

## GUÍA DE APRENDIZAJE - TEMA 6 GESTIÓN DEL TIEMPO

### Objetivos:

Ampliar los conocimientos básicos, ya presentados en el tema 4, sobre la gestión de los tiempos en los proyectos.

Aprender a utilizar las principales técnicas empleadas en ingeniería del software para gestionar el tiempo de un proyecto.

Conocer los métodos más conocidos para representar gráficamente el calendario de un proyecto.

### Índice:

1. Introducción.
2. Definición de Actividades.
3. Secuenciación.
  - 3.1. Diagramas en Red de Proyectos.
4. Estimación de la duración.
5. Desarrollo del calendario.
  - 5.1. Método PERT.
  - 5.2. Método CPM.
  - 5.3. CPM con compresión de la duración.
6. Representaciones del calendario.
7. Control del Calendario

### Bibliografía utilizada:

PIA	Piattini, M.G. et al, <i>Análisis y Diseño Detallado de Aplicaciones Informáticas de Gestión</i> . Ed Ra-Ma	Cap. 5
PMI	Project Management Institute, <i>A Guide to the Project Management Body of Knowledge</i> . Version 2004.	Cap. 6
ROM	Romero, C., <i>Técnicas de Programación y Control de Proyectos</i> .	Caps. 1, 2, 4.
USC	University of South Carolina. Critical Path Method (CPM). <a href="http://hadm.sph.sc.edu/Courses/J716/CPM/CPM.html">http://hadm.sph.sc.edu/Courses/J716/CPM/CPM.html</a> (revisado el 30/03/06).	Pgs. 1-20

### Bibliografía complementaria:

- Gaffney, J.E., How to Estimate Software Project Schedules. En *Software Management*, 5<sup>th</sup> edition. IEEE Computer Society, 1997.
- Roetzheim, W.H., Beasley, R.A. *Software Project Cost & Schedule Estimating. Best Practices*. Prentice Hall, USA 1998.

### NOTAS DE USO:

- Se indica la referencia de la bibliografía básica (siglas y número de página). Ejemplo: GIL-9/10 significa páginas 9 a 10 de la referencia GIL (ver tabla de bibliografía básica).
- Las transparencias que corresponden se indican entre corchetes. Ejemplo: [T13].
- Se incluyen Ejercicios para realizar por parte de los alumnos. Se identifican con el símbolo ➤.

**Contenido:**Introducción

[T5]

- MAPA DEL TEMA RESPECTO A PMBOK.
- Lugar que ocupan en el marco PMI de Gestión de Proyectos los conceptos, técnicas y herramientas del tema:

PMBOK 2004			Contenidos del Módulo
Área	Proceso	Grupo	C=conceptos, T=técnicas y herramientas, S=salidas, N =normas y estándares
Gestión de Tiempos	Definición de las Actividades	Planificación	S: Lista de Actividades C: Restricciones y Asunciones
	Establecimiento de la Secuencia	Planificación	C: Tipos de Dependencias entre Actividades C: Tipos de Precedencia entre Actividades T: Diagramas de Precedencia s T: Diagramas de Flechas
	Estimación de Recursos	Planificación	S: Requisitos de Recursos de las Actividades S: Estructura de Desglose de Recursos T: Juicio de Expertos T: Software de Gestión de Proyectos
	Estimación de la Duración	Planificación	T: Juicio de Expertos T: Estimación por Analogía T: Simulación Montecarlo
	Desarrollo del Cronograma	Planificación	T: Método del Camino Crítico (PERT; CPM) T: Compresión del Cronograma O: Representación del Calendario (Gantt, Hitos,..)
	Control del Cronograma	Seguimiento y Control	T: Análisis de Variación

C: conceptos que amplían y extienden lo comentado del proceso en el tema 4, pero ahora particularizando en proyectos informáticos y especialmente proyectos software (PS).

T: técnicas y herramientas útiles en el proceso.

S: salidas, es decir, resultados del proceso.

Definición de Actividades

PMI-127-130, [T6]

- Este proceso consiste en identificar y documentar las actividades específicas que deben realizarse para producir los diversos entregables (estos entregables son los definidos en la Gestión del Alcance mediante WBS, WFD, etc.), es decir, para alcanzar los objetivos del proyecto.
- En ingeniería del software (estándares ISO, etc.) las actividades se consideran formadas por *tareas*.
- Para realizar la definición de las actividades es necesario tener en cuenta las restricciones y asunciones a que está sometido el proyecto.

- Lista de Actividades: entregable del proceso. Debe incluir todas las actividades que deberán ser realizadas en el proyecto y sólo las del proyecto. Deberá incluir descripciones de cada actividad para que el equipo comprenda el trabajo que debe realizarse.

PMI-127, [T7]

- *Restricciones*: son factores que limitarán las opciones del equipo del proyecto. Existen dos categorías de restricciones que afectan a la definición del calendario:
  - Fechas impuestas: ciertos entregables deben estar completados en una fecha determinada por requerimientos del cliente u otros factores externos.
  - Eventos clave o hitos principales: puede ser necesario que ciertos entregables deban estar completados en una fecha determinada. Una vez planificada la fecha puede cambiarse, pero con mucha dificultad.
- *Asunciones*: son factores que, para propósitos de planificación, serán considerados como verdaderos, ciertos o reales. En general, las asunciones suponen un cierto grado de riesgo por lo que suelen ser determinadas como una de las salidas en el proceso de identificación de riesgos.

