

El método PERT, en sus distintas manifestaciones y aplicaciones, pretende optimizar, desde el punto de vista económico, la ejecución de un proyecto. El análisis que este método realiza revela la existencia de un camino crítico, cuya duración condiciona la ejecución de todo el proyecto, siendo una nueva aplicación del PERT el estudio económico de la reducción del camino crítico, es decir, el acortamiento de la ejecución del proyecto (4).

Las finalidades del PERT son las siguientes: 1) Conocimiento del tiempo de ejecución del proyecto y de todas las actividades que lo integran (PERT-Time). 2) Mejoramiento u optimización en la ejecución del proyecto y en el empleo de los medios disponibles, así como criterios de incorporación de nuevos recursos (PERT-Cost), y 3) Control de la ejecución del proyecto (PERT-Control) (5).

En Europa un grupo constituido por ingenieros de los Chantiers de L'Atlantique, la Sema y la Compagnie de Machines Bull estudió el problema del equilibrado de las curvas de cargas de las diferentes capacidades de mano de obra que intervienen en las operaciones de armamentos de buques; estos trabajos dieron lugar al método de los potenciales creado por B. Roy (6).

Las técnicas del tipo PERT y las Roy tienen un sustrato teórico idéntico, no difieren más que en el tipo de representación utilizado, lo cual hace que presenten ventajas alternativas, según los casos.

Existen otras técnicas similares a las ya indicadas para el análisis de los grafos, entre las que podemos citar las denominadas: LESS (Least Cost Estimating and Scheduling) desarrollada por I. B. M.; RAMPS (Resource Allocation and Multi Project Scheduling), elaborado por LESS para su utilización en la Compañía americana Dupont de Nemours y concebido para ordenar simultáneamente varios proyectos, etc. Sin embargo, se ha acordado casi unánimemente utilizar para todos ellos el nombre genérico de PERT.

Los cambios tecnológicos que en la actualidad se producen con mucha mayor frecuencia que en el pasado, representan el más reciente y consistente incremento de la complejidad de la gestión de empresas. El método

(4) FERNÁNDEZ PIRLA, J. M.: *Economía y gestión de la empresa*, ICE, Madrid, 1974, 6.ª ed., págs. 418 y 419.

(5) Para el estudio del PERT-Coste ver el artículo del profesor SUÁREZ, A.: *El planteamiento, aplicación y extensiones del PERT-Coste*, Racionalización, Madrid, 1969.

(6) LINDSAY, F. A.: *Técnicas modernas de gestión*, Sagitario, Barcelona, 1966, página 186.

científico es cada vez más indispensable (el PERT es una de las técnicas de Investigación Operativa que en los últimos tiempos ha alcanzado mayor difusión), y esto es cierto tanto para la gran empresa como para la mediana y pequeña.

Como opina Lindsay, los directivos precisan tener los conocimientos básicos sobre las posibilidades y los límites del análisis matemático aplicado a los problemas de gestión como una condición para que éste pueda ser utilizado con eficacia (no olvidemos que la esencia de la Investigación Operativa es la toma racional de decisiones y que a su vez es la actividad característica del empresario).

Asimismo, el economista de empresa debe conocer las técnicas y métodos (la programación lineal y el método PERT son las de mayores posibilidades de aplicación en la planificación empresarial a corto plazo y a nivel de procesos de producción básicamente) de gestión como un medio de exposición o de investigación, y hacer aplicación de las mismas a la problemática económica de la empresa.

2.2. EL GRAFO PERT.

El fundamento del método PERT lo constituye el grafo (net-work) o red, siendo sus elementos básicos las actividades y las situaciones (7).

Las actividades o tareas (representadas mediante flechas cuya longitud no tiene ninguna relación con la duración y, además, no son vectores, pues no tienen más significación que facilitar la confección y claridad del grafo). Suponen la realización de un trabajo o un proceso de paralización o espera que con tal carácter figura en el proyecto. A ambos supuestos es inherente un consumo de tiempo.

Las actividades se las designa por un par de números, los que corresponden a situaciones de origen y término de la actividad. Cuando dos o más actividades comienzan en una situación o acontecimiento, la configuración se denomina "dispersión"; por el contrario, hay una "fusión" cuando dos o más actividades tienen la misma situación final. La descripción o símbolo de las actividades, así como su duración, puede colocarse encima de las flechas.

Para mantener el grafo tan cerca de la realidad como sea posible, se

(7) PULIDO, A.-GARCÍA SESTAFE, CORTIÑAS: *Un método de la I. O.: Teoría de Grafos*, Anales de Economía, época 2.ª, n.º 7. GARCÍA, M.; PULIDO, A., y RAPOSO, M.: *El método PERT aplicado a la programación de las obras del ferrocarril Madrid-Burgos*, "BEE" del 1969, n.º 78.

emplean a veces las actividades virtuales o ficticias (también llamadas tareas comodín), sin verdadero significado real tienen su razón de existir en una falta o en una multiplicidad de significado del grafo. Por tanto, son definidas como actividades sin duración temporal alguna (no son propiamente actividades) y se las representa por un arco dibujado con línea discontinua.

Las situaciones o acontecimientos (se usan también las denominaciones de sucesos o nudos) corresponden a un estado o posición en la ejecución del proyecto; por consiguiente, no consume tiempo. Se le designa en el grafo por un número.

En la elaboración del grafo (diagrama de actividades) se destacará qué actividades son susceptibles de desarrollo simultáneo o paralelo y cuáles han de ejecutarse sucesivamente. Simultaneidad o sucesión pueden venir dadas por condiciones tecnológicas o por limitaciones de medios de ejecución.

Cuando una actividad tiene que ser completada, antes de que otra comience, existe una "limitación o restricción". Una lista de restricciones establece las relaciones de limitación entre todas las actividades del proyecto. Hay tres preguntas que determinan las restricciones de cada actividad: ¿Qué es lo que precede inmediatamente a cada actividad?, ¿qué es lo que sigue inmediatamente a esta actividad?, ¿qué otra actividad puede realizarse al mismo tiempo? (8).

Las denominadas "restricciones de ejecución" son exteriores al plan de los trabajos, como pueden ser disponibilidades de fondos, encargos de materiales de difícil obtención, condiciones atmosféricas favorables, etc.

En resumen, el grafo es la representación convencional mediante flechas y círculos del conjunto de las actividades y situaciones, así como de sus relaciones de dependencia y condicionamientos entre las mismas que integran un proyecto. El grafo comienza con un único acontecimiento inicial, se ramifica en varios caminos que ligan diversos acontecimientos y termina en un acontecimiento final que señala el fin del proyecto. El sistema de representación es denominado por algunos autores "arco-tarea" y constituye una "ordenación" (9) y (10).

Para aplicar el método PERT ha de conocerse perfectamente el conjunto de las actividades que integran la ejecución del proyecto, destacando

(8) RIGGS, J. L.: Ob. cit., pág. 170.

(9) EVARTS, H. F.: Ob. cit., pág. 37.

(10) KAUFFMANN-DESBAZELLE: *Método del Camino Crítico*, Sagitario, Barcelona, 1971, pág. 44.

para cada una de ellas fundamentalmente los siguientes aspectos: 1) su concepto y naturaleza (en qué consisten, quién las realiza y qué medios se emplean en su ejecución); 2) su posición en el proyecto, con indicación de las actividades de las que inmediatamente depende y de aquellas otras a las que ésta condiciona; y 3) su duración (11).

