



Ingeniería del Software II

Tema 6

Gestión del Tiempo

Francisco Ruiz, Félix García



Objetivos

- Ampliar los conocimientos básicos ya estudiados sobre la gestión de los tiempos dentro de la gestión de proyectos.
- Conocer las principales técnicas utilizadas en ingeniería del software para gestionar el calendario de un proyecto.
- Estudiar los métodos más conocidos para representar gráficamente el calendario de un proyecto.



Indice

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 básica:

- Piattini, M. et al, Análisis y diseño detallado de Aplicaciones Informáticas de Gestión. Ed. Ra-Ma.
 - Caps. 5 y 6.
- Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge.
 - Cap. 6
- Romero, C., Técnicas de Programación y Control de Proyectos.
 - Caps. 1, 2 y 4.
- University of South Carolina. Critical Path Method (CPM).
<http://hadm.sph.sc.edu/Courses/J716/CPM/CPM.html>



Introducción

Mapa

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



Definición de Actividades

- Proceso: *Identificar y documentar las actividades específicas que deben realizarse* para producir los diversos entregables definidos en la Gestión del Alcance (WBS, WFD).
- 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.



Restricciones y Asunciones

- **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.



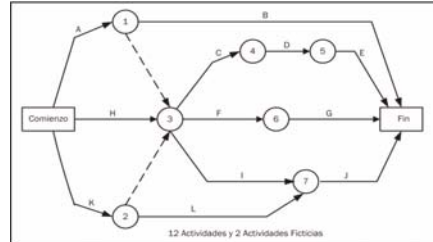
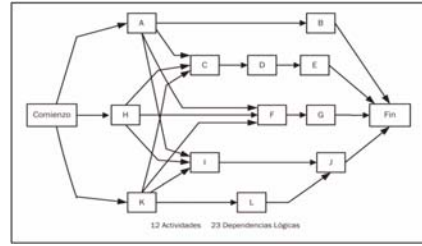
Introducción Mapa

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



Establecimiento de la Secuencia de Actividades 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.



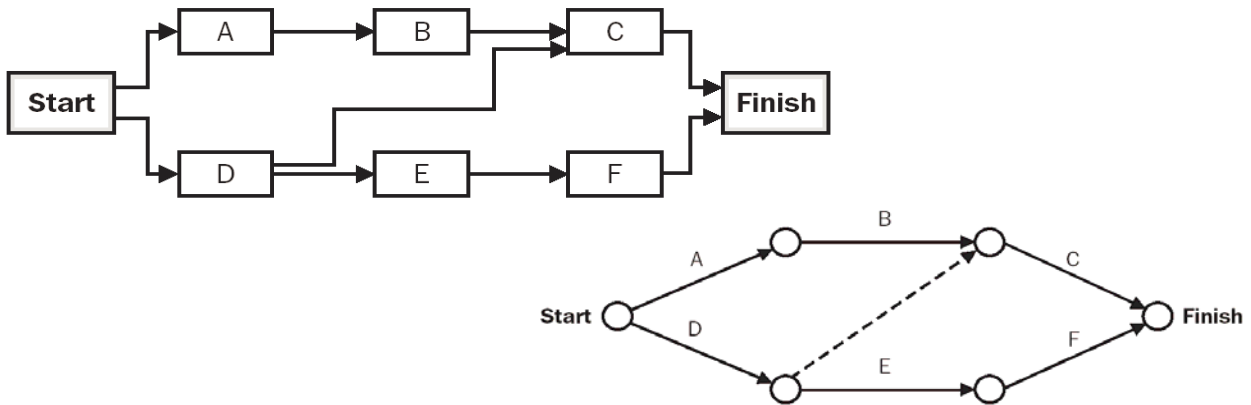
Establecimiento de la Secuencia de Actividades Herramientas y Técnicas

- **Determinación de dependencias (Tipos):**
 - **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.



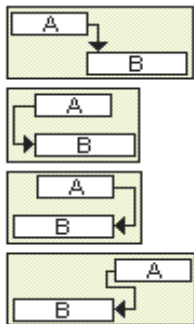
Establecimiento de la Secuencia de Actividades Herramientas y Técnicas

- Diagramas en Red del Proyecto:
 - 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)**, y
 - **ADM (Arrow diagramming method)**
 - Otro tipo de técnica es: **CDM Conditional Diagramming Method**



Establecimiento de la Secuencia de Actividades Herramientas y Técnicas

- Diagramación por Precedencias:
 - Consiste en construir un DRP utilizando **nodos** para representar las **actividades** y conectándolas con **flechas** que representan las **dependencias**.
 - Es el método más utilizado (**DFTs**).
 - 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 (**DEP-DFT**).
 - **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 (no usada en software).
 - Los DFT se pueden considerar una extensión de PDM al combinar con WBD.





Establecimiento de la Secuencia de Actividades Herramientas y Técnicas

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

- **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



Introducción Mapa

PMBOK 2004			Contenidos del Módulo
Área	Proceso	Grupo	<small>C=conceptos, T=técnicas y herramientas, S=salidas, N=normas y estándares</small>
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



Estimación de Recursos 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



Estimación de Recursos Herramientas y Técnicas

- **Juicio de Expertos**
- **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**
 - Se 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.



