

DIRECCIÓN DE PROYECTOS

3

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

PERFIL DE UNA EMPRESA GLOBAL: BECHTEL GROUP

LA IMPORTANCIA ESTRATÉGICA DE LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS

PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

El director de proyecto
Estructura de trabajo desagregada

PROGRAMACIÓN DEL PROYECTO

CONTROL DE PROYECTOS

TÉCNICAS DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS: PERT Y CPM

El marco de la PERT y el CPM
Diagramas de red y enfoques
Ejemplo de actividad en nodo
Ejemplo de actividad en flecha (AOA)

DETERMINACIÓN DEL PROGRAMA (CALENDARIO) DE UN PROYECTO

Programación hacia delante
Programación hacia atrás
Cálculo de los tiempos de holgura e identificación del camino crítico

VARIABILIDAD EN LAS DURACIONES DE LAS ACTIVIDADES

Tres estimaciones de duración en el método PERT
Probabilidad de finalización del proyecto

EQUILIBRIO ENTRE COSTE Y DURACIÓN, Y ACELERACIÓN DE LA DURACIÓN DE UN PROYECTO

CRÍTICA A LOS MÉTODOS PERT Y CPM

CÓMO UTILIZAR MICROSOFT PROJECT PARA GESTIONAR PROYECTOS

Creación del programa del proyecto utilizando MS Project
Seguimiento del avance y control de costes utilizando MS Project

RESUMEN

TÉRMINOS CLAVE

CÓMO UTILIZAR PROGRAMAS INFORMÁTICOS PARA RESOLVER PROBLEMAS DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS

PROBLEMAS RESUELTOS

EJERCICIOS EN INTERNET Y EN EL CD-ROM DEL ALUMNO

CUESTIONES PARA EL DEBATE

DILEMA ÉTICO

EJERCICIO ACTIVE MODEL

PROBLEMAS

PROBLEMAS PARA RESOLVER CON INTERNET

CASO DE ESTUDIO: UNIVERSIDAD DE SOUTHWESTERN

CASO DE ESTUDIO EN VÍDEO: DIRECCIÓN DE PROYECTOS EN EL ARNOLD PALMER HOSPITAL; ORGANIZACIÓN DEL FESTIVAL ROCKFEST DE HARD ROCK

CASOS DE ESTUDIO ADICIONALES

BIBLIOGRAFÍA

RECURSOS EN INTERNET

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Cuando acabe este capítulo debe ser capaz de:

Identificar o definir:

Estructura de trabajo desagregada
Camino crítico
Redes AOA y AON
Programación hacia delante y hacia atrás
Variabilidad de los tiempos de actividad

Describir o explicar:

El papel del director de proyecto
Técnicas de evaluación y revisión de programas (PERT)
El método del camino crítico (CPM)
Reducción de la duración de un proyecto
Cómo utilizar MS Project



PERFIL DE UNA EMPRESA GLOBAL: BECHTEL GROUP

La dirección de proyectos proporciona ventaja competitiva a Bechtel

En Kuwait, los equipos contra incendios de Bechtel confiaban en los explosivos y en la maquinaria pesada para extinguir los fuegos iniciados con la retirada de las tropas iraquíes. Se construyeron más de 200 lagunas llenas de agua de mar y se instalaron bombas y mangueras de bombeo de agua para apagar las llamas.

Los operarios bregan con una gigantesca máquina perforadora de 1.500 toneladas de peso y 8 metros de diámetro, que se utilizó en la perforación del Eurotúnel al comienzo de los noventa. Al excederse el presupuesto a unos costes de proyecto que se elevaron hasta los 13.000 millones de dólares, se puso a un vicepresidente de Bechtel Group al frente de la dirección de las operaciones.

La dirección de proyectos de macroconstrucciones, como ésta, es el punto fuerte de Bechtel. Al tener estos proyectos altas penalizaciones por retrasos en su terminación y haber incentivos para el caso de una terminación anticipada, un buen director de proyectos vale su peso en oro.

Actualmente en su 108 aniversario, la empresa de San Francisco, Bechtel Group es el líder mundial en la dirección de grandes proyectos de construcción e ingeniería. El grupo, conocido por sus proyectos de miles de millones de dólares, es famoso por sus obras monumentales de la presa Hoover y por el proyecto de túnel/arteria central de Boston, y más recientemente por la reconstrucción de las infraestructuras de gas y petróleo de Kuwait después de la invasión por parte de Irak.

Aun para Bechtel, cuya ventaja competitiva es la dirección de proyectos, reconstruir 650 pozos incendiados por el sabotaje iraquí en 1990 fue una pesadilla logística. El panorama de destrucción de Kuwait era sobrecogedor; el fuego salía de la tierra desde casi cualquier punto cardinal. Kuwait no tenía agua, comida, electricidad o instalaciones. El país estaba plagado de minas, bombas, granadas y proyectiles de artillería sin explotar, mientras lagos de petróleo cubrían las carreteras.

Con un gran programa global de suministros, los equipos de especialistas de Bechtel recurrieron a la red de proveedores y distribuidores de la empresa en todo el mundo. En el puerto de Dubai, a unos 900 kilómetros al sudeste de Kuwait, Bechtel estableció el punto neurálgico de descarga y almacenaje desplegando 520.000 toneladas de equipos y suministros. Bechtel creó una fuerza de trabajo de 16.000 personas, movilizó 742 aviones y barcos, y más de 5.800 bulldozers, ambulancias y otros equipos operativos, procedentes de 40 países de los cinco continentes.

Ahora, 15 años más tarde, Kuwait está produciendo petróleo otra vez. Los proyectos más recientes de Bechtel comprenden:

- La construcción de 26 gigantes centros de distribución, en tan sólo 2 años, para la empresa de Internet Webvan Group.
- La construcción de 30 centros de datos de alta seguridad para Equinix Inc.
- La construcción y explotación de una línea férrea entre Londres y el Túnel del Canal (4.600 millones de dólares).
- La construcción de oleoducto desde la región del mar Caspio hasta Rusia (850 millones de dólares).
- La ampliación del aeropuerto de Dubai de los Emiratos Árabes Unidos (600 millones de dólares) así como el Aeropuerto Internacional de Miami (2.000 millones de dólares).
- La construcción de plantas de gas natural líquido en Trinidad, Las Antillas (1.000 millones de dólares).
- La construcción de un nuevo metro en Atenas, Grecia (2.600 millones de dólares).
- La construcción de una tubería de transporte de gas natural en Tailandia (700 millones de dólares).
- La construcción de una autopista que une el norte y el sur de Croacia (303 millones de dólares).

Cuando las empresas o países buscan empresas para dirigir estos macroyectos, acuden a Bechtel que, una y otra vez, gracias a una sobresaliente dirección de proyectos, ha demostrado su ventaja competitiva.

LA IMPORTANCIA ESTRATÉGICA DE LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS

- Cuando el equipo de dirección de Bechtel entró en Kuwait, movilizó rápidamente una fuerza internacional de casi 8.000 trabajadores manuales, 1.000 profesionales de construcción, un equipo de personal médico de 100 personas y dos equipos de evacuación en helicóptero. Tuvo que instalar 6 comedores para servir 27.000 comidas al día y construyó un hospital de campaña con 40 camas.
- Cuando Microsoft Corporation puso en marcha el desarrollo de Windows Longhorn, el mayor y más completo programa que ha desarrollado hasta la fecha, el tiempo era el factor crítico para el director del proyecto. Con cientos de programadores trabajando en millones de líneas de código en un programa que costaba cientos de millones de dólares, enormes intereses dependían de una finalización del programa a tiempo.
- Cuando Hard Rock Café patrocina el concierto anual Rockfest, al que acuden más de 100.000 espectadores, el director del proyecto inicia la planificación con unos nueve meses de antelación. Utilizando el paquete de software MS Project, que se describe en este capítulo, se puede hacer un seguimiento y control de cada uno de los cientos de detalles. Cuando un grupo no puede llegar al lugar del concierto en autobús debido a los enormes atascos de tráfico, el director del proyecto de Hard Rock tiene preparado un helicóptero como medida de precaución.



Vídeo 3.1

Gestión de proyectos en el concierto Rockfest organizado por Hard Rock

Bechtel, Microsoft y Hard Rock son sólo tres ejemplos de empresas que se enfrentan a un fenómeno moderno: la complejidad creciente de los proyectos y la drástica reducción de los ciclos de vida de productos o servicios. Este cambio surge de la conciencia del valor estratégico de la competencia basada en el tiempo (plazo) y de la imperante necesidad de mejorar continuamente la calidad. Cada nueva introducción de un producto o servicio es un hecho único: un proyecto. Además, los proyectos son una parte común de nuestra vida cotidiana. Puede que estemos planificando una boda, o una fiesta de cumpleaños sorpresa, o haciendo obras en casa, o preparando un proyecto de clases para el semestre.

La programación de los proyectos es un reto difícil para los directores de operaciones. Los riesgos son elevados. Una mala programación y unos controles deficientes pueden provocar retrasos innecesarios y costes superiores a los previstos.

Los proyectos que requieren meses o años para ser llevados a cabo se suelen realizar fuera del sistema de producción normal. Se crean organizaciones de proyecto dentro de la propia empresa para ocuparse de esos trabajos y, a menudo, se disuelven cuando se terminan. La dirección de proyectos comprende tres fases (*véase* la Figura 3.1):

1. *Planificación.* Esta fase comprende fijar el objetivo, definir el proyecto y organizar el equipo.
2. *Programación.* Esta fase adjudica personas, dinero y suministros a actividades específicas, y relaciona las actividades entre sí.
3. *Control.* Aquí la empresa vigila los recursos, los costes, la calidad y los presupuestos. También revisa o cambia los planes y modifica los recursos para cumplir los plazos y los presupuestos de costes.

Empezaremos este capítulo con una breve visión de conjunto de estas funciones. También se describen tres técnicas muy conocidas que permiten a los directores planificar, programar y controlar: los diagramas de Gantt, el PERT y el CPM.

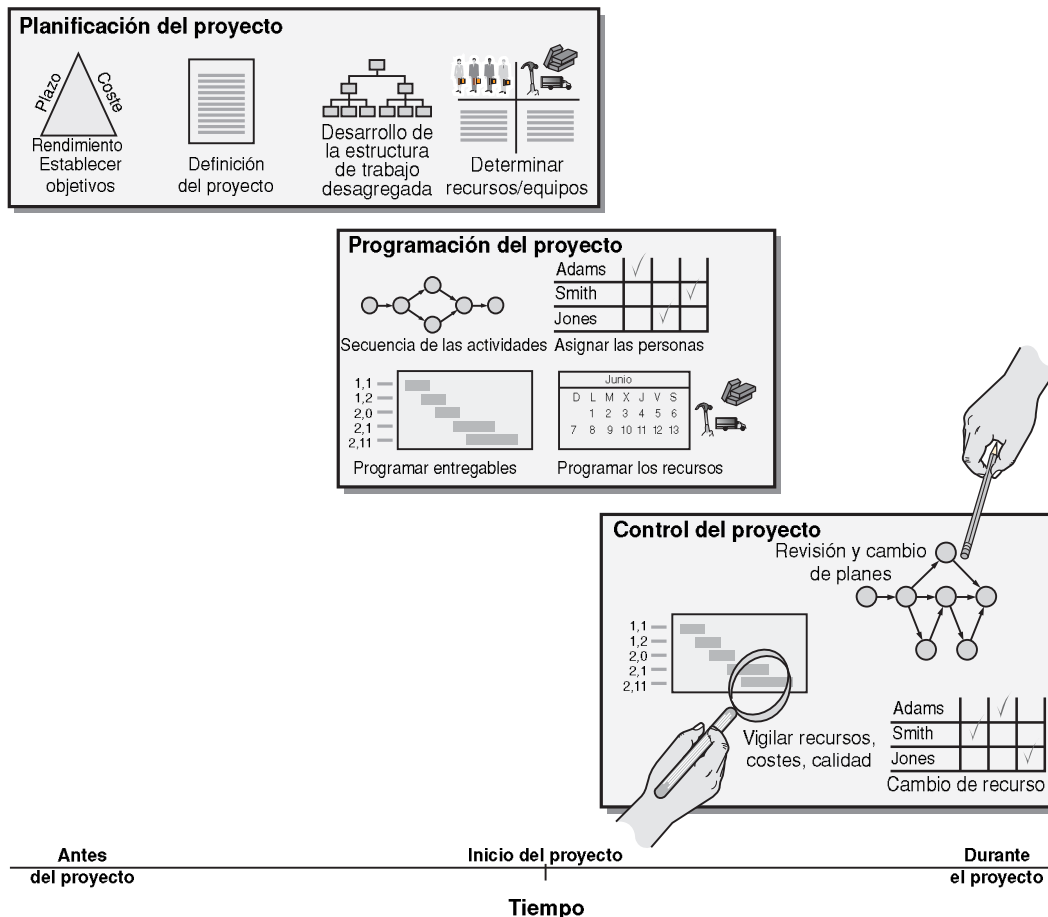


FIGURA 3.1 ■ Planificación, programación y control de proyectos

PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

Organización de proyecto

Una organización diseñada para asegurar que los programas (proyectos) sean correctamente dirigidos y atendidos.

Los proyectos pueden definirse como una serie de tareas relacionadas cuya realización se dirige a la obtención de un producto superior. En algunas empresas se desarrolla una **organización de proyecto** para asegurar que los programas existentes continúan funcionando día a día sin problemas, y que los nuevos proyectos finalizan con éxito.

Para una empresa con múltiples proyectos, como una empresa de construcción, la organización del proyecto es una forma eficaz de asignar las personas y recursos físicos necesarios. Es una estructura de organización temporal diseñada para alcanzar resultados empleando para ello a especialistas de toda la empresa. La NASA, al igual que otras muchas organizaciones, utiliza este planteamiento. A estos efectos deben recordarse el Proyecto Géminis y el Proyecto Apolo. Estos nombres se utilizaron para describir los equipos que la NASA organizó para alcanzar los objetivos de las exploraciones espaciales.

La organización del proyecto funciona mejor cuando:

1. El trabajo puede definirse con un objetivo y una fecha tope específicos.
2. El trabajo a realizar es único o desconocido en cierta medida por la organización existente.
3. El trabajo comprende tareas complejas relacionadas entre sí que requieren habilidades especiales.
4. El proyecto es temporal pero esencial para la organización.
5. El proyecto traspasa las divisiones organizativas de la empresa afectando a diferentes secciones o departamentos.

El director del proyecto

En la Figura 3.2 se muestra un ejemplo de una organización. Los miembros del equipo del proyecto se asignan temporalmente al proyecto, e informan al director del proyecto. El director del proyecto coordina sus actividades con otros departamentos, e informa directamente a la alta dirección. Los directores de proyecto tienen una gran notoriedad en la empresa y son responsables directos de conseguir (1) que todas las actividades necesarias se terminen en la secuencia adecuada y en los plazos fijados; (2) que el proyecto cumpla el presupuesto; (3) que el proyecto alcance las metas de calidad, y (4) que las personas asignadas al proyecto reciban la motivación, dirección e información necesarias para la realización de sus tareas. Esto significa que los directores de proyectos deben ser buenos asesores y comunicadores, y deben ser capaces de organizar actividades provenientes de diferentes disciplinas.

Cuando una organización de proyecto se hace permanente, se suele denominar

Cuestiones éticas que hay que abordar en la dirección de proyectos Los directores de proyectos no sólo tienen gran notoriedad, sino que también tienen que tomar decisiones éticas a diario. Su comportamiento sienta las bases del código de conducta para todos los demás implicados en el proyecto. A nivel personal, los directores de proyectos suelen tener que tomar decisiones sobre (1) ofertas de regalos de los contratistas, (2) presiones para alterar los informes de avance del proyecto para ocultar la realidad de los retrasos,

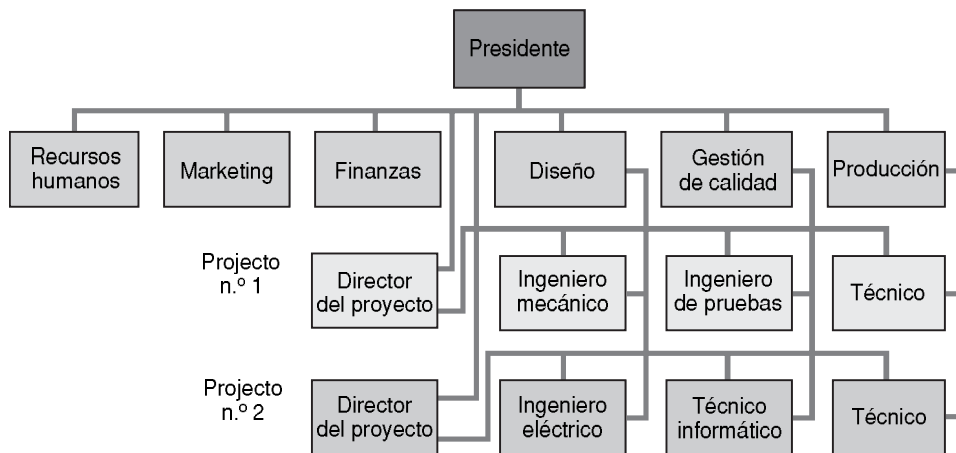


FIGURA 3.2 ■ Ejemplo de una organización del proyecto

(3) informes falsos sobre cargas de tiempos y gastos, y (4) presiones para sacrificar la calidad y poder cumplir plazos para primas o penalizaciones.

Otros importantes problemas en proyectos grandes y pequeños son:

- Acuerdos en pujas: divulgación de información confidencial a algunos postores para darles una ventaja injusta.
- Contratistas de “baja oferta”: que intentan “hacerse” con el proyecto ofreciendo un precio reducido con la esperanza de recuperar los costes posteriormente con revisiones del contrato o, sencillamente, recortando la calidad.
- Sobornos: sobre todo en los proyectos internacionales.
- Inflar las cuentas de gastos, utilizar materiales de baja calidad, sacrificar las medidas de seguridad/sanidad, ocultación de información necesaria.
- No se reconoce el incumplimiento del proyecto al terminarse.

Los códigos deontológicos, como el creado por el Project Management Institute (www.pmi.org) son un medio de intentar definir normas. Investigaciones recientes han demostrado que sin un buen liderazgo y una fuerte cultura organizativa la mayoría de la gente aplica su propio conjunto de valores y normas éticas¹.

Estructura de trabajo desagregada

El equipo de dirección del proyecto comienza su tarea mucho antes del inicio de la ejecución del proyecto para desarrollar un plan. Uno de sus primeros pasos es fijar cuidadosamente los objetivos del proyecto, y entonces descomponerlo en una serie de actividades manejables. Esta **estructura desagregada del trabajo** define el proyecto, dividiéndolo en sus principales subcomponentes (o tareas) que, a su vez, se subdividen en componentes aún más detallados, y finalmente en una serie de actividades y sus costes relacionados. La desagregación de un proyecto en tareas más y más pequeñas es, en ocasiones, muy difícil, pero a la vez fundamental para poder dirigir un proyecto y programarlo con éxito. En esta fase de planificación se calcula también cuántas personas, suministros y equipos serán necesarios.

Una típica estructura de trabajo desagregada suele disminuir de tamaño de arriba abajo y se sangra de la siguiente manera:

- | | |
|-------|--------------------------------------------------|
| Nivel | |
| 1 | Proyecto |
| 2 | Principales tareas del proyecto |
| 3 | Subtareas de las tareas principales |
| 4 | Actividades a realizar (o “paquetes de trabajo”) |

Este marco de trabajo jerarquizado queda ilustrado con el desarrollo del sistema operativo de Microsoft, Windows Longhorn. Como puede verse en la Figura 3.3, el proyecto de creación de un sistema operativo se identifica como 1.0. El primer paso consiste en identificar las tareas principales del proyecto (nivel 2). Dos ejemplos son el desarrollo de interfaces de gráficas de usuario o GUI (*Graphic User Interfaces*) (1.1), y hacerlo compatible con las versiones antiguas de Windows (1.2). Las subtareas principales de 1.2 son la creación de un equipo que lo haga compatible con Windows ME (1.21), un equipo de compatibilidad para Windows XP (1.22), y la compatibilidad con Windows 2000 (1.23). A con-

Estructura desagregada de trabajo

Dividir un proyecto en componentes más y más detallados.

¹ Véanse P. J. Rutland, “Ethical Codes and Personal Values”, *Cost Engineering* 44 (diciembre de 2002), 22; y K. K. Humphreys, *What Every Engineer Should Know About Ethics* (Nueva York: Marcel Dekker, 2005).

Nivel	N.º de identificación del nivel	Actividad
1	1.0	Desarrollo/lanzamiento del sistema operativo Windows Longhorn
2	1.1	Desarrollo de los GUI
2	1.2	Asegurar compatibilidad con las versiones anteriores de Windows
3	1.21	Compatibilidad con Windows ME
3	1.22	Compatibilidad con Windows XP
3	1.23	Compatibilidad con Windows 2000
4	1.231	Capacidad de importar archivos

FIGURA 3.3 ■ Estructura de trabajo desagregada

tinuación cada subtarea principal se desglosa en las actividades que se realizan en el nivel 4, como por ejemplo “importar archivos” creados por Windows 2000 (1.231). Normalmente hay muchas actividades de nivel 4.

PROGRAMACIÓN DEL PROYECTO

La programación del proyecto implica ordenar y asignar un tiempo a todas las actividades de un proyecto. En esta fase, los directivos deciden cuánto durará cada actividad y calculan cuántas personas y cuánto material se necesitarán en cada fase de producción. Los directivos también establecen programas diferenciados de necesidades de personal según el tipo de habilidad o cualificación requeridas (dirección, ingeniería o vertido de hormigón, por ejemplo). También pueden elaborarse diagramas para programar los materiales.

Un herramienta habitual para la programación de proyectos es el diagrama de Gantt. Los **diagramas de Gantt** son herramientas de bajo coste que ayudan a los directores a asegurarse de que (1) todas las actividades están planificadas, (2) su orden de realización se tiene en cuenta, (3) se han indicado las estimaciones de duraciones de las actividades, y (4) se ha estimado la duración global del proyecto. Como muestra la Figura 3.4, los diagramas de Gantt son fáciles de entender. Se dibuja una barra horizontal para cada activi-

Diagramas de Gantt
Diagramas de planificación utilizados para programar los recursos y asignar fechas

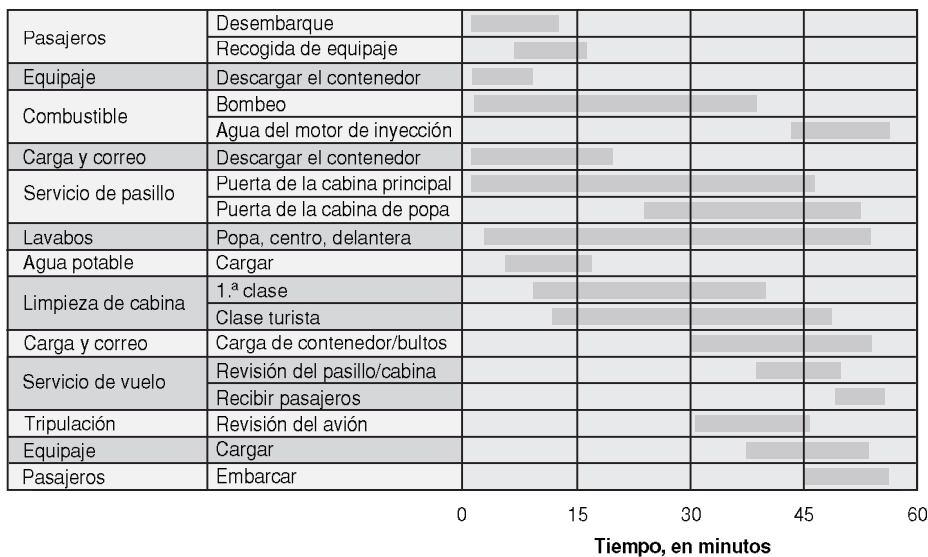


FIGURA 3.4 ■ Actividades de servicio en un reactor comercial, durante una escala de 60 minutos

DIRECCIÓN DE OPERACIONES EN ACCIÓN

LA TRIPULACIÓN DE TIERRA DE DELTA AIRLINES ORGANIZA UN PLÁCIDO DESPEGUE

Los tres motores del vuelo 199 "aúllan" a su llegada cuando el jet L-1011 de fuselaje ancho avanza pesadamente por la pista de aterrizaje de Orlando, con 200 pasajeros procedentes de San Juan. Dentro de una hora el avión va a estar volando de nuevo.