Finalmente, enumeramos algunos principios de representación imprescindibles en la aplicación del método: 1) principio de la designación unívoca de las actividades; 2) principio de las secuencias unívocas; 3) principio de la designación sucesiva de las situaciones, y 4) principio de la unidad en el comienzo y terminación del proyecto (12).

2.3. DURACIÓN DE LAS ACTIVIDADES.

Una vez se ha logrado un grafo correcto con los detalles adecuados, merece consideración especial el estudio de los tiempos de ejecución de cada actividad.

La duración en la ejecución de las distintas actividades es el elemento básico de trabajo, magnitud que figura en el grafo mediante números colocados en las flechas representativas de las actividades y expresada en horas, días, semanas, meses, etc., o en la unidad convencional de tiempo que se elija.

El método PERT original utiliza en realidad tres estimaciones de la duración de las actividades: la optimista (t_o), la pesimista (t_p) y la normal o más probable (t_n). El tiempo optimista supone una estimación de lo que va a durar la realización de una actividad, en condiciones óptimas. Por el contrario, en la estimación del tiempo pesimista se supone que existirán condiciones desfavorables de la ejecución de la actividad, y, por último, el tiempo más probable es aquel que la experiencia indica o que responde a unas circunstancias que se consideran normales (13), indudablemente ha de verificarse que $t_o \leq t_n \leq t_p$.

Las estimaciones de las duraciones las obtendrá el analista PERT de las personas que tienen la responsabilidad de efectuar el trabajo que representan las actividades.

La distribución aleatoria de los tiempos (en el caso determinístico en el cual la duración de una actividad es única, la estimación se supone

(11) FERNÁNDEZ PIRLA, J. M.: Ob. cit., pág. 421.

(12) Sobre este punto puede verse la obra de BERGE, C.: *Teoría de las redes y sus aplicaciones*, CECSA, Méjico, 1962.

(13) Coincidirá con la moda de la distribución, no con la media.

con certeza sin riesgo de equivocarse) que pueden tardarse en efectuar cada una de las actividades determinadas, se admite por la técnica del método PERT que es una distribución Beta (modelo para las tres estimaciones del tiempo PERT); los valores de la media y de la varianza serán los siguientes (14):

$$t_E = \frac{t_o + 4 t_n + t_p}{6}, \text{ tiempo medio o tiempo PERT.}$$

$$\sigma^2(t) = \left(\frac{t_p - t_o}{6} \right)^2, \text{ varianza (indica el riesgo de no acertar la duración media calculada de la actividad).}$$

Conviene indicar que este comportamiento no puede darse siempre y que en algunos casos se utilizan otras distribuciones, pero la práctica ha demostrado que con la distribución mencionada se puede trabajar con una cierta aproximación.

La aplicación del método de Montecarlo (no es más que un muestreo simulado o artificial) en el PERT ofrece las estimaciones con más exactitud, y además no se limita a suponer que la distribución de la actividad deba ser siempre la beta, sino que se pueden manejar otras distribuciones estadísticas; por ejemplo, la uniforme, la triangular, la normal, etc. (15).

Tiene especial interés la utilización del método de Montecarlo, porque presenta la ventaja de conocer la criticidad de cada actividad de la red. Es decir, se puede calcular la probabilidad de que una actividad pueda ser crítica.

2.4. TIEMPOS EARLY Y LAST DE LOS SUCESOS.

Conocida la duración media de cada actividad, mediante la fórmula expuesta anteriormente, y que es una media ponderada de las tres duraciones, se opera exactamente igual que en los modelos determinísticos, sustituyendo la duración fija que en éstos tiene cada actividad por el tiempo medio o tiempo PERT.

El tiempo *early* (en castellano "temprano") de un suceso o acontecimiento (representado en el grafo mediante nudos) es la fecha del calen-

(14) *Apuntes de la Cátedra de Economía de la Empresa* (curso 3.º), Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Complutense de Madrid.

(15) YU CHUEN-TAO, L.: *Aplicaciones prácticas del PERT y CPM*, Deusto, Bilbao, 1969, 3.ª ed., pág. 59.

dario de la ejecución de la obra en que dicho suceso se logrará como muy pronto, es decir, el momento más próximo al origen o comienzo en la ejecución del proyecto, en que podrá ser conseguida determinada situación o acontecimiento.

Determinado el tiempo *early* para todos los sucesos del proyecto, se calcula la fecha del calendario en que podrá ser terminada la ejecución de la obra (suceso último) esto es, el plazo total de ejecución.

En cambio, el tiempo *last* (en castellano "tarde") de un suceso o acontecimiento expresa el tiempo que como muy tarde habrán de ser conseguidos todos y cada uno de los sucesos del proyecto, de manera que no se produzca retraso alguno en el plazo total de ejecución del mismo, determinado en la fase anterior (plazo que viene dado por el tiempo *early* del último suceso del proyecto).

Cuando los tiempos *early* y *last* de un suceso o acontecimiento coinciden, se dice entonces que es un nudo fijo (quiere decir que el acontecimiento en cuestión ha de producirse necesariamente en una fecha fija del calendario de ejecución del proyecto, por lo que al nudo representativo del mismo le corresponde esa misma fecha). Si, por el contrario, no coinciden, a dicho número se le denomina nudo flotante u oscilante (indica que existe una holgura temporal en la obtención del suceso o acontecimiento, el cual puede obtenerse como muy pronto en una fecha y a lo más tarde en otra dada). Por tanto, el nudo representativo de dicho suceso no tiene, pues, una fecha fija en el calendario de ejecución del proyecto, sino que puede producirse en cualquiera de las fechas comprendidas entre dos dadas (16).

El cálculo de los tiempos correspondientes a los sucesos se especifica en el estudio del caso práctico. Para los sucesos inicial y último de la red, los tiempos *early* y *last* han de coincidir.

Desde el punto de vista gráfico, los tiempos *early* de cada suceso se representan en el grafo mediante un cuadro y los tiempos *last* en un círculo.

2.5. CAMINO CRÍTICO.

El camino crítico está constituido por aquellas actividades en las cuales un retraso en su terminación lleva consigo un retraso en el trabajo total. El camino crítico diremos que es el camino más largo del proyecto, que permite ir desde el nudo inicial del grafo al nudo final. Este camino está

(16) FERNÁNDEZ PIRLA, J. M.: Ob. cit., págs. 427 y 428.

integrado por las "actividades críticas", que son aquellas cuya holgura total es nula. Las actividades que no están incluidas en el camino crítico se denominan "holgadas".

Las actividades que forman el camino crítico en la ejecución de la obra o proyecto han de darse sucesivamente y sin intermitencia, además estas actividades, denominadas críticas, están delimitadas por nudos fijos (coinciden los tiempos *early* y *last* de cada acontecimiento), con la particularidad de que su ejecución consume la totalidad del tiempo que media entre dichos nudos. De manera que no todas las actividades que están jalonadas por nudos fijos pertenecen al camino crítico.

Las actividades críticas son las fundamentales en las que ha de actuar la dirección, en las holgadas puede admitirse un cierto retraso, ya que no influyen hasta un cierto punto, que es necesario establecer, en la duración total del trabajo. Es importante analizar, asimismo, los "caminos subcríticos", constituidos por las actividades que tengan igual holgura y que puedan llegar a constituir parte del camino crítico en caso de que se efectúe un reajuste de tiempo. Se ordenarán estos caminos subcríticos empezando por los menos holgados (17).

