que da lugar un proyecto con el objeto de:

- Analizar y determinar las interdependencias de las actividades y circulación de los factores que integran el proyecto.
- Calcular el tiempo de duración probable en la ejecución de un proyecto.
- Búsqueda de la utilización óptima de los recursos empleados.

- Seguimiento y control del proyecto.

Al basarse el PERT en la teoría de grafos es conveniente precisar inicialmente algunos conceptos que serán utilizados posteriormente.

Un grafo es una figura geométrica formada por una serie de puntos llamados nudos o vértices, y por un cierto número de segmentos que unen dos vértices. El grafo nos servirá para representar convencionalmente la secuencia, del conjunto de actividades que integran un proyecto complejo.

El grafo expresa las relaciones de dependencia entre las actividades, así como las situaciones previas y posteriores a cada actividad.

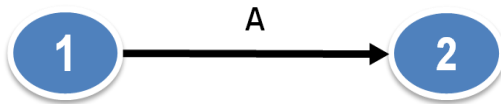
Denominamos actividades a las diferentes tareas a realizar, por lo que la actividad tiene un significado dinámico, ya que se desarrolla en un espacio de tiempo. Gráficamente las actividades se representan mediante flechas, es decir, aristas orientadas.

Las actividades se enlazan entre sí mediante nudos o puntos, que representan situaciones o momentos del tiempo (estático) en los que se dan unas determinadas condiciones, es decir, instantes en los cuales se han terminado las tareas (actividades) que preceden a ese nudo y se está, por tanto, en condiciones de comenzar las actividades siguientes.

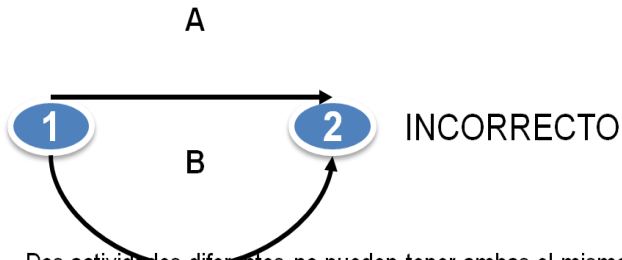
En la construcción del grafo PERT se han de respetar ciertas reglas (Pérez Gorostegui, 1989):

Cada actividad ha de tener en el grafo una sola designación. La designación de una actividad viene dada por sus nudos inicial y final, lo que implica que dos actividades diferentes no pueden tener ambas el mismo nudo inicial y el mismo nudo final.

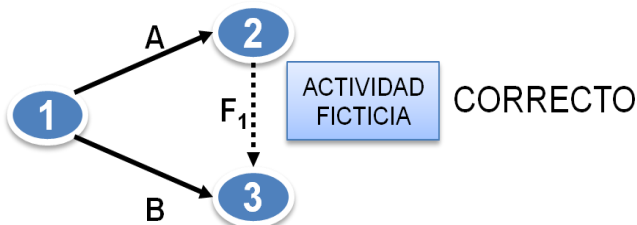




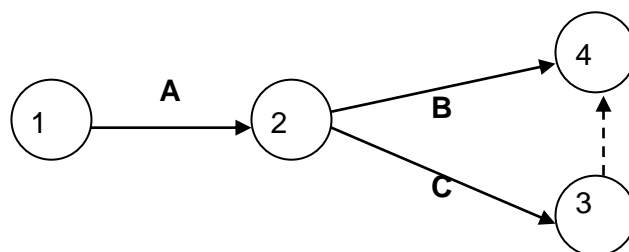
Una actividad A, por ejemplo, allanar un solar, se representa con una flecha que va desde un nodo inicial (1) hasta un nodo final (2)



Dos actividades diferentes no pueden tener ambas el mismo nudo inicial y el mismo nudo final.