Sin embargo, antes de que pueda salir, hay varias tareas que atender: cientos de pasajeros y toneladas de equipaje y cargamento que descargar y cargar; cientos de comidas y miles de litros de combustible para el avión, un sinnúmero de refrescos y botellas de licor que reabastecer; limpiar la cabina y los baños; vaciar los tanques de los servicios; y revisar los motores, las alas y el tren de aterrizaje.

Las 12 personas del personal de tierra saben que un error en cualquier sitio, un transportador de cargamento roto, un equipaje perdido, o unos pasajeros mal dirigidos, pueden significar una salida con retraso y provocar una

reacción en cadena de quebraderos de cabeza, desde Orlando hasta Dallas, y a cada destino de un vuelo de enlace.

A Dennis Dettro, el director de operaciones de Delta en el Aeropuerto Internacional de Orlando, le gusta llamar a la operación de carga y descarga "una sinfonía bien dirigida". Al igual que el personal de los boxes espera a un coche de carreras, el personal entrenado espera al vuelo 199 con carros para equipajes, remolques, grúas hidráulicas de carga, un camión para cargar comidas y bebidas, otro para elevar al personal de limpieza, otro para echar combustible y un cuarto para vaciar el agua. La "orquesta" normalmente trabaja con tanta armonía que la mayoría de los pasajeros no sospecha las proporciones del esfuerzo. Los diagramas de Gantt como el de la Figura 3.4 ayudan a la compañía aérea Delta, y a otras líneas aéreas, mediante la asignación de personal y la programación necesaria, a interpretar esta sinfonía.

Fuentes: *New York Times* (21 de enero de 1997), C1 C20, y *USA Today* (17 de marzo de 1998), 10E.

dad del proyecto a lo largo de una línea de tiempo. Esta figura muestra el mantenimiento rutinario de un jet de la compañía aérea Delta Airlines durante los 60 minutos de una escala, y también muestra cómo los diagramas de Gantt pueden emplearse asimismo para programar operaciones repetitivas. En este caso, los diagramas ayudan a identificar retrasos potenciales. El recuadro de *Dirección de operaciones en acción* sobre Delta Airlines proporciona más información. (También se muestra un diagrama de Gantt en el Capítulo 5 del volumen *Direcciones Tácticas*, Figura 5.4).

En proyectos sencillos pueden utilizarse sólo estos diagramas de programación que permiten a los directivos observar el progreso en cada actividad y descubrir y solucionar las áreas con problemas. Sin embargo, los diagramas de Gantt no muestran adecuadamente las interrelaciones entre las actividades y los recursos.

Los métodos PERT y CPM, las dos técnicas de red más utilizadas que describiremos a continuación, *tienen* la característica de poder presentar las relaciones de precedencia y la interdependencia de las actividades. En proyectos complejos, cuya programación está casi siempre informatizada, los métodos PERT y CPM aventajan a los más sencillos diagramas de Gantt. Sin embargo, incluso en los grandes proyectos pueden utilizarse diagramas de Gantt como un resumen de la situación del proyecto y pueden complementar a los otros planteamientos de redes.

En resumen, cualquiera que sea el método elegido por un director de proyectos, la programación de aquél sirve para varios objetivos:

1. Muestra la relación de cada actividad con las demás y con el proyecto completo.
2. Identifica las relaciones de precedencia entre las actividades.
3. Fomenta el establecimiento de una duración y un coste realista para cada actividad.

Los gráficos de Gantt son un ejemplo de una técnica no matemática y ampliamente utilizada. Gusta mucho a los directivos por su sencillez y fácil visualización.

4. Ayuda a una mejor utilización de los recursos de personal, dinero y materiales, identificando cuellos de botella de importancia crítica en el proyecto.

CONTROL DE PROYECTOS

El control de grandes proyectos, como el control de cualquier sistema de dirección, implica un seguimiento muy de cerca de los recursos, los costes, la calidad y los presupuestos. El control implica también la utilización de un circuito de reatrolimentación para revisar el plan del proyecto y tener la posibilidad de mover los recursos allí a donde sean más necesarios. Los informes y diagramas PERT/CPM son hoy en día de disponibilidad habitual en PC. Algunos de los programas más conocidos son: Primavera (de Primavera Systems, Inc.), MacProject (de Apple Computer Corp.), Petmaster (de Westminster Software Inc.), VisiSchedule (de Paladin Software Corp.), Time Line (de Symantec Corp.) y MS Project (de Microsoft Corp.), del cual hablaremos en este capítulo.

Estos programas producen una amplia variedad de informes que incluyen: (1) desgloses detallados del coste de cada tarea, (2) curvas de mano de obra total del programa, (3) tablas de distribución del coste, (4) resúmenes de costes y horas por función, (5) previsiones de materias primas y gastos, (6) informes de problemas, (7) informes de análisis de tiempos, y (8) informes de la situación del trabajo.

TÉCNICAS DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS: PERT Y CPM

La **técnica de evaluación y revisión de programas (PERT: Program Evaluation and Review Technique)** y el **método del camino crítico (CPM: Critical Path Method)** fueron ambas desarrolladas en los años cincuenta para ayudar a los directivos a programar, hacer el seguimiento y controlar grandes y complicados proyectos. El CPM se creó primero, en 1957, como una herramienta desarrollada por J. E. Kelly de Remington Rand y S. R. Walker de duPont para ayudar a la construcción y mantenimiento de fábricas químicas de duPont. Independientemente, la técnica PERT fue desarrollada en 1958 por Booz, Allen y Hamilton para la Marina de Estados Unidos.

El marco de la PERT y el CPM

La PERT y el CPM siguen seis pasos básicos:

1. Definir el proyecto y preparar una estructura de trabajo desagregada.
2. Definir las relaciones entre las actividades. Determinar qué actividades deben preceder y cuáles deben seguir a otras.
3. Dibujar la red que conecta todas las actividades.
4. Asignar las estimaciones de duración y/o coste de cada actividad.
5. Calcular el camino de máxima duración en la red. Éste es el denominado **camino crítico**.
6. Utilizar la red para ayudar a planificar, programar, seguir y controlar el proyecto.

El paso 5, la determinación del camino crítico, es una parte principal del control del proyecto. Las actividades presentes en el camino crítico representan tareas que retrasarán todo el proyecto si no se acaban a tiempo. Los directivos pueden conseguir la flexibilidad necesaria para realizar las tareas críticas identificando las actividades que no son críticas y volviendo a planificar, programar y asignar los recursos financieros y de personal.

La construcción del nuevo edificio de 11 plantas del Arnold Palmer Hospital en Orlando, Florida, fue un enorme proyecto para la dirección del hospital. Este proyecto de 100 millones de dólares y cuatro años de duración se analiza en el Caso de estudio en vídeo al final de este capítulo.



Vídeo 3.2

Gestión de proyectos en el Arnold Palmer Hospital

La técnica de evaluación y revisión de proyectos (PERT)

Una técnica de gestión de proyectos que emplea tres estimaciones de duración para cada actividad.

Método del camino crítico (CPM)

Es una técnica de gestión de proyectos que utiliza sólo una estimación de duración para cada actividad.

Camino crítico

El camino (o caminos) de mayor longitud (duración) en una red.

Aunque PERT y CPM se diferencian hasta cierto punto en terminología y en la forma de construir la red, sus objetivos son los mismos. Además, el análisis utilizado en ambas técnicas es muy parecido. La diferencia principal es que PERT emplea tres estimaciones de duración para cada actividad. Cada estimación tiene una determinada probabilidad de darse, lo que, a su vez, se utiliza para calcular el valor esperado medio y la desviación estándar de la duración de la actividad. CPM supone que la duración de la actividad se conoce con certeza y, por tanto, sólo necesita una duración para cada actividad.

Para mayor claridad, el resto del capítulo se centra en la descripción del PERT. La mayoría de los comentarios y procedimientos descritos, sin embargo, son aplicables también al método del camino crítico.

PERT y CPM son importantes porque pueden ayudar a responder a preguntas como las siguientes (sobre proyectos con miles de actividades):

1. ¿Cuándo se acabará el proyecto?
2. ¿Cuáles son las actividades o tareas críticas del proyecto, es decir, las que demorarían todo el proyecto si sufrieran un retraso?
3. ¿Cuáles son las actividades no críticas, es decir, las que pueden ejecutarse con retraso sin demorar la terminación de todo el proyecto?
4. ¿Cuál es la probabilidad de que el proyecto se termine en una fecha determinada?
5. Se puede calcular en cualquier momento si el proyecto va según lo programado, por detrás de lo programado o por delante de lo programado.
6. Se puede calcular en cualquier momento si se ha gastado el mismo dinero, menos dinero o más dinero que la cantidad presupuestada.
7. ¿Hay suficientes recursos disponibles para acabar el proyecto a tiempo?
8. Si el proyecto tiene que estar acabado en un corto espacio de tiempo, ¿cuál es el mejor modo de lograrlo al mínimo coste?

Diagramas de red y enfoques

El primer paso en una red PERT o CPM consiste en dividir el proyecto completo en actividades significativas acordes a la estructura desagregada del trabajo. Hay dos planteamientos para dibujar redes: **Actividad en Nodos o Vértices (AON: Activity on Node)** y **Actividad en Flechas o Arcos (AOA: Activity on Arrow)**. Con la convención AON los *vértices* o *nodos* designan actividades. Con la AOA, las *flechas* o *arcos* representan actividades. Las actividades consumen tiempo y recursos. La principal diferencia entre AON y AOA es que los nodos o vértices en un gráfico AON representan actividades. En una red AOA los nodos o vértices representan el momento de inicio y de culminación de una actividad y también se denominan *etapas* o *sucesos*. Así pues, los nodos en una red AOA no consumen ni tiempo ni recursos.

La Figura 3.5 ilustra ambos enfoques para una pequeña parte del gráfico de Gantt de las operaciones de la compañía aérea (en la Figura 3.4). Los ejemplos ofrecen una base para comprender seis relaciones comunes de las actividades en las redes. En la Figura 3.5(a), la actividad A debe terminarse antes de que se inicie la actividad B, y B, a su vez, debe terminarse antes de empezar C. La actividad A podría representar “el desembarco de los pasajeros”, mientras que B podría ser la “limpieza de la cabina” y C el “embarque de nuevos pasajeros”.

Las Figuras 3.5(e) y 3.5(f) muestran que el planteamiento AOA requiere, a veces, la incorporación de una **actividad ficticia** para aclarar las relaciones. Una actividad ficticia no consume ni tiempo ni recursos, pero se necesita cuando una red tiene dos actividades

Actividad en flecha (AOA)

Un diagrama de red en el que las flechas representan actividades.

Actividad en nodo (AON)

Un diagrama de red en el que los nodos representan actividades.

Actividades ficticias (dummy)

Actividades sin tiempo, que se introducen en la red para mantener la lógica de la red.

	Actividad en nodo (AON)	Significado de la actividad	Actividad en flecha (AOA)
(a)		A va antes que B, que va antes que C.	
(b)		A y B deben terminarse antes de que empiece C.	
(c)		B y C no pueden empezar hasta que se termine A.	
(d)		C y D no pueden empezar hasta que se hayan terminado tanto A como B.	
(e)		C no puede empezar hasta que tanto A como B estén terminadas; D no puede empezar hasta que se termine B. En AOA se introduce una actividad ficticia.	
(f)		B y C no pueden empezar hasta que se termine A. D no puede empezar hasta que se terminen B y C. En AOA se vuelve a introducir una actividad ficticia.	

FIGURA 3.5 ■ Una comparación de las convenciones de redes AON y AOA

con idénticos sucesos (etapas) de inicio y finalización, o cuando dos o más actividades siguen a algunas pero no a todas las actividades “precedentes”. La utilización de actividades ficticias también es importante cuando se utiliza software para determinar la duración del proyecto. Una actividad ficticia tiene un tiempo de realización nulo.

Aunque en la práctica se utilizan tanto AON como AOA, muchos programas de software de dirección de proyectos, incluido Microsoft Project, utilizan redes AON. Por ello, aunque en el próximo ejemplo vamos a mostrar ambos tipos de redes, en el resto del capítulo nos centraremos en las redes AON.

Ejemplo de actividad en nodo

EJEMPLO 1

Actividad en nodo

Dada la siguiente información, desarrolle una tabla que muestre las relaciones de precedencia de las actividades.

Milwaukee Paper Manufacturing, Inc., que se encuentra cerca del centro de la ciudad de Milwaukee, ha estado durante mucho tiempo intentando evitar el gasto de incorporar a sus instalaciones equipos de control de la contaminación del aire. El Ministerio de Medio Ambiente ha dado recientemente a la fábrica 16 semanas para instalar un complejo sistema de filtrado del aire. Milwaukee Paper ha sido advertida de que se podría obligar a cerrar la fábrica salvo que se instalen los equipos en el plazo otorgado. Joni Steinberg, el director de la fábrica, quiere asegurarse de que la instalación de los sistemas de filtrado se produce sin problemas y en el plazo fijado.

Milwaukee Paper ha identificado las ocho actividades que hay que realizar para poder terminar el proyecto. Cuando el proyecto empieza se pueden realizar simultáneamente dos actividades: construir los componentes internos del dispositivo (actividad A) y las modificaciones necesarias en suelo y techo (actividad B). La construcción del módulo de recolección (actividad C) puede empezar cuando se hayan completado los componentes internos. Verter el cemento en el suelo y la instalación del marco (actividad D) pueden iniciarse en cuanto se hayan terminado los componentes internos y se hayan modificado los suelos y techos.

Tras construir el módulo de recolección, pueden iniciarse dos actividades: la construcción del quemador de alta temperatura (actividad E) y la instalación del sistema de control de la contaminación (actividad F). El dispositivo de limpieza de la contaminación del aire puede instalarse (actividad G) cuando se haya terminado el suelo de cemento, se haya instalado el marco y se haya puesto el quemador de alta temperatura. Finalmente, una vez instalados el sistema de control y el dispositivo de limpieza de la contaminación se puede inspeccionar y probar el sistema (actividad H).

Las actividades y las relaciones de precedencia pueden parecer algo confusas cuando se presentan de esta forma descriptiva. Por tanto, resulta conveniente hacer una lista de toda la información de las actividades en una tabla, como se muestra en la Tabla 3.1. Vemos en la tabla que la actividad A figura como *predecesora inmediata* de la actividad C. De la misma manera, tanto la actividad D como la actividad E deben realizarse antes de iniciar la actividad G.

TABLA 3.1 ■ Actividades y predecesoras en Milwaukee Paper Manufacturing

Actividad	Descripción	Predecesoras inmediatas
A	Construcción de componentes internos	—
B	Modificación de suelos y techos	—
C	Construcción del dispositivo de recolección	A
D	Verter cemento e instalación del marco	A, B
E	Construcción del quemador de alta temperatura	C
F	Instalación del sistema de control de la contaminación	C
G	Instalación del dispositivo de limpieza del aire	D, E
H	Inspeccionar y probar	F, G

Observe que en el Ejemplo 1 basta con hacer una lista con solamente las *predecesoras inmediatas* de cada actividad. Por ejemplo, en la Tabla 3.1, puesto que la actividad A precede a la actividad C, y la actividad C precede a la actividad E, el hecho de que la actividad A precede a la actividad E está *implícito*. No es necesario explicitar esta relación en las relaciones de preferencia de las actividades.

Cuando hay muchas actividades en un proyecto, con relaciones de preferencia relativamente complejas, resulta difícil que un individuo pueda hacerse una idea de la complejidad del proyecto a partir de tan sólo la información en forma de tabla. En estos casos resulta cómodo y útil tener una representación visual del proyecto utilizando una *red de proyecto*. Una red de proyecto es un diagrama de todas las actividades y de las relaciones

Las redes están compuestas de nodos (o vértices) unidos por líneas (o arcos).

Grafo AON

Dibuje la red AON para Milwaukee Paper, utilizando los datos del Ejemplo 1.

Recuerde que en el planteamiento AON representamos cada actividad mediante un nodo. Las líneas, o arcos, representan las relaciones de precedencia entre actividades.

En este ejemplo hay dos actividades (A y B) que no tienen ninguna predecesora. Dibujamos nodos separados para cada una de estas actividades, como se muestra en la Figura 3.6. Aunque habitualmente no es necesario, suele ser conveniente tener una única actividad de inicio del proyecto. Por ello, hemos incluido una *actividad ficticia* llamada Inicio en la Figura 3.6. Esta actividad ficticia no existe realmente, y no consume ni tiempo ni recursos. La actividad Inicio es una predecesora inmediata de las dos actividades A y B, y sirve de actividad inicial única para todo el proyecto.

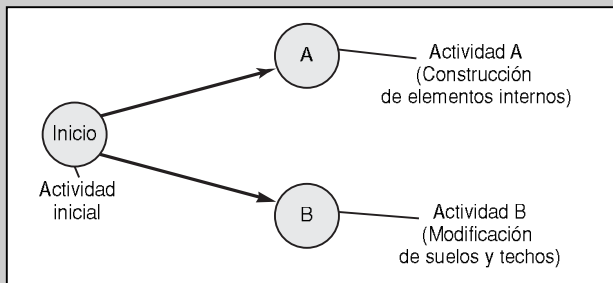


FIGURA 3.6 ■ Inicio de la Red AON para el caso de Milwaukee Paper

Ahora mostramos las relaciones de precedencia utilizando líneas con símbolos de flechas. Por ejemplo, una flecha de la actividad Inicio a la actividad A indica que Inicio es una predecesora de la actividad A. De forma análoga, dibujamos una flecha de inicio a la actividad B.

A continuación necesitamos un nuevo nodo para la actividad C. Puesto que la actividad A precede a la actividad C, dibujamos un arco del nodo A al nodo C (véase la Figura 3.7). De la misma manera, primero dibujamos un nodo para representar la actividad D. Después, puesto que las actividades A y B preceden ambas a la actividad D, dibujamos flechas de A a D y de B a D (véase la Figura 3.7).

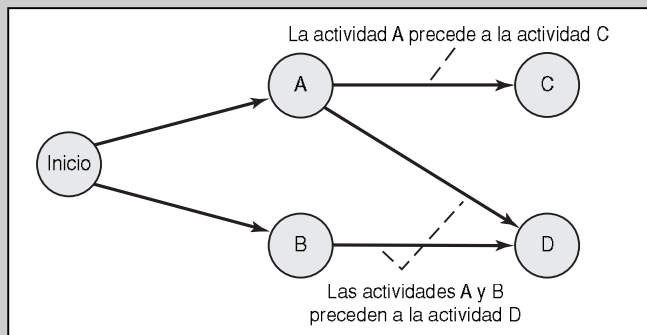


FIGURA 3.7 ■ Red AON intermedia para Milwaukee Paper

EJEMPLO 2

Lo hacemos así, añadiendo un nodo independiente para cada actividad, y una línea independiente para cada relación de precedencia que exista. En la Figura 3.8 se muestra la red AON completa para el proyecto de Milwaukee Paper Manufacturing.

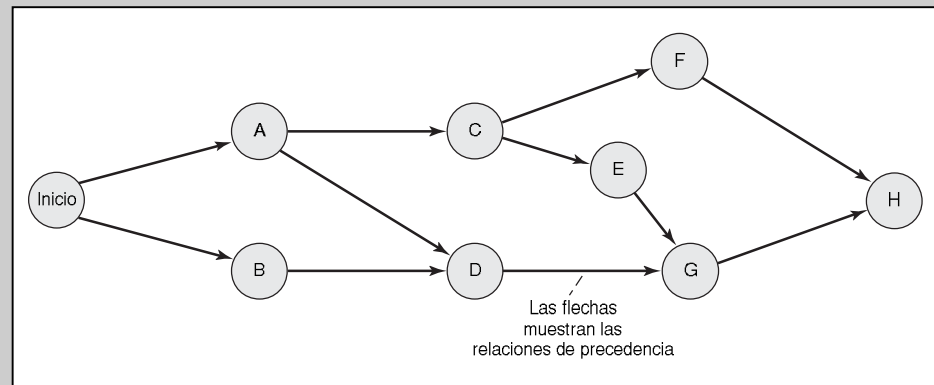


FIGURA 3.8 ■ Red AON completa para Milwaukee Paper

de precedencia que existen entre estas actividades en un proyecto. A continuación vamos a ver cómo se construye una red de proyecto para el caso de Milwaukee Paper Manufacturing.

El dibujo correcto de la red de un proyecto suele requerir cierto tiempo y experiencia. Cuando dibujamos la red de un proyecto por primera vez, no es extraño que coloquemos nuestros nodos (actividades) en la red de tal forma que las flechas (relaciones de precedencia) no son líneas rectas. Es decir, las líneas podrían cortarse las unas a las otras, incluso estar en dirección opuesta. Por ejemplo, si hubiéramos cambiado en la Figura 3.8 las posiciones de los nodos de las actividades E y F, las líneas de F a H y de E a G se cortarían. Aunque esta red sería perfectamente válida, una buena práctica consiste en tener una red bien dibujada. Una regla que recomendamos especialmente es colocar los nodos de forma que todas las flechas apunten en la misma dirección. Para ello, sugerimos que se dibuje primero un borrador de la red, asegurándose de que se muestran todas las relaciones. A continuación se puede volver a dibujar la red para hacer los cambios pertinentes en la ubicación de nodos.

Al igual que con el único nodo de inicio, es conveniente que la red del proyecto acabe en un solo nodo. En el ejemplo de Milwaukee Paper sólo hay una actividad final, la H. Por tanto, tenemos automáticamente un único nodo final.

En las situaciones en las que el proyecto tiene múltiples actividades finales, incluimos una actividad final “ficticia”. Esta actividad ficticia tiene a todas las actividades finales del proyecto como predecesoras inmediatas. Ilustramos este tipo de situación en el Problema resuelto 3.2 al final de este capítulo.

Es conveniente, pero no necesario, tener una sola actividad de inicio y una sola actividad de finalización del proyecto.

Ejemplo de actividad en flecha (AOA)

Vimos antes que en una red AOA de un proyecto podemos representar las actividades por flechas. Los nodos representan un *suceso (etapa)*, que marca el instante de inicio o el momento de finalización de una actividad. Se suele identificar un suceso (nodo) con un número.

EJEMPLO 3

Actividad en flecha

Dibuje la red AOA de todo un proyecto para el problema de Milwaukee Paper.

Utilizando los datos de la tabla del Ejemplo 1, vemos que la actividad A empieza en el suceso 1 y acaba en el suceso 2. De la misma manera, la actividad B empieza en el suceso 1 y acaba en el suceso 3. La actividad C, cuya única predecesora inmediata es la actividad A, empieza en el nodo 2 y acaba en el nodo 4. Sin embargo, la actividad D tiene dos predecesoras (a saber, A y B). Por tanto, necesitamos que las dos actividades A y B acaben en el suceso 3 de forma que la actividad D pueda empezar en ese suceso. Sin embargo, no podemos tener múltiples actividades con nodos de inicio y finalización idénticos en una red AOA. Para superar este problema, en estos casos necesitamos añadir una línea (actividad) ficticia para forzar la relación de precedencia. La actividad ficticia, que se muestra en la Figura 3.9 como una línea de puntos, se inserta entre el suceso 2 y el 3 para que el gráfico refleje la precedencia entre A y D. Recuerde que una actividad ficticia no existe realmente en el proyecto, y no consume tiempo. El resto de la red AOA del proyecto de Milwaukee Paper también aparece en la Figura 3.9.

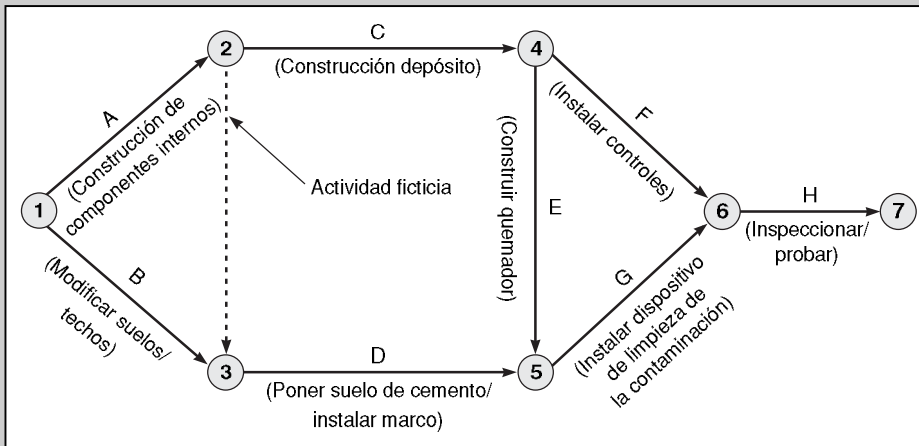


FIGURA 3.9 ■ Red AOA completa (con actividad ficticia) para Milwaukee Paper

DETERMINACIÓN DEL PROGRAMA (CALENDARIO) DE UN PROYECTO

Vuelva por un momento a la Figura 3.8 (en el Ejemplo 2) para ver la red AON completa del caso de Milwaukee Paper. Una vez dibujada la red de este proyecto para mostrar todas las actividades y sus relaciones de precedencia, el siguiente paso consiste en determinar el programa del proyecto. Es decir, tenemos que identificar el instante de inicio y de finalización previsto para cada actividad.