Las características del camino crítico son las siguientes: 1) existe para todo el grafo, aunque a veces pueda no ser único; 2) sólo es posible acelerar la terminación del trabajo actuando sobre las actividades críticas, que retrasan a su vez a éste en caso de que exista alguna demora, y 3) cualquier esfuerzo dedicado a reducir la duración de las actividades fuera del camino crítico resulta inútil, por carecer de influencia en el plazo de terminación del trabajo, actuando únicamente como acelerador del tiempo de holgura (18).

Cuando el grafo no es muy complejo se puede determinar el camino crítico calculando las "distancias temporales" desde el origen del proyecto al final del mismo por los distintos caminos o itinerarios que pueden darse en la red, adaptando la más larga de las mismas. Para ello se suman los tiempos de ejecución de todas las actividades que constituyen los tramos de cada camino.

Los algoritmos de Ford y de Bellman Kalaba pueden también ser utilizados para la búsqueda del camino crítico y de la fecha correspondiente al final del programa.

(17) Algunos autores hablan de caminos semicríticos y caminos marginales en un grafo después de haber determinado el camino crítico. La selección de estos caminos es una cuestión de criterio.

(18) PULIDO, A.; GARCÍA SESTAFE y CORTIÑAS: Art. cit., págs. 638 y 639.

De todos modos, el conocimiento de cuál es la ruta crítica es la máxima ventaja que proporciona el uso del cálculo PERT.

2.6. ANÁLISIS DE LOS TIEMPOS SOBRAINTES.

Al descubrir el camino crítico se ponen simultáneamente en evidencia las actividades con holgura temporal, es decir, aquellas que disponen para su ejecución de más tiempo del que necesitarían estrictamente. Este tiempo sobrante no es, sin embargo, de la misma naturaleza en cada caso, por depender de las condiciones estructurales de la ejecución del proyecto (fundamentalmente capacidad de la explotación y disposición de medios).

Los tiempos sobrantes u holgura de las actividades los clasificamos en tres categorías distintas: tiempos de fluctuación, tiempos libres y tiempos independientes de cada actividad, a los que se añade una cuarta referente a los nudos, el llamado tiempo de interferencia u oscilación de un nudo (holgura de un nudo) (19).

El tiempo de fluctuación de una actividad es el mayor tiempo posible entre dos nudos consecutivos sobre el que es necesario consumir para el desarrollo de la actividad comprendida entre ellos, la expresión del tiempo de fluctuación de la actividad $i - j$, es la siguiente: $T_F = L_j - E_i - D_{ij}$. Es decir, es igual al tiempo *last* del nudo de destino menos el tiempo *early* del nudo de partida y menos la duración de la actividad.

El tiempo libre de una actividad es el tiempo sobrante de que se dispone en el caso de que las actividades previas a ellas terminen en forma tal que ésta pueda comenzar lo antes posible, teniendo la actividad igual obligación con respecto a las subsiguientes. Tendrán por tanto holgura libre aquellas actividades que disponen de un lapso de tiempo provocado porque alguna de aquellas que las siguen tienen otro camino de mayor duración. Su medida viene dada por la expresión: $T_L = E_j - E_i - D_{ij}$. O sea, el tiempo *early* del nudo de destino menos el tiempo *early* del nudo de partida y menos la duración de la actividad.

El tiempo independiente es aquel que goza una actividad, incluso en el caso de que todos los demás quieran aprovechar por sí solos el tiempo sobrante. Esto es, las actividades anteriores se terminan en forma tal que no se retrase el trabajo total y la actividad considerada se finaliza de manera que las siguientes empiecen lo antes posible. Su expresión es como si-

(19) FERNÁNDEZ PIRLA, J. M.: Ob. cit., págs. 437 y 438. CUEVA ALONSO, J.: *Jornadas Técnicas sobre el Método PERT*, CEU, Madrid, págs. 43 y sigs.

que: $T_i = E_j - L_i - D_{ij}$. Es decir, el tiempo *early* del nudo final menos el tiempo *last* del nudo de origen y menos la duración de la actividad.

El tiempo de interferencia u oscilación de un nudo viene dado por la diferencia del tiempo *last* y el tiempo *early* de un mismo nudo y define, por lo tanto, la holgura del nudo. Su expresión será: tiempo de oscilación del nudo i , $O_i = L_i - E_i$; tiempo de oscilación del nudo j , $O_j = L_j - E_j$.

La relación existente entre los tiempos sobrantes se pone de manifiesto en las siguientes expresiones: $T_L = T_F - O_j$. Es decir, el tiempo libre es igual al tiempo de fluctuación o tiempo total sobrante menos el tiempo de oscilación del nudo de destino.

Por otro lado, para pasar del tiempo libre al tiempo independiente bastaría restar de aquél la oscilación del nudo de origen: $T_i = T_L - O_i$.

Y por último, podemos escribir el tiempo independiente en función del tiempo de fluctuación y de los tiempos de oscilación de los nudos de destino y de origen. Es decir, $T_i = T_F - O_j - O_i$.

Un programa se dice que es "totalmente rígido" cuando todos los caminos son críticos, no existiendo entonces actividades holgadas (es decir, no hay tolerancias en el tiempo de realización de sus actividades), ni oscilaciones en los nudos (20).

2.7. PROBABILIDAD DE TERMINAR EL PROYECTO EN LA FECHA PROGRAMADA.

Si llamamos T_S a la duración programa, T_E a las duraciones medias de las actividades críticas y σ_T la desviación típica de T_E , la medida de la probabilidad que buscamos calculada por los métodos que nos presenta la estadística, es como sigue (21):

El factor de probabilidad Z se obtiene aplicando la fórmula:

$$Z = \frac{T_S - T_E}{\sigma_T}$$

Una vez conocido el valor de Z , llevamos dicho valor a una tabla de la distribución normal que nos dará la probabilidad de terminar el proyecto en la fecha prevista.

(20) DESBAZELLE, G.: *Ejercicios y problemas de investigación operativa*, ICE, Madrid, 1969, pág. 123.

(21) EVARTS, H. F.: Ob. cit., págs. 92 a 98. *Apuntes de la Cátedra de Economía de la Empresa* (curso 3.º). PULIDO, A.; GARCÍA SESTAFE y CORTIÑAS BRAVO: Artículo citado, págs. 639 a 641.

Generalmente son aceptables valores de esta probabilidad comprendidos entre 0,25 y 0,65. Cuando la probabilidad obtenida está por debajo de 0,25, el camino crítico debe ser acortado. Cuando la probabilidad está por encima de 0,65, hay muchas probabilidades de que la fecha de terminación sea correcta. En los casos en que esta probabilidad sea muy alta, la dirección debe considerar la posibilidad de usar algunos de los recursos afectados al proyecto en otros trabajos de la empresa.

Este estudio es importante en aquellos trabajos en que existe el compromiso de terminación de los mismos, dentro de un plazo determinado, pagando una multa en caso contrario, pues el conocimiento de la probabilidad de realización dentro del plazo previsto, puede servir de guía para la aceptación o rechazo del compromiso o para acelerar si fuese posible y en función de los costes y penalizaciones, las actividades críticas.

2.8. ASOCIACIÓN DE MATRIZ A UN GRAFO.

Al emplear el método PERT hay que definir previamente las actividades que lo componen así como los distintos sucesos o nudos que deban irse produciendo. Para ello es necesario establecer las prioridades que existen entre las distintas actividades.

La representación de las relaciones puede hacerse mediante el grafo simplemente o bien mediante una matriz asociada en la cual se refleja toda la información que puede contener el grafo. Esta matriz puede utilizarse como elemento auxiliar previo a la representación del grafo (22).