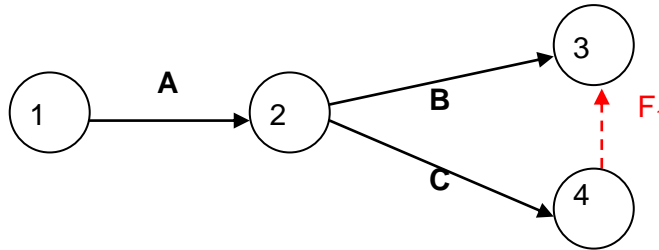


La actividad A que parte del nudo 1 y va al nudo 2 se designa como actividad (1,2). No sería, por tanto, correcto un gráfico en el que la actividad B y E por ejemplo tengan la misma designación (2,3). Para evitar este problema se acude a la introducción de actividades ficticias o inexistentes, de duración nula. Las actividades ficticias ( $F_i$ ) se representan mediante flechas de líneas discontinuas.

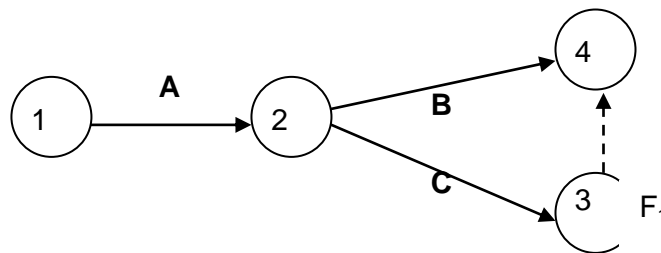


Además todo proceso debe empezar invariablemente en una actividad y terminar en otro. El grafo debe recoger las dependencias reales entre actividades, sin olvidar ninguna relación y sin introducir dependencias inexistentes.

Los nudos deben designarse en orden creciente. Por tanto, no se puede numerar un nudo al que llegan flechas procedentes de nudos aún no numerados. Por ejemplo no sería correcto:



Sería correcto de la siguiente forma:



CORRECTO

#### 4. Optimización de duraciones y costes de proyectos.

Teniendo en cuenta que trataremos de optimizar la duración y los costes de un proyecto analizaremos en primer lugar cómo se optimiza la duración mediante la determinación de la **duración temporal de un proyecto**.

La duración total de un proyecto viene dada por el tiempo que transcurre entre la ejecución del suceso inicial y el final, lo que implica la realización de todas las actividades intermedias, y por tanto, dependerá de las duraciones ( $D_i$ ) de cada una de las actividades  $i, j$  que lo componen. Aunque la duración no será la mera suma de las actividades ya que hay actividades cuya ejecución puede ser simultaneada en el tiempo. Nos interesa conocer para cada actividad cuándo es lo más pronto que se puede iniciar y cuándo es lo más tarde que se puede terminar sin que afecte a la duración total del proyecto. Para ello hay que calcular los tiempos earlies y last de cada uno de los nudos (Pérez Gorostegui, 1989).

El tiempo **early** de un nudo es el **momento más temprano posible en que podrá alcanzarse** una situación, habiendo concluido todas las actividades que la preceden.

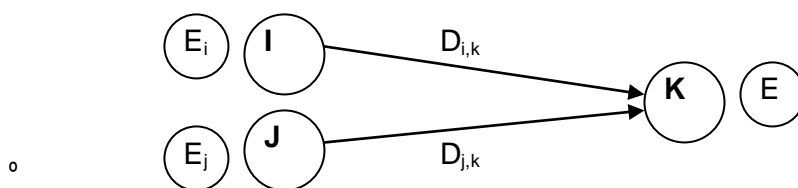
Representa el instante en que como muy pronto se habrán alcanzado las condiciones

que definen ese nudo, es decir, se habrán concluido todas las actividades previas a esa situación.

Llamaremos  $E_j$  al tiempo early del nudo  $j$  y lo representamos en el grafo dentro de un círculo, junto al nudo correspondiente. Los tiempos earlies se calculan partiendo del nudo inicial y acabando en el nudo final. El tiempo early del nudo inicial es siempre cero, ya que coincide con el momento inicial. Los tiempos earlies de los nudos sucesivos se calculan sumando al tiempo early del nudo anterior la duración de la actividad comprendida entre ambos nudos (Pérez Gorostegui, 1989).

Cuando en un mismo nudo confluyen varias actividades (llegan varias flechas a el nudo), el tiempo early del nudo que estamos calculando será el **mayor de los valores que se obtienen sumando el tiempo early del nudo precedente** la duración de las actividades comprendida entre ambos nudos.