Vamos a suponer que Milwaukee Paper estima los tiempos necesarios para cada actividad en semanas, como se muestra en la Tabla 3.2. La tabla indica que el tiempo total para las ocho actividades que tiene que realizar la empresa es de 25 semanas. Sin embargo, puesto que se pueden realizar simultáneamente varias actividades, resulta evidente que el tiempo total necesario para realizar el proyecto puede ser inferior a 25 semanas. Para saber exactamente cuánto tiempo hará falta realizamos el **análisis del camino crítico** de la red.

Análisis del camino crítico

Ayuda a determinar la programación del proyecto.

TABLA 3.2 ■ Estimaciones de tiempo para Milwaukee Paper Manufacturing

Actividad	Descripción	Duración (semanas)
A	Construcción de componentes internos	2
B	Modificación de suelos y techos	3
C	Construcción del dispositivo de recolección	2
D	Suelo de cemento e instalación del marco	4
E	Construcción del quemador de alta temperatura	4
F	Instalación del sistema de control de la contaminación	3
G	Instalación del dispositivo de limpieza del aire	5
H	Inspeccionar y probar	2
I	Tiempo total (semanas)	25

Como se ha indicado anteriormente, el camino crítico es el camino *más largo* en cuanto a tiempo de toda la red. Para encontrar el camino crítico, calculamos dos instantes de inicio y de finalización para cada actividad. Estos instantes se definen de la siguiente manera:

Inicio más temprano (IMTE) = instante más temprano en el que puede empezar una actividad, como consecuencia de que han finalizado todas las predecesoras.

Final más temprano (FMTE) = instante más temprano en el que se puede terminar una actividad.

Inicio más tardío (IMTA) = instante más tardío en el que puede empezar una actividad para que no se retrase la fecha de finalización del proyecto global.

Final más tardío (FMTA) = lo más tarde que puede acabar una actividad para que no se retrase la fecha de finalización del proyecto global.

Utilizamos un proceso de dos etapas, consistente en una etapa de cálculo hacia delante en la red (programación hacia delante) y una etapa de cálculo hacia atrás en la red (programación hacia atrás), para determinar las fechas de inicio y finalización de cada actividad. Las de inicio y finalización más tempranas (IMTE y FMTE) se calculan mediante la **etapa de cálculo hacia delante**. Las de inicio y finalización más tardías (IMTA y FMTA) se calculan durante la etapa de cálculo hacia atrás.

Programación hacia delante
Identifica las fechas más tempranas.

Programación hacia delante

Para mostrar claramente las fechas de inicio y finalización de las actividades en la red del proyecto, utilizamos la notación que se muestra en la Figura 3.10. El IMTE de una actividad se muestra en la esquina superior izquierda del nodo que representa la actividad. El FMTE se muestra en la esquina superior derecha. Los tiempos más tardíos, IMTA y FMTA, se muestran en las esquinas inferior izquierda e inferior derecha respectivamente.

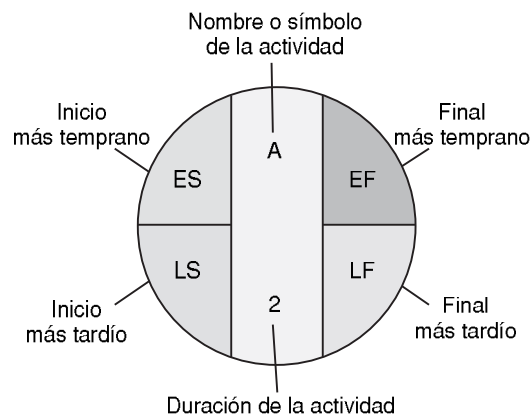


FIGURA 3.10 ■ Notación utilizada en los nodos para los pasos hacia delante

Regla del instante de inicio más temprano Antes de que se pueda iniciar una actividad, *todas* sus predecesoras inmediatas deben haber terminado.

- Si una actividad sólo tiene una predecesora inmediata, su IMTE es igual al FMTE de su predecesora.
- Si una actividad tiene múltiples predecesoras inmediatas, su IMTE es el máximo de los valores FMTE de sus predecesoras. Es decir,

$$IMTE = \text{Max (FMTE de todas las predecesoras inmediatas)} \quad (3.1)$$

Regla del final más temprano El final más temprano (FMTE) de una actividad es la suma de su instante de inicio más temprano (IMTE) más su duración. Es decir,

$$FMTE = IMTE + \text{duración de actividad} \quad (3.2)$$

Todas las actividades predecesoras deben haber terminado antes de que pueda empezar una actividad.

Cálculo de los instantes de inicio y final más tempranos

Calcule los instantes de inicio y finalización más tempranos de las actividades del proyecto de Milwaukee Paper Manufacturing. La Tabla 3.2 anterior muestra las duraciones de las actividades.

La Figura 3.11 muestra la red completa del proyecto de la empresa, junto con los valores de los IMTE y FMTE de todas las actividades. Ahora describimos cómo se calculan esos valores.

Puesto que la actividad Inicio no tiene predecesoras, empezamos igualando su IMTE a 0. Es decir, la actividad Inicio puede empezar al *final* de la semana 0, que es lo mismo que el inicio de la semana 1². Si la actividad Inicio tiene un IMTE de 0, su FMTE también es 0 puesto que su tiempo de actividad es 0.

EJEMPLO 4

² Al escribir los instantes más tempranos y más tardíos tenemos que ser coherentes. Por ejemplo, si especificamos que el valor IMTE de una actividad *i* es la semana 4, ¿queremos decir que es al *principio* de la semana 4 o al *final* de la semana 4? Observe que si el valor hace referencia al *principio* de la semana 4 significa que también disponemos de la semana 4 para realizar la actividad *i*. En nuestro análisis, *todos* los instantes más tempranos y más tardíos corresponden al *final* de un periodo. Es decir, si afirmamos que el IMTE de la actividad *i* es la semana 4, queremos decir que *i* empieza sólo al principio de la semana 5.

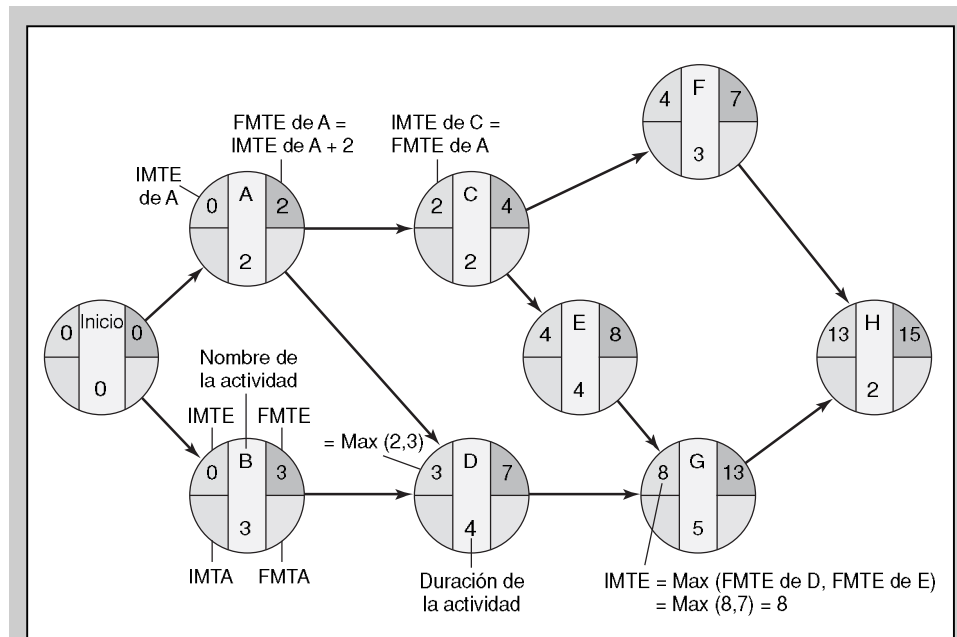


FIGURA 3.11 ■ Fechas de inicio y fin más tempranas para Milwaukee Paper

A continuación analizamos las actividades A y B, que tienen ambas a Inicio como única predecesora inmediata. Utilizando la regla del instante de inicio más temprano, el IMTE de ambas actividades A y B es igual a cero, que es el FMTE de la actividad Inicio. Ahora, utilizando la regla del instante de finalización más temprano, el FMTE de A es 2 ($= 0 + 2$), y el FMTE de B es 3 ($= 0 + 3$).

Puesto que la actividad A precede a la actividad C, el IMTE de C es igual al FMTE de A ($= 2$). El FMTE de C es, por tanto, 4 ($= 2 + 2$).

Ahora llegamos a la actividad D. Las actividades A y B son, ambas, predecesoras inmediatas de D. Mientras que A tiene un FMTE de 2, la actividad B tiene un FMTE de 3. Utilizando la regla del instante de inicio más temprano, calculamos el IMTE de la actividad D de la siguiente manera:

$$IMTE\ de\ D = \text{Max}(FMTE\ de\ A, FMTE\ de\ B) = \text{Max}(2, 3) = 3$$

El FMTE de D es igual a 7 ($= 3 + 4$). A continuación, las dos actividades E y F tienen a la actividad C como única predecesora inmediata. Por tanto, el IMTE de E y F es igual a 4 ($= FMTE\ de\ C$). El FMTE de E es 8 ($= 4 + 4$), y el FMTE de F es 7 ($= 4 + 3$).

La actividad G tiene a las actividades D y E como predecesoras. Utilizando la regla del instante de inicio más temprano, su IMTE es, por tanto, el máximo del FMTE de D y de E. Por tanto, el IMTE de la actividad G es 8 ($= \text{máximo de } 7 \text{ y } 8$), y su FMTE es igual a 13 ($= 8 + 5$).

Finalmente llegamos a la actividad H. Puesto que también tiene dos predecesoras, F y G, el IMTE de H es el máximo FMTE de estas dos actividades. Es decir, el IMTE de H es igual a 13 ($= \text{máximo de } 13 \text{ y } 7$). Esto implica que el FMTE de H es 15 ($= 13 + 2$). Puesto que H es la última actividad del proyecto, también implica que el momento más temprano en que se puede culminar el proyecto es 15 semanas.

Aunque la programación hacia delante nos permite calcular el momento de finalización lo antes posible del proyecto, no identifica el camino crítico. Para identificarlo tene-

mos que efectuar la programación hacia atrás para determinar los valores IMTA y FMTA de todas las actividades.

Programación hacia atrás

De la misma manera que la programación hacia delante parte de la primera actividad del proyecto, la **programación hacia atrás** parte de la última actividad del proyecto. Para cada actividad calculamos primero su valor FMTA, y después su valor IMTA. En el proceso se utilizan las dos siguientes reglas:

Programación hacia atrás
Calcula las fechas más tardías.

Regla del instante de finalización más tardío Esta regla se basa, de nuevo, en el hecho de que antes de que se pueda iniciar una actividad se deben haber terminado todas las predecesoras inmediatas.

- Si una actividad es predecesora inmediata de sólo una actividad, su FMTA es igual al IMTA de la actividad que la sigue de inmediato.
- Si una actividad es predecesora inmediata de más de una actividad, su FMTA es el mínimo de todos los valores IMTA de todas las actividades que la siguen de inmediato. Es decir,

$$\text{FMTA} = \text{Min} (\text{IMTA de todas las actividades que la siguen de inmediato}) \quad (3.3)$$

FMTA de una actividad = mínimo IMTA de todas las actividades que la siguen.

Regla del instante de inicio más tardío El instante de inicio más tardío (IMTA) de una actividad es la diferencia entre su tiempo de finalización más tardío y de su duración. Es decir,

$$\text{IMTA} = \text{FMTA} - \text{duración de la actividad} \quad (3.4)$$

Cálculo de los instantes de inicio y finalización más tardíos

Calcule los instantes de inicio y finalización más tardíos para cada actividad del proyecto de reducción de la contaminación de Milwaukee Paper. Utilice la Figura 3.11 como punto de partida.

La Figura 3.12 muestra la red completa del proyecto de Milwaukee Paper, junto con los valores IMTA y FMTA de todas las actividades. En lo que sigue vamos a ver cómo se calcularon estos valores.

Empezamos asignando un valor FMTA de 15 semanas a la actividad H. Es decir, especificamos que el instante de finalización más tardío de todo el proyecto es el mismo que el instante de finalización más temprano. Utilizando la regla del instante de inicio más tardío, el IMTA de la actividad H es igual a 13 ($= 15 - 2$).

Puesto que la actividad H es la única actividad posterior a las actividades F y G, el FMTA tanto de F como de G es igual a 13. Esto implica que el IMTA de G es 8 ($= 13 - 5$), y que el IMTA de F es 10 ($= 13 - 3$).

Procediendo de esta manera, vemos que el FMTA de E es 8 ($= \text{IMTA de G}$) y su IMTA es 4 ($= 8 - 4$). De la misma manera, el FMTA de D es 8 ($= \text{IMTA de G}$) y su IMTA es 4 ($= 8 - 4$).

Ahora analizamos la actividad C, que es la predecesora inmediata de dos actividades: E y F. Utilizando la regla del instante de finalización más tardío, calculamos el FMTA de la actividad C de la siguiente manera:

$$\text{FMTA de C} = \text{Min} (\text{IMTA de E}, \text{IMTA de F}) = \text{Min} (4, 10) = 4$$

EJEMPLO 5

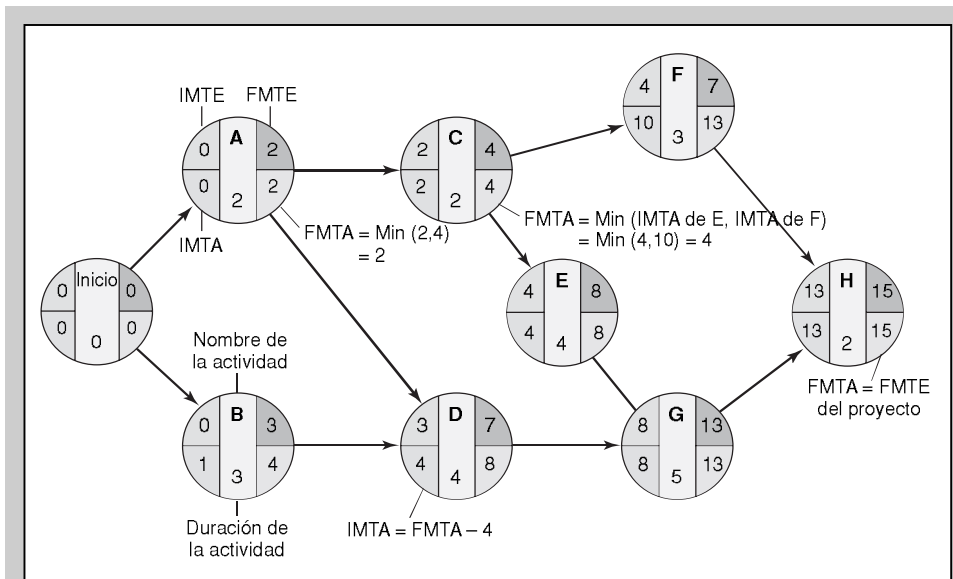


FIGURA 3.12 ■ Instante de inicio y finalización más tardíos para Milwaukee Paper

El IMTA de C se calcula como $2 (= 4 - 2)$. A continuación calculamos el FMTA de B como $4 (= IMTA \text{ de } D)$, y su IMTA como $1 (= 4 + 3)$.

Ahora analizamos la actividad A. Calculamos su FMTA como $2 (= \text{mínimo } IMTA \text{ de } C \text{ y } D)$. De aquí que el IMTA de la actividad A es $0 (= 2 - 2)$. Finalmente, tanto el FMTA como el IMTA de la actividad Inicio son iguales a 0.

Cálculo de tiempos de holgura e identificación del camino crítico

Después de calcular los instantes más tempranos y tardíos de todas las actividades, resulta fácil calcular el **tiempo de holgura**, o tiempo libre, que tiene cada actividad. La holgura es la cantidad de tiempo en que se puede retrasar una actividad sin que se retrase todo el proyecto. Matemáticamente:

$$\text{Holgura} = \text{IMTA} - \text{IMTE} \text{ u } \text{Holgura} = \text{FMTA} - \text{FMTE} \quad (3.5)$$

EJEMPLO 6



Active Model 3.1

Este ejemplo se desarrolla más en el Active Model 3.1 del CD-ROM del alumno, y en el ejercicio de la página 108.

Cálculo de los tiempos de holgura

Calcule la holgura de las actividades del proyecto de Milwaukee Paper, partiendo de los datos de la Figura 3.12 en el ejemplo anterior.

La Tabla 3.3 resume los IMTE, FMTE, IMTA, FMTA y el tiempo de holgura de cada una de las actividades. Por ejemplo, la actividad B tiene un tiempo de holgura de una semana puesto que su IMTA es 1 y su IMTE es 0 (alternativamente, su FMTA es 4 y su FMTE es 3). Esto significa que la actividad B puede retrasarse hasta una semana y todo el proyecto se podrá terminar de todas formas en 15 semanas.

Por otra parte, las actividades A, C, E, G y H *no* tienen tiempo de holgura. Esto significa que ninguna de ellas se puede retrasar sin que se retrase todo el proyecto. Análogamente, si el director de la fábrica, Joni Steinberg, quiere reducir el plazo total del proyecto, tendrá que reducir la duración de una de estas actividades.

TABLA 3.3 ■ Programas y tiempos de holgura para Milwaukee Paper Manufacturing

Actividad	Inicio más temprano IMTE	Final más temprano FMTE	Inicio más tardío IMTA	Final más tardío FMTA	Holgura IMTA-IMTE	En el camino crítico
A	0	2	0	2	0	Sí
B	0	3	1	4	1	No
C	2	4	2	4	0	Sí
D	3	7	4	8	1	Sí
E	4	8	4	8	0	Sí
F	4	7	10	13	6	Sí
G	8	13	8	13	0	Sí
H	13	15	13	15	0	Sí

Las actividades sin tiempo de holgura se denominan *actividades críticas* y se dice que están en el camino crítico. El camino crítico es un camino continuo en la red del proyecto y que:

Las actividades críticas no tienen tiempo de holgura.

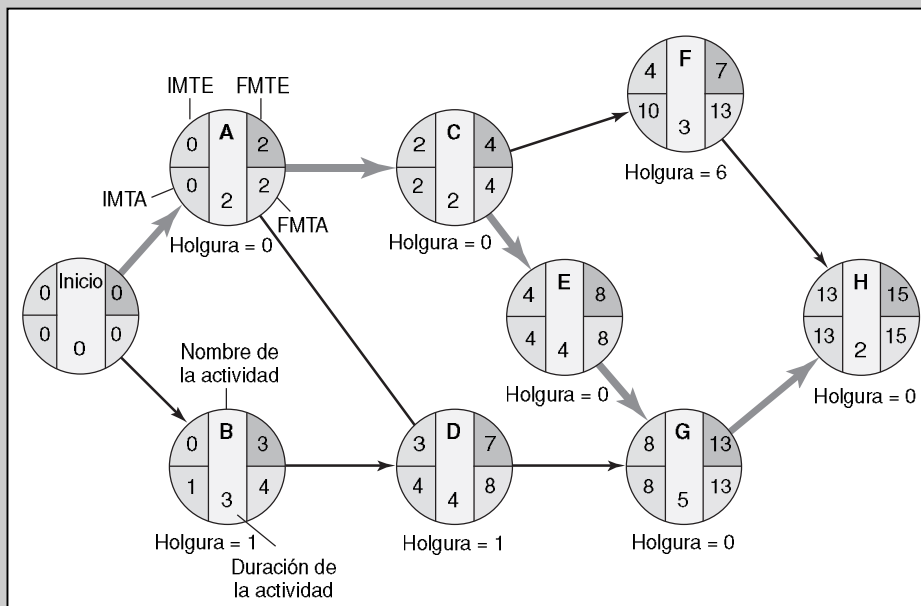
- empieza en la primera actividad del proyecto (Inicio en nuestro ejemplo);
- termina en la última actividad del proyecto (H en nuestro ejemplo); e
- incluye únicamente actividades críticas (es decir, actividades sin tiempo de holgura).

El camino crítico se representa con líneas gruesas

Muestra el camino crítico del proyecto de Milwaukee Paper, Inicio - A - C - E - G - H.

La Figura 3.13 indica que el tiempo total para finalizar el proyecto de 15 semanas corresponde al camino más largo de la red.

EJEMPLO 7



El camino crítico es el camino más largo de la red.

FIGURA 3.13 ■ El camino crítico y los tiempos de holgura para Milwaukee Paper

Holgura total

Tiempo de holgura compartido por dos o más actividades.

Holgura libre

Tiempo de holgura asociado a una única actividad.

Tiempo de holgura total frente a tiempo de holgura libre Vuelva a fijarse en la red del proyecto de la Figura 3.13. Analice el caso de las actividades B y D, que tienen cada una un tiempo de holgura de una semana. ¿Significa acaso que podemos retrasar *cada* actividad una semana y seguir culminando el proyecto en 15 semanas? La respuesta es negativa.

Vamos a suponer que la actividad B se retrasa una semana. Ha utilizado su holgura de una semana y ahora tiene un FMTE de 4. Esto implica que la actividad D tiene ahora un IMTE de 4 y un FMTE de 8. Observe que éstos son también sus valores IMTA y FMTA respectivamente. Es decir, la actividad D también se ha quedado ahora sin tiempo de holgura. En definitiva, la holgura de una semana que tenían las actividades B y D estaba, para este camino, *compartida* entre ambas actividades. Si se retrasa cualquiera de ellas en una semana se pierde la holgura, no sólo de esa actividad, sino también la de la otra. Este tipo de tiempo de holgura se conoce como **holgura total**. Normalmente, cuando dos o más actividades no críticas aparecen en la red de forma sucesiva comparten la holgura total.

Por el contrario, analice el tiempo de holgura de 6 semanas de la actividad F. Si se retrasa esta actividad sólo se reduce su tiempo de holgura y no afecta al tiempo de holgura de ninguna otra actividad. Este tipo de tiempo de holgura se conoce como **holgura libre**. Normalmente, si una actividad no crítica tiene actividades críticas a cada lado en su camino, el tiempo de holgura es una holgura libre.

VARIABILIDAD EN LAS DURACIONES DE LAS ACTIVIDADES

Al identificar hasta ahora las fechas más tempranas y más tardías, y el correspondiente camino(s) crítico(s), hemos adoptado un planteamiento CPM consistente en suponer que se conocen todos los tiempos de las actividades y que son fijos y constantes para cada actividad. Es decir, no hay variabilidad en los tiempos de actividad. Sin embargo, en la práctica, es probable que los tiempos de realización de las actividades varíen dependiendo de diversos factores.

Por ejemplo, la construcción de los componentes internos (actividad A) en Milwaukee Paper Manufacturing debería terminarse en dos semanas. Evidentemente, factores como la llegada tardía de los componentes, la ausencia de personal clave, etcétera, podrían retrasar esta actividad. Suponga que la actividad A termina durando tres semanas. Puesto que la actividad A se encuentra sobre el camino crítico, todo el proyecto quedará retrasado ahora en una semana, hasta 16 semanas. Si habíamos previsto la terminación de este proyecto en 15 semanas, es evidente que no cumpliríamos el plazo previsto.

Aunque algunas actividades pueden tener una menor tendencia a retrasarse, otras pueden ser extremadamente propensas a tener retrasos. Por ejemplo, es posible que la actividad B (modificar suelos y techos) sea muy dependiente de las condiciones meteorológicas. Un largo periodo de mal tiempo podría afectar significativamente a su fecha de finalización.

Esto significa que no podemos ignorar el impacto de la variabilidad en las duraciones de las actividades cuando establecemos la programación de un proyecto. El método PERT resuelve esta cuestión.

Tres estimaciones de duración en el método PERT

En el método PERT utilizamos una distribución de probabilidad basada en tres estimaciones de tiempos para cada actividad, de la siguiente manera:

Para planificar, supervisar y controlar el enorme número de detalles que están involucrados en el patrocinio de un festival de rock al que asisten más de 100.000 espectadores, Hard Rock Café utiliza MS Project y las herramientas que se analizan en este capítulo. El Caso de estudio en vídeo al final del capítulo, "Organización del Rockfest de Hard Rock", ofrece más detalles de esta tarea organizativa.