Cuando existe una actividad ($i - j$) que va del nudo i al nudo j con una duración D_{ij} se hará figurar la cifra D_{ij} en el lugar correspondiente a la fila i y la columna j . Si no existe ninguna actividad que tenga origen en un nudo i y fin en el j , la casilla ij permanecerá en blanco. Por último, si del nudo i al nudo j existe una actividad virtual o ficticia se simbolizará con un cero, lo que supone que el nudo j no puede producirse hasta que se haya producido el nudo i , aunque la actividad que los une no tiene duración.

Con este sistema de representación, las casillas de la diagonal (1,1), (2,2) (n,n) siempre estarán vacías al no poder existir una actividad que empiece y termine en el mismo nudo. Si, además, utilizamos para los nudos una numeración secuencial, solamente podrán aparecer ocupadas las casillas situadas a la derecha de la diagonal.

(22) *Apuntes de la Cátedra de Economía de la Empresa* (curso 3.º).

Si el grafo al que se quiere asociar la matriz está sin cuantificar, es decir, no aparece en él la duración de las actividades, se hará figurar en la matriz asociada un 1 en las casillas correspondientes a cada conexión. Esta matriz recibe el nombre de "matriz de conexión" (23).

Los tiempos *early* y *last* correspondientes a cada suceso pueden obtenerse de la matriz asociada de igual forma que se calculan en el grafo. Para su representación se orla la matriz con una columna en la que se hacen figurar los tiempos *early* y una fila en la que aparecen los tiempos *last*.

Por último, mediante la matriz asociada se puede conocer inmediatamente el camino crítico que estará integrado por aquellos nudos que tengan iguales los tiempos *early* y *last*.

En el ejemplo que se incluye al final del presente trabajo puede verse la representación de la matriz asociada a un grafo, el cálculo de los tiempos *early* y *last* de cada uno de los nudos y la determinación del camino crítico.

2.9. EL CONTROL.

El PERT es una herramienta dinámica de control y la dirección puede introducir cambios en el grafo a fin de reflejar todas las desviaciones que se produzcan respecto del "estado normal" del comienzo (24).

La elaboración de una primera red inicial sobre la información obtenida empíricamente, puede poner de manifiesto mediante el análisis de actividades y tiempo realizado la posibilidad de una mejor distribución de los recursos existentes en una nueva ordenación en la realización del proyecto al objeto de elevar el nivel de ocupación de los mismos o de acortar el "camino crítico" y la reducción del plazo de ejecución de un proyecto se logra reduciendo su camino crítico y, en su caso, los caminos subcríticos. Tales correcciones permitirán la formación de una nueva red, que, a su vez, podrá ser perfeccionada y así sucesivamente (25).

En el método PERT los controles periódicos permiten localizar las variaciones ocurridas y las actividades en que debe aplicarse un esfuerzo especial si se quieren paliar los efectos de estas variaciones. En cada control periódico se determinan: actividades que han sido realizadas, activi-

(23) GROSJEAN, J.: *Initiation aux mathématiques à partir de problèmes techniques*, Dunod, París, 1970.

(24) EVARTS, H. F.: Ob. cit., pág. 49.

(25) FERNÁNDEZ PIRLA, J. M.: Ob. cit., pág. 420.

dades en curso de realización, con estimación del tiempo restante necesario para su total ejecución; alteraciones producidas en las prioridades programadas como consecuencia de cambios en el método operativo, y actividades cuya realización total o parcial estaba programada y cuya ejecución no ha sido iniciada o va retrasada respecto al programa (26).

Un estudio de las alteraciones producidas atendiendo a las holguras de las correspondientes actividades y a los caminos críticos o subcríticos en que ellas se encuentran, permitirá determinar si se hace o no necesaria la toma de decisiones que permitan alcanzar los objetivos del programa en el tiempo previsto. Estas decisiones pueden ser de dos tipos: 1) cambiar el método operativo alternando las prioridades en cierto grupo de actividades, y 2) reducir los tiempos de ejecución de ciertas actividades empleando mayores medios en su futura realización.

Introduciendo en el programa los datos recogidos en el control y, en su caso, las decisiones tomadas sobre actividades de futura realización, se obtiene un nuevo programa actualizado.

De esta forma la revisión periódica del programa permite precisar, al actualizarlo, su evolución futura, teniendo en cuenta su desarrollo real.

El más eficaz de los usos del método PERT es precisamente el replanteo, la reelaboración de la red. En el replanteo, si queremos ganar tiempo, hay que actuar sobre las actividades de la ruta crítica (27).

La reducción de la duración del camino crítico y de los caminos subcríticos es la principal utilidad del PERT, que es esencialmente una programación en el tiempo y un recurso de control.

Entre los métodos más efectivos que existen para obtener reducciones en las necesidades de tiempo figuran la reducción de la duración media de las actividades, supresión de algunas partes del proyecto, transferencia de algunos recursos de los caminos marginales al camino crítico, empleo de nuevos recursos, sustitución de un componente por otro y la realización simultánea de actividades que, normalmente, se llevan a cabo en serie (28).

2.10. EMPLEO DE ORDENADORES.

Las técnicas modernas de dirección tienen un precedente común que permite su aplicación práctica y sin el cual no serían más que entreteni-

(26) GARCÍA, J. M.; PULIDO, A., y RAPOSO, J. M.: Art. cit., pág. 760.

(27) CUEVA ALONSO, J.: Ob. cit., págs. 53 y 54.

(28) EVARTS, H. F.: Ob. cit., pág. 116.

mientos matemáticos. Este precedente es la aparición de los ordenadores electrónicos.

Hoy, merced al uso de los ordenadores puede acudirse al "método de simulación", cuyo éxito ha sido notable.

Dada la naturaleza de las operaciones que implica el desarrollo del método PERT, su aplicación se facilita enormemente utilizando ordenadores (29).

Puede estimarse que un grafo que puede ser fácilmente resuelto a mano, contiene como máximo de 100 a 150 actividades. Los grafos más complicados se calculan de modo más eficiente empleando un ordenador.

El ordenador es susceptible de realizar tres tipos de trabajos: en una cierta medida el control de los datos; los cálculos propiamente dichos; la edición de los diferentes informes (30).

En la actualidad se dispone de grandes facilidades para la tabulación mediante el uso de ordenadores, al existir programas tipo para el PERT en las principales empresas de procesamiento de datos: NCR, IBM, BULL, General Eléctrica, etc. Frecuentemente, sin embargo, se necesitan programas más potentes o perfeccionados, cuando la aplicación es de cierta complejidad.

El ordenador verifica en cierta medida los datos del grafo. A continuación procede a realizar los cálculos, fechas de comienzo y fin más temprana o más tardía, fluctuaciones y las diversas holguras. Además de la rapidez con que obtiene los datos, el riesgo de obtener resultados erróneos es prácticamente nulo.

Por último, el ordenador edita los informes necesarios para los diferentes responsables, pudiendo hacerse una gran variedad de ellos.

La elección entre usar un ordenador o métodos manuales es, principalmente, función del coste y de la comodidad. Cada método tiene sus ventajas. Entre las ventajas de los ordenadores están la velocidad, la exactitud y la capacidad; algunos de los méritos de los métodos manuales son la disponibilidad, la flexibilidad y la familiaridad. Ahora bien, no cabe incluir en la comparación los costes relativos, porque son función de las exigencias de cada proyecto individual. Los proyectos muy grandes, con grandes análisis de costes y recursos, son, evidentemente, candidatos para recibir la ayuda electrónica. En el otro extremo, sería absurdo utilizar un

(29) EVARTS, H. F.: *Ibíd.*, págs. 136 y sigs. PALAZUELOS GÓMEZ, J. M.: "Los ordenadores electrónicos y la investigación operativa", *BEE*, mayo-agosto 1966, número 68.

