

# La técnica PERT en la programación y control de proyectos

**SUMARIO:** 1. INTRODUCCION. 2. IDEAS PREVIAS SOBRE PLANIFICACION. 3. DEFINICION DE PROYECTO. 4. FASES DE UN PROYECTO. 5. ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DE LOS PROYECTOS. 6. EL DIRECTOR DEL PROYECTO. 7. TECNICA PERT. 7.1. Aspectos generales. 7.2. Conceptos previos. 7.3. Pasos a seguir en la confección de un PERT. 7.3.1. Análisis y descomposición del proyecto en actividades. 7.3.2. Establecimiento de prelações. 7.3.3. Construcción del grafo y numeración de los sucesos. 7.3.4. Asignación de tiempos a las actividades. 7.3.5. Cálculo de los tiempos «lo más pronto posible» o *early* y «lo más tarde permisible» o *last* de comenzar y terminar las actividades. 7.3.6. Cálculo de holguras. 7.3.7. Camino crítico. 7.3.8. Cálculo de la probabilidad en el adelanto o retraso de un proyecto en relación a su tiempo medido de realización. 7.3.9. Establecimiento del calendario. ANEXOS: I. TABLA DE LA DISTRIBUCION NORMAL (0;1). II. BIBLIOGRAFIA.

## 1. INTRODUCCION

A pesar de que su desarrollo se realizó en los años cincuenta durante algún tiempo su aplicación se ciñó a unos ámbitos muy determinados. Actualmente se dice que el método PERT está «de moda». Esta afirmación se justifica por la gran oferta y demanda formativa existente sobre esta materia y por la extensión de su aplicación a nuevos tipos de proyectos que se enmarcan ya no sólo en las áreas clásicas de su utilización, sino en un gran abanico de sectores.

Para este impulso han tenido gran trascendencia dos factores: por una parte, el desarrollo de un nuevo estilo de dirección, que requiere de una planificación y control más eficaz, y por otra, el gran desarrollo informático que permite la utilización de un *hardware* y *software* adecuados y baratos para la solución de este tipo de problemas.

De este proceso no queda al margen la Administración pública que ya viene utilizando desde hace mucho tiempo el método PERT en el ámbito de proyectos de construcción, infraestructura y otras grandes realizaciones. No obstante, como consecuencia de la dinámica actual que caracteriza a su entorno, de la evolución tecnológica y de la necesidad de conseguir una utilización eficaz de los limitados recursos con que cuenta, es necesario que sus directivos y funcionarios se familiaricen y apliquen en una amplia gama de proyectos, técnicas de planificación y control que les permitan conseguir de una forma eficaz los objetivos que se planteen.

Una técnica idónea a utilizar en la planificación y control de proyectos, bien desarrollados por la propia Administración o encargados por contrata a otras organizaciones, es el PERT, ya que se puede aplicar a un amplio rango de proyectos, desde los simples hasta los muy complejos, su aprendizaje es relativamente fácil y su utilización es sencilla, máxime si se tiene en cuenta la gran ayuda que supone, hoy en día, el contar con abundante *software* específico que permite soslayar el aspecto tedioso de desarrollo en los medianos y grandes proyectos.

El objetivo del presente estudio es mostrar de forma sencilla, sin desarrollos matemáticos, los pasos necesarios a seguir para la confección de un PERT, desde el análisis y descomposición del proyecto en actividades hasta el establecimiento del calendario del proyecto, pasando por la construcción del grafo, asignación de tiempos a las actividades, cálculo de los tiempos *early* y *last*, establecimiento de la duración del proyecto, cálculo de holguras, determinación del cambio crítico y cálculo de la probabilidad en el adelanto o retraso de un proyecto con relación a su tiempo medio de realización. Este desarrollo teórico va acompañado de un ejemplo práctico y real, expuesto de forma simplificada como consecuencia de la limitación que supone un estudio de estas características, que se refiere a la realización de una Inspección Operativa de Servicios (IOS).

No obstante, dado que la técnica PERT se enmarca en un proceso más amplio, como es el de la planificación de la organización, se exponen en el primer apartado unas ideas generales sobre este proceso, analizando una de las muchas clasificaciones que se pueden hacer de los planes: estratégicos y operativos, y ubicando el concepto de proyecto en este marco. Asimismo en este apartado se desarrollan algunos aspectos de la función de control con la pretensión de introducir este término que será ampliamente manejado a lo largo del estudio.

El conocimiento de las materias presentadas en los apartados 3, 4, 5 y 6 se considera necesario y fundamental para llevar a cabo cualquier tipo de proyecto y, por supuesto, para aplicar idóneamente la técnica PERT concebida como herramienta de programación y control. Estos apartados, aunque expuestos de forma escueta, pretenden definir el tér-

mino proyecto, las distintas fases por las que atraviesa su desarrollo, las alternativas de organización que pueden establecerse para la ejecución del mismo y la figura del director de proyecto, pieza clave para conseguir con éxito los objetivos que se establezcan mediante su realización.

## 2. IDEAS PREVIAS SOBRE PLANIFICACION Y CONTROL

Los estudiosos de la dirección y los directivos todavía no se han puesto de acuerdo sobre la clasificación de las funciones de dirección. No obstante, en cualquier exposición que relacione estas funciones existe un común denominador: en todas ellas aparece la *planificación*.

Existe un amplio consenso en estimar que la planificación es un elemento clave de la dirección, aunque no haya un acuerdo unánime acerca de lo que exactamente significa la misma.

En la abundante bibliografía que existe sobre estos temas se pueden encontrar multitud de definiciones y clasificaciones sobre el concepto de planificación. Una definición muy general, aunque capta bien la filosofía del término, es la reflejada por Stephen P. ROBBINS en su libro *Administración, Teoría y Práctica*: «proceso de determinar objetivos y definir la mejor manera de alcanzarlos».

Aunque esta definición pueda parecer incompleta, en ella se recogen los cuatro puntos básicos de todo proceso planificador:

1. Definición de objetivos.
2. Establecimiento de las distintas líneas de acción que puedan llevar a alcanzar los objetivos.
3. Proceso de toma de decisiones para elegir la línea de acción que permita alcanzar los objetivos de la manera más eficiente.
4. Desarrollo de la línea seleccionada.

La función de planificación tiene distinta intensidad según el nivel jerárquico-organizativo donde nos situemos. A medida que se asciende en la escala jerárquica irá variando la naturaleza y el alcance de las responsabilidades planificadoras. En los niveles altos corporativos se marcan las directrices destinadas a conseguir los objetivos generales de la organización. En los niveles bajos de dirección, la planificación se realiza a corto plazo y trata sobre materias que están bajo la jurisdicción de las distintas jefaturas de menor rango. En consecuencia, la naturaleza de los deberes planificadores cambia a medida que lo hace el nivel jerárquico, el alcance de la autoridad directiva y las características de la propia organización.

Una de las muchas clasificaciones de *planes*, aunque en este caso es la que mejor se adapta a los fines del presente estudio, es la que los

divide en *estratégicos* y *operativos*. La planificación estratégica es la llevada a cabo por los altos directivos y en ella se fijan los objetivos generales y se definen las políticas y estrategias, normalmente a largo plazo, para conseguir aquéllos. Siguiendo a STEINER, para el desarrollo de esta planificación son necesarias tres premisas: 1) «los propósitos en lo organizativo y socioeconómico», es decir, lo que la sociedad espera de las organizaciones en cuanto al uso de recursos que tienen a su disposición para satisfacer las necesidades de dicha sociedad; 2) «los valores de los altos dirigentes», ya que éstos son los que tienen mayor influencia en este proceso planificador, y 3) «la evaluación de los problemas y oportunidades externas e internas, así como de los puntos fuertes y débiles de la organización».

A su vez la planificación operativa es el despliegue detallado de recursos para alcanzar las formulaciones fijadas en los planes estratégicos.

Por otra parte, conviene no olvidar que la planificación es un proceso continuo de toma de decisiones a la vez que un proceso dinámico, ya que aquélla se realiza siempre dentro de la variable tiempo.

Resumiendo y enlazando los dos tipos de planificación enunciados, y partiendo de las tres premisas citadas, en líneas generales el proceso planificador de una organización consiste en:

1. Definición de las misiones o fines fundamentales de la organización.
2. Definición de los objetivos generales, globales o estratégicos.
3. Establecimiento de políticas, entendidas éstas como amplios carriles en los que se mueve la acción.
4. Establecimiento y selección de estrategias, entendidas éstas como líneas de acción y despliegue de los recursos necesarios a fin de conseguir el objetivo designado.
5. Definición de objetivos operativos. A partir de la planificación estratégica se fijan los objetivos operativos que constituyen hechos más concretos, cuantificados y a corto plazo.
6. Establecimiento de líneas de acción que nos permitan conseguir los objetivos operativos.
7. Selección de la línea de acción que permita alcanzar el objetivo a menor costo y máxima utilidad.

Estas líneas de acción, que llevan a conseguir los objetivos operativos, se plasmarán en la mayoría de los casos en *proyectos*. Cada proyecto tendrá entonces su propio objetivo y será necesario llevar a cabo una programación, que permita conseguirlo de forma eficiente, y un control mediante el que se compruebe que la ejecución del proyecto se ajusta a lo programado, lo cual posibilita, en el caso de existir desviaciones, tomar las oportunas decisiones correctoras. La programación y el control se explicarán en una fase posterior de este artículo, mediante la aplicación de la técnica PERT.

No obstante, antes de pasar al siguiente apartado es conveniente resaltar la función de *control*, ya que ésta está unida de forma inseparable a la planificación.

KOOTZ, O'DONNELL y WEIHRICH, en su libro *Elementos de Administración*, definen el control como «la medición y la corrección del desempeño con objeto de asegurar que se están cumpliendo tanto los objetivos de la empresa como los planes elaborados para lograrlos». Es decir, lo que se pretende mediante el control es comprobar que las distintas actividades contenidas en el plan se van desarrollando de acuerdo con lo previsto, a fin de conseguir el objetivo establecido. En el supuesto de que existan desviaciones deben tomarse las decisiones oportunas que permitan corregirlas o, en su caso, volver a realizar una nueva planificación.

Para llevar a cabo el proceso de control es necesario fijar previamente unos estándares o puntos de referencia que permitan comparar lo planificado con las actividades ejecutadas. Durante la ejecución del plan se mide el desempeño real y se compara con los estándares fijados. Finalmente, si del resultado de esta comparación se detectan desviaciones, se tomarán las medidas oportunas.

El control proporciona también, mediante un proceso de retroalimentación, una valiosa información para posteriores planificaciones.

Los planes deben contener los estándares o normas de control. Los puntos escogidos para realizar el control deben ser críticos, es decir, deben mostrar mejor que otros la forma en que los planes se están desarrollando. La elección de estos puntos tiene gran influencia en la eficacia del proceso de control.

### 3. DEFINICION DE PROYECTO

En muchas ocasiones el término proyecto se aplica de forma casi exclusiva al sector industrial y al de la construcción. Bien es cierto que en estos sectores existen proyectos de mucha envergadura tanto por su duración como por los recursos humanos, económicos y materiales que consumen, por ejemplo: construcción de edificios, diseño de fábricas, ingeniería, etc. No obstante, cualquier directivo de una empresa de otros sectores tiene la necesidad de llevar a cabo determinados proyectos.

De las diversas definiciones sobre proyecto, que se pueden encontrar en la bibliografía especializada, se ha elegido, por su claridad de exposición y comprensión, la expresada por David I. CLELAND y Willian R. KING en su libro *Systems Analysis and Project Management*: «combinación de recursos humanos y no humanos reunidos en una organización temporal para conseguir un determinado objetivo».

De esta definición se pueden extraer las siguientes características:

1. Todo proyecto se desarrolla para conseguir un determinado objetivo. Este objetivo es consecuencia de un proceso de planificación previa, según vimos en el apartado anterior.
2. En un proyecto se combinan recursos humanos y no humanos reunidos en una organización. Es necesaria la existencia de una dirección y el establecimiento de una organización que aglutine e integre los recursos humanos, económicos, tecnológicos, etc., para conseguir los objetivos del proyecto de una forma eficiente.
3. Un proyecto se compone de acciones únicas y no repetitivas de duración determinada. La duración del proyecto es temporal. Esto es lo que diferencia a un proyecto de un proceso continuo.

En base a estas características es fácil comprobar que en la Administración pública se llevan a cabo infinidad de proyectos: implantación de una nueva unidad, desarrollo de aplicaciones informáticas bien por el propio Centro de Cálculo del organismo, bien contratadas a empresas externas, adquisición de ordenadores, implantación de un sistema de información al público, desarrollo de campañas de diversos tipos, reorganización de unidades, implantación de un nuevo procedimiento, preparación de elecciones sindicales, procesos de selección de personal, desarrollo de planes de formación, puesta en marcha de nuevas prestaciones económicas o servicios, etcétera.

Todos estos proyectos se diferencian tanto en su complejidad y tamaño como en el grado de riesgo que se asume en su ejecución. No obstante, a todos se les va a poder aplicar, bien de forma manual o por ordenador, para su programación y control la técnica PERT que se explicará posteriormente. Ello redundará en una mejora de la gestión en las diversas unidades organizativas de la Administración pública.

#### 4. FASES DE UN PROYECTO

Durante la vida de un proyecto, éste atraviesa por distintas fases en las que cada una tiene una misión determinada.

Aunque es muy difícil deslindar las distintas fases de un proyecto, y en muchas ocasiones éstas varían dependiendo del tipo del mismo, en general se puede decir que como mínimo en el desarrollo de un proyecto se contemplan cuatro fases:

1) *Estudio Preliminar*: todo proyecto se ejecuta para conseguir un objetivo. En esta fase se analizan las distintas alternativas que pueden llevar a la consecución del objetivo, se hace una primera valoración del tiempo que se tardará en realizar el proyecto, de los recursos hu-

manos y no humanos necesarios y del costo de los mismos. Además se establece el tipo de organización del proyecto y se definen las características del producto o servicio final a conseguir. Del resultado de este estudio se tomará la decisión de seguir o no con el desarrollo del proyecto.

II) *Diseño*: en función de las hipótesis establecidas en la fase anterior se fijan de forma definitiva los recursos humanos y no humanos necesarios, los costes reales y los requisitos de rendimiento. Se identifican las áreas de mayor riesgo. Se definen los sistemas de seguimiento y control, así como el de retroalimentación durante la ejecución del proyecto y, si se considera conveniente, se trazan planes de contingencia y se prepara la documentación necesaria para la implantación del producto.

En esta fase se confecciona el Plan del Proyecto, que es el principal documento para su dirección.

III) *Ejecución*: según las instrucciones definidas en la fase anterior se va ejecutando el proyecto, así como efectuando su seguimiento y control para cumplir las especificaciones. Si el proyecto se desvía de lo programado, debe realizarse un análisis detallado de los motivos e inclusive, si fuere necesario, se llevaría a cabo un replanteamiento del mismo.

Si es preciso, en esta fase se pueden ir pasando pruebas para comprobar que se van cumpliendo los requisitos definidos y se define el plan de pruebas del producto para ser utilizado en la siguiente fase.

IV) *Abandono*: normalmente el producto del proyecto va a ser utilizado en otras organizaciones, lo que implica la necesidad de integrarlo en las mismas. En esta fase se realiza dicha integración y se transfiere la responsabilidad del producto a las nuevas organizaciones que van a utilizarlo.

Puede suceder que el producto requiera instalación, lo que supone que antes de hacerlo operativo es necesario analizarlo y comprobarlo mediante la ejecución de pruebas o test para verificar que cumple las especificaciones de rendimiento y calidad referidas anteriormente.