Duración optimista (*a*) = tiempo que se necesita para realizar una actividad si todo va como se había previsto. Al estimar este valor, debe haber sólo una pequeña probabilidad (por ejemplo, 1/100) de que la duración de la actividad sea $< a$.

Duración pesimista (*b*) = tiempo que se necesita para realizar una actividad partiendo de condiciones muy desfavorables. Al estimar este valor, debe haber sólo una pequeña probabilidad (también, 1/100) de que la duración de la actividad sea $> b$.

Duración más probable (*m*) = estimación más realista del tiempo necesario para realizar una actividad.

Duración optimista
La "mejor" duración obtenida para completar una actividad en una red PERT.

Duración pesimista
La "peor" duración que podría esperarse para completar una actividad en una red PERT.

Duración más probable
La duración más probable para completar una actividad en una red PERT.

Distribución de probabilidad beta
Es una distribución matemática que puede describir las distribuciones estimadas de duración de actividad en una red PERT.

Cuando se utiliza el método PERT, solemos suponer que las estimaciones de las duraciones de las actividades siguen una **distribución de probabilidad beta** (véase la Figura 3.14). Esta distribución continua suele ser adecuada para determinar el valor esperado y la varianza de los tiempos de realización de las actividades.

Para calcular la *duración esperada de una actividad*, *t*, la distribución beta pondera las tres estimaciones de tiempos de la siguiente manera:

$$t = (a + 4m + b)/6 \tag{3.6}$$

Es decir, la duración más probable (*m*) recibe una ponderación cuatro veces mayor que la duración optimista (*a*) y la duración pesimista (*b*). El tiempo de realización estimado *t* calculado mediante la Ecuación 3.6 para cada actividad del proyecto, es el que se utiliza para calcular las fechas más tempranas y más tardías de las actividades.

Para calcular la *dispersión* o *varianza de la duración de una actividad*, utilizamos la fórmula³:

$$\text{Varianza} = [(b - a)/6]^2 \tag{3.7}$$

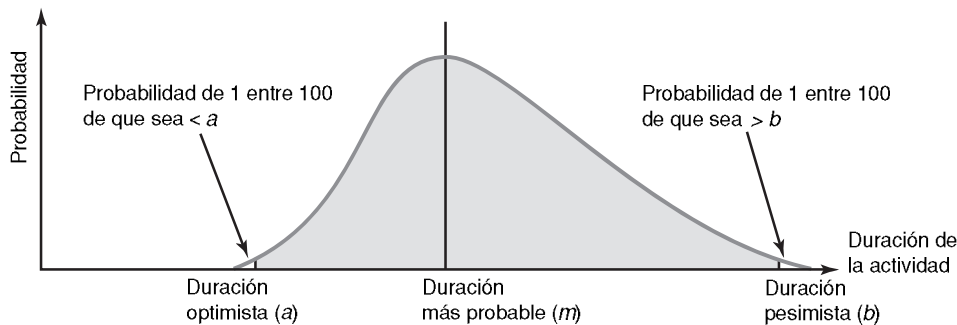


FIGURA 3.14 ■ Distribución de probabilidad beta con tres estimaciones de tiempos

³ Esta fórmula se basa en el concepto estadístico de que de un extremo al otro de la distribución beta hay 6 desviaciones estándar (+, - 3 desviaciones estándar desde la media). Puesto que $(b - a)$ está a 6 desviaciones estándar, la varianza es $[(b - a)/6]^2$.

EJEMPLO 8**Duraciones esperadas y varianzas**

Suponga que Joni Steinberg y el equipo de dirección del proyecto de Milwaukee Paper han calculado las siguientes estimaciones de duración de la actividad F (instalación del sistema de control de la contaminación):

$$a = 1 \text{ semana}; m = 2 \text{ semanas}, b = 9 \text{ semanas}$$

- Calcule la duración esperada y la varianza de la actividad F.
- Calcule a continuación la duración esperada y la varianza de todas las demás actividades del proyecto de control de la contaminación. Utilice las estimaciones de duración de la Tabla 3.4.

SOLUCIÓN

- La duración esperada para la actividad F es

$$t = \frac{a + 4m + b}{6} = \frac{1 + 4(2) + 9}{6} = \frac{18}{6} = 3 \text{ semanas}$$

La varianza de la actividad F es

$$\text{Varianza} = \left[\frac{(b - a)}{6} \right]^2 = \left[\frac{(9 - 1)}{6} \right]^2 = \left(\frac{8}{6} \right)^2 = \frac{64}{36} = 1,78$$

- El resto de los cálculos se muestran en la Tabla 3.4.

TABLA 3.4 ■ Estimaciones de duraciones (en semanas) para el proyecto de Milwaukee Paper

Actividad	Optimista <i>a</i>	Más probable <i>m</i>	Pesimista <i>b</i>	Duración esperada $t = (a + 4m + b)/6$	Varianza $[(b - a)/6]^2$
A	1	2	3	2	$[(3 - 1)/6]^2 = 4/36 = 0,11$
B	2	3	4	3	$[(4 - 2)/6]^2 = 4/36 = 0,11$
C	1	2	3	2	$[(3 - 1)/6]^2 = 4/36 = 0,11$
D	2	4	6	4	$[(6 - 2)/6]^2 = 16/36 = 0,44$
E	1	4	7	4	$[(7 - 1)/6]^2 = 36/36 = 1,00$
F	1	2	9	3	$[(9 - 1)/6]^2 = 64/36 = 1,78$
G	3	4	11	5	$[(11 - 3)/6]^2 = 64/36 = 1,78$
H	1	2	3	2	$[(3 - 1)/6]^2 = 4/36 = 0,11$

Las duraciones esperadas en esta tabla son, de hecho, las duraciones de las actividades que utilizamos en nuestro cálculo anterior y en la identificación del camino crítico.

Probabilidad de finalización del proyecto

El análisis del camino crítico nos ayudó a determinar que el tiempo estimado para finalizar el proyecto de Milwaukee Paper era de 15 semanas. Joni Steinberg sabe, sin embargo, que hay una significativa variación en las estimaciones de duración de varias actividades. La variación de las actividades que no están en el camino crítico puede afectar al plazo



Datos de Excel OM
Archivo Ch03Ex8.xls

total de finalización del proyecto, pudiendo retrasarlo. Ésta es una posibilidad que preocupa considerablemente al director de la fábrica.

El método PERT utiliza la varianza de las actividades del camino crítico para ayudar a determinar la varianza de todo el proyecto. La varianza del proyecto se calcula sumando las varianzas de las actividades *críticas*:

$$\sigma_p^2 = \text{Varianza del proyecto} = \sum (\text{varianzas de las actividades del camino crítico}) \quad (3.8)$$

Calculamos la varianza del proyecto sumando las varianzas de sólo aquellas actividades que se encuentran sobre el camino crítico.

Cálculo de la varianza y la desviación estándar del proyecto

Del Ejemplo 8 (véase la Tabla 3.4), sabemos que la varianza de la actividad A es 0,11, la varianza de la actividad C es 0,11, la varianza de la actividad E es 1,00, la varianza de G es 1,78 y la varianza de H es 0,11.

Calcule la varianza total del proyecto y la desviación estándar del proyecto.

$$\text{Varianza del proyecto } (\sigma_p^2) = 0,11 + 0,11 + 1,00 + 1,78 + 0,11 = 3,11$$

Lo que implica:

$$\text{Desviación estándar del proyecto } (\sigma_p) = \sqrt{\text{Varianza del proyecto}} = \sqrt{3,11} = 1,76 \text{ semanas}$$

EJEMPLO 9

¿Cómo se puede utilizar esta información para ayudar a responder a las preguntas relativas a la probabilidad de acabar a tiempo el proyecto? El método PERT hace dos hipótesis más: (1) el tiempo de finalización del proyecto sigue una distribución de probabilidad normal, y (2) las duraciones de las actividades son estadísticamente independientes. Con estos supuestos, se puede utilizar la curva normal en forma de campana que se muestra en la Figura 3.15 para representar la fecha de finalización del proyecto. Esta curva normal implica que hay una posibilidad del 50% de que el tiempo para culminar el proyecto sea inferior a 15 semanas y una probabilidad del 50% de que sea superior a 15 semanas.

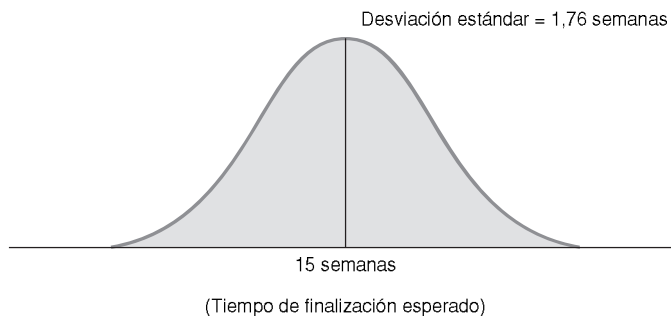


FIGURA 3.15 ■ Distribución de probabilidad para el tiempo de finalización del proyecto en Milwaukee Paper

EJEMPLO 10**Probabilidad de terminar un proyecto a tiempo**

Joni Steinberg querría averiguar la probabilidad de que su proyecto se termine en el plazo de 16 semanas o antes.

Para ello, tiene que calcular el área correspondiente bajo la curva normal. La ecuación normal estándar se puede aplicar de la siguiente manera:

$$Z = (\text{fecha a terminar} - \text{fecha esperada de finalización})/\sigma_p \quad (3.9)$$

$$= (16 \text{ semanas} - 15 \text{ semanas})/1,76 \text{ semanas} = 0,57$$

donde Z es el número de desviaciones estándar que hay entre la fecha de finalización o fecha objetivo y la fecha media o esperada.

Mirando en la Tabla Normal del Apéndice I encontramos una probabilidad de 0,7157. Así pues, hay un 71,57 por ciento de posibilidades de que el equipo de control de la contaminación se pueda instalar en 16 semanas o menos. Esto se representa en la Figura 3.16.

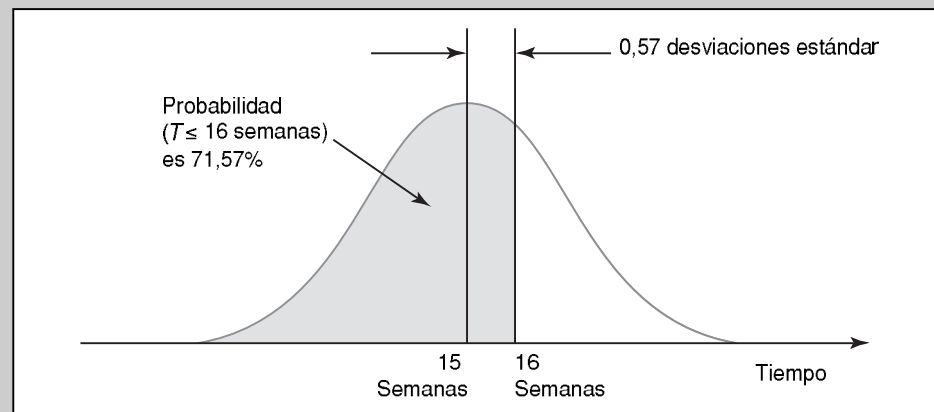


FIGURA 3.16 ■ Probabilidad de que Milwaukee Paper cumpla el plazo de 16 semanas

Determinación del plazo de finalización del proyecto para un determinado nivel de confianza Pongamos que a Joni Steinberg le preocupa que sólo haya una posibilidad del 71,57% de que el equipo de control de la contaminación pueda estar en marcha en un plazo de 16 semanas o menos. Cree que es posible solicitar al Ministerio de Medio Ambiente que conceda más tiempo. Sin embargo, antes de ponerse en contacto con el ministerio, quiere tener suficiente información sobre el proyecto. En concreto, quiere encontrar una fecha en la que tenga un 99% de posibilidades de tener culminado el proyecto. Espera utilizar su análisis para convencer al ministerio de que amplíe la fecha límite.

Evidentemente, esta fecha de finalización sería superior a 16 semanas. Sin embargo, ¿cuál es el valor exacto de esta nueva fecha? Para responder a esta pregunta utilizamos de nuevo el supuesto de que el plazo de finalización del proyecto de Milwaukee Paper sigue una distribución de probabilidad normal con una media de 15 semanas y una desviación estándar de 1,76 semanas.

EJEMPLO 11

Cálculo de la probabilidad de una determinada fecha de finalización del proyecto

Joni Steinberg quiere averiguar cuál es la fecha de finalización en la que el proyecto de la empresa tiene una probabilidad del 99% de estar acabado.

Primero tiene que calcular el valor Z correspondiente al 99%, tal y como se muestra en la Figura 3.17.

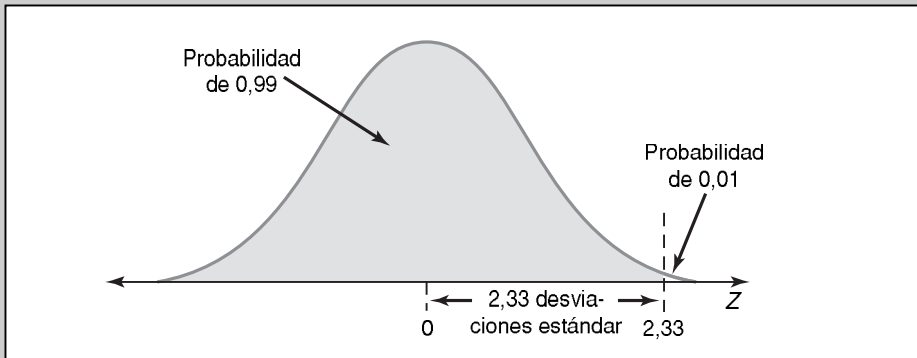


FIGURA 3.17 ■ Valor Z para un 99% de probabilidad de finalización del proyecto en Milwaukee Paper

Volviendo a consultar la Tabla Normal en el Apéndice I, identificamos un valor Z de 2,33 como el más cercano a la probabilidad de 0,99. Es decir, la fecha de Joni Steinberg debe estar a 2,33 desviaciones estándar por encima de la fecha de finalización media del proyecto. Partiendo de la ecuación normal estándar (véase la Ecuación 3.9), podemos resolver la incógnita de la fecha de finalización volviendo a escribir la ecuación de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Fecha de finalización} &= \text{fecha esperada (media) de finalización} + (Z \times \sigma_p) & (3.10) \\ &= 15 + (2,33 \times 1,76) = 19,1 \text{ semanas} \end{aligned}$$

Por consiguiente, si Steinberg puede conseguir que el Ministerio de Medio Ambiente acepte concederle una nueva fecha límite de 19,1 semanas (o más), puede estar seguro en un 99% de que el proyecto estará terminado a tiempo.

Variabilidad en la fecha de finalización de los caminos no críticos En nuestro análisis hasta ahora nos hemos centrado únicamente en la variabilidad de los tiempos de finalización de las actividades que se encuentran en el camino crítico. Esto parece lógico puesto que estas actividades son, por definición, las actividades más importantes en la red de un proyecto. Sin embargo, cuando hay variabilidad en las duraciones de las actividades, es importante que también analicemos la variabilidad de los tiempos de finalización de las actividades en los caminos *no críticos*.

Analice, por ejemplo, el caso de la actividad D en el proyecto de Milwaukee Paper. Recuerde, de la Figura 3.13 (en el Ejemplo 7), que es una actividad no crítica, con un tiempo de holgura de una semana. Por tanto, no hemos tenido en cuenta la variabilidad en la duración de D al calcular las probabilidades de las fechas posibles de finalización del proyecto. Observamos, sin embargo, que D tiene una varianza de 0,44 (véase la Tabla 3.4 en el Ejemplo 8). De hecho, la duración pesimista de D es de 6 semanas. Esto significa que si D termina necesitando todo el plazo pesimista para realizarse, el proyecto no acabará en 15 semanas, a pesar de que D no es una actividad crítica.

Los caminos no críticos con varianzas elevadas también deben ser controlados de cerca.

Por ello, cuando calculamos las probabilidades de las fechas de finalización de un proyecto, debe ser necesario que no nos fijemos sólo en los caminos críticos. Debemos calcular también estas probabilidades para caminos no críticos, especialmente para los que tienen varianzas elevadas. Es posible que un camino no crítico tenga una probabilidad de terminarse en una fecha de finalización anterior a la dada, que la del camino crítico. El cálculo de la varianza y la probabilidad de finalización de un camino no crítico se realiza de la misma manera que en los Ejemplos 9 y 10.

Qué es lo que ha aportado hasta ahora la dirección de proyectos Las técnicas de la dirección de proyectos han permitido, hasta ahora, que Joni Steinberg disponga de importante información de gestión:

1. La fecha esperada de finalización del proyecto es de 15 semanas.
2. Hay una probabilidad del 71,57% de que los equipos estén en marcha en el plazo de 16 semanas. El análisis PERT puede calcular fácilmente la probabilidad de terminar en cualquier fecha que interese a Steinberg.
3. Hay cinco actividades (A, C, E, G y H) sobre el camino crítico. Si cualquiera de estas actividades se retrasa por cualquier razón, todo el proyecto se retrasará.
4. Hay tres actividades (B, D, F) que no son críticas pero que tienen cierta holgura. Esto significa que Steinberg podría utilizar en parte sus recursos y, si fuera necesario, podría acelerar todo el proyecto.
5. Se dispone de un programa detallado de fechas de inicio y finalización de las actividades (véase la Tabla 3.3 en el Ejemplo 6).

EQUILIBRIO ENTRE COSTE Y DURACIÓN, Y ACELERACIÓN DE LA DURACIÓN DE UN PROYECTO

Cuando se está dirigiendo un proyecto, no es infrecuente que el director del proyecto se encuentre ante una de las siguientes situaciones (o las dos): (1) el proyecto está retrasado, y (2) se ha adelantado el plazo previsto para la finalización del proyecto. En cualquiera de estas situaciones es necesario acelerar algunas o todas las actividades restantes para acabar el proyecto en la fecha deseada. El proceso con el que se reduce la duración de un proyecto de la forma más barata posible se denomina **aceleración**.

Aceleración

Disminución de la duración de una actividad en una red para reducir la duración del camino crítico, de forma que el plazo global de finalización quede reducido.

Como se ha indicado anteriormente, el método CPM es una técnica determinista en la que cada actividad tiene dos estimaciones de duración. La primera es la duración *normal* o *estándar* que utilizamos en nuestro cálculo de los instantes más tempranos y más tardíos. Esta duración normal tiene asociado un coste *normal* de la actividad. La segunda duración es la *duración acelerada*, que se define como la duración más corta necesaria para realizar una actividad. Asociada a esta duración acelerada está el *coste acelerado* de la actividad. Habitualmente podemos acelerar una actividad incorporándole recursos acelerados de una actividad que sea superior a su coste normal.

La cantidad de tiempo en que se puede acortar una actividad (es decir, la diferencia entre el tiempo normal y el tiempo acelerado) depende de la actividad en cuestión. Es posible que no podamos acortar algunas actividades. Por ejemplo, si es necesario que un molde tenga un tratamiento de calor de 48 horas, la incorporación de más recursos no ayudará a recortar el tiempo. Por el contrario, es posible que podamos acortar algunas actividades de forma significativa (por ejemplo, poner los cimientos de una casa en tres días en vez de en diez utilizando tres veces más trabajadores).

De la misma manera, el coste del aceleramiento (o reducción) de una actividad depende del carácter de dicha actividad. A los directivos les suele interesar acelerar un proyecto al menor coste adicional. De aquí que, cuando se eligen las actividades que se van a acelerar, y en cuánto se van a acortar, tenemos que asegurarnos de lo siguiente:

- el tiempo en que se acorta una actividad es, de hecho, posible;
- en conjunto, las duraciones de las actividades aceleradas nos permitirán acabar el proyecto en la nueva fecha final;
- el coste total de la reducción es el menor posible.

Para acelerar un proyecto se siguen estos cuatro pasos:

Paso 1: Calcular el coste del acortamiento por semana (u otro periodo de tiempo) para cada actividad de la red. Si los costes del acortamiento son lineales en el tiempo, se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Coste de aceleración por periodo} = \frac{(\text{Coste acelerado} - \text{Coste normal})}{(\text{Tiempo normal} - \text{Tiempo acelerado})} \quad (3.11)$$

Paso 2: Utilizando las duraciones actuales de las actividades, buscamos el camino(s) crítico(s) de la red del proyecto. Se identifican las actividades críticas.

Paso 3: Si sólo hay un camino crítico, se selecciona la actividad de este camino crítico que (a) se puede acortar y (b) tiene el menor coste de aceleramiento por periodo. Si hay más de un camino crítico, se selecciona una actividad de cada camino crítico tal que (a) cada actividad elegida se puede acortar y (b) el coste acelerado total por periodo de todas las actividades seleccionadas es el menor posible. Se acorta cada actividad en un periodo. Observe que una misma actividad puede ser común a más de un camino crítico.

Paso 4: Actualización de todos los tiempos de las actividades. Si se ha alcanzado la fecha de finalización deseada, se para. En caso contrario se vuelve al paso 2.

En el Ejemplo 12 ilustramos la aceleración de un proyecto.

Queremos encontrar la forma más barata de acortar un proyecto hasta la fecha deseada de finalización.

Aceleración de un proyecto para cumplir una fecha de finalización

Suponga que el plazo concedido a Milwaukee Paper Manufacturing para instalar el nuevo equipo de control de la contaminación o tener que cerrar por imposición judicial es de tan sólo 13 semanas (en vez de 16). Como recordará, la duración del camino crítico de Joni Steinberg era de 15 semanas. ¿Qué actividades tiene que acelerar Steinberg, y en cuánto, para cumplir con esta fecha de finalización de 13 semanas? Evidentemente, a Steinberg le interesa acortar el proyecto en dos semanas al menor coste adicional.

En la Tabla 3.5 se muestran los tiempos normales y acelerados y los costes normales y acelerados para la empresa. Observe, por ejemplo, que el tiempo normal de la actividad B es de tres semanas (la estimación utilizada para calcular el camino crítico) y su tiempo acelerado es de una semana. Esto significa que se puede acortar la actividad B hasta en dos semanas si se proporcionan los recursos adicionales necesarios. El coste de estos recursos adicionales es de 4.000 dólares (diferencia entre el coste acortado de 34.000 dólares y el coste normal de 30.000 dólares). Si suponemos que el coste de aceleración es lineal en el tiempo (es decir, el coste es el mismo para cada semana de reducción de la duración), el coste de acelerar la actividad B es de 2.000 dólares (= 4.000\$/2) por semana de reducción.

EJEMPLO 12

TABLA 3.5 ■ Datos normales y acelerados para Milwaukee Paper Manufacturing

Actividad	Duración (semanas)		Coste (\$)		Coste acelerado por semana (\$)	¿Camino crítico?
	Normal	Acelerada	Normal	Acelerado		
A	2	1	22.000	22.750	750	Sí
B	3	1	30.000	34.000	2.000	No
C	2	1	26.000	27.000	1.000	Sí
D	4	3	48.000	49.000	1.000	No
E	4	2	56.000	58.000	1.000	Sí
F	3	2	30.000	30.500	500	No
G	5	2	80.000	84.500	1.500	Sí
H	2	1	16.000	19.000	3.000	Sí

Este cálculo para la actividad B se representa en la Figura 3.18. Los costes de aceleración de todas las demás actividades se calculan de forma análoga.