**NOTA IMPORTANTE:** Esta actividad ya se realiza al aplicar la técnica de descomposición estructurada de proyectos (DEP) basada en diagramas de flujo de trabajo (DFT) del tema 5.

#### Establecimiento de la Secuencia de Actividades

PMI-132-134, [T8]

Consiste en establecer la secuencia temporal en que serán realizadas las actividades. Para ello se procede a identificar y documentar las *dependencias* entre los trabajos a realizar en dichas actividades. Los hitos también deberán ser tenidos en cuenta.

Herramientas y técnicas:

- Método de Diagramación por Precedencia (PDM)
  - Nodos → Actividades
  - Arcos → Dependencias
- Método de Diagramación por Flechas (ADM)
  - Nodos → Dependencias
  - Arcos → Actividades
- Plantillas del Cronograma
- Redes Cronograma
- Determinación de Dependencias
  - Dependencias Obligatorias/ Discrecionales/ Externas
- Aplicación de Adelantos y Retrasos
  - Dependencias pueden requerir un adelanto o un retraso
  - El uso de adelantos y retrasos, y sus asunciones relacionadas están documentados.

PMI-133/134 [T9]

- Existen tres clases de dependencias:
  - *Obligatorias*: son inherentes a la naturaleza del trabajo a realizar. Por ejemplo, no puede probarse un módulo software si antes no se ha escrito.
  - *Discrecionales*: son definidas por el equipo del proyecto. Deben ser utilizadas con cuidado y bien documentadas ya que pueden suponer restricciones al calendario. Suelen definirse a partir del conocimiento sobre:
    - las mejores prácticas sobre cierto tema,
    - una secuencia específica es preferible por razones especiales.

- *Externas*: vienen determinadas por relaciones entre actividades del proyecto y otras que no pertenecen al proyecto.

**NOTA IMPORTANTE:** Esta actividad ya se realiza al aplicar la técnica de descomposición estructurada de proyectos (DEP) basada en diagramas de flujo de trabajo (DFT) del tema 5. Debe resaltarse que la técnica del tema 5 sólo considera las dependencias basadas en los entregables que son salida de una actividad y entrada de otra. Por tanto, otros tipos de dependencias no se incluyen.

### Diagramas en Red de Proyectos

#### PMI-130 [T10]

- El resultado del proceso de secuenciación de actividades suele entregarse en forma de *Diagrama en Red del Proyecto* (DRP): una visión esquemática de las actividades del proyecto y las dependencias entre ellas.
- Existen dos tipos básicos de técnicas para construir el DRP:
  - PDM (Precedence diagramming method),
  - ADM (Arrow diagramming method), y
- Otro método para secuenciación es: CDM (Conditional diagramming methods).

#### PMI-131-132, [T12]

- PDM: Método de Diagramación de Precedencias.
- Consiste en construir un DRP utilizando nodos para representar las actividades y conectándolas con flechas que representan las dependencias, [T9]
- Es el método más utilizado (es el caso de los DFT del tema 5).
- Si una actividad A precede a otra B, existen 4 tipos de relaciones de precedencia:
  - Acabar-para-empezar: la actividad A debe concluir antes de poder comenzar la B.
  - Acabar-para-acabar: la actividad A debe haber concluido antes de poder concluir también la B.
  - Empezar-para-empezar: la actividad A debe comenzar antes que la B.
  - Empezar-para-acabar: la actividad A debe haber comenzado antes de poder concluir la B.
- En la técnica DEP-DFT sólo se consideran las primeras, pero en la mayoría de los proyectos software con ellas es suficiente.
- La última no se utiliza prácticamente nunca en proyectos software.
- La técnica DEP-DFT se pueden considerar una extensión de PDM (al usar DFT's) combinada con WBD.

#### PMI-132-133, [T13]

- ADM: Método de Diagramación por Flechas.
  - Construir un DRP utilizando flechas para representar las actividades y nodos para indicar las dependencias entre actividades.

#### [PMI versión 2000, pg. 70]

- Otros métodos: CDM: Métodos de Diagramación Condicional.
  - Permiten estructuras de control diferentes a la secuencia: bucles y bifurcaciones.
  - Los más conocidos son:
    - GERT (Graphical Evaluation and Review Technique)
    - Modelos de Sistemas Dinámicos

### Estimación de recursos

#### PMI-135.

La estimación de recursos de las actividades del cronograma involucra determinar cuáles son los recursos (personas, equipos, o material) y qué cantidad de cada recurso se utilizará, y cuándo estará disponible cada recurso para realizar las actividades del proyecto. El proceso Estimación de Recursos de las Actividades se coordina estrechamente con el proceso Estimación de Costes que veremos en el tema 8.

#### PMI-138, [T15]

##### Salidas.

- Requisitos de Recursos de las Actividades. Identificación y descripción de los tipos y las cantidades de recursos necesarios para cada actividad del cronograma de un paquete de trabajo. Estos requisitos pueden sumarse para determinar los recursos estimados para cada paquete de trabajo.
- Estructura de Desglose de Recursos. Estructura jerárquica de los recursos identificados por categoría y tipo de recurso.
- Calendario de Recursos (Actualizaciones). Calendarios generales y específicos.