En la ejecución de un proyecto siempre suelen producirse una serie de problemas que hay que afrontar y para los que es necesario adoptar determinadas soluciones. Además, es posible que en un proyecto se haya aplicado una nueva técnica, utilizado un nuevo equipo informático, etc. Todas estas experiencias e informaciones obtenidas a lo largo del desarrollo de un proyecto pueden ser muy importantes y pueden facilitar el trabajo de futuros proyectos. Por ello, es necesario mantener una base de datos que contenga la información que se considere conveniente y que pueda ayudar en posteriores desarrollos.

## 5. ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DE LOS PROYECTOS

La definición de proyecto, a la que hemos hecho referencia, mencionaba la necesidad de que existiera una organización temporal que reuniese los recursos humanos y no humanos.

En el desarrollo de cada proyecto es necesario llevar a cabo diversas actividades a fin de conseguir el objetivo determinado. Estas actividades se asignan para su realización a unas personas que tendrán la responsabilidad de ejecutarlas de acuerdo con las directrices que les marquen sus superiores. Al mismo tiempo, las jefaturas deberán supervisar el trabajo de las personas que tienen bajo su mando. Todo esto requiere unos sistemas de información, comunicación, coordinación y autoridad. La columna vertebral que soporta estos procesos es lo que se denomina *estructura organizativa*.

La estructura de una organización permite fijar qué debe hacer cada quien y quién es el responsable de conseguir tales resultados, así como elimina cualquier obstáculo que interrumpa el cumplimiento de las funciones asignadas a cada persona, proporciona las vías de comunicación idóneas y posibilita la correcta toma de decisiones, en base a una información suficiente, para la consecución de los objetivos del proyecto.

Existe una gran variedad de formas de organización aplicables a los proyectos. En un extremo se encuentra la organización pura por proyecto, que se forma por la extracción de una parte de la organización general que funcionará durante toda la vida del mismo y que estará compuesta por todas aquellas áreas funcionales necesarias para ejecutarlo. El director del proyecto tendrá la total autoridad sobre las personas que lo componen. En el otro extremo está la organización funcional que agrupa especialidades ocupacionales similares y relacionadas y refleja la jerarquía tradicional. En medio hay una infinidad de combinaciones de organización por proyecto-función, que son las organizaciones matriciales expresadas en sus distintos grados de fortaleza.

Cada una de estas formas tiene sus ventajas e inconvenientes y no existe ninguna organización que sea ideal para todos los proyectos. Por el contrario, para cada proyecto habrá que buscar el tipo de organización que se adapte mejor a sus características y que permita conseguir los objetivos de la manera más eficiente.

Veremos a continuación cuáles son las ventajas e inconvenientes de cada tipo de organización:

*Organización funcional:* la agrupación de actividades se realiza de acuerdo con las funciones del organismo. Cada unidad organizativa está formada por expertos en una determinada materia. Se tiende a resaltar las relaciones jerárquicas.

**Ventajas:**

- Cada persona puede ser simultáneamente asignada a diferentes proyectos.
- Favorece la especialización. La experiencia adquirida en un proyecto, en una determinada parcela, puede ser utilizada en sucesivos proyectos.
- Flexibilidad en la utilización del personal.
- Ofrece medios para un control estricto desde la cabeza de la organización.

**Inconvenientes:**

- No se adapta a las variaciones del entorno ni a las nuevas necesidades del proyecto.
- Dificulta la coordinación.
- Las decisiones se concentran en la cima de la jerarquía.
- Resta importancia a los objetivos del proyecto en favor de los objetivos funcionales.
- Ninguna persona es responsable del proyecto concebido como unidad organizativa.
- La creatividad orientada a resolver los problemas específicos del proyecto es baja.

*Organización por proyecto:* es una estructura creada específicamente para cada proyecto y desaparece al terminar el mismo. En ella tienen cabida todas las áreas funcionales que requiere el desarrollo del proyecto y todas dependen de un director, el cual tiene toda la responsabilidad sobre el proyecto y total autoridad sobre las personas que con dedicación plena participan en el mismo.

**Ventajas:**

- La responsabilidad y autoridad no se difuminan, ya que se centralizan en el director del proyecto.
- El personal asignado al proyecto informa directamente, o a través de los mandos intermedios, al director del proyecto.
- Existe un interlocutor único y válido tanto con el director general como con las organizaciones o unidades externas al proyecto, que es el director del proyecto.
- El esfuerzo se concentra en la obtención de resultados finales.

**Inconvenientes:**

- No promueve el aprendizaje y cualificación profesional, ya que el personal permanece mucho tiempo en un proyecto y no mantiene contacto con otros trabajos de menor duración y más variados, donde se puedan aplicar nuevas tecnologías que vayan surgiendo.

- Se tiende a mantener a los especialistas en el proyecto más tiempo del estrictamente necesario.
- El tiempo de dedicación de las personas asignadas al proyecto puede ser irregular, lo que incrementará los costes.
- Se produce duplicidad de actividades con otras áreas del organismo.

*Organización matricial:* crea una cadena dual de mando, por lo que viola de forma implícita el principio lógico de unidad de mando. Cada proyecto es dirigido por un director de proyecto y se nutre con personal perteneciente a cada una de las unidades funcionales cuyas especialidades son necesarias para el desarrollo del mismo. Por tanto, cada persona depende de dos jefaturas, una el director del proyecto y otra su propio director funcional. La departamentalización funcional es usada para tener economías derivadas de la especialización.

El director del proyecto tiene autoridad sobre los empleados en lo relativo a las metas del proyecto.

La idea de la organización matricial es tratar de crear una estructura que goce de la fortaleza de la funcional y de la de proyecto, intentando paliar las debilidades de ambas.

Ventajas:

- Al igual que la estructura funcional, ofrece las ventajas que surgen de la especialización.
- Aunque de forma menos intensa que las organizaciones por proyecto, el esfuerzo se concentra en los resultados finales, pero tiene la ventaja de que adolece de la duplicidad de funciones y recursos que aquélla tenía.
- Reacciona con cierta facilidad ante los cambios.
- Reduce las exigencias de información.
- La mano de obra se utiliza de forma flexible.
- Los especialistas tienen su unidad funcional, en la que se ubican cuando no están asignados a proyectos concretos.
- La experiencia técnica adquirida en un proyecto queda disponible en la unidad funcional para ser aplicada en proyectos posteriores.

Inconvenientes:

- Propicia la falta de unidad de mando.
- Se necesitan directores de proyecto experimentados en relaciones humanas. En muchas ocasiones tienen que ejercer una intensa labor de motivación para conseguir resultados.
- Puede existir dificultad para que las actividades de los especialistas sean realizadas en los plazos y con los costes previstos, debido a las deficiencias de coordinación y mando.

- Da pie a conflictos entre las jefaturas de proyecto y las funcionales.
- En proyectos muy grandes puede llegar a ser una estructura compleja.

Normalmente la organización del proyecto varía con la complejidad del mismo, desde una estructura funcional para proyectos sencillos y casi unidisciplinarios, pasando por organizaciones matriciales en su vertiente de matriz débil, donde el director del proyecto se puede concebir como un coordinador, inclusive con dedicación a tiempo parcial, y la matriz fuerte, donde el director del proyecto tiene una dedicación total y los proyectos pueden ser ya bastante complejos, hasta las organizaciones por proyecto que se utilizan para proyectos muy complejos y de muy larga duración.

No obstante, influyen también en la elección del tipo de organización otros factores como el tamaño, la tecnología aplicable, la diferenciación, la importancia, etcétera.

## 6. EL DIRECTOR DEL PROYECTO

La existencia de un director de proyecto es fundamental para alcanzar los objetivos que se pretendan mediante la ejecución del mismo.

La principal responsabilidad de todo director de proyecto es conseguir los objetivos en el plazo, coste y con las especificaciones de calidad previstas.

La dirección de un proyecto en su forma más amplia implica ejercer las siguientes funciones: participación en la fijación del objetivo del proyecto, así como en los parámetros de tiempo, coste, calidad del producto o servicio, técnicas a utilizar, etc.; establecimiento de la organización del proyecto, lo que implica la definición de la estructura organizativa, descripción de los puestos de trabajo, asignación de responsabilidades, reclutamiento del personal y establecimiento de los sistemas de información; programación en cuanto a tiempos, costes y recursos, así como la localización de estos últimos y fijación de los estándares de control, y, por último, ejercer el control de tiempos, costes, recursos y calidad del producto o servicio, tomar las decisiones oportunas e informar a la alta dirección.

No obstante, no todos los directores de proyectos llevan a cabo las mismas funciones ni tienen la misma autoridad y responsabilidad. Ello depende de la complejidad y tamaño del proyecto y de la organización del mismo.

En las organizaciones funcionales tradicionales, el director del proyecto suele ser un *staff* de la dirección o una persona ubicada en una de las unidades funcionales que informa directamente al director o sub-

director correspondiente. El personal asignado al proyecto puede estar ubicado en unidades funcionales dependientes de la del director del proyecto o en otras distintas. En el caso de *staff*, el personal puede pertenecer a la unidad de *staff* o estar en unidades funcionales. Normalmente, tanto el director del proyecto como las personas que participan en el mismo no tiene dedicación exclusiva al proyecto, pueden participar en diversos proyectos a la vez o simultanearlos con tareas propias de las unidades funcionales donde están ubicados. Los tipos de proyectos que se desarrollan con esta organización suelen ser simples y de poca duración.

El director del proyecto no constituye una unidad de dirección, más bien se dedica a interpretar la información que le llega y a transmitirla. No suele tener capacidad de decisión y no ejerce autoridad, a no ser por vía jerárquica. Su responsabilidad suele ser limitada. Actúa más como activador y centro de comunicaciones que como director, aunque sí conoce todos los extremos relativos al proyecto y puede llegar a ejercer un cierto control sobre los mismos.

En este tipo de organizaciones puede caerse en la tentación de investir al director de una responsabilidad que no es acorde con la autoridad y capacidad de decisión que se le otorgan, por ello, es necesario que cuando se realice la designación por escrito, queden fijados todos estos extremos.

No obstante, a pesar de las normas escritas, las características de esta organización requieren que el director cuente con una gran capacidad de influencia y unas buenas relaciones humanas.

En las organizaciones por proyecto el director está investido de toda autoridad y responsabilidad, y puede ejercer todas las funciones de dirección en su ámbito más extenso dentro del proyecto, inclusive la contratación del personal. Esta es una organización idónea para proyectos muy complejos y de muy larga duración y en los que el personal participa en régimen de dedicación total.

En la organización matricial, el director del proyecto debe integrar los esfuerzos funcionales y externos a la organización, a fin de conseguir el objetivo fijado. Realiza funciones de planificación y programación de recursos, así como su seguimiento y control. Tiene asignada la capacidad de toma de decisiones. El personal que participa en el proyecto sigue dependiendo funcionalmente del director funcional. El director del proyecto indica lo que hay que hacer, por qué hay que hacerlo, cuándo debe estar terminado y a cuánto debe ascender su coste, y el director funcional marcará, normalmente, cómo, dónde y quién debe realizar la tarea. De esta forma, el director del proyecto debe operar a través de los distintos directores funcionales para la dirección de los recursos que sean necesarios, a fin de llevar a cabo el proyecto de manera eficaz.

El rango de autoridad y responsabilidad del director del proyecto varía según la fortaleza de la matriz. En una organización matricial débil se le puede considerar como un coordinador, que ejerce sobre todo las funciones de control aunque sin gran capacidad de decisión. En una matriz fuerte realiza funciones de auténtico directivo, inclusive selecciona al personal que va a participar en el proyecto, aunque no lo contrata.

Los tipos de proyectos que se realizan con esta organización varían también según la fortaleza de la matriz, desde proyectos bastante simples y de relativa corta duración hasta proyectos complejos y de mucha duración.

Una de las características de este tipo de organización es la posibilidad de conflictos entre el director del proyecto y los directores funcionales. El director del proyecto debe procurar minimizar los conflictos mediante planes que estén claramente definidos y comunicados; procedimientos escritos, detallados y divulgados; asignación correcta de responsabilidades y puesta en conocimiento de la importancia que tienen las distintas tareas para conseguir los objetivos del proyecto y de la organización en general. Asimismo, debe mantener un ambiente de trabajo cómodo y ejercer unas buenas relaciones humanas.

En los proyectos que se llevan a cabo en la Administración pública puede darse cualquier tipo de organización de las expuestas, aunque normalmente predomina la funcional y la matricial como consecuencia de las características de los proyectos que se desarrollan. Dentro de estos dos tipos de organización la que se observa con más frecuencia es la funcional, cuyo director, en muchos casos, actúa de forma no reglamentada o con apelativos como «encargado de llevar a cabo el trabajo X», «coordinador del proceso Y», «responsable del trabajo Z», etcétera.

Los problemas expuestos para el director de un proyecto, cuya organización es funcional, se pueden acentuar aún más en el ámbito de la Administración pública como consecuencia de sus propias características: organizaciones jerárquicas muy tradicionales, rigidez de actuaciones, procesos muy burocratizados, dirección enfocada al cumplimiento de las normas más que a la consecución de eficacia, falta de planificación, etcétera.

Todo director de proyecto debe contar con suficientes medios instrumentales que le permitan llevar a cabo las funciones que tiene encomendadas. Como mínimo, y para proyectos que superen la barrera de muy simples, los medios con que debe contar son:

- *Plan del proyecto*: debe ser redactado por el director del proyecto antes de iniciar los trabajos y contendrá un resumen de toda la planificación en forma breve y concisa. A lo largo de la vida del proyecto es lógico que el plan sufra modificaciones, lue-

go es necesario que el director del proyecto lo vaya modificando y actualizando.

Los apartados mínimos a tener en cuenta son: breve resumen del proyecto; objetivos a conseguir; restricciones en cuanto a plazo de ejecución, costes y rendimiento o calidad del producto o servicio; directrices para controlar cualquier modificación; programa de ejecución (PERT o GANTT); fecha de entrega del proyecto finalizado o, en su caso, de entregas parciales; presupuesto; descripción de la organización del proyecto; controles a realizar en cuanto a plazo de ejecución, costes y calidad del producto o servicio; contrataciones o compras; pruebas a realizar en su caso; instalaciones auxiliares; contrato si fuera necesario, etc.

- *Manual de procedimientos*, en el que se recopilan las normas e instrucciones de carácter técnico y administrativo necesarios para llevar a cabo las distintas tareas. Su utilidad es grande, como forma de estandarización y como indicación del camino a seguir en las actuaciones cuando los proyectos son de mediana o gran dimensión. También es útil cuando existen nuevas incorporaciones de personal, como elemento de ayuda en la puesta al día e integración al trabajo de estas personas.
- *Programación detallada del plazo de ejecución, de los costes y seguimiento y control de ambos*. Para la programación del plazo de ejecución se puede utilizar la técnica PERT, que se explicará en el próximo apartado.

Partiendo de la programación inicial y según vaya transcurriendo la ejecución del proyecto, es conveniente incorporar a la misma los cambios que se produzcan y que hayan sido detectados en las revisiones periódicas que se efectúen. Al mismo tiempo, es necesario realizar previsiones en base a la información que se va obteniendo, a fin de simular el desarrollo de las fases que faltan por ejecutar en el proyecto y tomar las decisiones oportunas para corregir posibles desviaciones tanto en los apartados de costes como de plazos o calidad o, si no existe otra alternativa, decidir qué o cuáles de estos apartados son modificados y cuál o cuáles permanecen inalterables.