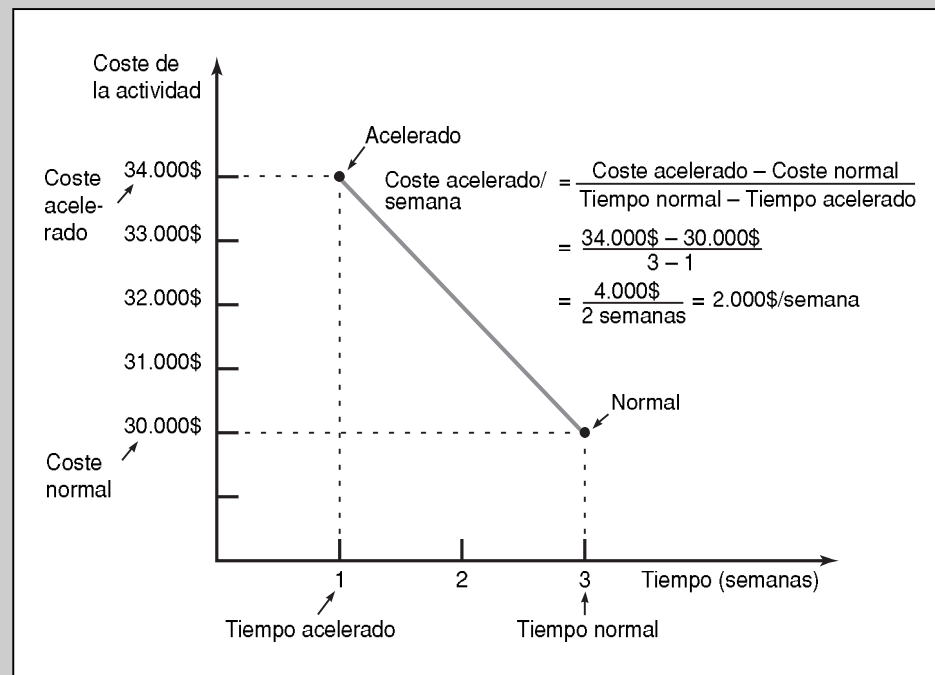


FIGURA 3.18 ■ Tiempos y costes normales y acelerados de la actividad B

Ahora se pueden aplicar los pasos 2, 3 y 4 para reducir el plazo de finalización del proyecto de Milwaukee Paper al mínimo coste. Mostramos de nuevo la red del proyecto de Milwaukee Paper en la Figura 3.19.

El camino crítico actual (utilizando los tiempos normales) es Inicio-A-C-E-G-H, donde Inicio es únicamente una actividad inicial ficticia. De estas actividades críticas, la actividad A tiene el menor coste de aceleración por semana, de 750 dólares. Joni Steinberg debería, por tanto, acortar la actividad A en una semana para reducir la duración del proyecto hasta 14 semanas. El coste es de 750 dólares adicionales. Observe que la actividad A no se puede reducir más puesto que ha alcanzado su límite de reducción de una semana.

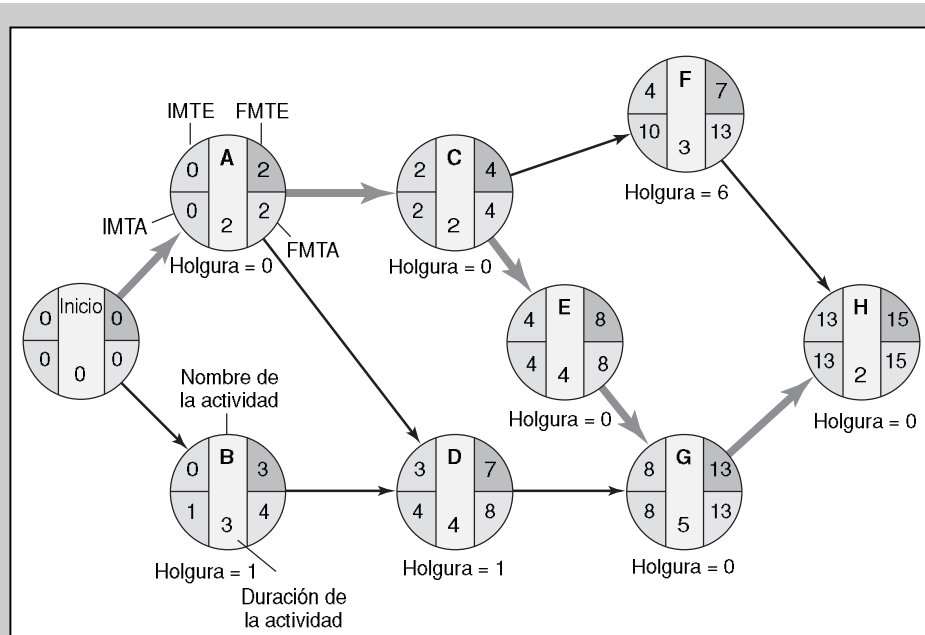


FIGURA 3.19 ■ Camino crítico y tiempos de holgura de Milwaukee Paper

En este momento, el camino inicial Inicio-A-C-E-G-H sigue siendo el camino crítico, con un plazo de realización de 14 semanas. Sin embargo, hay un nuevo camino Inicio-B-D-G-H que también es crítico ahora, con un plazo de realización de 14 semanas. De aquí que cualquier acortamiento adicional deba realizarse para ambos caminos críticos.

En cada uno de estos caminos críticos tenemos que identificar una actividad que todavía se puede acortar. También queremos que el coste total de acelerar una actividad en cada camino sea el menor posible. Podríamos tener la tentación de elegir las actividades con el menor coste de aceleración por periodo en cada camino. Si lo hiciéramos, elegiríamos la actividad C del primer camino y la actividad D del segundo. El coste total del acortamiento sería entonces de 2.000 dólares (= 1.000\$ + 1.000\$).

Pero vemos que la actividad G es común a ambos caminos. Es decir, si acortamos la actividad G habremos reducido simultáneamente el plazo de realización de los dos caminos. Aunque el coste de acortamiento de 1.500 dólares para la actividad G es mayor que el de las actividades C y D, sigue siendo preferible reducir G puesto que el coste total será ahora de tan sólo 1.500 dólares (comparado con los 2.000 dólares de acelerar C y D).

De aquí que, para reducir el proyecto a 13 semanas, Steinberg debe acortar la actividad A en una semana y la actividad G en una semana. El coste total adicional será de 2.250\$ (= 750\$ + 1.500\$).

La aceleración es especialmente importante cuando los contratos de los proyectos incluyen premios o penalizaciones por antelación o retraso en los plazos de terminación.

CRÍTICA A LOS MÉTODOS PERT Y CPM

Como crítica a nuestro análisis sobre el método PERT, a continuación describimos algunas características sobre las que los directivos de operaciones deben ser conscientes.

Ventajas

1. Especialmente útil para programar y controlar grandes proyectos.
2. Su concepto es sencillo y no es complejo matemáticamente.

3. Las redes gráficas (grafos) ponen de relieve las relaciones entre las diversas actividades del proyecto.
4. Los análisis del camino crítico y de los tiempos de holgura ayudan a identificar las actividades que deben vigilarse de cerca.
5. La documentación del proyecto y los grafos permiten mostrar quién es el responsable de las diferentes actividades.
6. Se puede aplicar en una gran variedad de proyectos e industrias.
7. No sólo es útil en el control de la programación, sino también en el de los costes.

Limitaciones

En las grandes redes hay demasiadas actividades para poder vigilarlas todas de cerca, pero los directivos pueden concentrarse en las actividades críticas.

1. Las actividades del proyecto tienen que estar claramente definidas, ser independientes y mantener relaciones estables entre sí.
2. Las relaciones predecesores tienen que ser especificadas y puestas en la red.
3. Las estimaciones de las duraciones tienden a ser subjetivas y corren el riesgo de quedar sin determinar porque los directivos temen ser demasiado optimistas o no ser lo suficientemente pesimistas.
4. Existe el peligro inherente de poner demasiado énfasis en el camino más largo, o crítico. También es necesario controlar de cerca los caminos casi críticos.

DIRECCIÓN DE OPERACIONES EN ACCIÓN

LA MALA GESTIÓN DEL ENORME PROYECTO ACELA DE AMTRAK

Presionado por el Congreso para dividir Amtrak en empresas más pequeñas y menos dependientes del gobierno, el servicio ferroviario estadounidense para pasajeros se embarcó en 1996 en un enorme proyecto: Acela. El objetivo de Acela era convertirse en el primer servicio ferroviario estadounidense que compitiera con las compañías aéreas en el corredor Washington DC-Nueva York-Boston. Un elemento clave era el Acela Express, un tren dinámico con velocidad de 240 kilómetros por hora, con conexiones a Internet en cada asiento y minineveras. El proyecto de 32.000 millones de dólares, una vez terminado, debería reducir el trayecto entre Nueva York y Boston en casi 2 horas y sumar 180 millones de dólares a los beneficios anuales de la acorralada Amtrak Corporation.

Pero, según la U.S. General Accounting Office (GAO), la agencia auditora estadounidense, tanto Amtrak como sus principales proveedores gestionaron mal el proyecto. "La dirección del proyecto de Amtrak no fue global, y se centraba fundamentalmente en el corto plazo", observa un informe de la GAO de 2004. El portavoz de Amtrak, Cliff

Black, afirma: "El informe de GAO es exacto... en lo que respecta a la gestión y planificación del proyecto". Se acusó a Amtrak de no abordar los problemas de infraestructuras como mejoras de las vías, los puentes y el cableado eléctrico. Por ello, Acela hace el viaje mucho más despacio de lo previsto.

No ayudó al proyecto que las empresas que tenían que fabricar conjuntamente los trenes Acela, de 1.000 millones de dólares cada uno, Bombardier de Canadá y GEC Alston de Gran Bretaña, fabricaran una locomotora con ruedas defectuosas. Como en la mayoría de los grandes proyectos, las penalizaciones por un retraso en la entrega eran importantes. Comenzaban en 1.000 dólares por tren y día y aumentaban hasta alcanzar 13.500 dólares por tren y día.

Ahora, tras haber vuelto a definir el alcance del proyecto, clarificar la estructura de trabajo desagregada, abordar muchos de los problemas de infraestructuras, y haber invertido miles de millones más, Amtrak afirma que la velocidad del tren Acela está, por fin, aumentando. Puede que algún día el tren gane al avión.

Fuentes: *Knight Ridder Tribune Business News* (9 de marzo de 2004), 1 y (19 de marzo de 2004), 1, y *The New York Times* (17 de julio de 2004), C7.

CÓMO UTILIZAR MICROSOFT PROJECT PARA GESTIONAR PROYECTOS

Los planteamientos analizados hasta ahora son eficaces para gestionar pequeños proyectos. Sin embargo, para proyectos grandes o complejos, es preferible utilizar un programa informático especializado en la gestión de proyectos. En esta sección ofrecemos una breve introducción al ejemplo más popular de este tipo de programas informáticos especializados, Microsoft Project.

Debemos destacar que, a este nivel de introducción, nuestro propósito aquí no consiste en describir todas las posibilidades de este programa. Por el contrario, ilustramos cómo se puede utilizar para realizar algunos de los cálculos básicos de la dirección de proyectos. Dejamos en sus manos el análisis de las funciones y posibilidades avanzadas de Microsoft Project (o de cualquier otro programa de dirección de proyectos). Con este libro se puede solicitar gratuitamente una versión de utilización limitada de MS Project.

MS Project es útil para programar y controlar proyecto

Creación del programa del proyecto utilizando MS Project

Vamos a retomar el proyecto de Milwaukee Paper Manufacturing. Recuerde que este proyecto tiene ocho actividades (repetidas en el margen). El primer paso consiste en definir las actividades y sus relaciones de precedencia. Para ello, abrimos Microsoft Project y hacemos clic en **archivo/nuevo** para abrir un proyecto en blanco. Ahora podemos introducir la fecha de inicio del proyecto en la información de resumen que se presenta al principio (véase la pantalla 3.1). Observe que las fechas se presentan como fechas del calendario natural, en vez de día 0, día 1, etcétera. Por ejemplo, hemos utilizado el 1 de julio como nuestra fecha de inicio del proyecto en la pantalla 3.1. Microsoft Project actualizará de forma automática la fecha de finalización del proyecto cuando hayamos introducido toda la información del proyecto. En la pantalla 3.1 hemos especificado la fecha actual como el 10 de enero.

Primero definimos un nuevo proyecto.

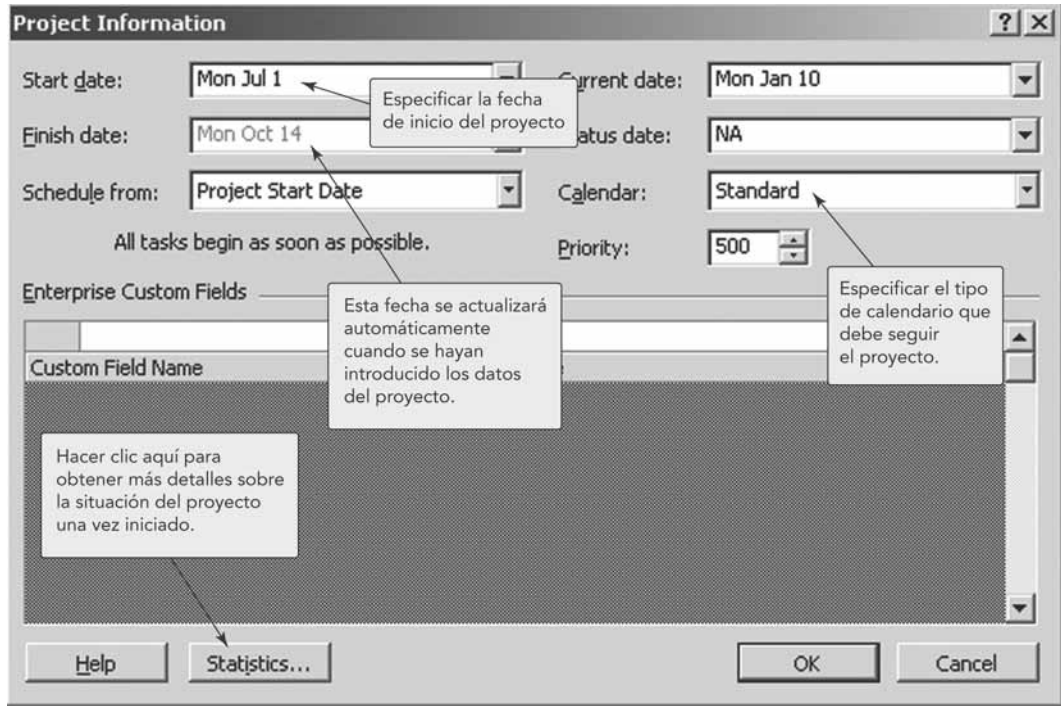
Introducción de la información sobre las actividades Tras introducir la información de resumen, utilizamos ahora la ventana que se muestra en la pantalla 3.2 para introducir toda la información sobre las actividades. Para cada actividad (o tarea, como se denomina en Microsoft Project), introducimos su nombre y duración. Microsoft Project identifica las tareas con números (por ejemplo, 1, 2) en vez de letras. De aquí que, por conveniencia, hemos mostrado tanto la letra (por ejemplo, A, B) como la descripción de la actividad en la columna **Nombre de la Tarea** en la pantalla 3.2. Por defecto, la duración se mide en días. Para especificar semanas, incluimos la letra “w” (*weeks*) tras la duración de cada actividad. Por ejemplo, introducimos la duración de la actividad A como 2w.

A continuación introducimos la información sobre actividades.

Duración	
Actividad	Tiempo (en semanas)
A	2
B	3
C	2
D	4
E	4
F	3
G	5
H	2

A medida que introducimos las actividades y duraciones, el programa introduce automáticamente fechas de inicio y finalización. Observe que todas las actividades tienen la misma fecha de inicio (por ejemplo, el 1 de julio), puesto que todavía no hemos definido las relaciones de precedencia. Además, como se muestra en la pantalla 3.2, si se ha seleccionado la opción del gráfico de Gantt (**Gantt Chart**) en el menú Ver (**View**), aparecerá una barra horizontal correspondiente a la duración de cada actividad en la parte derecha de la ventana.

Observe que en el gráfico de Gantt los sábados y domingos aparecen automáticamente en gris para reflejar que no son días laborables. En la mayoría de los programas informáticos de dirección de proyectos todo el proyecto está relacionado con un calendario maestro (o, alternativamente, cada actividad está vinculada a su propio calendario específico). Además, se pueden definir otros días no laborables utilizando estos calendarios. Por



PANTALLA 3.1 ■ Información de resumen del proyecto en MS Project

ejemplo, hemos utilizado **Tools/Change Working Time** para especificar en la pantalla 3.2 que el 4 de julio es festivo. Esto prolonga automáticamente todas las fechas de finalización de las actividades en un día. Puesto que la actividad A empieza el viernes, 1 de julio, y dura dos

Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors
1 A. Build internal components	2 wks	Fri Jul 1	Fri Jul 15	
2 B. Modify roof & floor	3 wks	Fri Jul 1	Fri Jul 22	
3 C. Construct collection stack	2 wks	Fri Jul 1	Fri Jul 15	
4 D. Pour concrete & install frai	4 wks	Fri Jul 1	Fri Jul 29	
5 E. Build high-temp burner	4 wks	Fri Jul 1	Fri Jul 29	
6 F. Install pollution control syst	3 wks	Fri Jul 1	Fri Jul 22	
7 G. Install air pollution device	5 wks	Fri Jul 1	Fri Aug 5	
8 H. Inspect & test	2 wks	Fri Jul 1	Fri Jul 15	

PANTALLA 3.2 ■ Introducción de las actividades en MS Project para Milwaukee Paper Manufacturing



PANTALLA 3.3 ■ Definición de vínculos entre actividades en MS Project

semanas (es decir, 10 días laborables), su fecha de finalización es ahora el viernes 15 de julio (en vez del jueves 14 de julio).

Definición de relaciones de precedencia El siguiente paso consiste en definir las relaciones de precedencia (o vínculos) entre estas actividades. Hay dos maneras de especificar estos vínculos. La primera consiste en introducir los números de las actividades (por ejemplo, 1, 2) en la columna *Predecessor*, como se muestra en la pantalla 3.3 para las actividades C y D. El otro método consiste en utilizar el icono **Link**. Por ejemplo, para especificar las relaciones de precedencia entre las actividades C y E, hacemos primero clic en la actividad C, mantenemos pulsada la tecla **ctrl**, y después hacemos clic en E. Luego hacemos clic en el icono *Link*, como se muestra en la pantalla 3.3. En cuanto hemos definido un vínculo, las barras del gráfico de Gantt se vuelven a reposicionar automáticamente para reflejar las nuevas fechas de inicio y finalización de las actividades vinculadas. Además, el propio vínculo se muestra como una flecha que parte de la actividad predecesora a la(s) sucesora(s).

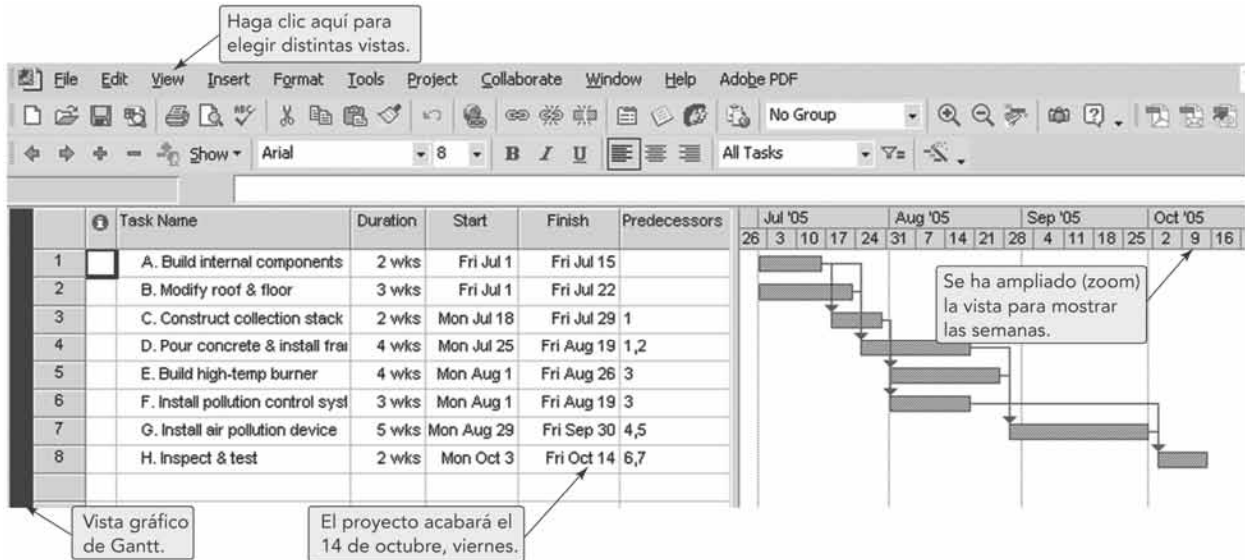
Cómo ver el programa del proyecto Cuando se han definido todos los vínculos, se puede ver todo el programa completo del proyecto como un gráfico de Gantt, como se muestra en la pantalla 3.4. También podemos seleccionar **View/Network Diagram** para verlo como una red (como se muestra en la pantalla 3.5). El camino crítico se muestra en rojo en la pantalla (destacado en la pantalla 3.5) en el diagrama de red o grafo. Podemos hacer clic en cualquiera de las actividades en la red del proyecto para ver los detalles de la actividad. Asimismo, podemos fácilmente añadir o suprimir actividades y/o vínculos de la red del proyecto. Cada vez que lo hagamos, MS Project actualizará automáticamente las fechas de inicio, fechas de finalización y los caminos críticos. Si queremos, también podemos cambiar manualmente el layout de la red (por ejemplo, volver a posicionar las actividades) cambiando las opciones en **Format/Layout**.

Las pantallas 3.4 y 3.5 muestran que, si el proyecto de Milwaukee Paper empieza el 1 de julio, se puede terminar el 14 de octubre. Las fechas de inicio y finalización de todas las actividades también aparecen claramente identificadas. Este calendario tiene en cuen-

La programación tiene en cuenta automáticamente los días no laborables.

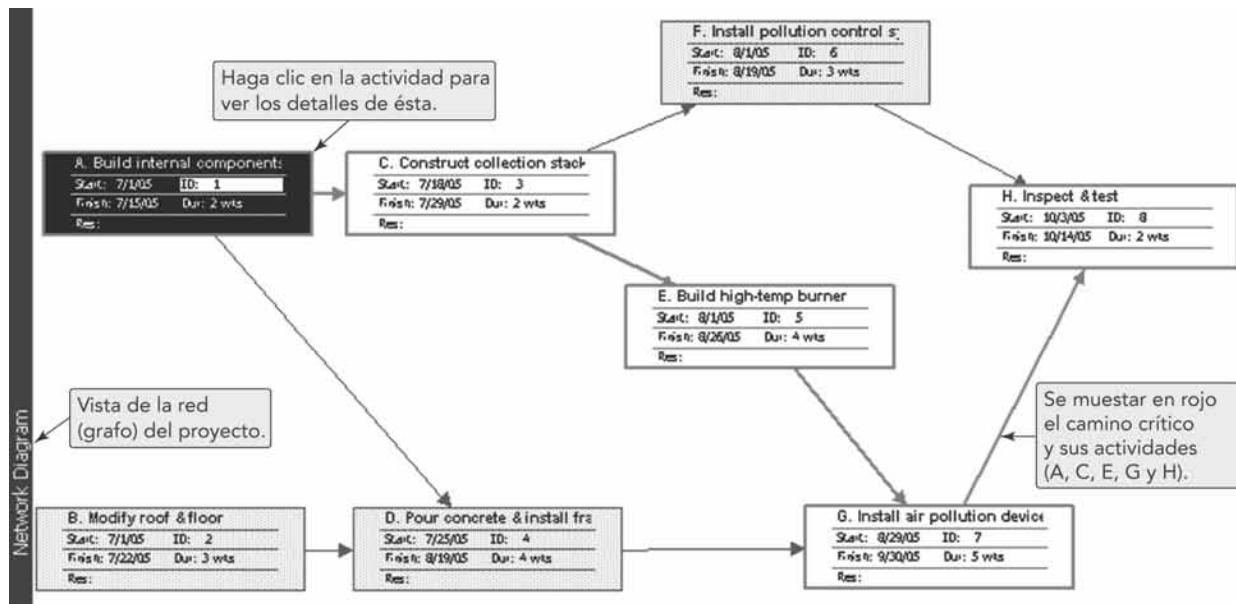
Precedencias	
Actividad	Predecesoras
A	—
B	—
C	A
D	A, B
E	C
F	C
G	D, E
H	F, G

Se puede ver el proyecto, o bien como un gráfico de Gantt, o bien como una red.



PANTALLA 3.4 ■ Gráfico de Gantt con MS Project para Milwaukee Paper Manufacturing

ta los días no laborables, que son todos los fines de semana y el 4 de julio. Estas pantallas ilustran cómo se puede simplificar, en gran medida, con la utilización de programas informáticos especializados en la dirección de proyectos los procedimientos de programación analizados anteriormente en este capítulo.



PANTALLA 3.5 ■ Red del proyecto con MS Project para Milwaukee Paper

Análisis PERT Como se ha indicado, MS Project no hace los cálculos de probabilidad PERT analizados en los Ejemplos 10 y 11. Sin embargo, haciendo clic en **View/Tools/PERT Analysis**, podemos hacer que Microsoft Project nos permita introducir las duraciones optimistas, más probables y pesimistas para cada actividad. A continuación podemos elegir ver gráficos de Gantt utilizando cualquiera de estas tres duraciones para cada actividad.