Así, el tiempo early del nudo  $k$  ( $E_k$ ) será el mayor de los dos valores. Sólo existe un único tiempo early para cada nudo, aunque haya varios caminos posibles para llegar a él.



EL TIEMPO "EARLY" SERÁ EL MAYOR DE LOS DOS VALORES: compararemos  $E_i + D_{i,k}$  con el valor  $E_j + D_{j,k}$

Una vez obtenidos todos los tiempos earlies se procedo a calcular los tiempos last de cada nudo.

El tiempo **last** de un nudo es el momento más tardío posible en que se puede alcanzar esa situación, es decir, el instante en que, como muy tarde, tendrán que estar terminadas todas las actividades que condicionan ese nudo, sin demorar innecesariamente la realización del proyecto en su conjunto.

Llamaremos  $L_j$  al tiempo last del nudo  $j$ , que representamos en el grafo enmarcado en

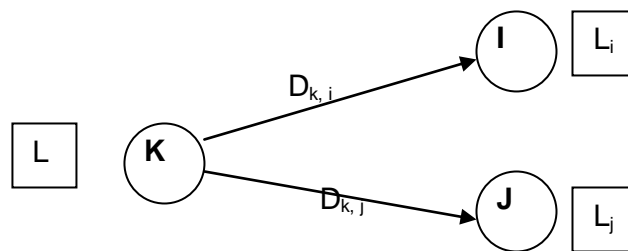
un cuadrado, junto al nudo correspondiente.

Los tiempo last se calculan partiendo del nudo final y retrocediendo hasta el nudo inicial.

Para calcular el tiempo last de un nudo  $j$  ( $L_j$ ) se toma el tiempo last del nudo sucesivo y se le resta la duración de la actividad comprendida entre ambos; siempre retrocediendo, es decir, en sentido inverso al de las flechas.

Cuando de **un mismo nudo parten varias actividades (salen varias flechas) se toma el menor de dichos valores**, ya que el tiempo last se define como el momento en que, como muy tarde, debe alcanzarse esa situación sin incurrir en demoras no necesarias (Pérez Gorostegui, 1989).

EL TIEMPO "LAST" SERÁ EL MENOR DE LOS VALORES: compararemos  $L_i - D_{k,i}$  con el valor  $L_j - D_{k,j}$



El **camino crítico** esta formado por la cadena de actividades interconectadas, que arrancando en el nudo inicial y concluyendo en el nudo final han de darse de forma sucesiva, sin interrupción ni retraso posible, con lo que no admiten demora alguna (Pérez Gorostegui, 1989). Se denominan críticas porque son las actividades que consumen más tiempo, por lo que cualquier retraso en las mismas demoraría todo el proyecto. Estas actividades requieren el mayor control.

La forma de calcular el camino crítico es determinar los tiempos early o más tempranos y last más tardíos de cada situación o suceso (Pérez Gorostegui, 1989). A continuación, se toman los sucesos en que coinciden los tiempos early y last y el camino crítico estará formado por las actividades que unen sucesivamente dichas situaciones, con lo que la holguras total de cada actividad será cero.

La **oscilación de un nudo i (Oi)** es la diferencia entre el tiempo last y el tiempo early de dicho nudo (Pérez Gorostegui, 1989). Los tiempos early y last de cada situación o suceso pueden ser o no iguales. Si no son iguales nos hallaremos ante un nudo oscilante y si son iguales será crítico con lo que determina el camino crítico,

Las actividades que tienen holgura no son actividades críticas.

El cálculo adicional de los posibles tiempos sobrantes u holguras para la ejecución de cada actividad del proyecto será muy útil, por ejemplo a la hora de asignar los recursos cuando estos son limitados, mejorar la gestión y coordinación de las diversas tareas y conocer cuáles las actividades que no se pueden retrasar.