#### PMI-137, [T16]

- Juicio de Expertos (lo veremos en detalle en estimación duración).
- Análisis de Alternativas. Muchas actividades del cronograma cuentan con métodos alternativos de realización (uso de distintos niveles de capacidad o habilidades de los recursos, diferente tamaño o tipo de máquinas, diferentes herramientas) y la decisión de fabricación propia o compra a terceros con respecto al recurso
- Software de Gestión de Proyectos. Planificar, organizar y gestionar los conjuntos de recursos, y de desarrollar estimaciones de recursos.
- Estimación Ascendente. estiman las necesidades de recursos de cada una de las partes inferiores y más detalladas del trabajo, y estas estimaciones se suman luego en una cantidad total para cada uno de los recursos de la actividad del cronograma.

### Estimación de la duración

#### PMI-139/142, [T18]

- Consiste en estimar el número de períodos de trabajo (horas, días, semanas) que serán necesarios para completar cada actividad.
- La duración de una actividad está determinada por cuatro factores:
  - El volumen de trabajo a realizar,
  - La cantidad de recursos necesarios,
  - La disponibilidad de dichos recursos, y
  - La productividad en la utilización de los recursos.
- En el caso de proyectos software el recurso fundamental es la mano de obra de ingenieros software, analistas, programadores u otros miembros del equipo. En la mayoría de los proyectos software, los demás recursos tienen una influencia despreciable en los costes. La duración dependerá de:
  - El tamaño/complejidad del producto software (las métricas correspondientes no se estudiarán en la asignatura),
  - El número de personas disponibles,

- La disponibilidad de dichas personas (% de jornada dedicado a la actividad), y
- La productividad de las personas.
- Ejemplo, para desarrollar un módulo software de un tamaño de 20000 LDC, con un equipo de desarrolladores que tiene una productividad media histórica de 200 LDC/(día y persona) se necesitan 100 días/persona. En función del número de personas y su disponibilidad, se podría realizar de varias formas:
  - 100 días de 1 programador a dedicación completa, o
  - 50 días de 2 programadores a jornada completa, o
  - 200 días de 1 programador a media jornada, o ...

**NOTA:** Las métricas para determinar el tamaño o complejidad de un producto software (**estimación de costes del software**) y para determinar la productividad de los desarrolladores de software se estudian en otro tema de esta asignatura.

[T19]

Referencias para ampliar el estudio sobre la estimación de los costes y tiempos en proyectos software:

GAF	Gaffney, J.E., How to Estimate Software Project Schedules. En <i>Software Management, 5<sup>th</sup> edition</i> . IEEE Computer Society, 1997.	Pgs. 257/266
PIA	Piattini, M.G. et al, <i>Análisis y Diseño Detallado de Aplicaciones Informáticas de Gestión</i> . Ed Ra-Ma	Cap. 5
ROE	Roetzheim, W.H. & Beasley, R.A., Software Project Cost & Schedule Estimating. Best Practices. Ed. Prentice-Hall, USA 1998. (incluye CD)	Cap. 6

PMI-141/142, [T20]

- Técnicas para estimación de la duración:
  - Juicio de Expertos
  - Estimación por Analogía. Utiliza la duración real de una actividad de un proyecto similar anterior como base para una estimación futura
  - Utiliza información histórica y el juicio de expertos. Es más fiable cuando las actividades previas son similares de hecho y no sólo en apariencia, y los miembros del equipo tienen la experiencia necesaria.
  - Estimación Paramétrica Estimación de la base de duración actividades multiplicando la cantidad de trabajo a realizar por el ratio de productividad.
  - Estimación de tres Valores (Más probable / Optimista / Pesimista)
  - Análisis de Reserva. Tiempo adicional (reservas para contingencias) para gestión de riesgos del cronograma
  - Simulación (Montecarlo), (ver T22 )

PIA-114/116, [T21]

- *Juicio de expertos*: Técnica Delphi
- Es una técnica para recoger la opinión de los expertos intentando evitar el riesgo de que el resultado final esté determinado por las personas más influyentes. Consiste en los siguientes pasos:
  - 1) El Director del proyecto (DP) proporciona a cada experto una especificación del proyecto y un impreso a rellenar.
  - 2) El DP reúne a los expertos para que intercambien puntos de vista.
  - 3) Los expertos rellenan el impreso de forma anónima.

- 4) El DP ofrece a cada experto un resumen con su estimación y la media de todos los expertos. Se les pide que hagan otra estimación anónima sin decirles la razón.
  - 5) El DP convoca una reunión para que los expertos discutan las razones de las diferencias entre sus estimaciones.
  - 6) Los expertos rellenan de nuevo los impresos.
  - 7) Si existe suficiente consenso entre las estimaciones, se acaba. En caso contrario se vuelve al punto 4).
- **Ejercicio:** Formar grupos de 4 a 7 alumnos y aplicar la técnica Delphi al caso planteado por el profesor. Analizar y comparar los resultados obtenidos por los diversos grupos para extraer conclusiones.

### Desarrollo del Calendario

#### PMI-143/144, [T24]

- Determinar las fechas (reales) de comienzo y fin de cada actividad del proyecto.
- Las entradas (inputs) necesarias para este proceso son:
  - Diagrama en red (lista de actividades y sus dependencias),
  - Estimaciones de duración de las actividades, y
  - Requerimientos de recursos en cada actividad.
- Tipos de Calendarios:
  - Calendario del proyecto: afecta a todos los recursos .
  - Calendarios de recursos: se refieren a un recurso o categoría de recursos específicos (por ejemplo: una persona, todo el equipo del proyecto, utilización de una máquina en el proyecto, etc.).