- *Informes sobre el proyecto*: estos informes suelen producirse de forma periódica, a no ser que las condiciones de desarrollo del proyecto aconsejen a su director contar con un informe puntual sobre un determinado aspecto del mismo.

Normalmente, estos informes se refieren a plazos, costes, incidencias, calidad del producto, etcétera.

Independientemente de los informes particulares sobre costes, financieros y de recursos, cabría destacar los siguientes:

- *Informe de progreso*: en él se recogen las actividades programadas a la fecha prevista, lo realmente realizado, lo que falta por llevar a cabo, así como la previsión para terminar el proyecto y el impacto que la situación actual puede tener en la programación.
- *Informe sobre desviaciones*: recopila las desviaciones sufridas en las actividades críticas y las medidas que se han tomado para paliar estas desviaciones, así como las incidencias de las mismas en otros factores como pueden ser el incremento de costes, cambios en las definiciones de calidad, etcétera.
- Un tipo de informe que puede ser útil para futuros desarrollos, por la aplicación que pueden tener las experiencias obtenidas en el proyecto, es el *informe final del proyecto*, donde se reflejan, de manera sucinta, la historia del proyecto, las desviaciones surgidas, las medidas adoptadas y su resultado, las incidencias por aplicación de nuevas técnicas, etcétera.

## 7. TÉCNICA PERT

### 7.1. ASPECTOS GENERALES

La técnica PERT —Program Evaluation and Review Technique— nace en el año 1958 para paliar las dificultades de programación, coordinación y control que tenía la Marina de los Estados Unidos en el desarrollo del proyecto del submarino atómico Polaris. En este proyecto participan 250 contratistas directos y más de 9.000 subcontratistas. La aplicación del PERT ahorró, según el almirante Rayborn, dos años en su ejecución.

Esta técnica fue desarrollada por la Oficina de Evaluación de Programas, dependiente de la Oficina de Programas Especiales de la Marina de los Estados Unidos, junto con las empresas Booz, Allen y Hamilton, y Lockheed System Division.

En el año 1957, la empresa norteamericana E. I. Dupont de Nemours junto con la Remington Rand Univac desarrollaron la técnica CPM —Critical Path Method— como método para la planificación y control del mantenimiento de equipos industriales.

Las técnicas PERT y CPM presentaban en sus versiones originales nítidas diferencias, pero con el tiempo algunos autores fueron fundiéndolas en un solo sistema, perdiéndose así la filosofía que caracterizaba a cada una de ellas. Posteriormente a la aparición del PERT y CPM se desarrollaron multitud de técnicas basadas en los principios en que éstas se apoyaban: la división del proyecto en distintas actividades y la

interrelación de las mismas según la secuencia de su ejecución formando una malla.

La diferencia fundamental entre el PERT y CPM se centra en que mientras que el PERT estima la duración de las actividades en sentido probabilístico, lo que se lleva a cabo solamente para un nivel de coste, el CPM relaciona la duración y el coste, realizando la elección de la duración adecuada de forma que el coste total sea mínimo.

La aplicación de la técnica PERT proporciona a la dirección del proyecto la siguiente información:

- Duración media de las actividades.
- Duración media del proyecto.
- Probabilidad de adelantar o retrasar el proyecto con relación a la duración programada.
- Secuencia en que deben realizarse las actividades, lo que implica conocer qué actividades deben estar ejecutándose en un determinado momento.
- Actividades críticas, entendiéndose como tales aquellas en las que un retraso en su desarrollo, con relación a lo programado, implica un retraso en la finalización del proyecto.
- Actividades no críticas y el tiempo en que las mismas pueden retrasar su ejecución sin perjudicar la duración prevista del proyecto.
- Situación de la ejecución del proyecto, en una fecha determinada, en relación a la programación realizada.
- Conocer con suficiente antelación el listado de las actividades a realizar en un próximo futuro, lo que permite definir el momento adecuado para la realización de compras, determinación de las previsiones de costes, establecimiento o modificación de controles, etcétera.

Todo ello puede permitir una dirección por excepción, lo que significa que la dirección sólo actuará cuando surjan desviaciones respecto del programa previsto. En el supuesto de desviaciones, la técnica permite calcular dónde se puede reforzar la marcha del proyecto para contrarrestar la demora.

Se debe mencionar también, por su sencillez, el gráfico de GANTT, desarrollado a principios de este siglo por Henry GANTT. Su confección es muy simple. Consta de una escala dividida en unidades de tiempo situadas en la horizontal de la parte alta del gráfico y un listado de las actividades relacionadas de forma vertical situadas en la parte izquierda del gráfico. Una barra o línea es usada para expresar la duración de cada actividad en relación con la escala de tiempos. Se pueden utilizar líneas de diverso grosor o de distinto color para distinguir lo programado de lo realizado.

A diferencia del PERT y CPM, el GANTT realiza la planificación y la programación al mismo tiempo. Es decir, la longitud de la barra que representa cada actividad indica las unidades de tiempo que consume la misma. Otra desventaja importante que tiene el GANTT es no mostrar las interdependencias entre las actividades. No obstante, éste es un gráfico, como antes se comentó, sencillo de realizar, muy inteligible e idóneo complemento del PERT o CPM. Actualmente, cualquier aplicación informática, dedicada al desarrollo de proyectos, permite, además de la obtención del PERT o CPM, la obtención del GANTT. Estas aplicaciones permiten también relacionar y efectuar simulaciones con las variables plazo de ejecución del proyecto y coste, según la asignación de recursos. Hay que tener en cuenta que en la consecución del objetivo de un proyecto influyen tres variables estrechamente relacionadas entre sí: calidad o prestaciones del producto o servicio que se pretende obtener mediante la ejecución del proyecto, plazo de ejecución y coste. La alteración de una de estas tres variables suele suponer, al menos, la alteración de otra de ellas. Las aplicaciones informáticas disponen normalmente de calendarios relativos a diversos años, en los que se marcan los domingos, festivos u otros días no laborales; ello permite obtener los diagramas e informes con fechas de calendario.

## 7.2. CONCEPTOS PREVIOS

A continuación se definen algunos conceptos básicos necesarios para la estandarización y comprensión de los términos que se utilizarán para explicar la técnica PERT.

*Actividad:* todo acto caracterizado por una duración y que es necesario realizar para alcanzar un cierto objetivo en el ámbito de un proyecto. La actividad puede requerir recursos propios, como mano de obra, material, etc., o no requerirlos, como esperas de material, equipo subcontratado, etcétera.

Dentro del grafo las actividades se representan por arcos o flechas. La longitud de la flecha no representa cantidad de tiempo.

A cada actividad hay que asignarle un código o nomenclátor que la identifique.

Como resumen, se puede decir que una actividad viene caracterizada por cuatro parámetros: las dependencias o posición que ocupa en el proyecto, su duración, los recursos humanos y materiales que emplea y las tareas que engloba.

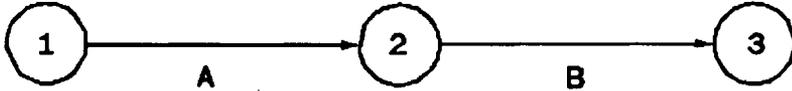
*Suceso:* es un acontecimiento en el tiempo, una fecha. Un suceso no consume recursos, sólo indica el comienzo o final de una actividad o conjunto de actividades.

Dentro del grafo los sucesos se representan por círculos.

A cada suceso se le asigna un código que sirve para identificarle.  
*Camino:* Sucesión de sucesos (fig. 7.1).

FIGURA 7.1

Los **sucesos** son: 1, 2 y 3.  
 Las **actividades** son: A y B.



La actividad A también se puede identificar como 1-2 y la B como 2-3, es decir, una actividad se puede referenciar también por el suceso del que parte y al que llega, separados por un guión.

La exposición teórica de los distintos apartados que se relacionan a continuación va a ir acompañada del desarrollo de un caso práctico real que, aunque expuesto de forma muy simplificada, puede ilustrar la aplicación de la técnica PERT.

El caso práctico elegido es el desarrollo de una Inspección Operativa de Servicios (IOS) entendida como «conjunto sistemático de estudios y análisis que tienen por finalidad mejorar el funcionamiento de una Unidad o servicio de la Administración». La aplicación de la IOS se configura en diversos módulos. En el presente ejemplo se desarrolla el módulo correspondiente al estudio preliminar, cuyo objetivo, que será el objetivo del proyecto, es detectar aquellos puntos débiles o áreas de mejora potencial, así como los puntos fuertes de la organización X a fin de proponer las medidas oportunas que permitan eliminarlos o potenciarlos, según el caso.

El desarrollo de este trabajo se llevará a cabo por un inspector que actuará como director del proyecto, asumiendo tareas de dirección y ejecución, y tres analistas de IOS, niveles 26, que asumen funciones de ejecución.

El código por el que se va a referenciar a cada una de estas personas es: el inspector por una I y los analistas por A1, A2 y A3. Las personas que participan en el proyecto lo hacen a tiempo parcial, compaginando su realización con otros proyectos.

### 7.3. PASOS A SEGUIR EN LA CONFECCION DE UN PERT

#### 7.3.1. *Análisis y descomposición del proyecto en actividades*

La primera tarea que es necesario llevar a cabo es descomponer el proyecto en actividades. En proyectos grandes la descomposición se hace yendo de lo general a lo particular, aislando en primer lugar los

grupos principales de actividades, después se descomponen en subgrupos, y así sucesivamente hasta llegar a las «actividades particulares».

El nivel de desagregación de las actividades depende del tipo de proyecto y del grado de detalle que se desee alcanzar en el posterior seguimiento o análisis del mismo.

Hay que procurar que la fragmentación en actividades no dé como resultado una gran diferencia en la duración de las mismas.

Una vez obtenida la relación de actividades, se asigna a cada una de ellas un identificativo.

En el ejemplo de la IOS, la relación de las actividades y sus identificativos son:

A. Organización del estudio: descripción de las actividades a realizar, asignación de responsabilidades, elección del lugar físico de trabajo, definición de estándares y necesidades de documentación, formación del equipo, etc. En esta actividad participan todos los miembros del equipo.

B. Recopilación de información por A1.

C. Recopilación de información por A2.

Las actividades B y C se refieren tanto a la información que el organismo tenga elaborada: organigrama teórico, normativa, memorias, objetivos, etc., como a aquella que sea preciso elaborar y que no consta por escrito: organigrama real, relación de procedimientos, asignación real del personal, etcétera.

D. Primera puesta en común. Participa todo el equipo. Se relaciona toda la información obtenida, se deducen conclusiones y se preparan las técnicas nominales de grupo y la entrevista con el director general.

E. Entrevista de I con el director general del organismo.

F. Realización de la técnica nominal de grupo 1 por A1. Número de participantes en la técnica: diez.

G. Realización de la técnica nominal de grupo 2 por A2. Número de participantes en la técnica: seis.

H. Realización de la técnica nominal de grupo 3 por A3. Número de participantes en la técnica: siete.

I. Refundición de la información obtenida en las técnicas nominales de grupo y tratamiento global. Participan A1, A2 y A3.

J. Segunda puesta en común. Participa todo el equipo de trabajo. Se relaciona toda la información recopilada y se preparan las entrevistas, la técnica de análisis de flujos y los muestreos de procedimientos que se van a llevar a cabo.

K. Realización de muestreos en dos tipos de expedientes para calcular su tiempo medio de tramitación. Obtención de resultados y análisis de la información. Esta actividad la lleva a cabo A3.

- L. Realización de entrevistas. Esta actividad la ejecuta I.
- M. Realización de entrevistas por A1.
- N. Realización de la técnica de análisis de flujos por A2, en la que participan ocho personas de la organización.
- O. Puesta en común de la información obtenida de las entrevistas y tratamiento global. Participan I y A1.
- P. Tratamiento de toda la información obtenida. Formulación de propuestas de actuación y priorización. Participa todo el equipo de trabajo.
- Q. Confección del informe provisional. Participa todo el equipo.

En las actividades B, C, E, F, G, H, L, M y N se realiza también el tratamiento de la información que se obtiene.

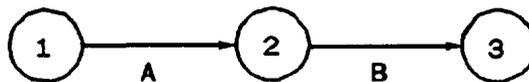
### 7.3.2. Establecimiento de prelación

Una tarea fundamental para la confección de un PERT es saber la posición que ocupan las distintas actividades en el proyecto, ello implica el conocer qué actividades es necesario ejecutar antes de iniciar una determinada, es decir, qué actividades la preceden y qué actividades pueden comenzar una vez realizada ésta, o sea, a qué actividades precede.

Las *prelaciones* pueden ser de diversos tipos:

- *Prelaciones lineales*: cuando para iniciar una actividad es necesario que haya finalizado otra. A precede a B (fig. 7.2).

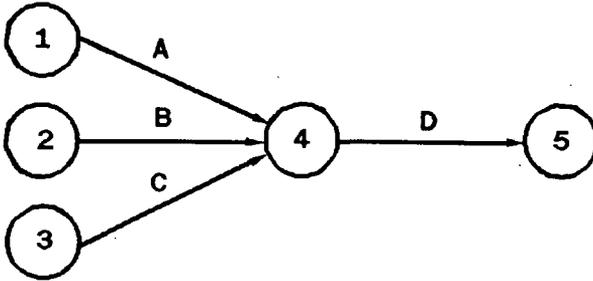
FIGURA 7.2



No puede iniciarse B sin haber finalizado A.

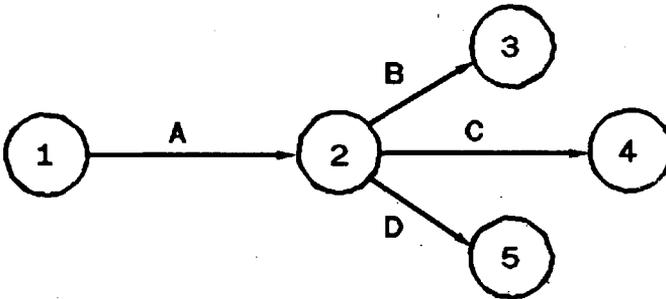
- *Prelaciones que originan una convergencia:* cuando para iniciar una actividad es necesario que hayan finalizado otras actividades. A, B y C preceden a D (fig. 7.3).

FIGURA 7.3



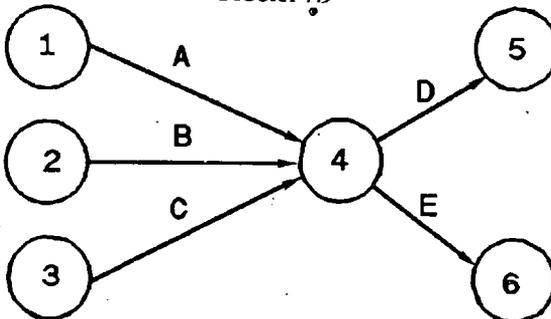
- *Prelaciones que originan divergencia:* para poder iniciar un conjunto de actividades es necesario que haya terminado una sola actividad. A precede a B, C y D (fig. 7.4).

FIGURA 7.4



- *Prelaciones que originan convergencia y divergencia:* para iniciar un conjunto de actividades es necesario que hayan terminado otras actividades. A, B y C preceden a D y E (fig. 7.5).

FIGURA 7.5



*Problemas que se pueden presentar:*

Cuando entre ciertas actividades se tiene un caso de prelaiones lineales y de convergencia o de divergencia simultáneamente.