Seguimiento del avance y control de costes utilizando MS Project

Tal vez la mayor ventaja de utilizar un programa informático especializado para gestionar los proyectos es que se puede hacer el seguimiento del avance del proyecto. En este sentido, Microsoft Project dispone de muchas opciones para hacer seguimiento de las actividades individuales en cuanto a tiempos, costes, utilización de recursos, etcétera. En esta sección vamos a ilustrar cómo podemos hacer un seguimiento del avance de un proyecto en lo concerniente al tiempo.

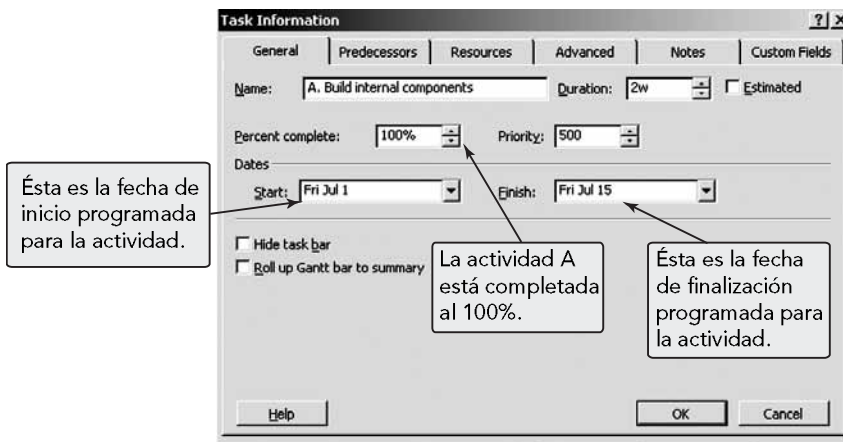
Seguimiento de la situación de un proyecto respecto al tiempo Una forma fácil de hacer un seguimiento del avance de las tareas en cuanto al tiempo consiste en introducir el porcentaje de trabajo realizado para cada tarea. Una forma de hacerlo es haciendo doble clic en cualquier actividad en la columna de *Task Name* en la pantalla 3.4. Se muestra una ventana como la que se representa en la pantalla 3.6. Vamos a introducir ahora el porcentaje de trabajo realizado para cada tarea.

El cuadro que se muestra en el margen ofrece información sobre el porcentaje realizado a fecha de hoy de cada una de las actividades de Milwaukee Paper. (Suponga que estamos a viernes, 12 de agosto, es decir, el final de la sexta semana en la programación del proyecto)⁴. La pantalla 3.6 muestra que la actividad A está totalmente terminada. Introducimos el porcentaje de materialización de todas las demás actividades de manera parecida.

La programación tiene en cuenta automáticamente los días no laborables.

Proyecto de control de la contaminación Porcentaje finalizado a 12 de agosto

Actividad	Completado
A	100
B	100
C	100
D	10
E	20
F	20
G	0
H	0

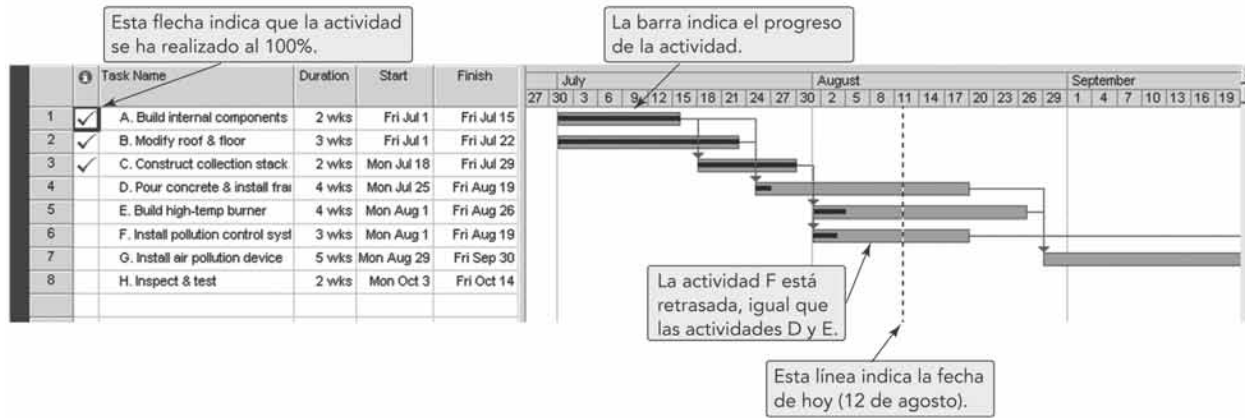


“Los proyectos mal dirigidos son caros, no sólo financieramente, sino también en cuanto al tiempo desperdiciado y al personal desmoralizado. Pero el fracaso casi nunca es debido a un mal programa informático”.

C. Fujinami y A. Marshall, asesores en Kepner Tregoe, Inc.

PANTALLA 3.6 ■ Actualización del avance de las actividades en MS Project

⁴ Recuerde que el día festivo del 4 de julio ha desplazado todas las fechas en un día. Por ello, las actividades acaban los viernes, y no los jueves.



PANTALLA 3.7 ■

Como se muestra en la pantalla 3.7, el gráfico de Gantt refleja de inmediato esta información actualizada al dibujar una línea gruesa dentro de la barra de cada actividad. La longitud de esta línea es proporcional al porcentaje de trabajo realizado de dicha actividad.

¿Cómo sabemos si estamos cumpliendo los plazos? Observe que hay una línea recta vertical en el gráfico de Gantt que corresponde a la fecha de hoy. Microsoft Project moverá automáticamente esta línea para situarla sobre la fecha actual. Si el proyecto está cumpliendo los plazos previstos, todas las barras a la *izquierda* de la línea que representa la fecha actual deberían estar terminadas. Por ejemplo, la pantalla 3.7 muestra que las actividades A, B y C están dentro de los plazos previstos. Por el contrario, las actividades D, E y F están retrasadas. Hay que analizar más detenidamente lo que está ocurriendo en estas actividades para determinar los motivos del retraso. Este tipo de información *visual* fácil de interpretar es lo que hace que estos programas sean tan útiles en la práctica de la dirección de proyectos.

Además de leer esta sección sobre MS Project, le animamos a cargar el software desde el CD-ROM que puede pedir con su texto y que intente seguir estos procedimientos.

RESUMEN

El método PERT y el CPM, así como otras técnicas de programación, han demostrado ser herramientas muy valiosas para el control de proyectos grandes y complejos. Con estas herramientas, los directores conocen la situación de cada actividad, qué actividades son críticas y cuáles tienen margen; además, saben qué actividades son las más aptas para ser aceleradas. Los proyectos se dividen en actividades diferenciadas, y se identifican recursos específicos para ellas. Esto permite a los directores de proyecto responder enérgicamente a la competencia mundial. Una dirección de proyectos eficaz también permite que las empresas creen productos y servicios para los mercados globales. Al igual que MS Project, suministrado en su CD-ROM del alumno y presentado en este capítulo, hay una gran variedad de paquetes de software disponibles para ayudar a los directivos a manejar los problemas de modelización de una red.

Los métodos PERT y CPM, sin embargo, no resuelven todos los problemas de programación y gestión. También son necesarias buenas prácticas de gestión, claras responsabilidades para las tareas, y sistemas de información sencillos y oportunos. Es importante recordar que los modelos que describimos en este capítulo son sólo herramientas para ayudar a los directivos a tomar mejores decisiones.

- Organización del proyecto
- Estructura de trabajo desagregada
- Diagramas de Gantt
- Técnica de evaluación y revisión de proyectos (PERT)
- Método del camino crítico (CPM)
- Camino crítico
- Actividad en flecha o arco (AOA)
- Actividad en nodo o vértice (AON)
- Actividades ficticias
- Análisis del camino crítico
- Programación hacia delante
- Programación hacia atrás
- Tiempo de holgura
- Holgura total
- Holgura libre
- Duración optimista
- Duración más probable
- Duración pesimista
- Distribución de probabilidad beta



CÓMO UTILIZAR PROGRAMAS INFORMÁTICOS PARA RESOLVER PROBLEMAS DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS

Además del programa Microsoft Project que se ha ilustrado, tanto Excel OM como POM para Windows son programas que pueden utilizar los lectores de este texto como herramientas para la dirección de proyectos.

Introduzca los nombres de las tareas, las duraciones y los nombres de las actividades precedentes. Tenga cuidado de que los nombres de las precedentes sean los mismos que los de las tareas.

FMTE = IMTE + duración de la tarea.

El inicio más temprano es el máximo de los cálculos de abajo.

La finalización más tardía depende de las tareas que preceden a la tarea en concreto. La finalización más tardía es la más temprana de las dependencias.

El inicio más tardío es finalización más tardía (de abajo) menos el tiempo de la tarea.

Task	Early Start	Early Finish	Late Start	Late Finish	Slack
A	0	2	0	2	0
B	0	3	1	4	1
C	2	4	2	4	0
D	3	7	4	8	1
E	4	8	4	8	0
F	4	7	10	13	6
G	8	13	8	13	0
H	13	15	13	15	0
Project		15			

PROGRAMA 3.8 ■ Utilización de Excel Om con los datos de Milwaukee Paper Manufacturing de los Ejemplos 4 y 5



Cómo utilizar Excel OM

Excel OM es un módulo de programación de proyectos. La pantalla 3.8 utiliza los datos del ejemplo de Milwaukee Paper Manufacturing de este capítulo (véanse los Ejemplos 4 y 5). El análisis PERT/CPM también maneja las actividades con tres estimaciones de duración.



Cómo utilizar POM para Windows

El módulo de programación de proyectos de POM para Windows también puede calcular el tiempo previsto de finalización del proyecto para una red CPM y PERT con una o con tres estimaciones de duración. Para más detalles, consúltese el Apéndice IV.



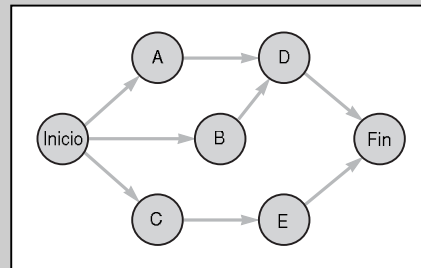
PROBLEMAS RESUELTOS

Problema resuelto 3.1

Construya una red AON a partir de la siguiente información:

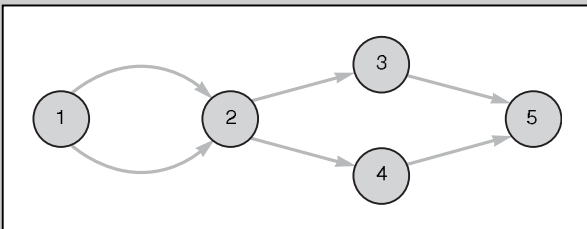
Actividad	Predecesoras inmediatas
A	—
B	—
C	—
D	A, B
E	C

Solución



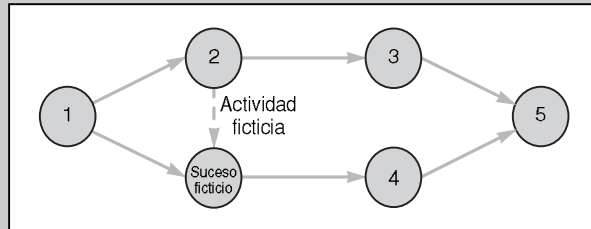
Problema resuelto 3.2

Introduzca una actividad ficticia y una etapa para corregir la siguiente red AON:



Solución

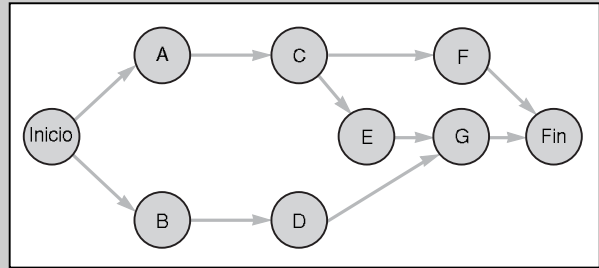
Añadimos la siguiente actividad ficticia y el siguiente suceso ficticio para obtener una red AON correcta:



Problema resuelto 3.3

Calcule el camino crítico, la fecha de finalización T , y la varianza σ_p^2 a partir de la siguiente información de una red AON:

Actividad	Duración	Varianza	IMTE	FMTE	IMTA	FMTA	Holgura
A	2	$\frac{2}{6}$	0	2	0	2	0
B	3	$\frac{2}{6}$	0	3	1	4	1
C	2	$\frac{4}{6}$	2	4	2	4	0
D	4	$\frac{4}{6}$	3	7	4	8	1
E	4	$\frac{2}{6}$	4	8	4	8	0
F	3	$\frac{1}{6}$	4	7	10	13	6
G	5	$\frac{1}{6}$	8	13	8	13	0



Solución

Concluimos que el camino crítico es Inicio, A, C, E, G, Final.

Duración total del proyecto = $T = 2 + 2 + 4 + 5 = 13$

y

$$\sigma_p^2 = \Sigma \text{Varianzas en camino crítico} = \frac{2}{6} + \frac{4}{6} + \frac{2}{6} + \frac{1}{6} = \frac{9}{6} = 1,5$$

Problema resuelto 3.4

Para completar el ensamblaje de un ala de un avión experimental, Jim Gilbert ha diseñado siete actividades principales. Estas actividades se han denominado de A a G en la siguiente tabla, que también muestra sus duraciones estimadas (en semanas) y las precededoras inmediatas. Calcule la duración esperada y la varianza de cada actividad.

Actividad	a	m	b	Predecesoras inmediatas
A	1	2	3	—
B	2	3	4	—
C	4	5	6	A
D	8	9	10	B
E	2	5	8	C, D
F	4	5	6	D
G	1	2	3	E

Solución

Las duraciones esperadas y las varianzas se pueden calcular utilizando las Fórmulas 3.6 y 3.7 de este capítulo. Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Actividad	Duración esperada (en semanas)	Varianza
A	2	$\frac{1}{9}$
B	3	$\frac{1}{9}$
C	5	$\frac{1}{9}$
D	9	$\frac{1}{9}$
E	5	1
F	5	$\frac{1}{9}$
G	2	$\frac{1}{9}$

Problema resuelto 3.5

En relación con el problema anterior, Jim Gilbert quiere ahora calcular el camino crítico del proyecto de ensamblaje del ala, así como el plazo esperado de finalización del proyecto. Además, quiere averiguar los inicios y finales más tempranos y tardíos de todas las actividades.

Solución

La red AON del proyecto de Jim Gilbert se muestra en la Figura 3.20. Observe que este proyecto tiene múltiples actividades (A y B) que no tienen predecesoras inmediatas, y múltiples actividades (F y G) que no tienen sucesoras. De aquí que, además de una única actividad inicial (Inicio) hemos incluido una única actividad final (Final) para el proyecto.

La Figura 3.20 muestra los instantes más tempranos y tardíos de todas las actividades. Los resultados también se resumen en la siguiente tabla:

Actividad	Fechas de las actividades				Holgura
	IMTE	FMTE	IMTA	FMTA	
A	0	2	5	7	5
B	0	3	0	3	0
C	2	7	7	12	5
D	3	12	3	12	0
E	12	17	12	17	0
F	12	17	14	19	2
G	17	19	17	19	0

Duración esperada del proyecto = 19 semanas

Varianza del camino crítico = 1,333

Desviación estándar del camino crítico = 1,155 semanas

Las actividades del camino crítico son B, D, E y G. Estas actividades tienen una holgura nula, como se muestra en la tabla.

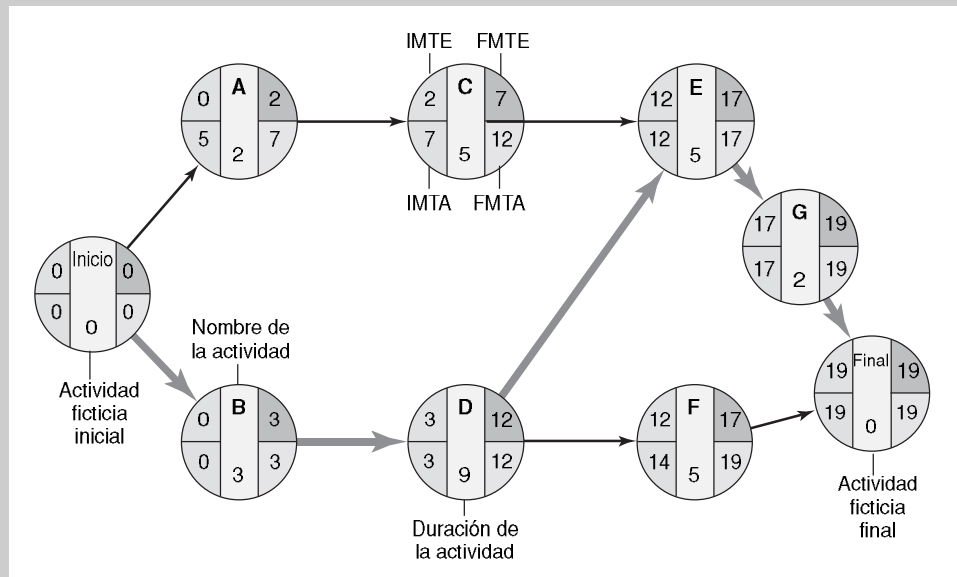


FIGURA 3.20 ■ Camino crítico del Problema resuelto 3.5

Problema resuelto 3.6

Se ha calculado la siguiente información de un proyecto:

Duración esperada del proyecto = $t = 62$ semanas
 Varianza del proyecto = $\sigma_p^2 = 81$

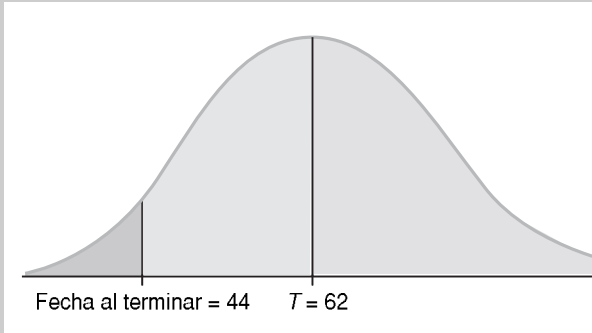
¿Cuál es la probabilidad de que el proyecto se acabe en 18 semanas *antes* de su fecha prevista de finalización?

Solución

La fecha deseada de finalización es de 18 semanas antes de la fecha prevista de 62 semanas. La fecha deseada de terminación es de 44 (o $61 - 18$) semanas.

$$Z = \frac{\text{Fecha al terminar} - \text{Fecha prevista}}{\sigma_p} = \frac{44 - 62}{9} = \frac{-18}{9} = -2,0$$

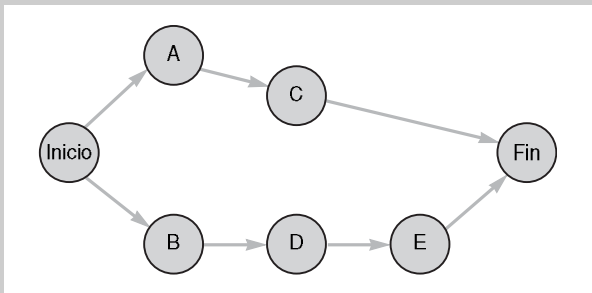
La curva de distribución normal tiene la siguiente forma:



Puesto que la curva normal es simétrica y los valores de la tabla se calculan para los valores positivos de Z , el área deseada es igual a $1 -$ (el valor de la tabla). Para $Z = +2,0$, el área de la tabla es $0,977275$. Por lo tanto, el área correspondiente a un valor de Z de $-2,0$ es $0,02275$ (o $1 - 0,977275$). Por consiguiente, la probabilidad de acabar el proyecto 18 semanas antes de la fecha prevista de finalización es de aproximadamente $0,023$, o $2,3\%$.

Problema resuelto 3.7

Calcule el coste mínimo de reducción del tiempo de finalización de un proyecto en 3 meses a partir de la siguiente información:



Solución

El primer paso para resolver este problema consiste en calcular IMTE, FMTE, IMTA, FMTA y el tiempo de holgura para cada actividad.

Actividad	IMTE	FMTE	IMTA	FMTA	Holgura
A	0	6	9	15	9
B	0	7	0	7	0
C	6	13	15	22	9
D	7	13	7	13	0
E	13	22	13	22	0

El camino crítico por las actividades B, D, y E.

Actividad	Duración normal (meses)	Duración acelerada (meses)	Coste normal	Coste acelerado
A	6	4	2.000\$	2.400\$
B	7	5	3.000	3.500
C	7	6	1.000	1.300
D	6	4	2.000	2.600
E	9	8	8.800	9.000

A continuación, hay que calcular el coste de aceleración/mes para cada actividad.

Actividad	Duración normal – Duración acelerada	Coste acelerado – Coste normal	Coste acelerado/mes	¿Camino crítico?
A	2	400\$	200\$/mes	No
B	2	500	250/mes	Sí
C	1	300	300/mes	No
D	2	600	300/mes	Sí
E	1	200	200/mes	Sí

Finalmente seleccionamos la actividad del camino crítico con el menor coste de aceleración/mes. Esta actividad es la E. Por tanto, podemos reducir el tiempo total de finalización del proyecto en un mes con un coste adicional de 200 dólares. Aún tenemos que reducir la fecha de finalización del proyecto en 2 meses. Esta reducción puede conseguirse al menor coste posible en el camino crítico, mediante la reducción de la actividad B en dos meses, con un coste adicional de 500 dólares. Esta solución queda resumida en la siguiente tabla:

Actividad	Meses de reducción	Coste
E	1	200\$
B	2	500\$
		Total: 700\$

EJERCICIOS EN INTERNET Y DEL CD-ROM DEL ALUMNO

Visite nuestra página web o utilice el CD-ROM del estudiante para obtener ayuda sobre este capítulo.



En nuestro sitio web www.prenhall.com/heizer

- Preguntas de autoevaluación
- Problemas prácticos
- Visita virtual a una empresa
- Ejercicios en Internet
- Casos en Internet



En su CD-ROM del alumno

- Lección en Power Point
- Vídeos y casos en vídeo
- Problemas prácticos
- Excell OM
- Archivos de datos para Excel OM
- MS Project (si se solicita)
- Ejercicio Active Model
- POM para Windows



CUESTIONES PARA EL DEBATE

1. Ofrezca un ejemplo de una situación en que se necesita la dirección de proyectos.
2. ¿Qué es una organización de proyecto?
3. ¿De qué tres fases está compuesta la dirección de un gran proyecto?
4. ¿Qué preguntas pueden contestarse con los métodos PERT y CPM?
5. Defina *estructura de trabajo desagregada*. ¿Cómo se utiliza?
6. ¿Cómo se utilizan los gráficos de Gantt en la dirección de proyectos?
7. ¿Cuál es la diferencia entre una red de actividad en flecha (AOA) y una red de actividad en nodo (AON)? ¿Cuál es la que más se utiliza en este capítulo?
8. ¿Qué importancia tiene el camino crítico?
9. ¿Qué tiene que hacer un directivo para acelerar una actividad?
10. Describa cómo pueden calcularse mediante una red PERT las duraciones esperadas y las varianzas de las actividades.
11. Defina *inicio más temprano, final más temprano, inicio más tardío y final más tardío*.
12. A veces los alumnos se sienten confusos por el concepto de camino crítico, y quieren creer que es el camino *más corto* en una red. Explique de manera convincente por qué no es así.
13. ¿Qué es una actividad ficticia? ¿Por qué se utiliza en una red AOA?
14. ¿Cuáles son las tres estimaciones de tiempos en

15. ¿Es posible que un director de un proyecto tenga que analizar la posibilidad de acelerar una actividad no crítica en la red de un proyecto? Explique de manera convincente.
16. ¿Cómo se calcula en PERT la varianza total de un proyecto?
17. Describa el significado de holgura y analice cómo se puede calcular.
18. ¿Cómo se calcula la probabilidad de que un proyecto acabe en determinada fecha? ¿Qué supuestos se postulan en este cálculo?
19. Enumere algunos de los programas de software más utilizados en la dirección de proyectos.