#### PMI-145/148, [T25]

- Técnicas para desarrollar el calendario:
- *Análisis Matemático*: cálculo mediante fórmulas matemáticas de las fechas teóricas de comienzo y fin de cada actividad sin tener en cuenta restricciones en la disponibilidad de los recursos,
- *Compresión de la duración*: subconjunto de técnicas de análisis matemático cuyo objetivo es reducir la duración global del proyecto sin reducir su alcance. Estas técnicas pueden ser de dos clases:
  - De choque: análisis de los costes y tiempos para determinar cómo obtener la mayor compresión (reducción del tiempo total) con el menor incremento en los costes.
  - De rastreo rápido: realizar en paralelo actividades que deberían realizarse en secuencia, por ejemplo, empezar a escribir código antes acabar el diseño de un software; implican un aumento de los riesgos.
- *Simulación* (Monte Carlo), [ejemplo: ver T22] y
- *Nivelación heurística de los recursos*: se aplica a los resultados obtenidos en los métodos matemáticos para adecuar el calendario a restricciones en la disponibilidad de los recursos. Por ejemplo, concentrando recursos escasos en las actividades que forman parte del camino crítico. Una técnica concreta de este tipo es RCS (Resource Constrained Scheduling)

- **Ejercicio:** Empleando físicamente uno o varios trozos de tiza y la pizarra del aula, pensar una metáfora visual que explique gráficamente la utilidad de los métodos de simulación de Monte Carlo al caso de calcular el área de una superficie completamente irregular (por ejemplo, la dibujada por el profesor).

[PMI versión 2000, pg. 75 [T26]

- Análisis Matemático:.. Los métodos más conocidos son:
  - CPM (Critical Path Method): basado en calcular la lista de actividades que tienen menor flexibilidad en su calendario, es decir, sus fechas de comienzo y fin son más rígidas (camino crítico) ya que un retraso en una de dichas actividades implica obligatoriamente un retraso en la duración total del proyecto.
  - GERT (Graphical Evaluation and Review technique): permite el tratamiento probabilístico de la lógica de la red del proyecto (bifurcaciones, bucles) y de la estimación de la duración de las actividades (actividades que se pueden realizar parcialmente, actividades que se realizan varias veces, etc.).
  - PERT (Program Evaluation and Review Technique): permite realizar una estimación de la duración total de un proyecto a partir de la secuencia de actividades y de una estimación ponderada de la duración media de cada una.

ROM-55/56 [T27]

- Comparación PERT vs CPM:
- Aunque CPM y PERT tuvieron un origen completamente diferente, resultan idénticas en sus aspectos esenciales. Las diferencias son:
- Al calcular la duración de cada actividad, PERT utiliza una media ponderada de tres valores (lo que permite un tratamiento probabilístico) en lugar del valor más probable empleado en CPM.
- Otra diferencia está en la distinta notación utilizada:

Notación PERT	Notación CPM
Suceso	Nodo
Actividad	Trabajo
Holguras	Flotantes
Tiempo 'early'	Tiempo más bajo de iniciación
Tiempo 'late'	Tiempo más alto de iniciación

PIA-102, [T28]

- Criterios para utilizar las técnicas PERT/CPM:
  1. La red debe tener al menos 20 actividades. En casos más pequeños es aconsejable utilizar otras técnicas de desarrollo del calendario más sencillas (Gantt, Hitos, ...).
  2. Si la red incluye más de 100 sucesos (o nodos) es necesario utilizar alguna herramienta de gestión de proyectos.
  3. Los proyectos es los que es más recomendable utilizar las técnicas PERT/CPM son los que tienen las siguientes características:
    - Muy críticos,
    - De alto riesgo o incertidumbre,
    - Que participan muchas personas u organizaciones,
    - Técnicamente complejos, o
    - Con actividades dispersas geográficamente.

### Método PERT

## PIA-103/112, [T29]

- Las etapas de la técnica PERT son:
  1. Elaboración del grafo (diagrama de flechas tipo ADM).
  2. Ordenación del grafo por niveles (opcional)
  3. Cálculo de los tiempos PERT.
  4. Cálculo de los tiempos más tempranos posibles ('early').
  5. Cálculo de los tiempos más tardíos posibles ('late').
  6. Cálculo de las holguras (total, libre e independiente).
  7. Determinación del camino crítico.
  8. Definición de fechas.
- Referencias:
  - [PIA], cap. 5
  - [ROM], caps. 1 y 2

## PIA-103, [T30]

- Elaborar el Grafo:
  - En PERT los proyectos se consideran descompuestos en actividades.
  - Las actividades ocurren entre dos sucesos (suceso inicial y suceso final).
  - Un suceso es un acontecimiento temporal (una fecha) que no consume tiempo ni recursos.
  - En el grafo, las actividades se representan mediante arcos (flechas) y los sucesos mediante nodos (círculos).
  - La longitud del arco no tiene relación con la duración de la actividad. Ver figura en [T22]
  - Las relaciones de precedencia entre las actividades son del tipo acabar-para-empezar.
  - Los sucesos deben estar numerados siempre de forma creciente a lo largo de cualquiera de los caminos.