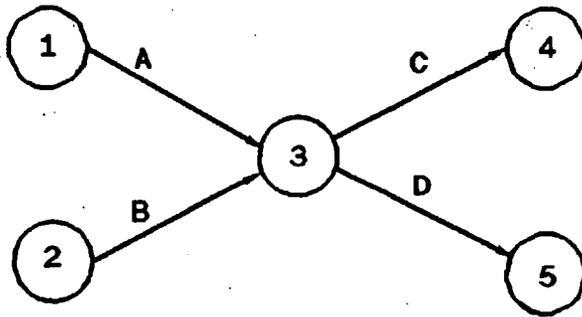
Ejemplo:

A y B preceden a C.

A precede a D.

Se podría pensar que la representación gráfica fuese la reflejada en la figura 7.6.

FIGURA 7.6

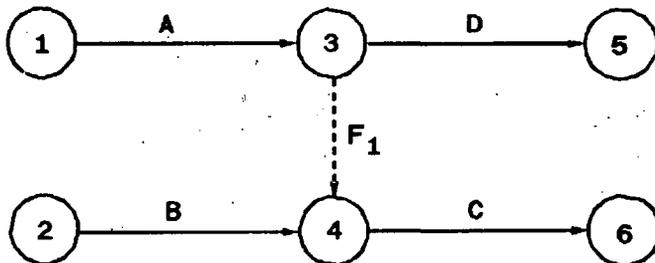


Pero este gráfico no cumple las prelaiones dichas, ya que B precede a D, presupuesto éste no contemplado en los datos.

Para resolver este problema se recurre a las actividades ficticias. Estas actividades, que no consumen ni tiempo ni recursos, son únicamente enlaces lógicos que permiten reflejar formalmente las prelaiones existentes entre las diversas actividades de un proyecto. Se representan en trazos discontinuos.

La solución sería la reflejada en la figura 7.7, en la que se ha incluido la actividad ficticia  $F_1$ .

FIGURA 7.7



Se cumple que A precede directamente a D y a través de la ficticia  $F_1$  también a C, pero B sólo precede a C.

Otro problema que puede presentarse es el de las actividades paralelas.

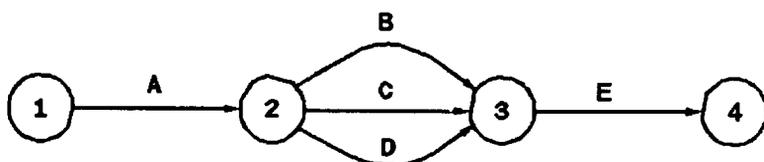
Ejemplo:

A precede a B, C y D.

B, C y D preceden a E.

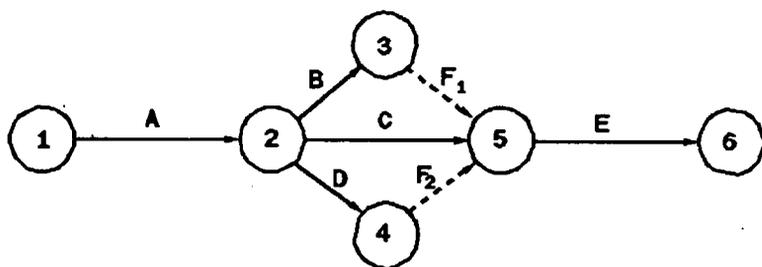
Se podría interpretar que el grafo tuviese la forma de la figura 7.8.

FIGURA 7.8



Pero existe una ambigüedad de actividades, ya que como se había expuesto, la actividad B se podría denominar 2-3, la C también 2-3 y la D igualmente 2-3, luego serían la misma actividad. Ello implica la necesidad de recurrir a actividades ficticias (fig. 7.9).

FIGURA 7.9



### 7.3.3. Construcción del grafo y numeración de los sucesos

Antes de comenzar la construcción del grafo es necesario conocer perfectamente las actividades que se van a llevar a cabo y sus prelaaciones. Asimismo, es necesario también tener claros los conceptos de suceso inicial y suceso final de un proyecto.

*Suceso inicial de un proyecto:* aquel que representando el comienzo de una o varias actividades, no representa el final de ninguna otra. Solamente puede existir un suceso inicial.

*Suceso final de un proyecto:* aquel que representando el final de una o varias actividades, no representa el comienzo de ninguna otra. Solamente puede existir un suceso final.

Existen varios procedimientos para sistematizar la información relativa al ordenamiento de las actividades. A continuación se describen dos de ellos:

- Matriz de encadenamientos.
- Cuadro de prelación.

*Matriz de encadenamiento:* es una matriz cuadrada de orden igual al número de actividades. Se pondrá una «X» en aquel elemento de la matriz que sea el cruce de una columna y una fila, tal que la actividad relativa a la columna precede a la correspondiente a la fila. Es decir, si se pone una «X» en la intersección de la columna A con la fila B, indica que la actividad A precede a la B.

Cuando un elemento aparece marcado por una «X», indica que para poder iniciar la actividad que corresponde a la fila es preciso que haya terminado la actividad que corresponde a la columna.

En el ejemplo de la IOS la lista de prelación es:

- A precede a B y C.
- B y C preceden a D.
- D precede a E, F, G y H.
- F, G y H preceden a I.
- E e I preceden a J.
- J precede a K, L, M y N.
- L y M preceden a O.
- K, N y O preceden a P.
- P precede a Q.

La matriz de encadenamiento es la reflejada en el cuadro 7.1.

Aquellas filas de la matriz que no tienen ninguna «X» indican actividades que no tienen ningún precedente. Serán actividades cuyo suceso inicial coincide con el inicio del proyecto.

Aquellas columnas en las que no aparece ninguna «X» indican actividades que no preceden a ninguna otra, es decir, no hay actividades siguientes. En este caso su suceso final coincide con el suceso final del proyecto.

*Cuadro de prelación:* consiste en hacer un cuadro de dos columnas. En la primera columna se relacionan las actividades y en la segunda las precedentes a cada una de ellas.

Para el ejemplo de la IOS el cuadro de prelación corresponde al cuadro 7.2.

CUADRO 7.1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
A																	
B	X																
C	X																
D		X	X														
E				X													
F				X													
G				X													
H				X													
I					X	X	X										
J				X					X								
K										X							
L										X							
M										X							
N										X							
O												X	X				
P											X			X	X		
Q																	X

CUADRO 7.2

Actividades	Precedentes
A.....	—
B.....	A
C.....	A
D.....	B, C
E.....	D
F.....	D
G.....	D
H.....	D
I.....	F, G, H
J.....	E, I
K.....	J
L.....	J
M.....	J
N.....	J
O.....	L, M
P.....	K, N, O
Q.....	P

*Numeración de los sucesos:* normalmente los sucesos se numeran de izquierda a derecha y de arriba abajo del gráfico.

Si para su construcción se utiliza una aplicación informática no es preciso seguir ninguna regla.

Para el ejemplo de la IOS el gráfico tendría el aspecto reflejado en la figura 7.10.

#### 7.3.4. Asignación de tiempos a las actividades

En muchas ocasiones la duración de una actividad no puede fijarse con exactitud, ya que depende de circunstancias aleatorias.

El método PERT aborda este problema considerando tres estimaciones de tiempo:

*Tiempo optimista:* representa el tiempo mínimo en que podría realizarse una actividad en el supuesto de que todo sucediese excepcionalmente bien. Le denominamos  $a$ .

*Tiempo pesimista:* tiempo máximo en que podría ejecutarse una actividad si todas las circunstancias que influyen en su duración fuesen desfavorables. Lo identificamos por  $b$ .

*Tiempo más probable:* tiempo en que podría ejecutarse una actividad si todas las circunstancias que influyen en su duración no fuesen excesivamente desfavorables ni excesivamente favorables. Le denominamos  $m$ .

Después de haber realizado estas estimaciones de tiempo para cada actividad, se calcula el tiempo PERT ( $D$ ) para cada una de ellas:

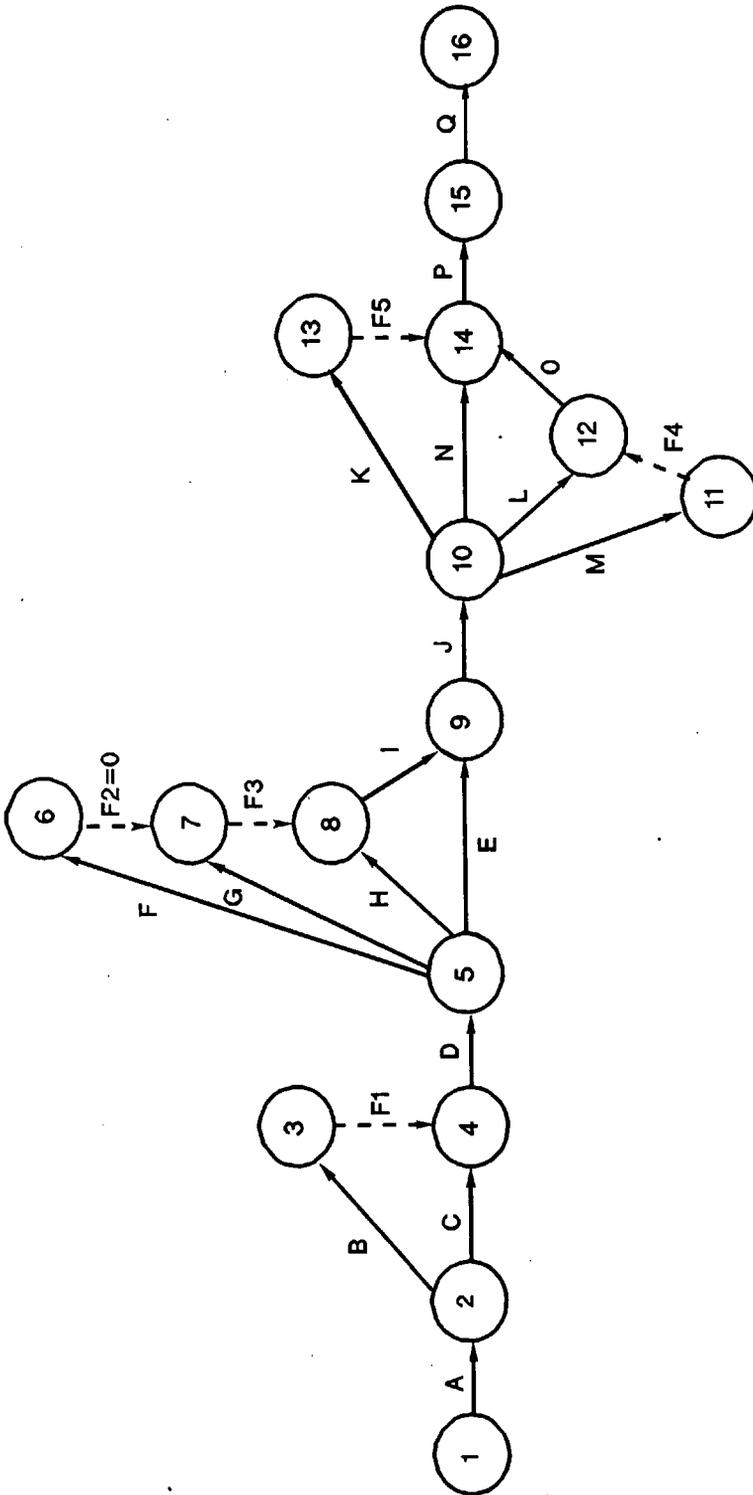
$$D = \frac{a + 4m + b}{6}$$

La duración de todas las actividades se expresa en una misma unidad de tiempo (horas, días, meses...).

La asignación de los diversos tiempos a las actividades la realiza el director del proyecto. No obstante, para llevar a cabo esta tarea debe contar con personal experto en la ejecución de la actividad de que se trate, así como con el responsable directo que se encargará de la realización de la misma.

En relación con el ejemplo que estamos tratando, se puede confeccionar el cuadro 7.3 para el cálculo de los tiempos PERT, en el que se parte de la información obtenida hasta este momento y de los tiempos optimista, más probable y pesimista que se indican.

FIGURA 7.10



CUADRO 7.3

Actividades	Sucesos		Tiempos			
	Inicial-final		Optimista (a)	Más probable (m)	Pesimista (b)	PERT (D)
A.....	1	2	1	3	5	3
B.....	2	3	2	4	6	4
C.....	2	4	2	3	4	3
D.....	4	5	1	2	3	2
E.....	5	9	1	1	1	1
F.....	5	6	2	3	4	3
G.....	5	7	1	2	3	2
H.....	5	8	1	2	3	2
I.....	8	9	1	1	1	1
J.....	9	10	1	2	3	2
K.....	10	13	3	4	5	4
L.....	10	12	3	6	9	6
M.....	10	11	3	4	11	5
N.....	10	14	2	4	6	4
O.....	12	14	1	1	1	1
P.....	14	15	5	7	9	7
Q.....	15	16	4	5	6	5

Una vez calculados los tiempos PERT, el grafo tendría el aspecto de la figura 7.11.

7.3.5. *Cálculo de los tiempos «lo más pronto posible» o early y «lo más tarde permisible» o last de comenzar y terminar las actividades*

Según lo expresado anteriormente los sucesos se representan por círculos. En el interior de este círculo se indicaba el número de suceso.

De ahora en adelante el círculo que representa a un suceso se va a dividir en tres partes. En una de ellas se indicará el número del suceso, en otra la fecha más temprana de realización del suceso o tiempo *early* y en la otra la fecha más tardía de realización del mismo o tiempo *last*.

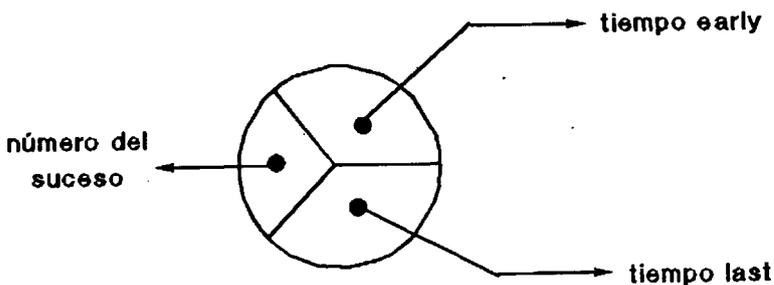
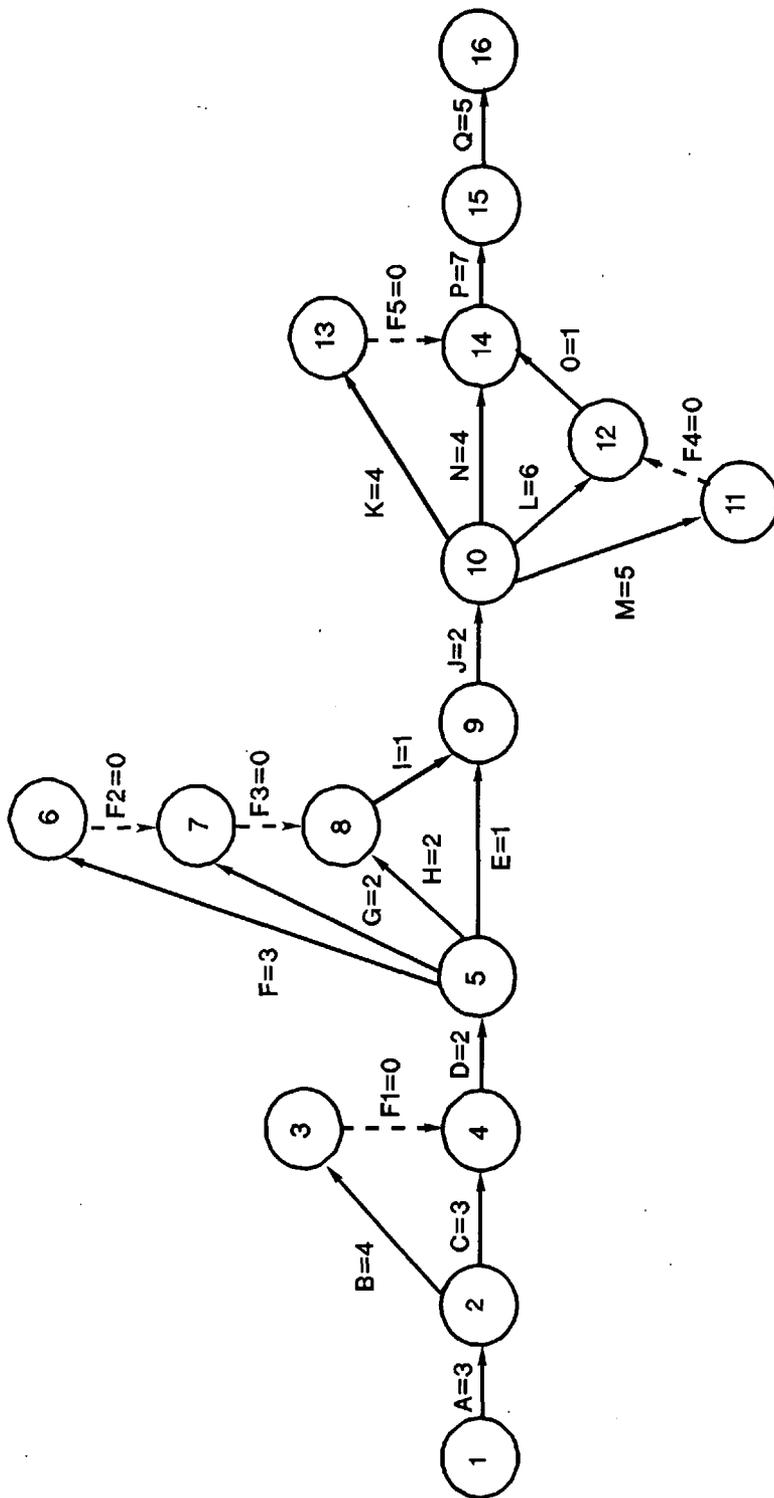