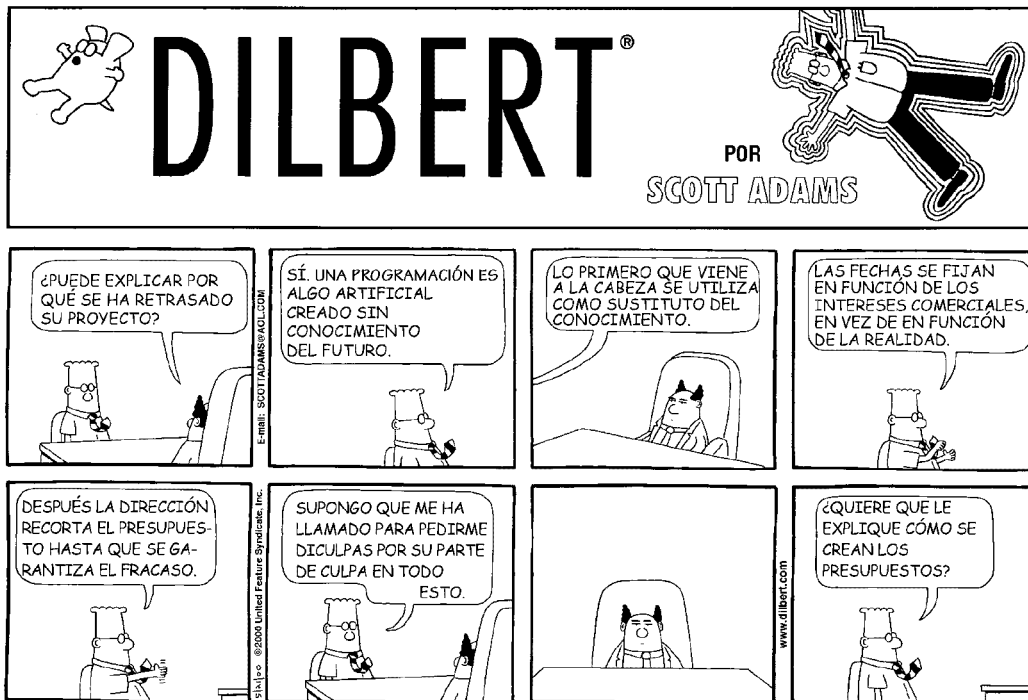
DILEMA ÉTICO

Dos ejemplos de proyectos muy mal gestionados son el proyecto TAURUS y el “Big Dig”. El primero, denominado formalmente el proyecto de automatización de la Bolsa de Londres, costó 575 millones de dólares antes de que fuera finalmente abandonado. Aunque la mayoría de los proyectos de Sistemas de Gestión de la Información (*Management Information Systems, MIS*) tienen reputación por sobrepasar costes, retrasos y su escaso rendimiento, el proyecto TAURUS estableció una nueva marca de desastre.

Pero incluso el proyecto TAURUS palideció ante el proyecto más caro y más grande de obra pública de la historia de Estados Unidos: el proyecto de un túnel/vía central en Boston que duró 15 años. Llamado Big Dig

(Gran Excavación), tal vez sea, en décadas, el caso más patente y grave de un proyecto mal dirigido. Partiendo de un presupuesto inicial de 2.000 millones de dólares, se llegó a un coste final de 15.000 millones, el proyecto costó más que el canal de Panamá, la presa Hoover, o la Interestatal 9, la autovía de 3.070 kilómetros que une Maine y Florida.

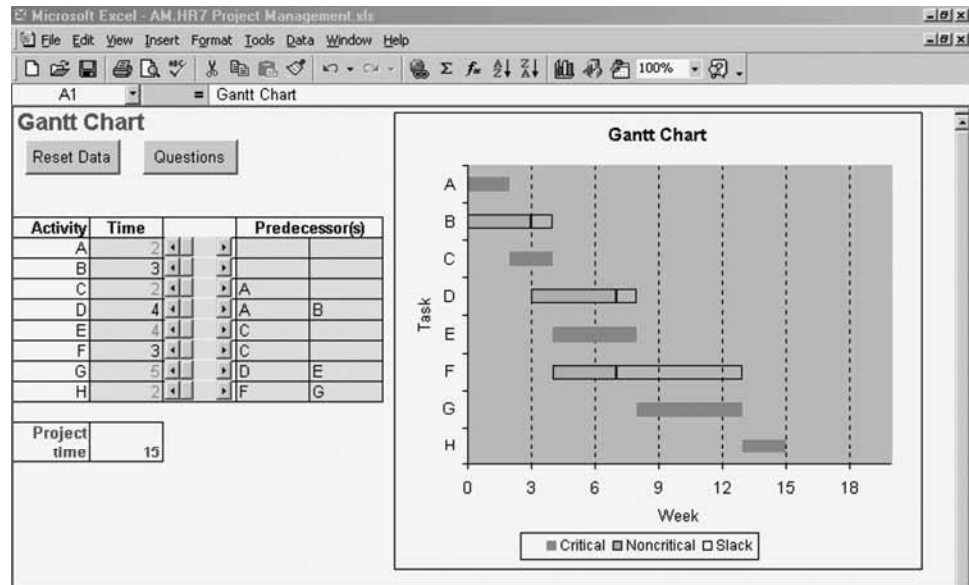
Busque información sobre uno de estos dos proyectos (u otro de su elección) y explique por qué se produjeron esos problemas, y por qué permiten los directores de proyectos que tan grandes empeños humanos terminen en semejante estado. El señor Dilbert (véase en las viñetas a continuación) tiene su opinión, pero ¿cuáles cree usted que son las causas?





EJERCICIO ACTIVE MODEL

Milwaukee Paper Manufacturing. Este ejercicio Active Model le permite evaluar cambios en importantes elementos de la red del hospital que hemos visto en el capítulo, utilizando su CD-ROM. Véase Active Model 3.1.



ACTIVE MODEL 3.1 ■ Dirección de proyectos

Este gráfico contiene un diagrama de Gantt con una única estimación de duraciones para el proyecto de Milwaukee Paper. Las actividades críticas aparecen en oscuro, tanto en la tabla de datos como en el diagrama de Gantt. Las actividades no críticas aparecen en claro en el diagrama de Gantt, y el lado derecho de estas actividades no críticas muestra la holgura que tienen. Usted puede utilizar las barras de desplazamiento para cambiar las duraciones de las actividades individuales. Para las actividades críticas, cuando cambian las duraciones cambian los plazos del proyecto. Para las actividades no críticas, si se aumenta la duración, pueden finalmente convertirse en actividades críticas.

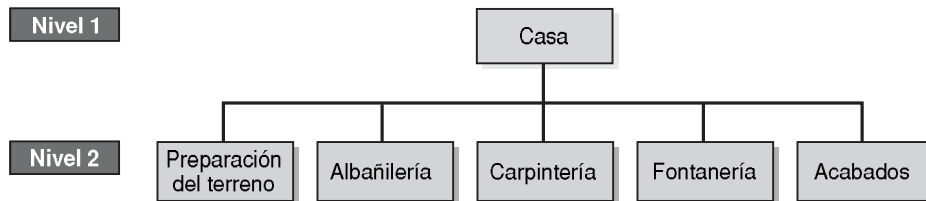
Preguntas

1. Tanto A como H son actividades críticas. Describa la diferencia de lo que ocurre en el diagrama cuando aumenta la duración de A o cuando aumenta H.
2. La actividad F no es crítica. ¿En cuántas semanas puede aumentar la duración de la actividad F hasta que se hace crítica?
3. La actividad B no es crítica. ¿En cuántas semanas puede aumentar la duración de esta actividad hasta que sea crítica? ¿Qué ocurre cuando pasa a ser crítica?
4. ¿Qué pasa cuando aumenta la duración de B en más de una semana después de que haya pasado a ser una actividad crítica?
5. Suponga que cambia la normativa sobre construcción y, por ello, la actividad B tiene que estar acabada antes de que se puede empezar la actividad C. ¿Cómo afectaría al proyecto?



PROBLEMAS*

- 3.1. La estructura de trabajo desagregada para la construcción de una casa (niveles 1 y 2) se muestra a continuación:



- a) Añada dos actividades de nivel 3 a cada una de las actividades del nivel 2 para que la estructura desagregada tenga más detalle.
 - b) Elija una de sus actividades de nivel 3 y añada dos actividades de nivel 4.
- 3.2. Jerry Jacobs ha decidido presentarse a Congresista para la Cámara de Representantes en el distrito 34 de Florida. Considera que su campaña electoral de 8 meses es un proyecto importante y quiere crear una estructura desagregada de trabajo para ayudar a controlar la detallada programación de la campaña. Hasta ahora ha definido la siguiente estructura:

Nivel	N.º de Id. del nivel	Actividad
1	1.0	Desarrollo de la campaña política
2	1.1	Plan de financiación
3	1.11	_____
3	1.12	_____
3	1.13	_____
2	1.2	Definición de una postura en las cuestiones principales
3	1.21	_____
3	1.22	_____
3	1.23	_____
2	1.3	Búsqueda de personal para la campaña
3	1.31	_____
3	1.32	_____
3	1.33	_____
3	1.34	_____
2	1.4	Cumplimiento de las cuestiones burocráticas para ser candidato
3	1.41	_____
3	1.42	_____
2	1.5	Planes/cuestiones éticas
3	1.51	_____

Ayude al Sr. Jacobs proponiendo información más detallada en las líneas que están en blanco. ¿Hay otras actividades importantes (de nivel 2) que haya que incluir? En caso afirmativo, añada un N.º de Id. 1.6 e inclúyalas.

* Nota: **P** Significa que se puede resolver el problema con el programa POM para Windows; **W** significa que se puede resolver el problema con Excel OM, y **P_W** significa que se puede resolver el problema con POM para Windows y/o Excel OM.

- **P** 3.3. Dibuje la red AON asociada a las siguientes actividades para el proyecto de empresa de consultoría Girish Shambu. ¿Cuánto tiempo tardarán Girish y sus compañeros de equipo en realizar su proyecto? ¿Cuáles son las actividades del camino crítico?

Actividad	Predecesora(s) inmediata(s)	Duración (días)	Actividad	Predecesora(s) inmediata(s)	Duración (días)
A	—	3	E	B	4
B	A	4	F	C	4
C	A	6	G	D	6
D	B	6	H	E, F	8

- **P** 3.4. Dadas las actividades cuya secuencia viene descrita en la siguiente tabla, dibuje el diagrama AOA pertinente. ¿Qué actividades están en el camino crítico? ¿Qué longitud tiene el camino crítico?

Actividad	Predecesora(s) inmediata(s)	Duración (días)	Actividad	Predecesora(s) inmediata(s)	Duración (días)
A	—	5	F	C	5
B	A	2	G	E, F	2
C	A	4	H	D	3
D	B	5	I	G, H	5
E	B	5			

- **P** 3.5. Utilizando AOA, dibuje una red que describa el siguiente proyecto de construcción de Sarah McComb. Calcule su camino crítico. ¿Cuál es la duración mínima de esta red?

Actividad	Nodos	Duración (semanas)	Actividad	Nodos	Duración (semanas)
J	1-2	10	N	3-4	2
K	1-3	8	O	4-5	7
L	2-4	6	P	3-5	5
M	2-3	3			

- **P** 3.6. Shirley Hopkins está considerando proporcionar formación en liderazgo a los directivos de nivel medio. Shirley ha realizado una lista de las actividades que han de completarse antes de poder desarrollar un programa de formación de estas características. En la siguiente tabla aparecen las actividades y las predecesoras inmediatas.

Actividad	Predecesora(s) inmediata(s)	Duración (días)	Actividad	Predecesora(s) inmediata(s)	Duración (días)
A	—	2	E	A, D	3
B	—	5	F	C	6
C	—	1	G	E, F	8
D	B	10			

- Desarrolle una red AON para este problema.
- ¿Cuál es el camino crítico?
- ¿Cuál es el plazo total para finalizar el proyecto?
- ¿Cuál es el tiempo de holgura de cada una de las actividades?

- **P** 3.7. Las estimaciones de duraciones de las tareas para el proyecto de creación de una línea de producción en la factoría Robert Klassen de Ontario son las siguientes:

Actividad	Duración (en horas)	Predecesoras inmediatas
A	6,0	—
B	7,2	—
C	5,0	A
D	6,0	B, C
E	4,5	B, C
F	7,7	D
G	4,0	E, F

- a) Dibuje la red AON del proyecto.
 - b) Identifique el camino crítico.
 - c) ¿Cuál es la duración esperada del proyecto?
 - d) Dibuje el diagrama de Gantt del proyecto.
- **P** 3.8. Está en fase de planificación un gran campo de juego en la plaza del pueblo de Richmond, Virginia. A continuación se describen seis actividades que han de completarse.

Actividad	Horas necesarias	Predecesora(s) inmediata(s)
Planificación (A)	20	—
Compra suministros (B)	60	Planificación (A)
Excavación/nivelado (C)	100	Planificación (A)
Aserrado de maderas (D)	30	Compra de suministros (B)
Colocación maderas (E)	20	Excavación/nivelado (C) y Aserrado (D)
Montaje/pintura (F)	10	Colocación maderas (E)

- a) Desarrolle una red de actividad en flecha (AOA) para este proyecto.
 - b) ¿Cuál es el plazo de finalización del proyecto?
- 3.9. Con los datos del Problema 3.8, desarrolle una red de actividad en nodo (AON) para ese proyecto.
- 3.10. En el siguiente cuadro se muestran las actividades necesarias para construir una máquina experimental de control de la contaminación en Billy Thornton Corp. Construya una red AON para estas actividades.

Actividad	Predecesora(s) inmediata(s)	Actividad	Predecesora(s) inmediata(s)
A	—	E	B
B	—	F	B
C	A	G	C, E
D	A	H	D, F

- **P** 3.11. Billy Thornton (véase el Problema 3.10) consiguió determinar las duraciones de las actividades para construir su máquina. Thornton querría determinar IMTE, FMTE, IMTA, FMTA y el tiempo de holgura para cada actividad. También debe determinar el tiempo

total de finalización y el camino crítico. A continuación damos los plazos de cada actividad:

Actividad	Duración (semanas)	Actividad	Duración (semanas)
A	6	E	4
B	7	F	6
C	3	G	10
D	2	H	7

- P** 3.12. Las actividades que se describen en el siguiente cuadro corresponden a Duplaga Corporation.

Actividad	Predecesora(s) inmediata(s)	Duración
A	—	9
B	A	7
C	A	3
D	B	6
E	B	9
F	C	4
G	E, F	6
H	D	5
I	G, H	3

- a) Dibuje el diagrama PERT AON correspondiente para el equipo directivo de Ed Duplaga.
- b) Determine el camino crítico.
- c) ¿Cuál es el plazo de finalización?
- P** 3.13. Un pequeño proyecto de remodelación de la tienda de regalos de Hard Rock Café tiene seis actividades principales. Dadas las siguientes estimaciones a , m y b , calcule la duración esperada y la desviación estándar de cada actividad.

Actividad	a	m	b
A	11	15	19
B	27	31	41
C	18	18	18
D	8	13	19
E	17	18	20
F	16	19	22

- P** 3.14. Latta Carpet and Trim es una empresa que instala alfombras en oficinas comerciales. Carol Latta ha estado muy preocupada por el excesivo tiempo que tarda en realizar las tareas de enmoquetado en los últimos trabajos realizados. Algunos de sus trabajadores son muy poco fiables. A continuación se muestra una lista de las duraciones optimistas, las más probables y las más pesimistas, todas ellas en días.

Calcule la duración prevista y la varianza para cada actividad.

Actividad	Duración en días			Predecesora(s) inmediata(s)
	<i>a</i>	<i>m</i>	<i>b</i>	
A	3	6	8	—
B	2	4	4	—
C	1	2	3	—
D	6	7	8	C
E	2	4	6	B, D
F	6	10	14	A, E
G	1	2	4	A, E
H	3	6	9	F
I	10	11	12	G
J	14	16	20	C
K	2	8	10	H, I

- **P** 3.15. Carol Latta quiere calcular el plazo total de finalización del proyecto y el camino crítico para enmoquetar un edificio de oficinas. Consúltese el Problema 3.14 para los detalles. Además, calcule IMTE, FMTE, IMTA, FMTA y el tiempo de holgura para cada actividad.
- **P** 3.16. ¿Cuál es la probabilidad de que Latta Carpet and Trim termine el proyecto descrito en los Problemas 3.14 y 3.15 en 40 o en menos días?
- **P** 3.17. Bill Fennema, presidente de Fennema Construction, ha definido las tareas, duraciones y relaciones de precedencia para construir nuevos moteles en la siguiente tabla. Dibuje la red AON y responda a las preguntas que siguen:

Actividad	Predecesora(s) inmediata(s)	Estimaciones de duración (en semanas)		
		Optimista	Más probable	Pesimista
A	—	4	8	10
B	A	2	8	24
C	A	8	12	16
D	A	4	6	10
E	B	1	2	3
F	E, C	6	8	20
G	E, C	2	3	4
H	F	2	2	2
I	F	6	6	6
J	D, G, H	4	6	12
K	I, J	2	2	3

- a) ¿Cuál es la duración esperada de la actividad C?
- b) ¿Cuál es la varianza de la actividad C?
- c) A partir de los cálculos de las duraciones estimadas, ¿cuál es el camino crítico?
- d) ¿Cuál es la duración estimada del camino crítico?
- e) ¿Cuál es la varianza de las actividades del camino crítico?
- f) ¿Cuál es la probabilidad de terminar el proyecto antes de la semana 36?

- :P 3.18.** ¿Cuál es el mínimo coste para reducir en cuatro días la duración del siguiente proyecto?

Actividad	Plazo normal (días)	Plazo acortado (días)	Coste normal	Coste acelerado	Precededora(s) inmediata(s)
A	6	5	900\$	1.000\$	—
B	8	6	300	400	—
C	4	3	500	600	—
D	5	3	900	1.200	A
E	8	5	1.000	1.600	C

- :P 3.19.** Hay tres actividades candidatas para ser aceleradas en la red de un proyecto de instalación de un gran equipo informático (todas son, por supuesto, críticas). Los detalles de las actividades se muestran en la siguiente tabla:

Actividad	Precededora	Plazo normal (días)	Coste normal	Plazo acortado	Coste acelerado
A	—	7 días	6.000\$	6 días	6.600\$
B	A	4 días	1.200\$	2 días	3.000\$
C	B	11 días	4.000\$	9 días	6.000\$

- a) ¿Qué acción emprendería para reducir en un día el camino crítico?
 b) Suponiendo que ningún otro camino pasa a ser crítico, ¿qué acción emprendería para reducir el camino crítico otro día más?
 c) ¿Cuál es el coste total de la reducción de dos días?
- :P 3.20.** La empresa de software de Ravi Behara está considerando desarrollar una versión de lujo de un determinado producto de software. Las actividades necesarias para realizar este proyecto se muestran en la siguiente tabla:

Actividad	Plazo normal (semanas)	Plazo acortado (semanas)	Coste normal	Coste acortado	Precededora(s) inmediata(s)
A	4	3	2.000\$	2.600\$	—
B	2	1	2.200\$	2.800\$	—
C	3	3	500\$	500\$	—
D	8	4	2.300\$	2.600\$	—
E	6	3	900\$	1.200\$	A
F	3	2	3.000\$	4.200\$	C
G	4	2	1.400\$	2.000\$	D, E

- a) ¿Cuál es la fecha de finalización del proyecto?
 b) ¿Cuál es el coste total necesario para terminar este proyecto en duración normal?
 c) Si deseamos reducir el tiempo necesario para la finalización del proyecto en una semana, ¿qué actividad deberá reducirse, y cuánto incrementaría esto el coste total?
 d) ¿Cuál es el tiempo máximo en que puede reducirse el proyecto? ¿Cuánto aumentarían los costes?
- :P 3.21.** Las duraciones estimadas y las precededoras inmediatas de las actividades de un proyecto que se va a desarrollar en la empresa de escaneado de la retina Caesar Douglas

aparecen en la siguiente tabla. Suponga que las duraciones de las actividades son independientes.

Actividad	Predecesora(s) inmediata(s)	Duración (semanas)		
		<i>a</i>	<i>m</i>	<i>b</i>
A	—	9	10	11
B	—	4	10	16
C	A	9	10	11
D	B	5	8	11

- a) Calcule la duración esperada y la varianza de cada actividad.
- b) ¿Cuál es el plazo de finalización esperado del camino crítico? ¿Cuál es el tiempo de finalización esperado del otro camino de la red?
- c) ¿Cuál es la varianza del camino crítico? ¿Cuál es la varianza del otro camino de la red?
- d) Si el tiempo para completar el camino A - C sigue una distribución normal, ¿cuál es la probabilidad de que se termine este camino en 22 semanas o menos?
- e) Si el tiempo para completar el camino B - D sigue una distribución normal, ¿cuál es la probabilidad de que se termine este camino en 22 semanas o menos?
- f) Explique por qué la probabilidad de que se termine el *camino crítico* en 22 semanas o menos no es necesariamente la probabilidad de que el *proyecto* se termine en 22 semanas o menos.

∴P 3.22. La empresa Tom Stam Manufacturing produce dispositivos hechos a medida para el control de la contaminación en acerías de tamaño medio. El último proyecto asumido por Stam requiere 14 actividades diferentes.

- a) Los directivos de Stam quieren determinar el plazo total de finalización del proyecto (en días) y aquellas actividades que están en el camino crítico. Se muestran los datos en el siguiente cuadro.
- b) ¿Cuál es la probabilidad de terminarlo en 53 días?

Actividad	Predecesora(s) inmediata(s)	Plazo optimista	Plazo más probable	Plazo pesimista
A	—	4	6	7
B	—	1	2	3
C	A	6	6	6
D	A	5	8	11
E	B, C	1	9	18
F	D	2	3	6
G	D	1	7	8
H	E, F	4	4	6
I	G, H	1	6	8
J	I	2	5	7
K	I	8	9	11
L	J	2	4	6
M	K	1	2	3
N	L, M	6	8	10

∴P 3.23. Dream Team Productions está en las últimas fases del diseño de su nueva película, *Killer Works*, que se estrenará el próximo verano. Market Wise, la empresa contratada para coor-

dinar la salida al mercado de los juguetes *Killer Works*, ha identificado 16 actividades a realizar antes de estrenar la película.

- a) ¿Cuántas semanas antes del estreno de la película debe empezar Market Wise su campaña de marketing? ¿Cuáles son los caminos críticos? Las tareas, con duraciones expresadas en semanas, son las siguientes:

Actividad	Predecesora(s) inmediata(s)	Plazo optimista	Plazo más probable	Plazo pesimista
A	—	1	2	4
B	—	3	3,5	4
C	—	10	12	13
D	—	4	5	7
E	—	2	4	5
F	A	6	7	8
G	B	2	4	5,5
H	C	5	7,7	9
I	C	9,9	10	12
J	C	2	4	5
K	D	2	4	6
L	E	2	4	6
M	F, G, H	5	6	6,5
N	J, K, L	1	1,1	2
O	I, M	5	7	8
P	N	5	7	9

- b) Si las actividades I y J no fueran necesarias, ¿qué efecto tendría en el camino crítico y en el número de semanas necesarias para completar la campaña de marketing?

- :P** 3.24. Haciendo uso de la técnica PERT, Harold Schramm averiguó que el plazo previsto para la terminación de la construcción de un yate de recreo es de 21 meses, y la varianza del proyecto, de 4.

- a) ¿Qué probabilidad hay de que el proyecto se termine en 17 meses?
 b) ¿Qué probabilidad hay de que el proyecto se termine en 20 meses?
 c) ¿Qué probabilidad hay de que el proyecto se termine en 23 meses?
 d) ¿Qué probabilidad hay de que el proyecto se termine en 25 meses?

- :P** 3.25. Bolling Electronics fabrica reproductores de DVD para uso profesional. W. Blazer Bolling, presidente de Bolling Electronics, está pensando producir reproductores de DVD para uso doméstico. En la siguiente tabla se muestran las actividades necesarias para producir un modelo experimental y datos relacionados:

Actividad	Plazo normal (semanas)	Plazo acortado (semanas)	Coste normal (\$)	Coste acortado (\$)	Predecesora(s) inmediata(s)
A	3	2	1.000	1.600	—
B	2	1	2.000	2.700	—
C	1	1	300	300	—
D	7	3	1.300	1.600	A
E	6	3	850	1.000	B
F	2	1	4.000	5.000	C
G	4	2	1.500	2.000	D, E

- a) ¿Cuál es la fecha de finalización del proyecto?
- b) Acorte este proyecto a 10 semanas con un coste mínimo.
- c) Acorte este proyecto a 7 semanas (que es lo máximo que se puede acortar) al coste mínimo.

3.26. Maser es un nuevo automóvil deportivo de diseño personalizado. Un análisis de las tareas necesarias para la construcción del Maser indica la siguiente lista de actividades relevantes, su(s) predecesora(s) inmediata(s) y su duración⁶.