(30) LISARRAGUE, J.: *Ob. cit.*, págs. 67 y 68.

ordenador para un plan general preparatorio. Entre estos dos límites el juicio personal sobre coste y ventajas, decidirá en cada caso (31).

2.11. APLICACIONES.

El método PERT es, esencialmente, aplicable a la realización de proyectos nuevos o para la ejecución de proyectos de realización ya conocida en los que se deseen eliminar rutinas y mejorar la economicidad de su aplicación.

El PERT es especialmente útil en aquellos programas en los que deben considerarse muchas operaciones interdependientes e interrelacionadas. Además, el PERT es la mejor forma de tratar las actividades nuevas, para cuyo conocimiento no se dispone de suficiente experiencia.

Las aplicaciones primeras son simplemente a la "ordenación material de procesos", o sea, cuando hay un proceso tecnológico de transformación material (por ejemplo: uno de los casos típicos en que se emplea es en la construcción de edificios). En el orden material, otro caso típico es la fabricación. Y en estas dos aplicaciones materiales es donde se vio inmediatamente la gran posibilidad que había de conseguir ahorros (32).

En la producción empresarial el problema de la programación puede plantearse bajo dos normas: 1) como un problema de reparto o asignación de la producción (allocación), y 2) como problema de encadenamiento de la producción (scheduling). En la solución de este doble planteamiento se utilizan actualmente la programación lineal para los problemas del primer tipo y los programas reticulares para los del segundo (33).

El PERT ha encontrado muchas aplicaciones no militares, tales como la investigación y desarrollo industriales, construcción de puentes, centrales y presas. Otras aplicaciones del PERT son la construcción y puesta en funcionamiento de empresas, obtención y ordenación de información, organización administrativa, cierre de contabilidades descentralizadas, refineras de petróleo, instalación de plantas piloto, etc.

Aunque las primeras aplicaciones del PERT fueron militares, y en el campo industrial se empleó inicialmente en el área de la producción, el método es actualmente utilizado mucho más extensamente. En el área del

(31) RIGGS, J. L.: Ob. cit., págs. 183 y 184.

(32) CUADRA ECHAIDE, I.: *Programación PERT simplificada, con casos de ventas, dirección y administración*, Madrid, 1967, 2.ª ed., págs. 3 y 4.

(33) SOLDEVILLA, E.: *Economía aplicada a la empresa y técnicas operativas de gestión*, Hispano Europea, págs. 273 y 274.

Marketing el PERT es útil en el planing y control del diseño del producto, el lanzamiento de nuevos productos y la apertura de nuevos canales de distribución.

2.12. VENTAJAS Y LÍMITES.

El método PERT por sus características, se ha convertido en un instrumento popular de la gestión científica. Sin embargo debe reconocerse que presenta ciertas limitaciones (34):

Entre las ventajas pueden resaltarse: 1) planteamiento exacto del proceso; 2) facilidad en el control; 3) facilitar la comparación del proyecto alternativo; 4) constituye una aportación al "management"; 5) facilita una visión previa de la planificación 6) facilita una rápida concepción e introducción de modificaciones; 7) fácil de aprenden, y 8) unificación de criterios.

Los límites del método PERT se centran en: 1) un enjuiciamiento demasiado optimista de su utilización, fracasando en diversos casos por el apresuramiento; 2) esta técnica exige datos, en su aspecto cuantitativo y cualitativo, a la organización empresarial, de los cuales no siempre se dispone o cuesta disponer de los mismos; 3) se le critica de simplificación de las premisas en la determinación de la curva tiempo-costes, al no considerar la variación del procedimiento técnico; 4) se critica, asimismo, el peligro de concretar el interés en un proyecto, perdiendo su relación con el conjunto, y 5) el factor coste de la técnica de redes.

Stilian señala la importancia del PERT para la "planificación y control de los trabajos de dirección" pero también destaca el carácter de posibilidades futuras de señalar su valor como "un sistema de información universal" (35).

3. EL METODO PERT APLICADO AL LANZAMIENTO DE UN NUEVO PRODUCTO

Para comprender mejor el método PERT consideramos muy útil resolver un caso práctico. Se trata de mostrar en la práctica los conocimientos anteriormente expuestos mediante la aplicación de la técnica PERT den-

(34) GARCÍA ECHEVARRÍA, S.: *Planificación y pronóstico en la economía de la empresa*, ICE, Madrid, pág. 241.

(35) STILIAN, J. N.: *PERT. Un nuevo instrumento de planificación y control*, Deusto, Bilbao, 1964, pág. 196.

tro del área marketing al lanzamiento de un nuevo producto. Con el fin de que el ejemplo sea más pedagógico, sólo se han considerado las fases principales que intervienen en el problema estudiado.

3.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA.

Una empresa que se dedica a la fabricación de automóviles en un determinado país, quiere lanzar al mercado un nuevo producto, destinado a una clientela diferente y escasamente estudiada por la competencia. El motivo por el cual la gerencia de la empresa toma esta decisión se debe a que en virtud de unos estudios realizados por el servicio de investigación comercial, se sabe que los modelos de automóviles vendidos eran de concepción antigua y su clientela no se renovaba.

Para llevar a cabo tal proyecto se recurre al método PERT, siendo preciso conocer las tareas o actividades que se consideran en el lanzamiento del nuevo producto con los tiempos estimados de duración, así como las interrelaciones entre las distintas actividades, tal como se detalla a continuación:

PRINCIPALES ACTIVIDADES Y TIEMPOS ESTIMADOS DE DURACION

ACTIVIDADES		TIEMPOS ESTIMADOS
<i>Denominación</i>	<i>Descripción de la tarea</i>	<i>(en meses)</i>
A	Estudio del mercado	7
B	Puesta a punto del producto	4
C	Estudio de la red de distribución	3
D	Estudios financieros	4
E	Publicidad	3
F	Producción	8
G	Lanzamiento	2

La interrelación entre las distintas actividades que integran el proyecto según el orden lógico de actuación es como sigue:

La actividad A precede a las actividades B y C.

Las actividades B y C preceden a la actividad D.
 La actividad D precede a las actividades E y F.
 Las actividades E y F preceden a la actividad G.