FIGURA 7.11



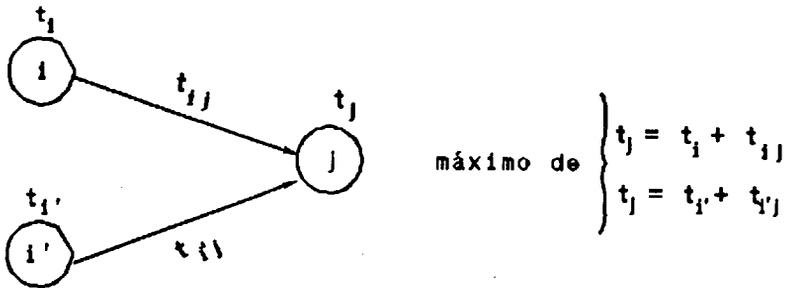
Una vez establecido el grafo en la etapa anterior, el responsable del proyecto se plantearía la siguiente pregunta: ¿cuál es la duración del proyecto? Para contestar a esta pregunta se van a calcular los tiempos *early* de los distintos sucesos. La duración del proyecto no puede ser inferior a la suma de los tiempos PERT tomados sobre el camino más desfavorable.

El tiempo *early* de un suceso *j* es el tiempo mínimo necesario para llegar a ese suceso, es decir, la fecha más temprana en que puede ser alcanzado. Asimismo, afecta a todas las actividades que parten de él, señalando la fecha «más pronto posible» en que éstas pueden comenzar.

Sean dos actividades *i-j* e *i'-j*, cuyas duraciones son  $t_{ij}$  y  $t_{i'j}$

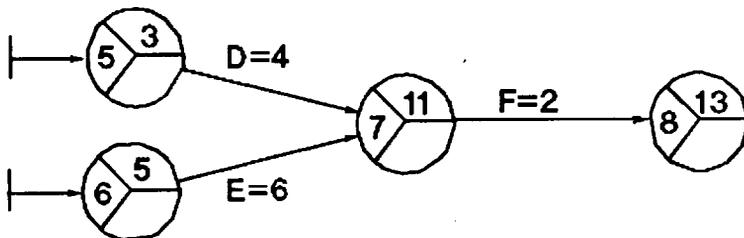
Si los tiempos *early* de los sucesos *i* e *i'* con  $t_i$  y  $t_{i'}$ , respectivamente, el tiempo *early* del suceso *j* será  $t_j = \max [t_i + t_{ij}, t_{i'} + t_{i'j}]$ , es decir, será el máximo de las dos expresiones:  $t_j = t_i + t_{ij}$  y de  $t_j = t_{i'} + t_{i'j}$  (fig. 7.12).

FIGURA 7.12



El procedimiento para este cálculo es de tipo iterativo y se efectúa de izquierda a derecha del grafo, comenzando por el suceso inicial, al que se le asigna un tiempo cero.

FIGURA 7.13



Suponiendo que se aísla una parte de un hipotético gráfico (fig. 7.13) que contiene los sucesos 5, 6, 7 y 8, y que los tiempos *early* de los sucesos 5 y 6 son 3 y 5, respectivamente. Para el cálculo del tiempo *early* del suceso 7 se tienen que tener en cuenta dos opciones, ya que al suceso 7 llegan dos actividades:

1) Partiendo del suceso 5, cuyo tiempo *early* es 3, y sumando la duración de la actividad D, que es 4.

$$t_7 = 3 + 4 = 7$$

2) Partiendo del suceso 6, cuyo tiempo *early* es 5, y sumando la duración de la actividad E, que es 6.

$$t_7 = 5 + 6 = 11$$

El máximo valor de las dos opciones es 11, luego el tiempo *early* del suceso 7 es 11.

El cálculo del tiempo *early* del suceso 8 no supone ningún problema, ya que a él solamente le llega una actividad. Luego será el tiempo *early* del suceso 7, que es 11, más la duración de la actividad F, que es 2; el total es 13.

En la figura 7.14 se pueden apreciar los tiempos *early* del ejemplo de la IOS.

Se recuerda que hay que comenzar por asignar un tiempo *early* cero al primer suceso, y que cuando desembocan en un suceso dos o más actividades se escoge como tiempo *early* el mayor de los tiempos en que finalizan las actividades que llegan a ese suceso. En este proceso hay que tener en cuenta las actividades ficticias aunque su duración sea igual a cero.

El tiempo *early* del último suceso indica la duración total del proyecto.

Cálculo del tiempo «lo más tarde permisible» o *last*:

El tiempo *last* de un suceso  $i$  trata de medir el máximo tiempo hasta el que se puede retrasar la llegada de una o varias actividades a un suceso, de forma que no se retrase la duración del proyecto.

Sean dos actividades  $i-j$  e  $i-j'$ , cuyas duraciones son  $t_{ij}$  y  $t_{ij'}$ .

Si los tiempos *last* de los sucesos  $j$  y  $j'$  son  $t_j^*$  y  $t_{j'}^*$ , respectivamente, el tiempo *last* del suceso  $i$  será  $t_i^* = \min [t_j^* - t_{ij}, t_{j'}^* - t_{ij'}]$ ,  $i, j$ , es decir, será el mínimo de las dos expresiones:  $t_i^* = t_j^* - t_{ij}$  y de  $t_i^* = t_{j'}^* - t_{ij'}$  (fig. 7.15).

FIGURA 7.14

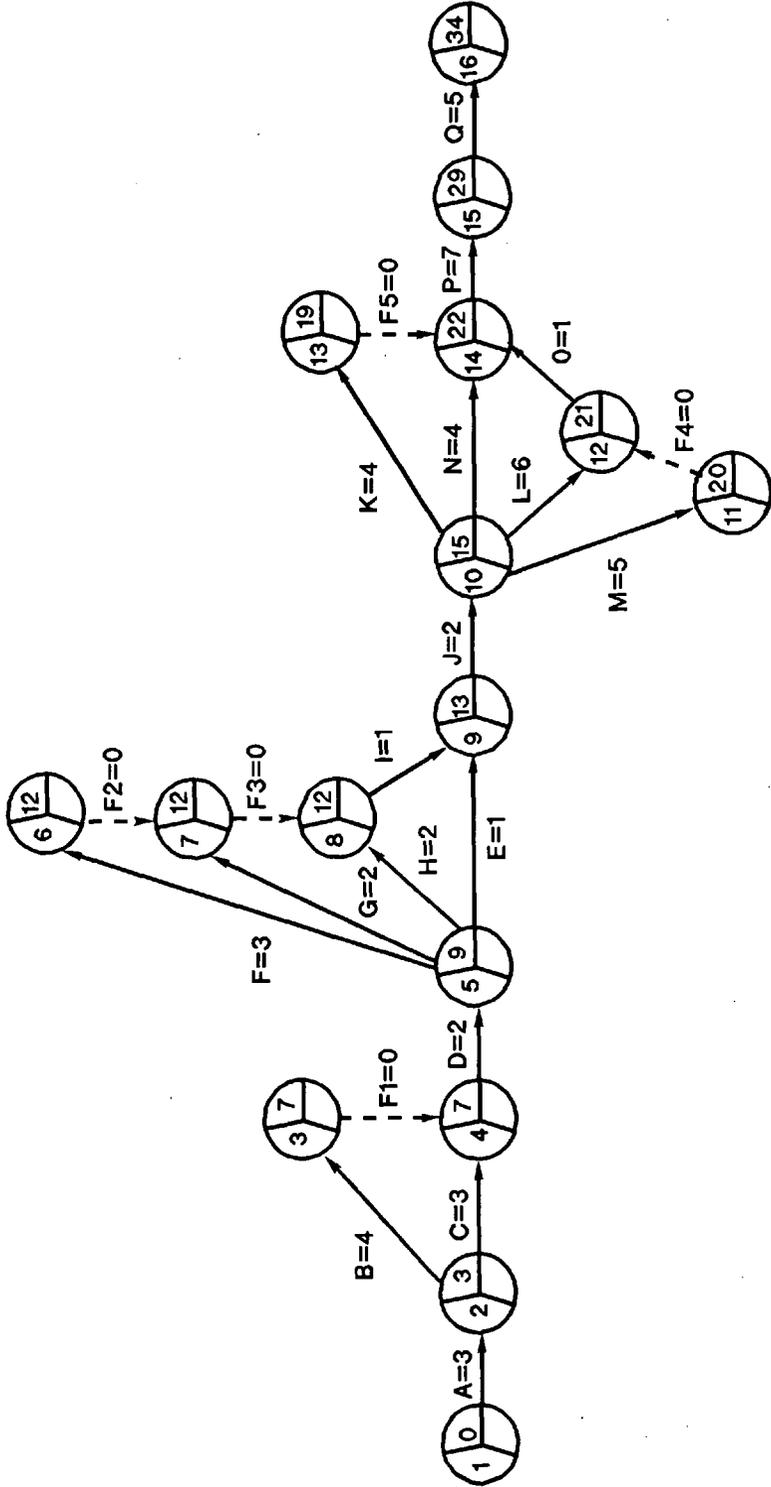
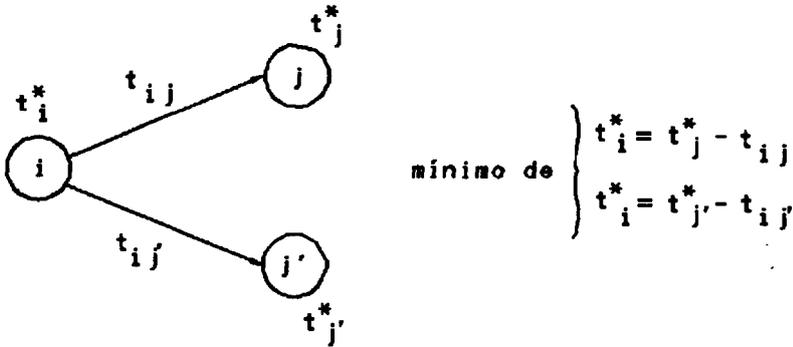
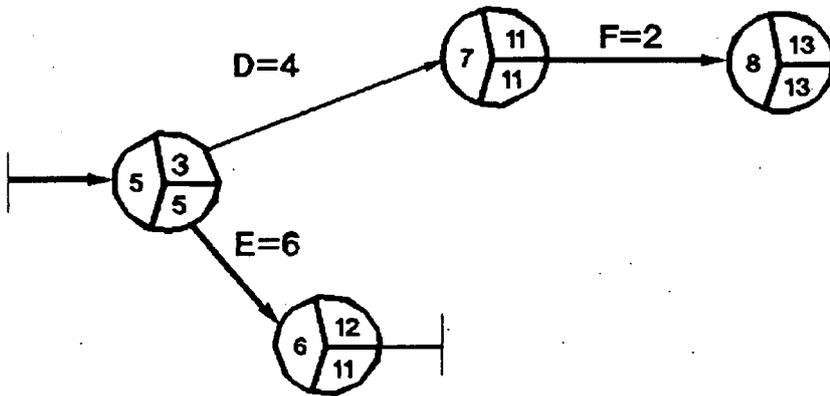


FIGURA 7.15



El procedimiento de este cálculo es de tipo iterativo y se efectúa de derecha a izquierda del grafo, comenzando por el suceso final y partiendo de la duración total del proyecto. Al suceso final se le asigna un tiempo *last* igual al *early* que se había calculado para ese suceso.

FIGURA 7.16



Suponiendo que se aísla una parte de un hipotético gráfico (fig. 7.16) que contiene los sucesos 5, 6, 7 y 8 y que el suceso final es el 8 con un tiempo *early* de 13. Se iguala en el suceso 8 el tiempo *last* al *early*. Partiendo del suceso 8 vamos hacia el 7. Como el 7 solamente sale una actividad, su tiempo *last* será el del 8 menos la duración de la actividad F. Luego  $t_7^* = 13 - 2 = 11$ .

Para el cálculo del tiempo *last* del suceso 5 hay que tener en cuenta dos opciones, ya que de este suceso salen dos actividades:

1.º Partiendo del suceso 7 será: el tiempo *last* del suceso 7 que vale 11 menos la duración de la actividad D, que vale 4.

$$t_7^* = 11 - 4 = 7$$

2.º Partiendo del suceso 6 será: el tiempo *last* del suceso 6 suponemos que vale 11 menos la duración de la actividad E, que vale 6.

$$t_6^* = 11 - 6 = 5$$

El valor mínimo de las dos opciones es 5, que será el valor del tiempo *last* del suceso 5.

En la figura 7.17 se pueden apreciar los tiempos *last* del ejemplo de la IOS.

Se recuerda que hay que comenzar por asignar al último suceso un tiempo *last* igual al *early* calculado para el mismo.

Cuando de un suceso parten dos o más actividades, se toma como tiempo *last* de ese suceso el menor de los resultados de restarle a cada tiempo *last* de los sucesos donde finaliza cada actividad la correspondiente duración de la actividad.

En el supuesto de que de un suceso parta sólo una actividad su tiempo *last* se calcula restando del tiempo *last* del suceso final de la actividad el valor de la misma.

Otra forma para calcular los tiempos *early* y *last* de los sucesos de un proyecto es mediante la *matriz de Zaderenko*.

Es una matriz cuadrada de orden igual al número de sucesos. Como ya se comentó, una actividad se puede identificar, entre otras formas, por los códigos de sus sucesos inicial y final separados por un guión.