## PIA-103/106, [T31]

- Las relaciones de precedencia pueden venir expresadas en:
  - un diagrama tipo PDM (por ejemplo, un DFT),
  - una matriz de encadenamientos (figura superior), o
  - un cuadro de relaciones de precedencia (figura inferior).

## PIA-103/104, [T32]

Tipos de relaciones de precedencia: lineales, convergentes y divergentes.

## [T33]

- Conflictos: determinadas combinaciones de precedencias no se pueden representar directamente y es necesario incluir en el grafo actividades ficticias (duración 0 y costes 0).
- **Ejercicio:** Pensar un caso sencillo, distinto del ejemplo de las transparencias, de situación que obligue a tener que emplear una actividad ficticia en un diagrama PERT.

## PIA-106/108, [T35]

Ordenación del grafo por niveles:

- Facilita la comprensión del grafo, así como la posterior realización de cálculos.
- Se utiliza el algoritmo de Demoucron:
  1. Construir la matriz M (de orden nxn) asociada al grafo de n sucesos, asignando un '1' al elemento  $a_{ij}$  si existe una actividad (un arco) del suceso i al suceso j y un '0' en caso contrario.
  2. Construir un vector columna V1, cuyos elementos son  $V1(i) = \sum_{j=1}^{j=n} a_{ij}$ .

3. Los elementos de V1 que sean cero, indican los sucesos que constituyen el último nivel del grafo (nivel k).
4. Construir otro vector columna V2, cuyos elementos se obtienen restando a los de V1 los elementos homólogos de la(s) columna(s) que corresponde(n) a los sucesos que en V1 toman el valor 0. Si minuendo y sustraendo son 0, entonces se escribe una 'X' en vez de 0.
5. Los elementos de V2 que sean cero, indican los sucesos que constituyen el penúltimo nivel del grafo (nivel k-1).
6. Se repiten iterativamente los pasos 4 y 5 con vectores columnas V3, V4, etc. que determinan los sucesos de los niveles k-2, k-3, etc. hasta llegar al suceso inicial que estará en el nivel 1.

PIA-103/108, [T34], [T36]

- Aplicación del algoritmo de Demoucron al grafo de la figura en [T34]
- Matriz asociada y vectores columnas ([T36] superior),
- Grafo ordenado en niveles ([T36] inferior).

PIA-108, [T37]

Cálculo de los tiempos PERT:

- Para cada actividad se consideran tres tiempos (estimados previamente):
- Estimación de tiempo pesimista ( $T_p$ ): tiempo máximo en el que podría finalizarse la actividad si aparecen todas las circunstancias negativas posibles.
- Estimación de tiempo optimista ( $T_o$ ): tiempo mínimo si no surge ningún problema durante la ejecución de la actividad.
- Estimación de tiempo más probable ( $T_n$ ): tiempo normal de duración de la actividad.
- Para cada actividad se calcula el tiempo PERT ( $T_d$ ) y la varianza ( $V$ ):  $T_d = \frac{T_p + 4T_n + T_o}{6}$

$$V = \frac{T_p - T_o}{6}$$

PIA-109/110, [T38]

Cálculo de los tiempos 'early' y 'late':

- El tiempo 'early' del suceso j es:  $TE_j = \max[TE_i + T_{ij}] , \forall i$
- Se calcula sumando los tiempos early de los sucesos inmediatamente anteriores al j (aquellos en los que nace una actividad que acaba en j) y la duración de la actividad ( $T_{ij}$ ); y eligiendo el valor máximo.
- El tiempo early del primer suceso es siempre 0:  $TE_1=0$ .
- Los demás tiempos early se calculan en orden ascendente de sucesos.
- El tiempo 'late' del suceso i es:  $TL_i = \min[TL_j - T_{ij}] , \forall j$
- Se calcula restando a los tiempos late de los sucesos inmediatamente posteriores al i (aquellos en los que acaba una actividad que nace en i) la duración de la actividad ( $T_{ij}$ ); y eligiendo el valor mínimo.
- El tiempo late del último suceso coincide con su tiempo early.
- Los demás tiempos late se calculan en orden descendente de sucesos.

PIA-109/110, [T39] [T40] [T41]

- Ejemplo: en grafo de [T34] con los siguientes tiempos PERT:

Actividad:	A	B	C	D	E	F	G	H
Duración:	8	5	6	5	6	7	9	3

- $TE_1=0$ ;  $TE_2=\max[0+8]=8$ ; ...;  $TE_6=\max[14+7, 13+6] = 21$ ;  $TE_7 = \max[13+9, 21+3] = 24$ ;

- $TL_7=24$ ;  $TL_6=\min[24-3]=21$ ; ...;  $TL_2=\min[15-5, 14-6, 15-5]=8$ ;  $TL_1=\min[8-8]=0$ ;

PIA-111/112, [T41]

Cálculo de las Holguras:

- Holgura de un suceso  $i$  :  $Hi = TLi - TEi$ 
  - Indica el número de unidades de tiempo en las que se puede retrasar la realización sin que aumente la duración total del proyecto.
  - Ejemplo:  $H_3 = 15 - 13 = 2$
- Holgura total de una actividad que une el suceso  $i$  con el  $j$ :  $HTij = TLj - TEi - Tij$ 
  - Representa las unidades de tiempo que puede retrasarse la realización de la actividad con respecto al tiempo PERT previsto sin que aumente la duración del proyecto.
  - Ejemplo:  $HT_{36} = 21 - 13 - 6 = 2$
- Holgura libre de una actividad  $ij$ :  $HLij = TEj - TEi - Tij$ 
  - Representa la parte de la holgura total que puede consumirse sin que afecte a las siguientes actividades.
  - Ejemplo:  $HL_{36} = 21 - 13 - 6 = 2$
- Holgura independiente de una actividad  $ij$ :  $HIij = TEj - TLi - Tij$ 
  - Representa la cantidad de holgura disponible si todas las actividades han comenzado en sus tiempos 'late'.
  - Ejemplo:  $HI_{36} = 21 - 15 - 6 = 0$