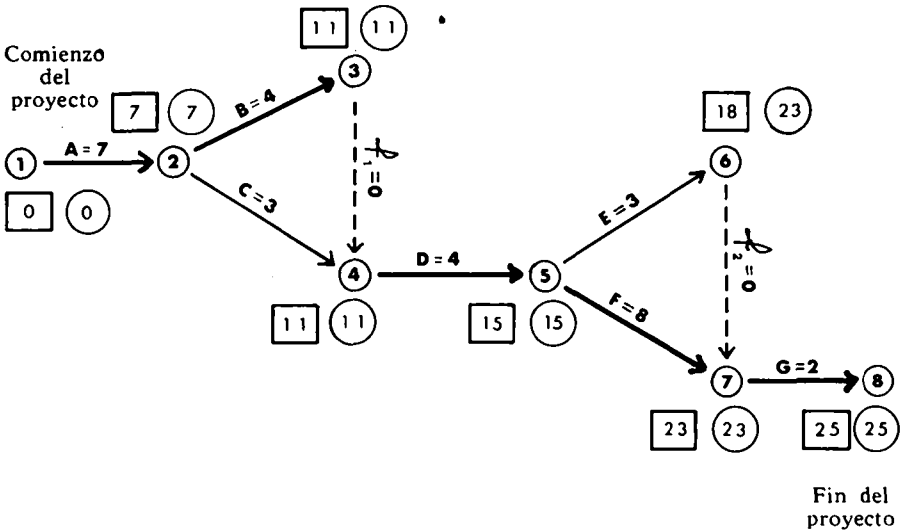
Con la información facilitada anteriormente, la gerencia de la empresa desea conocer los siguientes resultados:

- 1.º El grafo PERT.
- 2.º Duración de las actividades.
- 3.º Tiempos *early* y *last* de los sucesos.
- 4.º Determinación del camino crítico.
- 5.º Calificación de tiempos sobrantes.
- 6.º Probabilidad de terminar el proyecto en veinticuatro meses.
- 7.º Matriz asociada al grafo y ruta crítica.


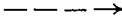




3.2. MÉTODO DE CÁLCULO.

1.º El grafo PERT.

Con la lista de actividades que integran el proyecto y las interrelaciones de las mismas (concretado en su orden de sucesión) se representa gráficamente el grafo o red (equivale al diseño del modelo y proporciona una visión de conjunto del problema estudiado). Como se recordará, cada actividad se la designa por un par de números, los que corresponden a los sucesos de origen y término de la actividad.



SIMBOLOS EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCION DEL GRAFO

<i>Nombre</i>	<i>Símbolo</i>
Actividades reales	
Actividades ficticias	
Situaciones	
Tiempo early	
Tiempo last	
Camino crítico	

2.º *Duración de las actividades.*

Conocidas las tres estimaciones de la duración de las actividades, es decir, la optimista, la normal o más probable y la pesimista, la duración media de cada actividad se obtiene en la práctica aplicando la fórmula

$$T = \frac{t_o + 4 t_n + t_p}{6}$$

, que es una media ponderada entre los diferentes

posibles tiempos de realización. Según los datos del problema los tiempos PERT son:

<i>Actividades</i>	<i>Duración de las actividades (en meses)</i>
1 - 2	7
2 - 3	4
2 - 4	3
3 - 4	0
4 - 5	4
5 - 6	3
5 - 7	8
6 - 7	0
7 - 8	2

3.º *Tiempos early y last de los sucesos.*

A continuación ofrecemos el cálculos de los tiempos *early* (fechas mínimas) y tiempos *last* (fechas máximas) de los sucesos o acontecimientos (también conocidos por situaciones o nudos) del grafo.

El tiempo *early* de un nudo representa la fecha mínima antes de la cual no es posible comenzar las actividades que parten de él.

El tiempo *early* del nudo final representa la fecha mínima antes de la cual no es posible acabar el proyecto.

El tiempo *last* de un nudo representa la fecha máxima de la cual no se debe pasar para dar comienzo a las actividades que parten de él.

TABLA DE LOS TIEMPOS "EARLY"

Actividad	Duración de la actividad	Cálculo	Tiempos early	
			Nudo inicial	Nudo final
1 - 2	7	$0 + 7 = 7$	0	7
2 - 3	4	$7 + 4 = 11$	7	11
2 - 4	3	$7 + 3 = 10$	7	11
3 - 4	0	$11 + 0 = 11 \leftarrow$	11	11
4 - 5	4	$11 + 4 = 15$	11	15
5 - 6	3	$15 + 3 = 18$	15	18
5 - 7	8	$15 + 8 = 23 \leftarrow$	15	23
6 - 7	0	$18 + 0 = 18$	18	23
7 - 8	2	$23 + 2 = 25$	23	25

Para el cálculo de los tiempos *early* se suman las duraciones de las actividades del tiempo *early* correspondiente al nudo de partida, y tomamos como tiempo *early* del nudo al que lleguen varias actividades la mayor de las fechas entre todas las calculadas a lo largo de todos los caminos posibles.

TABLA DE LOS TIEMPOS "LAST"

Actividad	Duración de la actividad	Cálculo	Tiempos last	
			Nudo inicial	Nudo final
7 - 8	2	$25 - 2 = 23$	23	25
6 - 7	0	$23 - 0 = 23$	23	23
5 - 7	8	$23 - 8 = 15 \leftarrow$	15	23
5 - 6	3	$23 - 3 = 20$	15	23
4 - 5	4	$15 - 4 = 11$	11	15
3 - 4	0	$11 - 0 = 11$	11	11
2 - 4	3	$11 - 3 = 8$	7	11
2 - 3	4	$11 - 4 = 7 \leftarrow$	7	11
1 - 2	7	$7 - 7 = 0$	0	7

Con el cálculo de los tiempos *early* hemos obtenido la fecha del nudo final que nos da la duración del proyecto. Vamos a indicar ahora cómo hemos obtenido los tiempos *last*.

Al contrario de los tiempos *early*, restamos la duración de cada actividad de la fecha máxima del tiempo *last* del nudo final correspondiente a esa actividad, y tomamos como tiempo *last* del nudo del que parten varias actividades, la menor de las fechas calculadas a lo largo de todos los arcos, a través de los cuales es posible, retrocediendo, alcanzar ese nudo.

Como puede comprobarse para el nudo inicial (comienzo del proyecto) y para el nudo final (fin del proyecto) del grafo los tiempos *early* y *last* coinciden.

4.º Determinación del camino crítico.

El camino crítico está formado por una cadena de actividades críticas (aquellas cuya holgura total es nula) que va del nudo inicial al nudo final y es la duración máxima del proyecto.

Calculando la fluctuación de tiempos sabemos qué actividades no tienen holgura en su realización. Dichas actividades que, además, necesariamente se encuentran jalonadas por los nudos fijos (coincide el tiempo *early* y el tiempo *last*), constituyen el camino crítico.

CALCULO DEL CAMINO CRITICO

<i>Actividades</i>	<i>Duración</i>	<i>Tiempos de fluctuación</i> $T_F = L_j - E_i - D_{ij}$
1-2	7	$0 = 7 - 0 - 7$
2-3	4	$0 = 11 - 7 - 4$
2-4	3	$1 = 11 - 7 - 3$
3-4	0	$0 = 11 - 11 - 0$
4-5	4	$0 = 15 - 11 - 4$
5-6	3	$5 = 23 - 15 - 3$
5-7	8	$0 = 23 - 15 - 8$
6-7	0	$5 = 23 - 18 - 0$
7-8	2	$0 = 25 - 23 - 2$

L_j = Tiempo *last* del nudo final.
 E_i = Tiempo *early* del nudo inicial.
 D_{ij} = Duración de la actividad.

El camino crítico está constituido por la sucesión de las actividades críticas: 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-7 y 7-8. Y la duración del proyecto ya conocido por el tiempo *early* del acontecimiento final es la misma que la obtenida al sumar la duración de cada una de las actividades críticas, es decir, de veinticinco meses.

La actividad 2-4, aunque está delimitada por nudos fijos no *forma parte del camino crítico*, porque dicha actividad consume en su ejecución menos tiempo del que media entre los nudos fijos, y al presentar una holgura temporal no puede pertenecer al camino crítico.

Cualquier retraso en la ejecución de las actividades críticas supone un retraso en el plazo total de ejecución del proyecto. Por lo tanto el camino crítico condiciona la duración del proyecto y, por ello, ha de ser objeto de especial vigilancia.