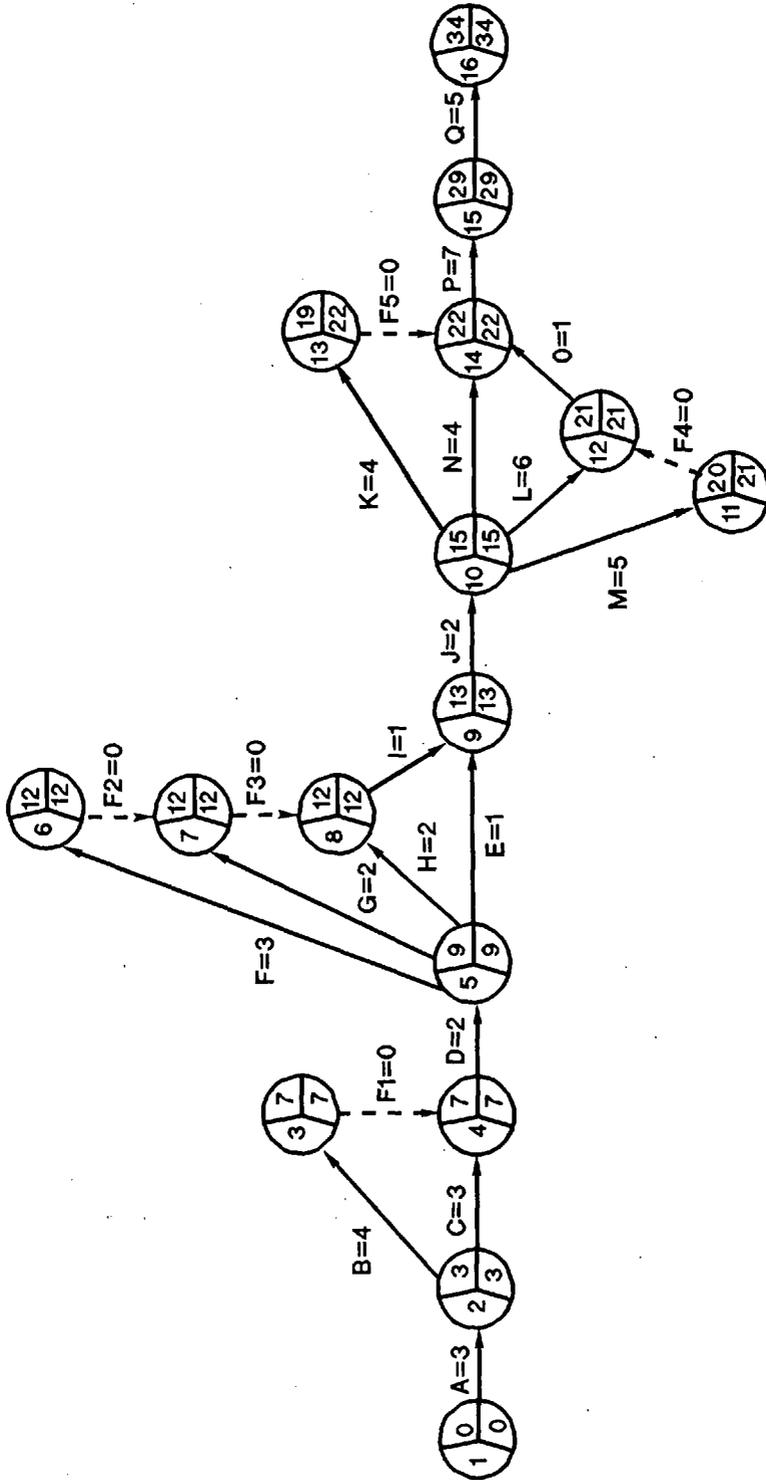
En la matriz de Zaderenko se relacionan en una columna situada a la izquierda los sucesos iniciales (*i*) y en una fila superior los finales (*j*). Los elementos de la matriz corresponden a los tiempos PERT de las actividades que van desde el suceso indicado en la fila que cruza ese elemento hasta el suceso indicado en la columna que también cruza ese elemento. Si se cumple, para todas las actividades, que el valor del suceso inicial (*i*) es menor que el del suceso final (*j*) la matriz será triangular, lo que implica que solamente los elementos situados por encima de su diagonal principal podrán tener un valor distinto de cero.

A este esquema se le añade una nueva columna en la parte izquierda, donde irán anotándose los tiempos *early*, y una fila en la parte inferior, donde se escribirán los tiempos *last*.

Se comienza por calcular los tiempos *early*, para lo cual se coloca un cero en la casilla de la columna de tiempos *early* que corresponde al primer suceso.

Los tiempos *early* de los demás sucesos se deducen sumando a cada elemento de la matriz (tiempo PERT) relativo a la columna del suceso cuyo tiempo *early* estamos calculando, el tiempo *early* que correspon-

FIGURA 7.17



de a la fila de ese mismo elemento. De todas las sumas obtenidas, la mayor será el tiempo *early* buscado.

Para el cálculo de los tiempos *last* se le asigna el tiempo *early* del último suceso del proyecto al tiempo *last* del mismo suceso.

Los demás tiempos *last* se calculan de derecha a izquierda empezando por la última casilla, cuyo valor ya se ha fijado. El proceso a seguir es restar cada elemento de la matriz (tiempo PERT) relativo a la fila del suceso cuyo tiempo *last* queremos calcular, al tiempo *last* que corresponde a la columna de ese elemento. De todas las diferencias obtenidas, la menor indica el tiempo *last* buscado.

Para los cálculos enunciados hay que tener en cuenta las actividades ficticias, aunque éstas tengan una duración igual a cero.

En el ejemplo de la IOS, la matriz de Zaderenko sería la representada en el cuadro 7.4.

CUADRO 7.4

$t_i$	$j_i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	1		3														
3	2			4	3												
7	3				0												
7	4					2											
9	5						3	2	2	1							
12	6							0									
12	7								0								
12	8									1							
13	9										2						
15	10											5	6	4	4		
20	11												0				
21	12														1		
19	13														0		
22	14																7
29	15																5
34	16																
	$t_i^*$	0	3	7	7	9	12	12	12	13	15	21	21	22	22	29	34

### 7.3.6. Cálculo de holguras

Una información de suma importancia para el director del proyecto es conocer cuánto tiempo se puede retrasar una actividad sin afectar a la duración del proyecto; si alguna actividad se retrasa, cómo puede influir en las que le siguen aunque no afecte a la duración del pro-

yecto o qué actividades no se pueden retrasar porque si no afectarían a la duración estimada del proyecto.

Toda esta información, y alguna más, se obtiene a través del cálculo de las holguras. Estos cálculos se basan en los tiempos *early* y *last* deducidos, así como en la duración de las actividades.

Se van a expresar tres tipos de holguras de actividades: la holgura total, la libre y la independiente, siendo las dos primeras las más importante por el tipo de información que facilitan.

*Holgura total de una actividad:*  $HT_{ij}$

Es el tiempo que resulta de restar al tiempo *last* del suceso final de una actividad el tiempo *early* del suceso inicial de la misma y la duración de la actividad (fig. 7.17).

$$HT_{ij} = t_j^* - t_i - t_{ij}$$

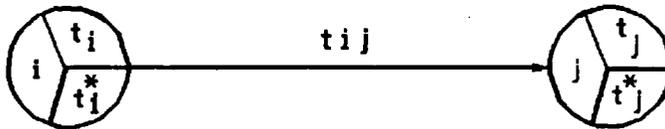
Siendo

$t_j^*$  = tiempo *last* del suceso *j*;

$t_i$  = tiempo *early* del suceso *i*;

$t_{ij}$  = duración de la actividad *i-j*.

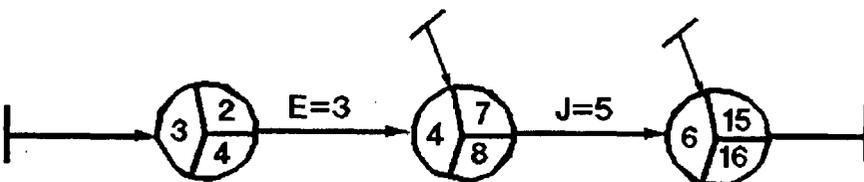
FIGURA 7.17



La holgura total de una actividad indica el número de unidades de tiempo que se puede retrasar una actividad sin que se perjudique la duración total del proyecto. Sin embargo, si por esa actividad se consume la totalidad o parte de su holgura total, se puede producir una disminución en la holgura total de las actividades siguientes.

Supongamos que aislamos dos actividades de un hipotético proyecto: E y J, con los datos que se indican en la figura 7.18.

FIGURA 7.18



Representando en la figura 7.19 los distintos momentos en los que se pueden iniciar las actividades E y J.

La holgura total de la actividad E sería:

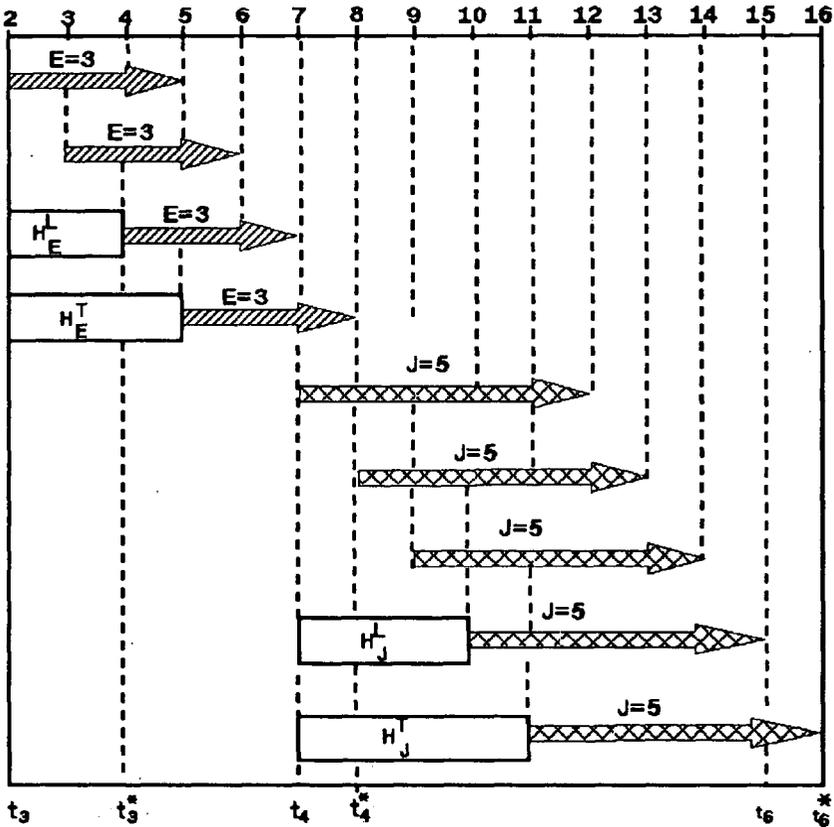
$$H_E^T = t_4^* - t_3 - E = 8 - 2 - 3 = 3$$

Es decir, la actividad E se puede retrasar tres unidades de tiempo sin que ello afecte a la duración del proyecto.

Lo más pronto posible que puede empezar la actividad E es el momento 2 (tiempo *early* de su suceso inicial). Si empieza en este momento terminaría en el 5. Pero puede también empezar en el 3 terminando en el 6, en el 4 terminando en el 7 o en el 5 terminando en el 8, que es el instante en que más tarde puede finalizar (tiempo *last* del suceso 4).

Luego se aprecia que con relación al momento más temprano en que puede iniciarse (2) se puede retrasar tres unidades sin perjudicar la duración del proyecto, ya que en el supuesto de comenzar lo más

FIGURA 7.19



tarde posible, la actividad J se iniciaría en el instante 8, lo cual es factible sin retrasar el proyecto.

La holgura total de la actividad J sería:

$$H_i^T = t_8^* - 4 - J = 16 - 7 - 5 = 4$$

Lo más pronto que puede empezar la actividad J es el momento 7 y a partir de este momento puede retrasarse su comienzo en cuatro unidades sin perjudicar la duración del proyecto. Lo más tarde que puede comenzar es el momento 11.

Pero si la actividad E se retrasa tres unidades de tiempo comenzando en el momento 5, lo cual puede hacerlo sin retrasar la duración del proyecto, ya que es su holgura total, finalizaría en el momento 8. Ello implicaría que la actividad J no podría empezar hasta el momento 8, luego su holgura total ya no sería 4, sino 3, que es el resultado de restar del momento más tarde en que puede finalizar (16) el más temprano en que puede iniciarse (8) y la duración de la actividad J, que vale 5. Esto confirma lo expresado anteriormente: si una actividad consume la totalidad o parte de su holgura total puede afectar a la holgura total de las siguientes actividades.

*Holgura libre de una actividad:*  $H_{ij}^L$

Es el tiempo que resulta de restar al tiempo *early* del suceso final de una actividad el tiempo *early* del suceso inicial de la misma y la duración de la actividad (fig. 7.17).

$$H_{ij}^L = t_j - t_i - t_{ij}$$

Siendo

$t_j$  = tiempo *early* del suceso  $j$ ;

$t_i$  = tiempo *early* del suceso  $i$ ;

$t_{ij}$  = duración de la actividad  $i-j$ .

Indica la cantidad de holgura disponible después de haber realizado la actividad, si las demás del proyecto han aumentado su tiempo *early*. En el apartado anterior se explicó que si una actividad consumía la totalidad o parte de su holgura total podría afectar a la holgura total de las siguientes actividades. La holgura libre representa la parte de la holgura total que puede ser consumida por una actividad sin perjudicar a las siguientes actividades.

Siguiendo con el ejemplo expuesto para la holgura total (figs. 7.18 y 7.19), la holgura libre de la actividad E sería:

$$H_E^L = t_4 - t_3 - E = 7 - 2 - 3 = 2$$

Ello implica que la actividad E puede retrasar dos unidades de tiempo.

po su comienzo, ya no solamente sin afectar a la duración del proyecto, sino sin afectar al comienzo de la actividad J. Ello es así, puesto que la actividad J puede comenzar como muy pronto en el instante 7 (tiempo *early* de su suceso inicial) y si la actividad E retrasa dos unidades de tiempo su inicio comenzará en el instante 4 y terminará en el 7.

La holgura libre de la actividad J sería:

$$H_J^I = t_6 - t_4 - J = 15 - 7 - 5 = 3$$

*Holgura independiente de una actividad:  $H_{ij}^I$*

Es el tiempo que resulta de restar al tiempo *early* del suceso final de una actividad el tiempo *last* del suceso inicial de la misma y la duración de la actividad (fig. 7.17).

Puede ser negativa.

$$H_{ij}^I = t_j - t_i^* - t_{ij}$$

Siendo

$t_j$  = tiempo *early* del suceso  $j$ ;

$t_i^*$  = tiempo *last* del suceso  $i$ ;

$t_{ij}$  = duración de la actividad  $i-j$ .

Indica la cantidad de holgura disponible después de haber realizado la actividad, si ésta ha empezado en el instante más tarde permisible en que puede terminar la anterior y la siguiente lo hace lo antes posible.

Siguiendo con el ejemplo expuesto para la holgura total (figs. 7.18 y 7.19) la holgura independiente de la actividad E sería:

$$H_E^I = t_4 - t_3^* - E = 7 - 4 - 3 = 0$$

Luego para esta actividad no existe holgura independiente.

Para la actividad J:

$$H_J^I = t_6 - t_4^* - J = 15 - 8 - 5 = 2$$

Lo que implica que si la actividad J comienza en el momento más tarde en que puede terminar la E, y la siguiente actividad a la J comienza en el instante más pronto posible, todavía quedan dos unidades de tiempo de holgura.