PIA-111/112, [T42] [T43]

Determinación del camino crítico

- Suceso crítico: aquel que tiene una holgura de 0.
  - Ejemplo: 1, 2, 4, 6 y 7.
- Actividades críticas: su holgura total es 0.
  - Ejemplo: A, C, F, H
  - Las actividades críticas tienen sucesos inicial y final crítico.
- Camino crítico: está formado por todas las actividades críticas.
  - Pueden existir varios caminos críticos.
  - Cualquier retraso en una actividad crítica afecta a todo el proyecto.
  - Si una actividad no crítica consume entera su holgura total se convierte en crítica y se crea un nuevo camino crítico.
- Duración total del proyecto: se puede calcular de dos maneras:
  - A) tiempo early (o late) del último suceso; o
    - $DTP = TE_7 = TL_7 = 24$
  - B) suma de las duraciones de las actividades críticas.
    - $DTP = T(A) + T(C) + T(F) + T(H) = 8 + 6 + 7 + 3 = 24$

ROM-52/55, [T44]

- Definición de fechas:
- Para cada actividad  $ij$  se establecen cuatro fechas relativas:
  - Fecha de comienzo más temprana:  $FCEij = TEi$
  - Fecha de comienzo más tardía:  $FCLij = TEi + HTij = TLj - Tij$
  - Fecha de finalización más temprana:  $FFEij = TEi + Tij$
  - Fecha de finalización más tardía:  $FFLij = TLj$
- Ejemplo: para la actividad E de [T34] con inicio del proyecto el 7-enero-2006, y sin tener en cuenta que puedan haber días no laborales:
  - $FCE_{36} = FIP + TE_3 = 13$  (20-enero-2006)
  - $FCL_{36} = TL_6 - T(E) = 21 - 6 = 15$  (22-enero-2006)

- $FFE36 = TE3 + T(E) = 13 + 6 = 19$  (26-enero-2006)
- $FFL36 = TL6 = 21$  (28-enero-2006)
- En una actividad crítica, las fechas de comienzo más temprana y más tardía coinciden.

### Método CPM

[T45]

- Las etapas de la técnica CPM pura son:
  1. Elaborar el grafo (diagrama de flechas tipo ADM).
  2. Construir la matriz de caminos posibles.
  3. Calcular los tiempos totales de cada camino.
  4. Identificar del camino crítico.
  5. Definir las fechas.
- Referencias:
  - [USC], web, pgs 1-20.
- Variantes:
  - Compresión de la Duración.

USC-2, [T46]

- Elaborar el grafo:
- Es igual que en PERT.
- Los nodos se identifican por un numero.
- Si  $i < j$  significa que el nodo  $i$  precede al  $j$ .
- Las actividades sin predecesor tienen su origen en el nodo 1.
- Las actividades sin sucesor tienen su final en el último nodo (el de mayor número).
- Ver figuras en [T46]

USC-4/5, [T47]

- Construir matriz de caminos posibles:
- Tantas columnas como actividades.
- Una fila por cada camino posible.
- Los elementos  $a_{ij}$  valen '1' si la actividad  $j$  forma parte del camino posible  $i$ , y '0' en caso contrario.
- Ver figuras en [T47]

Actividad:	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Nodo inicial:	1	1	2	2	2	4	5	3	6	7
Nodo final:	2	3	4	5	3	7	7	6	7	8
Tiempo:	5	1	2	3	2	3	4	2	1	1
<hr/>										
Camino 1:	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1
Camino 2:	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
Camino 3:	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1
Camino 4:	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1

- Los caminos posibles son:
  - C1: A C F J
  - C2: A D G J
  - C3: B H I J
  - C4: A E H I J

## USC-5/6, [T48]

- Calcular los tiempos totales de cada camino:
- Duración Total del Camino i : 
$$DTC_i = \sum_{j=1}^{j=n} a_{ij} * T_j$$
  - siendo n el número de actividades,  $a_{ij}$  el elemento de la matriz (camino i, actividad j), y  $T_j$  la duración de la actividad j.
- Ejemplo:
  - $DTC1 = 5+2+3+1 = 11$
  - $DTC2 = 5+3+4+1 = 13$
  - $DTC3 = 1+2+1+1 = 5$
  - $DTC4 = 5+2+2+1+1 = 11$

## USC-6/8, [T48]

- Identificar el camino crítico:
- El Camino Crítico cc es el camino de duración mayor:  $DTC_{cc} \geq DTC_i, \forall i$
- Pueden existir varios caminos críticos (todos ellos con igual duración).
- La duración total del proyecto es la del camino crítico:  $DTP = DTC_{cc}$
- Ejemplo:  $DTP = DTC2 = 13$

CPM con compresión de la duración

## ROM-90, [T49]

- Variante del método CPM.
- Objetivo: *reducir la duración total del proyecto* reduciendo la duración de algunas actividades (a cambio de *aumentar los costes*).
- Para comenzar, para cada actividad se necesitan dos duraciones y dos costes:
- $T_{ij}$  : tiempo normal de ejecución de la actividad ij (coincide con la utilizada antes).
- $C_{ij}$  : coste normal de realizar la actividad ij en el tiempo normal.
- $TM_{ij}$ : tiempo mínimo (crash time) de ejecución de la actividad ij. Es el tiempo imprescindible necesario utilizando los recursos al máximo posible.
- $CM_{ij}$ : coste máximo (crash cost) para realizar la actividad ij en el tiempo  $TM_{ij}$ .