5.º *Calificación de tiempos sobrantes.*

Al descubrir el camino crítico se ponen simultáneamente en evidencia las actividades con holgura temporal. Aplicando las expresiones conocidas para la determinación de los tiempos sobrantes podemos calcular para las actividades la holgura total, libre e independiente y, para los sucesos o nudos, el tiempo de interferencia u oscilación.

TABLA DE CALIFICACION DE TIEMPOS SOBANTES

Actividad	Tiempo de fluctuación	Tiempo libre	Tiempo independiente	Oscilación del nudo inicial	Oscilación del nudo final
	$T_F = L_j - E_i - D_{ij}$	$T_L = E_j - E_i - D_{ij}$	$T_I = E_j - L_i - D_{ij}$	$O_i = L_i - E_i$	$O_j = L_j - E_j$
1 - 2	0	0 = 7 - 0 - 7	0 = 7 - 0 - 7	0	0
2 - 3	0	0 = 11 - 7 - 4	0 = 11 - 7 - 4	0	0
2 - 4	1	1 = 11 - 7 - 3	1 = 11 - 7 - 3	0	0
3 - 4	0	0 = 11 - 11 - 0	0 = 11 - 11 - 0	0	0
4 - 5	0	0 = 15 - 11 - 4	0 = 15 - 11 - 4	0	0
5 - 6	5	0 = 18 - 15 - 3	0 = 18 - 15 - 3	0	5
5 - 7	0	0 = 23 - 15 - 8	0 = 23 - 15 - 8	0	0
6 - 7	5	5 = 23 - 18 - 0	0 = 23 - 23 - 0	5	0
7 - 8	0	0 = 25 - 23 - 2	0 = 25 - 23 - 2	0	0

L_i = Tiempo *last* del nudo inicial.
 E_j = Tiempo *early* del nudo final.

Mediante la relación existente entre los tiempos sobrantes podemos calcular el tiempo libre, restando el tiempo de fluctuación (holgura total) o tiempo total sobrante, el tiempo de oscilación del nudo de destino y el tiempo independiente deduciendo del tiempo libre el tiempo de oscilación del nudo de origen. Es decir, que llegamos a los mismos resultados que los anteriormente obtenidos, tal como puede verse a continuación:

Actividad	Tiempo libre	Tiempo independiente
	$T_L = T_F - O_j$	$T_I = T_L - O_i$ ó $T_I = T_F - O_j - O_i$
1 - 2	0 = 0 - 0	0 = 0 - 0
2 - 3	0 = 0 - 0	0 = 0 - 0
2 - 4	1 = 1 - 0	1 = 1 - 0
3 - 4	0 = 0 - 0	0 = 0 - 0
4 - 5	0 = 0 - 0	0 = 0 - 0
5 - 6	0 = 5 - 5	0 = 0 - 0
5 - 7	0 = 0 - 0	0 = 0 - 0
6 - 7	5 = 5 - 0	0 = 5 - 5
7 - 8	0 = 0 - 0	0 = 0 - 0

6.º Probabilidad de terminar el proyecto en veinticuatro meses.

Conocida la duración del camino crítico (veinticinco meses) se calcula la varianza (tomando las actividades críticas), que mide la aleatoriedad de cada fase, mediante la fórmula:

$$\sigma_T^2 = \left(\frac{tp - to}{6} \right)^2$$

Si consideramos los siguientes valores:

<i>Actividades críticas</i>	<i>Varianza</i>
1 - 2	4/36
2 - 3	16/36
3 - 4	0
4 - 5	4/36
5 - 7	16/36
7 - 8	0/36

Tenemos que

$$\sigma_T^2 = \frac{4}{36} + \frac{16}{36} + \frac{4}{36} + \frac{16}{36} = \frac{40}{36}$$

de donde resulta que la desviación típica vendrá expresada así:

$$\sigma_T = \frac{\sqrt{40}}{36}$$

El factor de probabilidad que buscamos se obtiene aplicando la fórmula:

$$Z = \frac{T_S - T_E}{\sigma_T} = \frac{24 - 25}{\frac{\sqrt{40}}{36}} = - 0,9$$

Conocido el valor de Z, llevamos dicho valor a una tabla de distribución normal, encontrando para una Z de - 0,9 una probabilidad de 0,1841, lo que nos indica que la probabilidad de terminar el proyecto en veinticuatro meses es del 18,41 por 100.

7.º *Matriz asociada al grafo y ruta crítica.*

Mediante una matriz asociada se puede reflejar toda la información que puede contener el grafo. De igual forma que calculamos en el grafo los tiempos *early* y *last* de los sucesos o nudos los obtenemos en la matriz asociada. Y, por lo tanto, el camino crítico que estará integrado por aquellos nudos que tengan iguales los tiempos *early* y *last*.

A continuación incluimos la matriz asociada al grafo PERT del problema estudiado.

i \ j	1	2	3	4	5	6	7	8	Tiempo <i>early</i>
1	x	7							0
2		x	4	3					7
3			x	0					11
4				x	4				11
5					x	3	8		15
6						x	0		18
7							x	2	23
8								x	25
Tiempo <i>last</i>	0	7	11	11	15	23	23	25	

Para calcular el tiempo *early* de un nudo, supuesto que ya se han obtenido los de los nudos anteriores, bastará sumar los números que figuren en la columna correspondiente a dicho nudo con los que aparecen en la misma fila que ellos en la columna de tiempos *early*, eligiendo el valor más alto.

Análogamente para el cálculo de los tiempos *last* de cualquier nudo, restaremos los nudos que figuran en la fila correspondiente a ese nudo de los valores que aparecen en la misma columna que ellos dentro de la fila de tiempos *last*, eligiendo el menor valor.

PROGRAMACION Y CONTROL POR EL METODO PERT

La ruta crítica pasará por los nudos 1-2-3-4-5-7- y 8 y corresponderá a las actividades críticas: 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-7 y 7-8. Y la duración del camino crítico, que expresa el tiempo de realización del proyecto, es igual a veinticinco meses.

ANEXO

TABLA DE DISTRIBUCION DE LA CURVA NORMAL

Z	P_R	Z	P_R
0	0,5000	— 3,0	0,0013
0,1	5398	— 2,9	0019
0,2	5793	— 2,8	0026
0,3	6179	— 2,7	0035
0,4	6554	— 2,6	0047
0,5	6915	— 2,5	0062
0,6	7257	— 2,4	0082
0,7	7580	— 2,3	0107
0,8	7881	— 2,2	0139
0,9	8159	— 2,1	0179
1,0	8413	— 2,0	0228
1,1	8643	— 1,9	0287
1,2	8849	— 1,8	0359
1,3	9032	— 1,7	0446
1,4	9192	— 1,6	0548
1,5	9332	— 1,5	0668
1,6	9452	— 1,4	0808
1,7	9554	— 1,3	0968
1,8	9641	— 1,2	1151
1,9	9713	— 1,1	1357
2,0	9772	— 1,0	1587
2,1	9821	— 0,9	1841
2,2	9861	— 0,8	2119
2,3	9893	— 0,7	2420
2,4	9918	— 0,6	2743
2,5	9938	— 0,5	3095
2,6	9953	— 0,4	3446
2,7	9965	— 0,3	3821
2,8	9974	— 0,2	4207
2,9	9981	— 0,1	4602
		— 0	5000