Código de la tarea	Descripción	Predecesora(s) inmediata(s)	Duración normal (días)
A	Comienzo	—	0
B	Diseño	A	8
C	Pedido de los accesorios especiales	B	0.1
D	Construcción de la estructura	B	1
E	Fabricación de las puertas	B	1
F	Colocación de ejes, ruedas, y depósito de gasolina	D	1
G	Fabricación de la carrocería	B	2
H	Fabricación de la transmisión y del tren de la dirección	B	3
I	Ajuste de puertas a la carrocería	G, E	1
J	Fabricación del motor	B	4
K	Prueba del motor en banco de pruebas	J	2
L	Montaje del chasis	F, H, K	1
M	Pruebas del chasis en carretera	L	0.5
N	Pintar la carrocería	I	2
O	Cableado	N	1
P	Instalación de interiores	N	1.5
Q	Aceptar entrega de accesorios especiales	C	5
R	Montar la carrocería y los accesorios al chasis	M, O, P, Q	1
S	Prueba del automóvil en carretera	R	0.5
T	Colocación de los embellecedores externos	S	1
U	Acabado	T	0

- a) Dibuje un diagrama de red para el proyecto.
- b) Marque el camino crítico e indique su longitud.
- c) Si hubiera que anticipar la fecha de terminación del Maser en dos días, ¿ayudaría:
 - i) comprar las transmisiones y direcciones ya montadas?
 - ii) instalar robots para reducir a la mitad el tiempo de montaje del motor?
 - iii) disminuir en tres días el plazo de entrega de los accesorios especiales?
- d) ¿Cómo pueden sacarse recursos de actividades en el camino no crítico para realizar con mayor rapidez las actividades del camino crítico?

3.27. Se le pide que se responsabilice de los seminarios matinales del Festival de Vino y Comida de la Costa Sur de Miami el año que viene. Hay tres seminarios, y cada uno requiere varias tareas. Debe empezar reclutando a un comité de seis personas para que le ayude. También debe reclutar a un asistente. Ésta es la tarea A y espera que le requiera 12 horas. A continuación deberá trabajar simultáneamente en el desarrollo de ideas para cada uno de los

⁷ Fuente: James A. D. Stoner y Charles Wankel, *Management*, 3.ª edición (Englewood Cliffs, NJ. Prentice Hall, 1986): 195.

seminarios. El decano de la facultad de ciencias empresariales, Bill Quain, dice que dos de los seminarios se centrarán en “Comer en la Costa Sur”. Sabe que no necesitará mucho tiempo para esto. De hecho, piensa dividir su comité en dos grupos para definir el tema y después reclutar a un conferenciante. Cree que estos dos grupos, trabajando simultáneamente, necesitarán unas cuatro horas cada uno para realizar la tarea.

El tercer seminario es más difícil. El decano Quain quiere algo sobre “grandes vinos que encontré en restaurantes baratos”. Va a trabajar en esto personalmente, junto con su ayudante de más confianza. Lo hará al mismo tiempo que la planificación de los otros dos seminarios. Probablemente necesitará unas 12 horas para hacerlo. Las tres tareas deben estar terminadas antes de pasar a la siguiente fase.

La siguiente fase (tarea E) sólo requiere que trabajen en ella usted y su ayudante. Redactarán el material para los programas. Esto les requerirá unas seis horas. Para la tarea F su asistente enviará por fax el material del programa a cuatro imprentas, solicitando presupuestos (una hora) y utilizará unas especificaciones que se definieron el año pasado. Recibirá los presupuestos, hará copias y las entregará a los miembros del comité (tres horas). En las tareas H e I el comité se vuelve a dividir en dos grupos. Cada grupo revisa los cuatro presupuestos y los clasifica (cuatro horas). Entonces, en la tarea J, se reúnen todos los miembros del comité y analizan los presupuestos (dos horas). Después votan cuál es el presupuesto ganador. Esta tarea requiere una hora más.

Después de que usted y su asistente conozcan el voto, se reunirán ambos con la imprenta que ha obtenido el contrato (tarea L), otra hora. Después de que la imprenta entregue las pruebas de imprenta, usted y su asistente deben tener otra reunión de una hora con la imprenta para dar su autorización final. Dos miembros del comité dan los últimos toques a la sala donde se realizarán los seminarios (cinco horas). La imprenta necesita 10 horas para imprimir los programas. Finalmente se desarrollan los tres seminarios, simultáneamente. Cada seminario dura dos horas, y hace falta que haya dos miembros del comité en cada uno. Cuando todo ha acabado, todo el comité, incluyéndole a usted y a su asistente, se reúne durante una hora.

- a) ¿Cuánto dura el proyecto?
- b) ¿Qué tarea tiene *más* tiempo de holgura?
- c) ¿Qué tareas no tienen tiempo de holgura?
- d) ¿Cuál es el tiempo de holgura del camino crítico?
- e) ¿Cuántas tareas distintas hay en este proyecto?
- f) Calcule cuántas horas, usted, su asistente y el comité, dedican a este proyecto.
- g) Valora su tiempo, el de su asistente y el de los miembros del comité a 25 dólares por hora. Un consultor ha entregado un presupuesto de 5.000 dólares para hacerse cargo de todo el proyecto (excluyendo el trabajo de imprenta) y realizar todo el trabajo. ¿Debe aceptar la oferta?



PROBLEMAS PARA RESOLVER CON INTERNET

Visite en nuestro sitio web www.prenhall.com/heizer los problemas adicionales: 3.28 a 3.34.

▣ *Caso de estudio* ■

Universidad de Southwestern: (A)*

Southwestern University (SWU) es una gran universidad estatal de Stephenville, Texas, 30 millas al sudoeste de Dallas/Fort Worth, y con cerca de 20.000 estudiantes matriculados. En una típica relación entre los habitantes de la ciudad y el ambiente universitario, la universidad es una fuerza dominante en la pequeña ciudad, con más estudiantes en otoño y primavera que residentes permanentes.

Potencia del fútbol americano desde hace tiempo, su equipo pertenece al grupo de los Once Grandes, y normalmente se encuentra entre los 20 mejores en los rankings de los equipos universitarios de fútbol. Para mejorar sus posibilidades de alcanzar el tan difícil pero siempre deseado número uno en la clasificación, en 1999 la SWU contrató al legendario Bo Pitterno como entrenador.

Una de las peticiones de Pitterno cuando se incorporó a SWU fue construir un nuevo estadio. Al aumentar la asistencia, los administradores de SWU empezaron a pensar en esta posibilidad. Después de seis meses de

estudio, mucha lucha política, y un análisis financiero serio, el doctor Joel Wisner, Presidente de la Universidad de Southwestern, ha tomado la decisión de agrandar el estadio del campus universitario.

Añadir miles de asientos, incluyendo docenas de palcos, no contenta a todo el mundo. El influyente entrenador Bo Pitterno ha argumentado la necesidad de tener un estadio de primera categoría, que incluya dormitorios para sus jugadores y una gran oficina para el entrenador del futuro equipo campeón de la NCAA. Pero la decisión está tomada y *todos*, incluido el entrenador, tendrán que aprender a vivir con ella.

El trabajo consiste ahora en comenzar la construcción inmediatamente después de la finalización de la temporada de 2005. Esto significaría exactamente disponer de 270 días hasta el partido de apertura de la temporada de 2006. El contratista, Construcciones Hill (siendo Bob Hill, como puede suponerse, antiguo alumno), firmó su contrato. Bob Hill estudió las tareas que sus ingenieros habían diseñado, y miró directamente a los ojos del Presidente Wisner: “Garantizo que el equipo podrá utilizar el campo el año que viene”. Lo dijo con seguridad. “Espero que así sea”, con-

TABLA 3.6 ■ Proyecto de la Universidad de Southwestern

Actividad	Descripción	Predecesora(s)	Estimación (días)			Coste aceler./Día
			Optimista	Más probable	Pesimista	
A	Estructuración de fianzas, seguros e impuestos	—	20	30	40	1,500\$
B	Cimientos, pilares de hormigón para los palcos	A	20	65	80	3.500\$
C	Renovar los asientos de los palcos altos	A	50	60	100	4.000\$
D	Renovar pasillos, accesos por escaleras, ascensores	C	30	50	100	1.900\$
E	Cableado interior, tornos	B	25	30	35	9.500\$
F	Aprobaciones de inspección	E	0,1	0,1	0,1	0\$
G	Fontanería	D, E	25	30	35	2.500\$
H	Pintura	G	10	20	30	2.000\$
I	Ferretería/soldaduras/trabajos metalúrgicos	H	20	25	60	2.000\$
J	Baldosas/moquetas/ventanas	H	8	10	12	6.000\$
K	Inspección	J	0,1	0,1	0,1	0\$
L	Trabajo de últimos detalles/limpieza	I, K	20	25	60	4.500\$

testó Wisner. “Los 100.000 dólares por cada día de retraso de penalización del contrato no son nada comparado con lo que te hará el entrenador Pitterno si nuestro partido de apertura con Penn State se retrasa o se cancela”.

Hill, sudando ligeramente, no necesitó responder ya que bien sabía que en el Estado de Texas son fanáticos del fútbol americano y si no se cumplía el objetivo de los 270 días Construcciones Hill se *hundiría*.

De vuelta a su oficina, Hill revisó de nuevo los datos (véase el Cuadro 3.6 y obsérvese que las estimaciones de duraciones optimistas pueden utilizarse como duraciones aceleradas). Entonces reunió a sus capataces: “Chicos, si no tenemos un 75% de seguridad de terminar el estadio en menos de 270 días, ¡entonces quiero reducir el plazo de este proyecto! Dadme los cálculos de costes con un objetivo de finalización de 250 días, y también para 240 días: ¡quiero que esté terminado con antelación y no justo a tiempo!”

Preguntas para el debate

1. Dibuje la red de Construcciones Hill y determine el camino crítico. ¿Cuál es el plazo previsto de terminación de la obra?
2. ¿Cuál es la probabilidad de que la obra se termine antes de 270 días?
3. Si es necesario acortar el plazo hasta 250 ó 240 días, ¿cómo lo haría Hill?, ¿y con qué coste? Como se indica en el caso, supóngase que las estimaciones de duración optimista pueden utilizarse como duraciones aceleradas.

* Este caso de estudio está integrado en todo el texto. Otras cuestiones relativas a la ampliación futbolística de Southwestern incluyen: (B) previsión de la asistencia a los partidos (Capítulo 4); (C) calidad de las instalaciones (Capítulo 6); (D) umbral de rentabilidad de productos alimenticios (suplemento al Capítulo 7 en el sitio web); (E) dónde se va a ubicar el nuevo estadio (sitio web para el Capítulo 8); (F) planificación del inventario de programas de fútbol (sitio web para el Capítulo 2 del volumen *Decisiones Tácticas*); (G) Programación del personal de seguridad para los días en que hay partido (Capítulo 3 de *Decisiones Tácticas*).



Caso de estudio en vídeo

Dirección de proyectos en el Arnold Palmer Hospital

Todos los días nace el equivalente a una nueva clase de guardería en el Arnold Palmer Hospital de Orlando. Con más de 10.500 nacimientos en 2004 en un hospital diseñado en 1989 con capacidad para 6.500 nacimientos al año, la unidad de cuidados intensivos para recién nacidos estaba al límite. Además, con un intenso y continuado crecimiento de la población en la zona central de Florida, el hospital solía estar lleno. Era evidente que se necesitaban nuevos edificios. Tras muchos análisis, previsiones y debates, el equipo directivo decidió construir un nuevo edificio con 273 plazas al otro lado de la calle donde estaba el hospital. Pero el edificio debía construirse cumpliendo las Líneas Directrices del hospital y su exclusividad como centro sanitario dedicado a las necesidades específicas de mujeres y niños. Esas líneas directrices son: *entorno centrado en la familia, un entorno curativo donde se respeta la intimidad y la*

dignidad, santuario de cuidados que incluye un entorno cálido y sereno con iluminación natural, personal sincero y dedicado que ofrece atención de máxima calidad, y funciones y flujos de operaciones centrados en el paciente.

El vicepresidente de Desarrollo de Negocio, Karl Hodges, quería un hospital diseñado desde el interior hacia afuera por gente que comprendiera las líneas directrices, que conociera todo sobre el sistema actual, y que fuera a utilizar el nuevo sistema, a saber, los doctores y enfermeras. Hodges y su personal dedicaron 13 meses a analizar las necesidades de expansión con este grupo, así como con los pacientes y la comunidad, antes de desarrollar una propuesta para el nuevo edificio el 17 de diciembre de 2001. Un equipo administrativo creó 35 grupos de usuarios, que mantuvieron mil reuniones de planificación (con una duración de entre 45 minutos y todo un día). Incluso crearon una “Corte Suprema” para resolver las opiniones conflictivas sobre cuestiones relativas a las múltiples facetas del nuevo hospital.

Cuestiones sobre normativas y de financiación añadían una gran complejidad a esta gran expansión, y a Hodges le preocupaba mucho que el proyecto cumpliera los plazos y presupuestos. Tom Hyatt, director de Desarrollo de la Instalación, fue designado responsable

de la dirección *in situ* del proyecto de 100 millones de dólares, además de tener que supervisar las renovaciones, expansiones y otros proyectos ya en marcha. Las actividades del proyecto multianual del nuevo edificio de Arnold Palmer figuran en la Tabla 3.7.

TABLA 3.7 ■ Actividades y duraciones de la planificación de la expansión y construcción del Arnold Palmer Hospital*

Actividad	Duración prevista	Actividades precedentes
1. Propuesta y revisión	1 mes	—
2. Definición del programa maestro	2 semanas	1
3. Proceso de selección del arquitecto	5 semanas	1
4. Efectuar una inspección completa del recinto y de sus necesidades	1 mes	1
5. Planos iniciales del arquitecto	6 semanas	3
6. Estimación de costes	2 meses	2, 4, 5
7. Entrega de planos al Consejo para su consideración/decisión	1 mes	6
8. Revisión de la normativa	6 semanas	6
9. Selección del constructor	9 semanas	6
10. Definición de la situación de necesidad de más plazas hospitalarias (“certificado de necesidad”)	3,5 meses	7, 8
11. Dibujo de los planos	4 meses	10
12. Documentos de la construcción	5 meses	9, 11
13. Preparación del terreno/demolición del edificio existente	9 semanas	11
14. Inicio de la construcción	2 meses	12, 13
15. Traslado de suministros de agua, luz y fuerza	6 semanas	12
16. Realización de los cimientos	2 meses	14
17. Construcción de la estructura	9 meses	16
18. Fachadas/tejado	4 meses	17
19. Interior	12 meses	17
20. Inspecciones del edificio	5 semanas	15, 19
21. Ocupación del edificio	1 mes	20

^a Esta lista de actividades se ha abreviado para el caso de estudio. Para simplificar, suponga que cada semana = 0,25 (es decir, 2 semanas = medio mes; 6 semanas = mes y medio, etcétera).

Preguntas para el debate

1. Dibuje la red para la planificación y construcción del nuevo hospital.
2. ¿Cuál es el camino crítico y cuánto se espera que durará el proyecto?
3. ¿Por qué es más compleja la construcción de este edificio de 11 plantas que la construcción de un edificio de oficinas del mismo tamaño?

4. ¿Qué porcentaje de la duración global del proyecto se dedicó en la planificación anterior a la propuesta y revisiones? ¿Antes de la construcción del edificio? ¿Por qué?

* Puede que quiera revisar el caso de vídeo en su CD-ROM antes de responder a estas preguntas.

Fuente: Profesores Barry Render (Rollins College), Jay Heizer (Texas Lutheran University) y Beverly Amer (Northern Arizona University).



Caso de estudio en vídeo

Organización del festival Rockfest de Hard Rock

En Hard Rock Café, como en muchas organizaciones, la dirección de proyectos es una herramienta clave de planificación. Con el constante crecimiento de Hard Rock en hoteles y cafés, la remodelación de los cafés existentes, la programación del concierto Hard Rock Live y otros espectáculos, y la planificación del festival anual Rockfest, los directivos tienen que recurrir a técnicas y software de dirección de proyectos para ajustarse a la programación y al presupuesto.

“Sin Microsoft Project —comenta el vicepresidente de Hard Rock Chris Tomasso—, sería imposible que tantas personas pudieran trabajar a la vez”. Tomasso es responsable del festival Rockfest, al que asisten más de 100.000 entusiastas espectadores. El reto consiste en organizarlo en un reducido horizonte de planificación de nueve meses. A medida que se acerca el acontecimiento, Tomasso dedica más esfuerzo a esas actividades. Durante los tres primeros meses Tomasso actualiza sus diagramas en MS Project una vez al mes. Después, en el hito de los seis meses, empieza a actualizarlos semanalmente. En el hito de los nueve meses controla y corrige la programación dos veces por semana.

TABLA 3.8 ■ Algunas de las principales actividades y subactividades en la planificación del concierto Rockfest

Actividad	Descripción	Predecesora(s)	Duración (semanas)
A	Cerrar contratos de construcción y local	—	7
B	Elegir al promotor local	A	3
C	Contratar al director de producción	A	3
D	Diseñar el sitio web de promoción	B	5
E	Cerrar contrato con televisión	D	6
F	Contratar al director	E	4
G	Planificar la ubicación de las cámaras de TV	F	2
H	Buscar artistas reconocidos	B	4
I	Buscar a teloneros	H	4
J	Viaje y alojamiento de artistas	I	10
K	Cálculo de la capacidad del local	C	2
L	Contrato de distribución de entradas	D, K	3
M	Venta de entradas <i>in situ</i>	L	8
N	Sonido y escenario	C	6
O	Pases y credenciales para escenario	G, R	7
P	Viaje y alojamiento trabajadores	B	20
Q	Contratar al coordinador de patrocinadores	B	4
R	Cerrar contratos de patrocinio	Q	4
S	Definir/colocar logos de patrocinadores	R, X	3
T	Contratar a director de operaciones	A	4
U	Desarrollo de la planificación del escenario	T	6
V	Contratar al director de seguridad	T	7
W	Definir plan de seguridad policial/contra incendios	V	4
X	Electricidad, fontanería, agua, servicios	U	8
Y	Contratos de merchandising	B	6
Z	Venta de merchandising por Internet	Y	6

Al principio del proceso de gestión del proyecto, Tomasso identifica 10 grandes tareas (denominadas actividades de nivel 2 en una estructura desagregada de trabajo): contratación de artistas, venta de entradas, marketing/relaciones públicas, promoción online, televisión, producción del espectáculo, viajes, patrocinadores, operaciones y merchandising. Utilizando una estructura desagregada de trabajo, cada una de estas actividades se divide de nuevo en una serie de subtareas. La Tabla 3.8 identifica 26 de las principales actividades y subactividades, sus predecesoras inmediatas, y las estimaciones de duraciones. Tomasso introduce todos estos datos en el programa MS Project**. Tomasso modifica el documento de MS Project y las fechas a medida que avanza el progreso. “No importa modificarlo siempre que sigas avanzando”.

El día del concierto no es el final de la planificación del proyecto. “No hay más que sorpresas. Que un grupo no pueda llegar al lugar del concierto por los atascos de tráfico es una sorpresa, pero es una sorpresa ‘anticipada’. Teníamos preparado un helicóptero como medida de seguridad para traer al grupo”, afirma Tomasso.

Al acabar el concierto en julio, Tomasso y su equipo tienen un respiro de 3 meses antes de reiniciar el proceso de planificación.

Preguntas para el debate***

1. Identifique el camino crítico y sus actividades en el caso de Rockfest. ¿Cuánto tiempo dura el proyecto?
2. ¿Qué actividades tienen una holgura de 8 semanas o más?
3. Identifique cinco grandes retos que deba superar un director de proyectos de este tipo de acontecimientos.
4. ¿Por qué resulta útil la estructura desagregada de trabajo en un proyecto de este tipo? Desagregue las 26 actividades en lo que considere que deban ser tareas del nivel 2, 3 y 4.

Fuente: Profesores Barry Render (Rollins College), Jay Heizer (Texas Lutheran University) y Beverly Amer (Northern Arizona University).

* La actividad de nivel 1 es el propio concierto.

** Tomasso utiliza, de hecho, 127 actividades; esta lista es sólo una breve versión para el caso de estudio.

*** Puede que quiera ver el caso de vídeo en su CD-ROM del estudiante antes de contestar a estas preguntas.

┌ CASOS DE ESTUDIO ADICIONALES ─

Visite nuestra página personal www.prenhall.com/heizer para ver los siguientes casos prácticos de estudio:

- **Compañía Constructora Haywood Brothers.** Este caso trata de cómo averiguar la probabilidad de que un proyecto se termine según lo programado.
- **Centro de Investigación de Planificación Familiar en Nigeria.** Este caso trata sobre la programación del camino crítico, aceleración, y equilibrado de las necesidades de personal en una clínica africana.
- **Shale Oil Company:** Esta refinería de petróleo debe parar para hacer el mantenimiento de una importante máquina.

Harvard ha seleccionado estos casos de la Harvard Business School para acompañar este capítulo (textbookcasematch.hbsp.harvard.edu):

- **Microsoft Office 2000 (#600-097):** Un análisis de la evolución del proyecto Office 2000.
- **Chrysler y BMW:** La joint venture del motor Tritec (#600-004): Un brillante líder de proyectos define la estrategia de un nuevo producto.
- **BAE Automated Systems (A):** Sistema de manejo de equipajes del aeropuerto internacional de Denver (#396-311): La gestión del proyecto de construcción del sistema de manejo de equipajes en Denver.
- **Turner Construction Co. (#190-128):** Se ocupa del sistema de control de gestión de proyectos en una empresa constructora.



- Cleland, D. L. y L. R. Ireland, *Project Manager's Portable Handbook*, 2.^a ed. New York: McGraw-Hill/Irwin (2004).
- Dusenberry, W., "CPM for New Product Introductions", *Harvard Business Review* (julio-agosto 1967): pp. 124-139.
- Ghattas, R. G. y S. L. McKee, *Practical Project Management*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall (2001).
- Herroslen, W. y R. Lens, "On the Merits and Pitfalls of Critical Chain Scheduling", *Journal of Operations Management* 19 (2001): pp. 559-577.
- Huchzermeier, Arnd y Christoph H. Loch, "Project Management Under Risk: Using the Real Options Approach to Evaluate Flexibility in R&D", *Management Science* 47, n.º 1 (enero 2001): pp. 85-101.
- Kerzner, H., *Project Management: A System Approach for Planning, Scheduling, and Controlling*, 8.^a ed. New York: Wiley (2003).
- Khang, D. B. y M. Yin, "Time, Cost and Quality Tradeoff in Project Management", *International Journal of Project Management* 17, n.º 4 (agosto 1999): pp. 249-256.
- Kolisch, Rainer, "Resource Allocation Capabilities of Commercial Project Management Software Packages", *Interfaces* 29, n.º 4 julio-agosto 1999): pp. 19-31.
- Mantel, S., J. R. Meredith, S. M. Shafer y M. Sutton, *Project Management in Practice*. New York: Wiley (2001).
- Matta, N. F. y R. N. Ashkenas, "Why Good Projects Fail Anyway", *Harvard Business Review* (septiembre 2003): pp. 109-114.
- McDowell, Samuel W., "Just-in-Time Project Management", *IIE Solutions* (abril 2001): pp. 30-33.
- Render, B., R. M. Stair y M. Hanna, *Quantitative Analysis for Management*, 9.^a ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall (2006).
- Render, B., R. M. Stair y R. Balakrishnan, *Managerial Decision Modeling with Spreadsheets*, 2.^a ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall (2006).
- Shtub, A. F. et al., *Project Management*, 2.^a ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall (2005).
- Sinason, D. H., J. E. McEldowney y A. S. Pinello, "Improving Audit Planning and Control with Project Management Techniques", *Internal Auditing* (nov.-dic. 2002): pp. 12-17.
- Vanhoucke, M. y E. Demeulemeester, "The Application of Project Scheduling Techniques in a Real-Life Environment", *Project Management Journal* (marzo 2003): pp. 30-43.



RECURSOS EN INTERNET

AE-Business Solutions for project management:

www.eprojectcentral.com

PERT Chart EXPERT is an add-on product for Microsoft

Project that adds extensive PERT charting:

www.criticaltools.com

PERT Chart and WBS Chart add-on products for Microsoft

Project:

www.criticaltools.com/

Project Management Forum:

www.pmforum.org

Project Management Institute, Inc.:

www.pmi.org

Project Management Software:

www.project-management-software.org

Project Management Today:

www.projectnet.co.uk/pm/pmt/pmt.htm

Project workspace for the construction industry:

www.buzzsaw.com

Project time collection:

www.journeyx.com