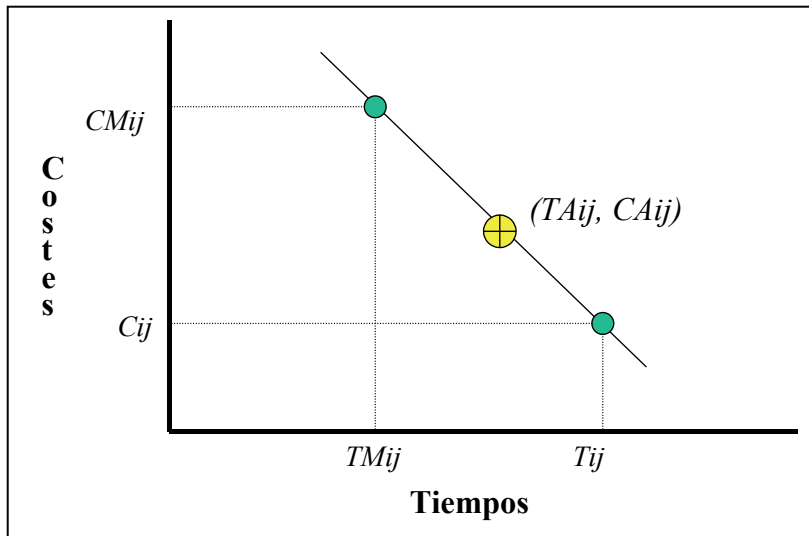
## ROM-90/93, [T50]

- Relación entre duración y costes de una actividad:
- Se considera que existe una relación lineal entre la reducción en la duración de una actividad y el incremento en los costes:

$$CA_{ij} = C_{ij} + \frac{(T_{ij} - TA_{ij})}{(T_{ij} - TM_{ij})} * (CM_{ij} - C_{ij})$$

- siendo:
- $TA_{ij}$  la duración actual de la actividad ij ; y
- $CA_{ij}$  el coste actual (con una duración  $TA_{ij}$ ).

- Ver figura en [T50]



USC-8/20, [T51]

- Las etapas de la técnica CPM con compresión de la duración son:
  1. Elaborar el grafo (diagrama de flechas tipo ADM).
  2. Construir la matriz de caminos posibles.
  3. Calcular los tiempos totales de cada camino.
  4. Identificar del camino crítico.
  5. Calcular costes y duraciones ‘actuales’ en primera aproximación.
  6. Calcular coste total actual en primera aproximación.
  7. Optimizar el coste total actual.
- Comentarios:
  - Las etapas 1-4 son idénticas al CPM puro. Si ya se realizaron los cálculos CPM se puede ir directamente a la etapa 5.
  - Las etapas 5-6 sirven para calcular unos valores iniciales de costes y tiempos que son optimizados mediante técnicas de programación lineal en la etapa 7.
- Referencias:
  - [USC], web, pgs 8-20.

USC-15, [T52]

- Ejemplo:
- Ver grafo en figura [T52]

Actividad:	A	B	C	D	E	F	Dum
Nodo inicial:	1	1	1	2	3	4	2
Nodo final:	2	3	4	5	5	5	3
Tiempo normal:	3	4	5	8	3	5	0
Tiempo mínimo:	2	2	3	6	2	3	0
Coste normal:	3000	4000	5000	5000	3000	4000	0
Coste máximo:	5000	6000	8000	6000	4000	8000	0
<hr/>							
Camino 1:	1	0	0	1	0	0	0
Camino 2:	0	1	0	0	1	0	0
Camino 3:	0	0	1	0	0	1	0

Camino 4:	1	0	0	0	1	0	1
-----------	---	---	---	---	---	---	---

NOTA: Explicar los dos tiempos y dos costes en alguna actividad.

USC-15, [T53]

- Los caminos posibles son:
  - C1: A D
  - C2: B E
  - C3: C F
  - C4: A Dummy E
- Calcular los tiempos totales normales de cada camino:
  - DTNC1 = 3+8 = 11
  - DTNC2 = 4+3 = 7
  - DTNC3 = 5+5 = 10
  - DTNC4 = 3+0+3 = 6
- Identificar el camino crítico:
  - el camino de duración mayor: CC = C1
- La duración total normal del proyecto es la del camino crítico:
  - DTNP = DTNC1 = 11
- El coste total normal del proyecto es:
  - $CTNP = \sum_{k=1}^{k=n} C_k$ 
    - siendo n=número de actividades y Ck=coste normal de la actividad k=ij.
    - En el ejemplo, el coste total normal del proyecto es:
      - CTNP = 3000+4000+5000+5000+3000+4000+0 = 24000

USC-15/16, [T54]