5. BIBLIOGRAFIA (otras obras y revistas)

- BATTERSBY: *Networ analyistor pianingand scheduling*, MacMillan, Londres, 1964.
- COMPANYS, R.: *Programación y control de costes*, A. P. D., 1965. "Las ligaduras de tipo acumulativo y las técnicas del camino crítico", *Estudios empresariales*, 1965/2.
- COMPANYS, R.; MARTÍ, M., y VERGARA, J. M.: *Problemas de programación*, Alta Dirección, 1965, n.º 5.
- CHACÓN, E.: *Curso de investigación operativa*, Deusto, Bilbao, 1968.
- CHAPMAN-HOYO: "Decisión progresiva en el método del camino crítico", *Revista Española de Economía*, mayo-agosto 1972.
- CHOULEUR, T.: *Las técnicas matemáticas en la empresa*, Deusto, Bilbao, 1969, 3.ª edición.
- CHRISTENSEN, B. M.: *The Critical Path Method, and optimizing-time-last planning and scheduling method*, General Electric, Arizona (Estados Unidos).
- CHRISTOPHE, J.: *Le PERT et la construction*, Dunod, París, 1969.
- FEDERAL ELECTRIC CORPORATION: "El método PERT", *Ciencia y Técnica*, Madrid, 1967.
- FERNÁNDEZ BALLESTEROS, F.: "Programación y control en PERT", *Productividad*, octubre-diciembre 1962, n.º 25.
- FIGUERA ANDÚ, J.: *PERT, CPM y ROY*, Saeta, Madrid, 1966.
- GARCÍA LAHIGUERA, F.: *Planificación y programación de una investigación de mercados mediante el método PERT*, Esic-Market, núm. 3.
- GIL PELÁEZ, J.: *Elaboración y Análisis de Redes para la Programación de Proyectos, EOI, Madrid*.
- KELLEY, I.: *Critical Path Planing Scheduling*, Mathematical, Basis, 1961.
- KELLEY, J.-WALKER, N.: *Critical Path Planing and Schduling*, 1959.
- LERETTI, J.: *Planification par la méthode de chemin critique*, Dunod, París, 1967.
- LOCKYER, K. G.: *Introducción a l'analyse du chemin critique*, Dunod, París, 1969.
- MULLER, R. W.: *Aplicación del Método PERT al control de programación, costes y beneficios*, Ed. del Castillo, Madrid, 1967.
- NEGRI, L.: *La investigación operativa como instrumento de dirección*, IEE, 1967.
- ODIORNE, G.: *Administración por objetivos*, El Ateneo, Buenos Aires, 1973.
- ORTIGUEIRA: "La programación de proyectos con recursos limitados", *Economía Política*.
- ROBERTSON: *El PERT. Planificación y Control de Proyectos*, Ibérico Europea de Ediciones, Madrid, 1971.
- SIERRA, J. L.: *Posibilidades que las técnicas de programación PERT ofrecen a la dirección*, Colección Pequeños Informes, A. P. D.
- SICARD, P.: *Prâtique du PERT. Methode de Controle des délais et des Couts*, Dunod, París, 1967.

PROGRAMACION Y CONTROL POR EL METODO PERT

- SYLVESTER, G. A.-SOSADA ESCALADA, J. M.: *PERT. Análisis de la red en la planificación, programación y control*, Instituto de Publicaciones Navales, Buenos Aires, 1967.
- VERHULST, M.: "Nueva orientación de la investigación en materia de planificación y de gestión a nivel de empresas", *BEE*, abril 1968, núm. 73.
- WIEST, J. D.-LEVI, F. K.: *A management guide to PERT/CPM*, 1969.
- ZADERENCO, S. G.: *Sistemas de Programación por camino crítico*, Mitre, Buenos Aires, 1968.

El fondo de rotación o working-capital como instrumento de análisis financiero en la empresa

JOSE LUIS SANCHEZ FERNANDEZ DE VALDERRAMA

Doctor en Derecho, licenciado en Ciencias Económicas y Empresariales y en ICADE.
Profesor Adjunto numerario de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Complutense de Madrid.

1. INTRODUCCION

El análisis financiero de la empresa lo constituye la investigación de los recursos financieros y la adecuación de los mismos a las inversiones, es decir, en líneas generales el objetivo básico sería comprobar si la explotación puede verse comprometida por una falta de afluencia de recursos —criterio de seguridad— o bien averiguar si dichos recursos se encuentran ociosos —criterio de rentabilidad— salvo el caso de que éstos estén cumpliendo una función preventiva determinada.

El concepto de financiación e inversión son términos correlativos y antitéticos en terminología contable. La empresa necesita de medios financieros que son materializados en un conjunto de bienes determinantes para la actividad económica de la empresa. Al referirnos a una inversión no nos referimos al concepto estricto de bienes de inmovilizado, sino al amplio que comprende cualquier utilización de unos medios financieros y que presuponen diferentes grados de inmovilización y una clasificación funcional de dichos bienes según el referido grado.

Este sentido amplio es el que nos permite distinguir los conceptos de inmovilización y de disponibilidad, inmovilización como medios financieros afectos a un proceso de producción y disponibilidad cuando no lo están, criterio que nos permite asegurar que las inmovilizaciones tienden continuamente a convertirse en disponibilidades mediante un proceso dinámico o continuo.

El objeto de estas líneas introductoras es poner de manifiesto que el

proceso financiación-inversión es, ante todo, dinámico, y que cualquier análisis que prescindiera de la consideración temporal del fenómeno es en sí incompleto y sujeto a crítica en cuanto a sus conclusiones.

En este orden de cosas, resulta innegable que este análisis debe efectuarse tanto en términos de estudio de los datos contables que posea la empresa como en el aspecto de estudios técnico-económicos que completen a los primeros y hagan posible la existencia de factores predictores. Este proceso se dirige a obtener conclusiones lo más aproximadas posibles a la realidad, base de una planificación de nuestra estructura financiera que, ante todo, debe ser lo suficientemente elástica para que en el desenvolvimiento posterior de la actividad empresarial, ésta no se encuentre en ningún momento comprometida.

Asimismo resulta indudable que estos estudios, centrados en el campo de la predicción, deben resultar lo suficientemente realistas como para evitar el llegar a conclusiones demasiado rígidas en el sentido de cifras únicas y determinadas, por muy bien que se hayan efectuado las ponderaciones, puesto que no hay que olvidar los tipos y grados de variables endógenas y exógenas que existirán en estudios de esta naturaleza y que indefectiblemente no podrán recogerse en su totalidad.

Esta disociación entre lo real y lo teórico, si pretendemos ser realistas, nos llevará a cifrar nuestras conclusiones en términos de máximos y mínimos. En el caso de la estructura financiera nos llevaría a preguntarnos cuáles son las necesidades que, como mínimo y con criterio pesimista, va a tener la actividad empresarial en su futuro desenvolvimiento y, por otra parte, en el caso más favorable y con un criterio optimista, el margen máximo.

Estas dos acotaciones permitirán, desde luego, un margen de seguridad por el que necesariamente deberá discurrir la actividad empresarial. Cualquier detección de un desvío respecto a este margen habilitaría automáticamente un control para analizar las causas y rectificar la situación, o, por el contrario, planificar de nuevo el sistema si la desviación obedeciera a factores de índole estructural, de dimensión, etc. Obsérvese que esta idea está, intuitivamente, al menos en la mente de todo hombre; un buen padre de familia, en función de sus ingresos y de sus expectativas, programa su presupuesto familiar entre los dos límites expuestos.