En el cuadro 7.5 se pueden observar las holguras calculadas para el ejemplo de la IOS.

CUADRO 7.5. Cálculo de holguras ejemplo IOS

Actividades		Tiempo early suceso inicial	Tiempo last suceso inicial	Tiempo early suceso final	Tiempo last suceso final	Duración actividad	Holgura total	Holgura libre	Holgura independiente
Código	i-j	$t_i$	$t_i^*$	$t_j$	$t_j^*$	$t_{ij}$	$H_{ij}^T = t_j^* - t_i - t_{ij}$	$H_{ij}^L = t_j - t_i - t_{ij}$	$H_{ij}^I = t_j - t_i^* - t_{ij}$
A.....	1-2	0	0	3	3	3	0	0	0
B.....	2-3	3	3	7	7	4	0	0	0
C.....	2-4	3	3	7	7	3	1	1	1
D.....	4-5	7	7	9	9	2	0	0	0
E.....	5-9	9	9	13	13	1	3	3	3
F.....	5-6	9	9	12	12	3	0	0	0
G.....	5-7	9	9	12	12	2	1	1	1
H.....	5-8	9	9	12	12	2	1	1	1
I.....	8-9	12	12	13	13	1	0	0	0
J.....	9-10	13	13	15	15	2	0	0	0
K.....	10-13	15	15	19	22	4	3	0	0
L.....	10-12	15	15	21	21	6	0	0	0
M.....	10-11	15	15	20	21	5	1	0	0
N.....	10-14	15	15	22	22	4	3	3	3
O.....	12-14	21	21	22	22	1	0	0	0
P.....	14-15	22	22	29	29	7	0	0	0
Q.....	15-16	29	29	34	34	5	0	0	0
F1.....	3-4	7	7	7	7	0	0	0	0
F2.....	6-7	12	12	12	12	0	0	0	0
F3.....	7-8	12	12	12	12	0	0	0	0
F4.....	11-12	20	21	21	21	0	1	1	0
F5.....	13-14	19	22	22	22	0	3	3	0

### 7.3.7. Camino crítico

En cualquier proyecto hay actividades que son flexibles, en el sentido de que si se retrasa su comienzo o finalización puede no retrasarse la duración total del proyecto. En cambio hay otras actividades rígidas «críticas» que si se retrasa la fecha de comienzo o terminación que tienen programada ocasionan un retraso en la duración total del proyecto.

El camino crítico es el camino formado por las actividades críticas, desde el primero al último suceso del proyecto.

Las actividades críticas son aquellas cuya holgura total es cero.

El conocer el camino crítico es esencial para controlar el proyecto. El responsable del proyecto tendrá que vigilar de forma especial las actividades críticas a fin de evitar posibles retrasos en la duración del mismo.

En el ejemplo de la IOS las actividades que tienen holgura total igual a cero y que, por tanto, forman parte del camino crítico son: A, B, F1, D, F, F2, F3, I, J, L, O, P y Q (fig. 7.20).

La duración del proyecto es igual a la suma de las duraciones de las actividades críticas

### 7.3.8. Cálculo de la probabilidad de adelanto o retraso de un proyecto en relación a su tiempo medio de realización

En el cálculo del tiempo PERT, que es el tiempo promedio de la duración para cada actividad, se decía que éste era igual a:

$$D = \frac{a + 4m + b}{6}$$

Siendo

- a = tiempo optimista;
- m = tiempo más probable;
- b = tiempo pesimista.

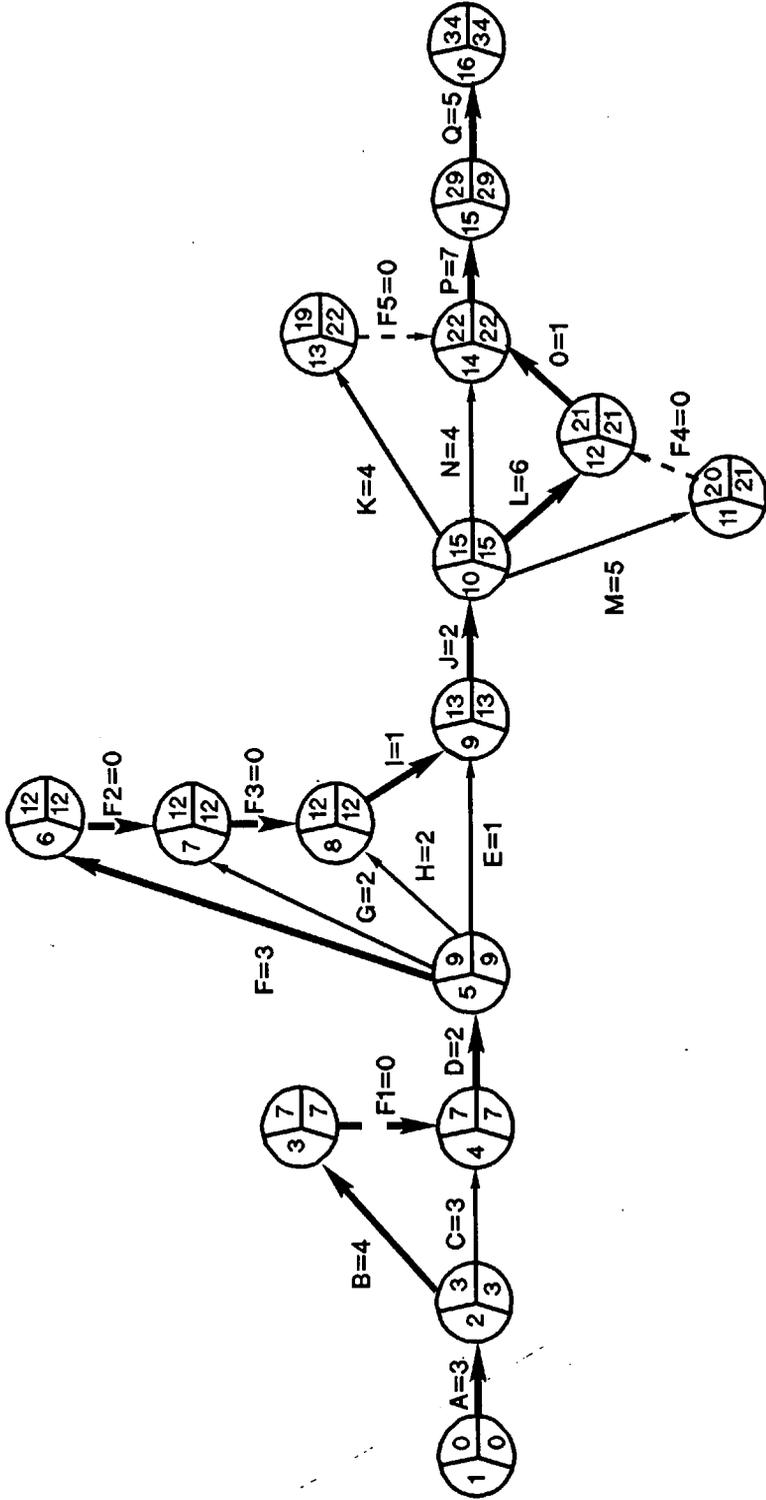
Esto es factible porque se supone que la duración de cada actividad sigue la distribución probabilística beta.

La varianza sería:

$$\sigma^2 = \left( \frac{b - a}{6} \right)^2$$

Otra hipótesis en que se basa la técnica PERT es que se considera que las variables aleatorias de la duración de las actividades críticas

FIGURA 7.20



son indispensables y que la red es suficientemente grande, por lo que, apoyándose en el teorema central del límite, la duración del proyecto sigue una distribución normal, cuya media es igual a la suma de los valores medios o tiempos PERT de las actividades críticas y su varianza es igual a la suma de las varianzas de las citadas actividades.

$$D_p = D_A + D_B + D_C + \dots$$

Siendo

$D_p$  = la duración del proyecto;  
 $D_A, D_B, D_C \dots$  los tiempos PERT de las distintas actividades críticas que componen el proyecto.

$$\sigma_p^2 = \sigma_A^2 + \sigma_B^2 + \sigma_C^2 + \dots$$

Siendo

$\sigma_p^2$  = la varianza del proyecto;  
 $\sigma_A^2, \sigma_B^2, \sigma_C^2 \dots$  = las varianzas de todas actividades críticas.

Con los datos del ejemplo de la IOS se puede confeccionar el cuadro 7.6.

Luego la duración media del proyecto, que es la misma calculada anteriormente con los tiempos *early* y *last*, es 34 y su varianza es 2,7776.

Si se quiere saber la probabilidad de terminar el proyecto en un tiempo  $t$ , se aplica la fórmula de la varianza tipificada:

$$t_i = \frac{t - D_p}{\sqrt{\sigma_p^2}}$$

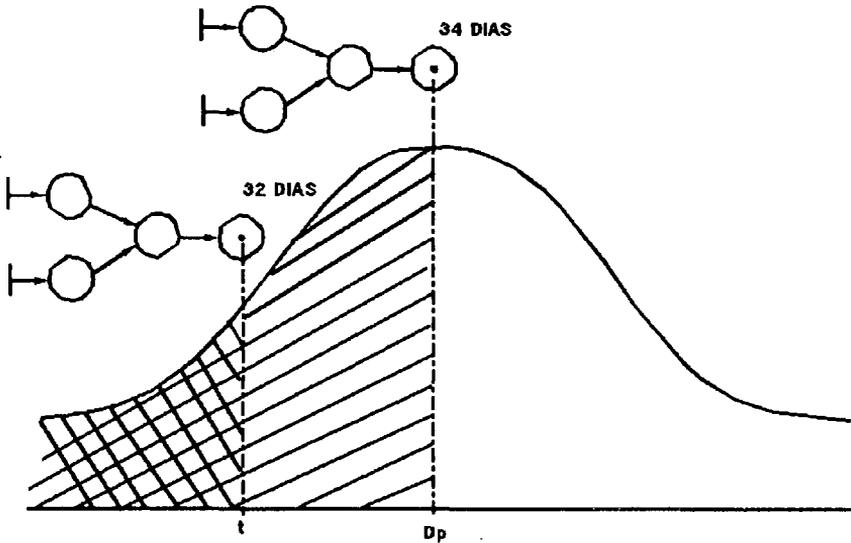
CUADRO 7.6

Actividades críticas	Tiempo			Tiempo PERT $D = \frac{a+4m+b}{6}$	Varianza $S^2 = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2$
	Optimista (a)	Más probable (m)	Pesimista (b)		
A.....	1	3	5	3	0,4444
B.....	2	4	6	4	0,4444
F1.....	0	0	0	0	0,0000
D.....	1	2	3	2	0,1111
F.....	2	3	4	3	0,1111
F2.....	0	0	0	0	0,0000
F3.....	0	0	0	0	0,0000
I.....	1	1	1	1	0,0000
J.....	1	2	3	2	0,1111
L.....	3	6	9	6	1,0000
O.....	1	1	1	1	0,0000
P.....	5	7	9	7	0,4444
Q.....	4	5	6	5	0,1111
TOTAL.....				34	2,7776

Con este resultado se va a la tabla de la distribución normal (0;1) (anexo 1) y se obtiene la probabilidad.

En el ejemplo de la IOS podría interesar conocer la probabilidad que tiene el proyecto de realizarse en treinta y dos días (fig. 7.21).

FIGURA 7.21



El proceso sería:

$$t_i = \frac{t - D_p}{\sqrt{\sigma_p^2}} = \frac{32 - 34}{\sqrt{2,7776}} = \frac{-2}{1,6666} = -1,2$$

Con el valor de  $t_i = -1,2$  se va a la tabla (anexo 1) y se calcula la probabilidad.

$$\Phi_{(t)} = \Phi(-1,2) = 1 - \Phi(1,2) = 1 - 0,8849 = 0,1151$$

Habrá un 11,51 por 100 de probabilidad de terminar el proyecto en treinta y dos días. La probabilidad de no terminarlo o riesgo sería:

$$1 - \Phi(t) = 1 - 0,1151 = 0,8849$$

Es decir, un 88,49 por 100.

Lógicamente, se tendrá un 50 por 100 de probabilidades de terminar el proyecto en treinta y cuatro días, ya que, como se indicó, ésta es la duración media del proyecto.

Si se quiere saber la probabilidad de terminarlo en cuarenta días, se seguiría el mismo procedimiento.

$$t_i = \frac{40 - 34}{\sqrt{2,7776}} = \frac{6}{1,6666} = 3,60$$

Se busca en la tabla de la  $N(0;1)$  (anexo 1) la probabilidad para un valor de  $t_i$  igual a 3,60 y se obtiene 0,9998, lo que significa que la probabilidad de terminarlo en cuarenta días sería el 99,98 por 100.

Por otra parte, puede interesar conocer, por ejemplo: ¿qué duración debería tener el proyecto para poder terminarlo con una probabilidad del 70 por 100?

$$P\left(t_i \leq \frac{t - D_p}{\sqrt{\sigma_p^2}}\right) = \Phi(t_i), \text{ siendo } \Phi(t_i) = 0,70$$

Se busca en la tabla anexo 1; para  $\Phi(t_i) = 0,70$ ,  $t_i$  vale aproximadamente 0,54.

$$0,54 = \frac{t - 34}{\sqrt{2,7776}}; t = 0,54\sqrt{2,7776} + 34 = 34,90$$

Es decir, habría una probabilidad del 70 por 100 de terminar el proyecto aproximadamente en treinta y cinco días.

Supongamos que el responsable del proyecto está interesado en conocer la probabilidad que tiene de finalizar la ejecución del mismo en un plazo comprendido entre treinta y treinta y seis días hábiles contados a partir de la fecha de comienzo del proyecto.

$$P\left[\frac{30 - 34}{\sqrt{2,7776}} \leq t_i \leq \frac{36 - 34}{\sqrt{2,7776}}\right] P(-2,40 \leq t_i \leq 1,20)$$

Esto es lo mismo que:

$$\begin{aligned} \Phi(1,20) - \Phi(-2,40) &= \Phi(1,20) - [-1 \Phi(2,40)] = \\ &= \Phi(1,20) + \Phi(2,40) - 1 = 0,8849 + 0,9918 - 1 = 0,8767 \end{aligned}$$

Es decir, habría un 87,67 por 100 de probabilidades de terminar el proyecto entre treinta y treinta y seis días.

### 7.3.9. Establecimiento del calendario

Hasta el momento se ha calculado la duración de las actividades en días como una media absoluta, pero sin referenciarlas con las distintas fechas en que pueden ser ejecutadas.

Para efectuar el control del proyecto es de suma importancia establecer un calendario donde se refleje para cada una de las actividades

la fecha de comienzo más temprana, comienzo más tardía, finalización más temprana y finalización más tardía.

La representación que se va a utilizar, en un gráfico tipo GANTT, para una actividad  $i-j$  es:

Fecha de comienzo más temprana =  $\blacktriangle_{ij}$ .

Fecha de comienzo más tardía =  $\blacktriangle_{ij}^*$ .

Fecha de finalización más temprana =  $\blacktriangledown_{ij}$ .

Fecha de finalización más tardía =  $\blacktriangledown_{ij}^*$ .

La holgura total de la actividad  $i-j$  según estos nuevos códigos será:

$HT_{ij}^T = \blacktriangledown_{ij}^* - \blacktriangle_{ij} - t_{ij}$  ya que  $\blacktriangledown_{ij}^*$  corresponde al tiempo *last* del suceso  $j$  y  $\blacktriangle_{ij}$  al tiempo *early* del suceso  $i$ , y  $t_{ij}$  a la duración de la actividad.