- Duraciones actuales en primera aproximación:
  - Son iguales a las duraciones normales:  $T_{Ak}(1) = T_k$
- Costes actuales en primera aproximación:
  - Aplicando lo anterior a la fórmula en [T50] resulta:  $CA_k(1) = C_k$
- Coste total actual del proyecto:
  - $CTAP = \sum_{k=1}^{k=n} CA_k$ 
    - siendo n=número de actividades y CAk=coste actual de la actividad k.
    - En el ejemplo, el coste total actual en primera aproximación es:
      - CTAP = 3000+4000+5000+5000+3000+4000+0 = 24000
      - Coincide con el CTNP

USC-16, [T55]

- Optimizar el coste total actual:
- Objetivo: Buscar la manera de reducir la duración total del proyecto desde un tiempo DTNP a un tiempo DTAP:  $DTAP \leq DTNP$
- Método: Minimizar el valor de CTAP cambiando las duraciones actuales.
- Solución: Problema de programación lineal típico (método simplex):
  - ¿qué valores de las duraciones actuales  $T_{Ak}$  hacen mínimo el valor de CTAP?
- Restricciones:
  - La duración de una actividad debe ser mayor o igual que la duración mínima:
    - $TM_k \leq T_{Ak}$

- La duración de una actividad debe ser menor o igual que la duración normal (queremos minimizar):
  - $T_{Ak} \leq T_k$
- Todos los caminos tienen un tiempo máximo igual a la nueva duración total del proyecto:
  - $DTAC_k \leq DTAP$

USC-16/17, [T56] [T57]

- Ejemplo de la optimización:
- Con  $DTAP=10$ , utilizando el Solver de Excel se obtiene:

Actividad:	A	B	C	D	E	F	Dum
Tiempo normal:	3	4	5	8	3	5	0
Tiempo mínimo:	2	2	3	6	2	3	0
Coste normal:	3000	4000	5000	5000	3000	4000	0
Coste máximo:	5000	6000	8000	6000	4000	8000	0
<hr/>							
Tiempo actual:	3	4	5	7	3	5	0
Coste actual:	3000	4000	5000	5500	3000	4000	0

- Explicación: la forma más económica de reducir la duración del proyecto de 11 a 10 unidades de tiempo, es reduciendo la duración de la actividad D de 8 a 7 unidades de tiempo, lo que supone un incremento de los costes de dicha actividad, y por tanto, del proyecto en su conjunto, de 500 unidades de coste.
- Nuevos resultados:
  - $DTAC_1=10$ ,  $DTAC_2=7$ ,  $DTAC_3=10$ ,  $DTAC_4=6$
  - Caminos críticos: C1 y C3.
  - Duración total del proyecto:  $DTAP = 10$
  - Coste total del proyecto:  $CTAP = 24500$
- Resumen de las posibles optimizaciones:

DTP:	11	10	9	8
CTP:	24000	24500	26500	30000

- No es posible reducir el tiempo total por debajo de 8, debido a los tiempos mínimos de las actividades:  $DTP(\text{mínima}) = 8$  (el C1 no puede durar menos de  $6+2=8$ ).
- **Ejercicio:** Pensar cómo deberían ser cambiadas las inecuaciones y objetivos de la optimización (ver [T55]) para buscar los costes mínimos aumentando lo menos posible la duración del proyecto.

### Representaciones del Calendario

PMI-150, [T58] [T59]

- El calendario puede representarse en forma gráfica mediante diversas técnicas:
- Diagramas en red incluyendo fechas (ya vistos).
- Diagramas de Hitos [T58]
- Diagramas de Barras (también llamados de Gantt) [T59].
- **Ejercicio:** Dedicar unos minutos fuera de clase a comprobar las distintas maneras que Microsoft Project contempla para representar el calendario.

### Control del Cronograma

PMI-152 [T61]

- Es una parte del proceso Control Integrado de Cambios. Implica:
- Determinar el estado actual del cronograma del proyecto
- Influir sobre los factores que crean cambios en el cronograma
- Determinar que el cronograma del proyecto ha cambiado
- Gestionar los cambios reales a medida que suceden.

Técnicas Relevantes:

- Análisis de Variación. Se hace durante el Seguimiento del cronograma. Se comparan las fechas del cronograma objetivo con las fechas de inicio y finalización reales
- Proporciona información útil para la detección de desviaciones y para la implementación de acciones correctivas en caso de retrasos.
- Diagramas de Barras Comparativos del Cronograma. Muestra gráficamente con dos barras (estado real y estado línea base) dónde el cronograma ha avanzado según lo previsto o dónde se ha producido un retraso. Ver Diagrama de Gantt de Seguimiento (Prácticas)

➤ **Ejercicios:** El alumno debe aprender bien las técnicas PERT, CPM y CPM con compresión. Para ello se recomiendan las siguientes **actividades de aprendizaje:**

- 1) Leer el trabajo “Técnicas de Planificación de proyectos: CPM” (<http://alarcos.inf-cr.uclm.es/doc/pgsi/doc/especiales.htm#t6>). Incluye la explicación detallada de la técnica CPM y su variante con compresión, además de una comparativa con PERT.
- 2) Probar las técnicas mediante las soluciones de los ejercicios 6.1, 6.2 y 6.5 incluidas en Excel en la web.
- 3) Realizar los demás ejercicios propuestos (su entrega al profesor sirve para sumar puntos especiales).