Las actividades que no son críticas tienen un cierto **margen u holgura** a la hora de ser realizadas. La magnitud de la holgura dependerá de cuando se alcance el vértice de origen y de destino de la actividad. Existen tres tipos de holguras (Pérez Gorostegui, 1989).:

**Holgura total:** es el margen de tiempo sobrante si se alcanza el vértice de origen lo más rápidamente posible y el de destino lo más tarde que es admisible. Si llamamos i al vértice de origen, j al de destino, E al tiempo early de un vértice y L al tiempo last, y dij a la duración de la actividad que los vincula, entonces, la holgura total  $H_T$  se define como:

$$H_T = L_j - E_i - D_{i,j}$$

**Holgura libre**,  $H_L$ , es el margen de tiempo sobrante, suponiendo que al vértice de origen se llega lo más rápido posible, y que el de destino se alcanza también en el menor plazo.

$$H_L = E_j - E_i - D_{i,j}$$

**Holgura independiente**, es el margen que sobra suponiendo que al vértice de origen se llega lo más tarde que es admisible, y que el de destino se pretende alcanzar cuanto antes mejor.

$$H_I = E_i - L_i - D_{i,j}$$

La holgura libre puede calcularse restando la oscilación del nudo de destino a la holgura total, y la independiente restando a la holgura libre la oscilación del nodo de origen. Teniendo en cuenta que las oscilaciones no pueden ser negativas, la holgura

total ha de ser mayor o igual que la libre, y ésta, a su vez, mayor o igual que la independiente.

$$HT \geq HL \geq HI$$

Consecuentemente, el valor de las holguras en las actividades críticas será de 0 para todas ellas, poniendo de manifiesto el hecho de que no se toleran retrasos en su ejecución.

#### Grafo PERT con actividades de duración aleatoria

Generalmente el plazo de ejecución de una actividad no es algo inalterable, las estimaciones de la duración de una actividad no se producen de forma determinística, sino que su ejecución se puede ver influida por múltiples factores. En estos casos, urge conocer cuáles serán los valores entre los cuales oscilará la duración y probabilidad respectiva (Pérez Gorostegui, 1989).

Es frecuente que dispongamos de información de tiempos anteriores y se puede deducir en base a dichos datos la distribución de probabilidad. En otros casos se trata de actividades nuevas no repetitivas sobre las que no se dispone de información previa. Para los casos sobre los cuales no hay información histórica, se utiliza una distribución beta de probabilidad que se considera más adecuada para recoger su evolución (Aguirre et al. 1995)

Para establecer la distribución beta se recoge la siguiente información subjetiva de los responsables de la actividad: (Pérez Gorostegui, 1989).

- a) Tiempo normal (m). Es el tiempo más probable en el que se ejecutaría la actividad y se corresponde con la mayor frecuencia de la distribución.
- b) Tiempo pesimista (b) Es el tiempo máximo que se estima para la ejecución de una actividad, es decir, lo más que se podrá tardar en realizar la actividad cuando se dan circunstancias más adversas; en el peor de los casos.
- c) Tiempo optimista (a) Es el tiempo mínimo que se requiere para la ejecución de la actividad en el mejor de los casos.

De acuerdo con la distribución beta, se puede calcular para cada actividad la duración media o esperanza matemática.

$$E(ij) = T_e(Z)$$

La media (esperada) y la desviación estándar, respectivamente, del tiempo de la actividad para la actividad Z puede calcularse por medio de las fórmulas de aproximación siguientes (Pérez Gorostegui, 1989):

$$T_e(Z) = \frac{a + 4m + b}{6}$$

$$\sigma(Z) = \frac{b - a}{6}$$

## Referencias:

AGUIRRE SÁBADA, A. (coord.) (1995): Fundamentos de economía y administración de empresas, Pirámide, Madrid.

PÉREZ GOROSTEGUI, E. (1989). Economía de la empresa aplicada, Pirámide, Madrid.



OCW- Universidad de Málaga <http://ocw.uma.es>  
Bajo licencia Creative Commons Attribution-Non-Comercial-ShareAlike



Guzmán Parra, Vanesa F.  
(2006-2009). Nombre de la asignatura: Economía de la Empresa I  
OCW- Universidad de Málaga <http://ocw.uma.es>  
Bajo licencia Creative Commons Attribution-Non-Comercial-ShareAlike