$t_{ij} = \blacktriangledown_{ij} - \blacktriangle_{ij} = \blacktriangledown_{ij}^* - \blacktriangle_{ij}^*$  sustituyendo en la expresión de la holgura total.

$$HT_{ij}^T = \blacktriangledown_{ij}^* - \blacktriangle_{ij} - \blacktriangledown_{ij} + \blacktriangle_{ij} = \blacktriangledown_{ij}^* - \blacktriangledown_{ij}$$

$$HT_{ij}^T = \blacktriangledown_{ij}^* - \blacktriangle_{ij} - \blacktriangledown_{ij}^* + \blacktriangle_{ij}^* = \blacktriangle_{ij}^* - \blacktriangle_{ij}$$

Por supuesto, para las actividades críticas  $\blacktriangle_{ij} = \blacktriangle_{ij}^*$  y  $\blacktriangledown_{ij} = \blacktriangledown_{ij}^*$ , ya que su holgura total es igual a cero.

La representación gráfica para el ejemplo de la IOS se refleja en la figura 7.22, suponiendo que el proyecto se inicia el día 1 de febrero de 1991 y que los sábados y domingos no son días laborables.

Cualquier aplicación informática utilizada para la planificación y control de proyectos suele incluir calendarios de diversos años donde el usuario indica los días no laborales y la fecha de inicio del proyecto, y la propia aplicación partiendo del PERT muestra el calendario del mismo.

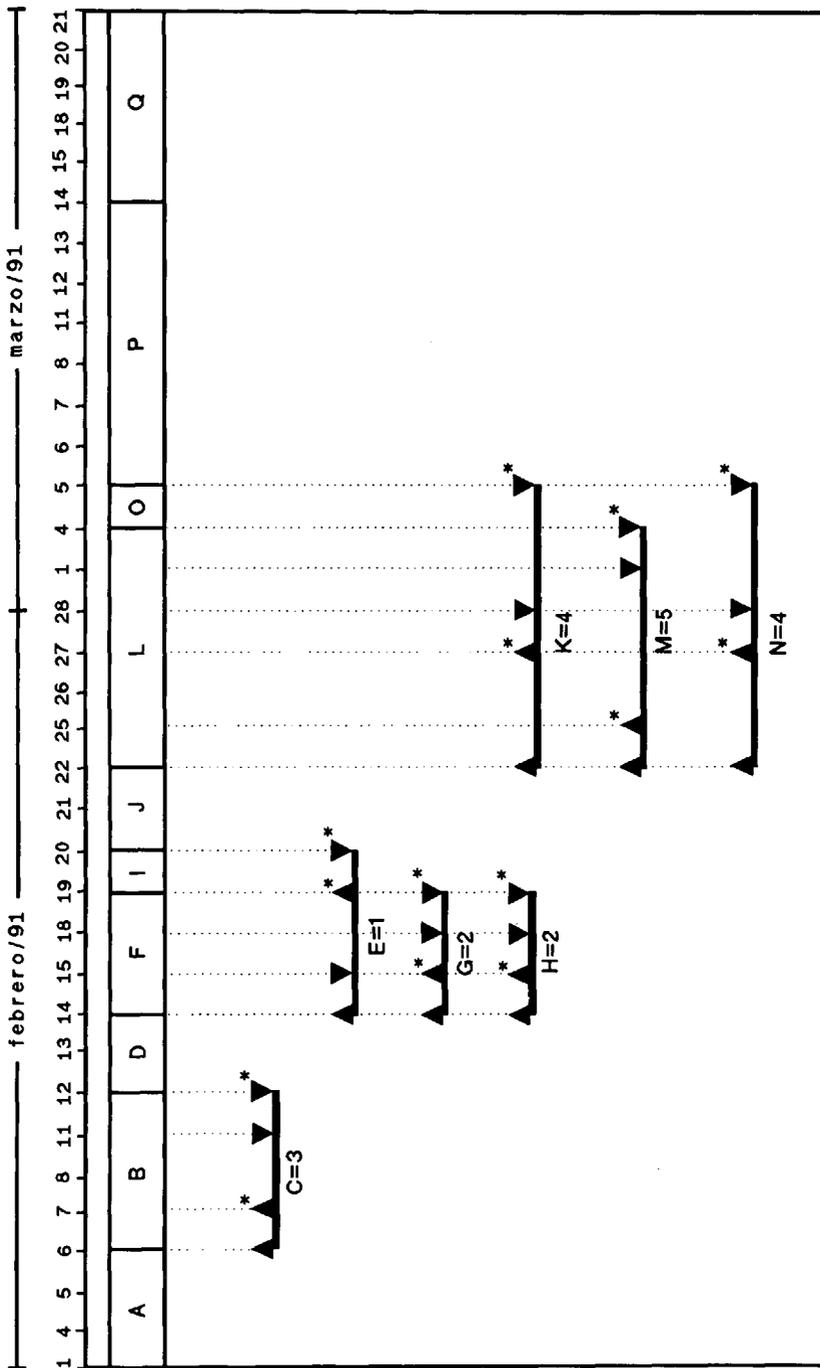
El calendario del proyecto es una pieza fundamental para la confección de los informes periódicos destinados a realizar el control del proyecto.

Estos informes deben ser completos; concisos, para facilitar una fácil y rápida lectura; claros, sin información superflua, y basados fundamentalmente en datos numéricos y gráficos.

En cuanto al control de ejecución de las actividades el establecimiento de la frecuencia de control depende, independientemente del tipo de proyecto y otras características, de la duración de las actividades y de la relación entre las duraciones de las actividades más corta y más larga.

La frecuencia no debe ser demasiado baja, pues se perdería información significativa y no se detectarían las desviaciones a tiempo, ni demasiado alta, pues supondría problemas de precisión en la estimación del progreso e implicaría excesivo tiempo dedicado a estas funciones.

FIGURA 7.22



Como indicativo se puede decir que cuando se habla de duración en término de semanas, cualquier actividad, particularmente la más corta, debe tener al menos dos o tres revisiones y la más larga nunca más de diez o doce.

Las desviaciones pueden detectarse bien en el momento en que se producen, bien cuando ya se han producido o bien antes de que se produzcan. Hay que procurar anticiparse a los acontecimientos y procurar detectar las desviaciones antes de que se presenten.

Las causas más habituales de las desviaciones son:

- Como consecuencia de factores humanos:
  - Falta de comunicación.
  - Absentismo.
  - Falta de motivación.
  - Problemas organizativos.
  - Problemas de definición de funciones.
  - Conflictos de intereses.
- Estimaciones incorrectas.
- Análisis insuficiente.
- Problemas en la asignación de recursos.
- Requisitos no tenidos en cuenta.

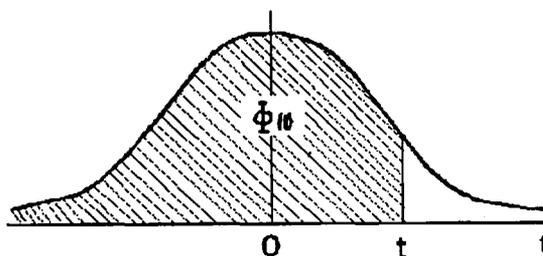
Por último, entre las muchas recomendaciones que se podrían facilitar para conseguir una eficaz ejecución de proyectos, se pueden citar:

- En un proyecto sin holguras es muy difícil cumplir la programación.
- Se deben reservar las holguras para consumir cuando se necesiten.
- Los caminos críticos no deben ser privados, lo que significa que no se debe encargar la ejecución de todas las actividades críticas a una misma persona.
- Se deben tener en cuenta los cambios que pueden sufrir los caminos críticos como consecuencia de las desviaciones.
- En un proyecto no debe haber personas indispensables, si esto sucede ello constituye un camino crítico paralelo.
- Las actividades críticas deben ser llevadas a cabo por aquellas personas que se consideren más seguras en la realización de su trabajo y que no tienen por qué ser las más «listas».
- El ser humano es una mala «máquina» de tiempo compartido, lo que implica que se debe procurar hacer sólo una tarea al mismo tiempo.
- Evitar la figura de la persona «apagafuegos», la cual interrumpe el desarrollo de sus actividades para dedicarse momentáneamente a la ayuda o al desarrollo de otras tareas.



## ANEXOS





ANEXO I

DISTRIBUCIÓN N(0;1)

$\phi(0,80) = 0,7881$      $\phi(-0,80) = 1 - 0,7881 = 0,2119$

$t$	$\phi(t)$	$t$	$\phi(t)$	$t$	$\phi(t)$	$t$	$\phi(t)$
0,00	0,5000	0,80	0,7881	1,60	0,9452	2,40	0,9918
0,02	0,5080	0,82	0,7939	1,62	0,9474	2,42	0,9922
0,04	0,5160	0,84	0,7995	1,64	0,9495	2,44	0,9927
0,06	0,5239	0,86	0,8051	1,66	0,9515	2,46	0,9931
0,08	0,5319	0,88	0,8106	1,68	0,9535	2,48	0,9934
0,10	0,5398	0,90	0,8159	1,70	0,9554	2,50	0,9938
0,12	0,5478	0,92	0,8212	1,72	0,9573	2,52	0,9941
0,14	0,5557	0,94	0,8264	1,74	0,9591	2,54	0,9945
0,16	0,5636	0,96	0,8315	1,76	0,9608	2,56	0,9948
0,18	0,5714	0,98	0,8365	1,78	0,9625	2,58	0,9951
0,20	0,5793	1,00	0,8413	1,80	0,9641	2,60	0,9953
0,22	0,5871	1,02	0,8461	1,82	0,9656	2,62	0,9956
0,24	0,5948	1,04	0,8508	1,84	0,9671	2,64	0,9959
0,26	0,6026	1,06	0,8554	1,86	0,9686	2,66	0,9961
0,28	0,6103	1,08	0,8599	1,88	0,9699	2,68	0,9963
0,30	0,6179	1,10	0,8643	1,90	0,9713	2,70	0,9965
0,32	0,6255	1,12	0,8686	1,92	0,9726	2,72	0,9967
0,34	0,6331	1,14	0,8729	1,94	0,9738	2,74	0,9969
0,36	0,6406	1,16	0,8770	1,96	0,9750	2,76	0,9971
0,38	0,6480	1,18	0,8810	1,98	0,9761	2,78	0,9973
0,40	0,6554	1,20	0,8849	2,00	0,9772	2,80	0,9974
0,42	0,6628	1,22	0,8888	2,02	0,9783	2,82	0,9976
0,44	0,6700	1,24	0,8925	2,04	0,9793	2,84	0,9977
0,46	0,6772	1,26	0,8962	2,06	0,9803	2,86	0,9979
0,48	0,6844	1,28	0,8997	2,08	0,9812	2,88	0,9980
0,50	0,6915	1,30	0,9032	2,10	0,9821	2,90	0,9981
0,52	0,6985	1,32	0,9066	2,12	0,9830	2,92	0,9982
0,54	0,7054	1,34	0,9099	2,14	0,9838	2,94	0,9984
0,56	0,7123	1,36	0,9131	2,16	0,9846	2,96	0,9985
0,58	0,7190	1,38	0,9162	2,18	0,9854	2,98	0,9986
0,60	0,7257	1,40	0,9192	2,20	0,9861	3,00	0,99865
0,62	0,7324	1,42	0,9222	2,22	0,9868	3,10	0,99904
0,64	0,7389	1,44	0,9251	2,24	0,9875	3,20	0,99931
0,66	0,7454	1,46	0,9279	2,26	0,9881	3,30	0,99952
0,68	0,7517	1,48	0,9306	2,28	0,9887	3,40	0,99966
0,70	0,7580	1,50	0,9332	2,30	0,9893	3,50	0,99976
0,72	0,7642	1,52	0,9357	2,32	0,9898	3,60	0,99984
0,74	0,7703	1,54	0,9382	2,34	0,9904	3,80	0,99993
0,76	0,7764	1,56	0,9406	2,36	0,9909	4,00	0,99997
0,78	0,7823	1,68	0,9429	2,38	0,9913	4,50	0,999997



## ANEXO II

## BIBLIOGRAFÍA.

- ACKOFF, SASIENI (1977): *Fundamentos de Investigación de Operaciones*, Editorial Limusa, México.
- ALVAREZ ALVAREZ, Vicente (1976): *Análisis, Programación y Control del Trabajo*, Ibérico Europea de Ediciones, S. A., Madrid.
- CARRASCO ARIAS, Javier, y RAMOS DÍAZ, Rafael (1986): *Manual de planificación y gestión de proyectos administrativos*, Instituto Nacional de Administración Pública, Madrid.
- CLELAND, D. I., y KING, W. R. (1983): *Systems Analysis and Project Management*, McGraw-Hill, Singapur.
- CHRISTPHE, J.; EYRARD, Y., y MALAIZE, M. (1972): *El PERT y la Construcción*, Ibérico Europa de Ediciones, S. A., Madrid.
- DE HEREDIA, Rafael (1985): *Dirección integrada de proyectos*, Alianza Editorial, Madrid.
- ESCUADERO, L. F. (1977): *Asignación óptima de recursos*, Ediciones Deusto, Bilbao.
- FEDERAL ELECTRIC CORPORATION (1969): *El método PERT*, Ciencia y Técnica, Madrid.
- HAMPTON, D. R. (1989): *Administración*, McGraw-Hill, México.
- HILLIER, LIEBERMAN (1980): *Introducción a la investigación de operaciones*, McGraw-Hill, México.
- KAUFMANN, A. (1970): *Métodos y modelos de la investigación de operaciones*, CECSA, México.
- KOONTZ, O'DONNELL, WEIHRICH (1988): *Elementos de Administración*, McGraw-Hill, México.
- LEMAÎTRE, P., y BEGOUËN, D. J. (1990): *Práctica de organización en los servicios administrativos*, Instituto Nacional de Administración Pública, Madrid.
- LISSARRAGUE, J. (1972): *Qué es el PERT*, Guadiana de Publicaciones, Madrid.
- LOCK, D. (1990): *Gestión de proyectos*, Paraninfo, S. A., Madrid.
- PARAMES, M. C. (1988): *Introducción al Management*, Instituto Nacional de Administración Pública, Madrid.
- PRADO, D. (1988): *Administración de proyectos con PERT-CPM*, Paraninfo, Madrid.
- PUXTY, A. G. (1986): *Organization and Management: An Accountant's Perspective*, Pitman, Gran Bretaña.
- RIGGS, J. L., y HEATH, C. O. (1970): *Reducción de costos mediante la programación por el camino crítico*, Editorial Hispano Europea, Barcelona.
- ROBBINS, S. P. (1987): *Administración, Teoría y Práctica*, Prentice-Hall, México.

- ROMERO LÓPEZ, C. (1988): *Técnicas de programación y control de proyectos*, Ediciones Pirámide, S. A., Madrid.
- SHAMBLIN, J. E., y STEVENS, G. T. (1975): *Investigación de operaciones: un enfoque fundamental*, McGraw-Hill, México.
- SIERRA PLANA, J. L. (1973): *Métodos de investigación operativa con la práctica de las empresas*, Ediciones Deusto, Bilbao.
- STEINER, G. A. (1988): *Planificación de la alta dirección* (2 tomos), Ediciones Universidad de Navarra, S. A., Pamplona.
- WAGNER, G. (1979): *Los sistemas de planificación CPM y PERT aplicados a la construcción*, Editorial Gustavo Gili, S. A., Barcelona.
- WHITAKER, D. (1988): *Investigación operativa en el computador*, Paraninfo, S. A., Madrid.
- YU CHUEN y TAO L. (1984): *Aplicaciones prácticas del PERT y CPM*, Ediciones Deusto, Bilbao.