Introducción

Mapa

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



Estimación de la Duración

Duración de una 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,
 - El **número de personas** disponibles,
 - La **disponibilidad** de dichas personas (% de jornada dedicado a la actividad), y
 - La **productividad** de las personas.



Estimación de la Duración Duración de una Actividad

- Referencias para ampliar el estudio sobre la estimación de los costes y tiempos en proyectos software:
 - Gaffney, J.E., *How to Estimate Software Project Schedules*. En *Software Management*, 5th edition. IEEE Computer Society, 1997.
 - Pgs. 257/266
 - Piattini, M.G. et al, *Análisis y Diseño Detallado de Aplicaciones Informáticas de Gestión*. Ed Ra-Ma
 - Cap. 5
 - Roetzheim, W.H. & Beasley, R.A., *Software Project Cost & Schedule Estimating*. Best Practices. Ed. Prentice-Hall, USA 1998. (incluye CD)
 - Cap. 6



Estimación de la Duración Herramientas y Técnicas

- 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)



Juicio de Expertos (Técnica Delphi)

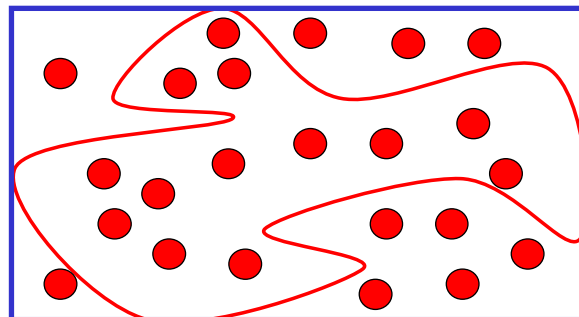
- Técnica para recoger la opinión de los expertos intentando evitar el riesgo de que el resultado final esté determinado por las personas más influyentes. Pasos:
 - 1) El Director del proyecto (DP) proporciona a cada experto una especificación del proyecto y un impreso a rellenar.
 - 2) El DP reúne a 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).



Método de Montecarlo

Estimar Pi

- Ejemplo:
 - Estimar el área de una superficie irreg



Área Rectángulo = 20
Dentro Figura: 13
Fuera: 10

$$\text{Área Estimada Figura} = 20 * 13 / (10 + 13) = 11,30$$



Introducción

Mapa

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



Desarrollo del Calendario

- 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:
 - *Del proyecto:* afectan a todos los recursos .
 - *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.).



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:** técnicas cuyo objetivo es reducir la duración global del proyecto sin reducir su alcance. Pueden ser de dos clases:
 - *De choque:* análisis de los costes y tiempos para determinar cómo obtener la mayor compresión 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), 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.
 - Ejemplo: concentrando recursos escasos en las actividades que forman parte del camino crítico. Una técnica concreta de este tipo es RCS (Resource Constrained Scheduling)



Técnicas para desarrollar el calendario

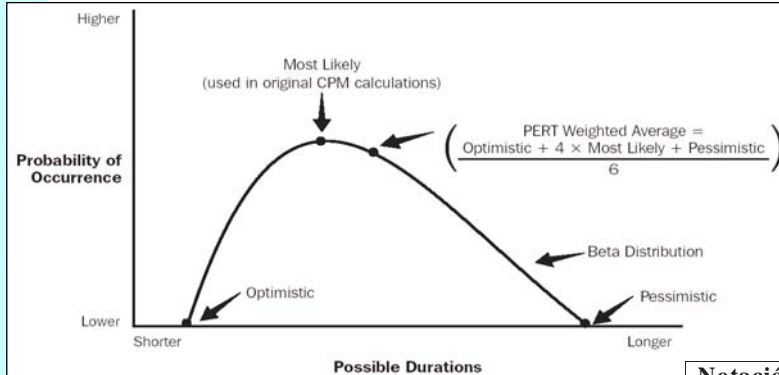
Análisis Matemático

- **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.



Técnicas para desarrollar el calendario PERT vs CPM

- CPM y PERT tuvieron un origen completamente diferente pero son muy similares en sus aspectos esenciales. Diferencias:
 - Al calcular la duración de cada actividad, PERT utiliza una media ponderada de tres valores y CPM sólo el valor más probable



- Distinta notación utilizada:

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



Técnicas para desarrollar el calendario Cuando utilizar 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.



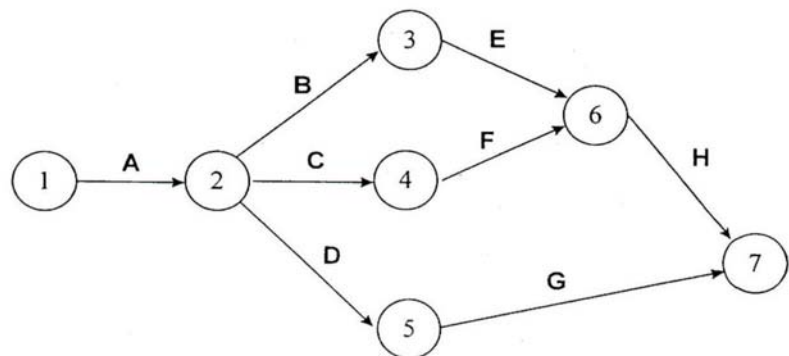
Técnicas para desarrollar el calendario Cuando utilizar PERT / CPM

- Etapas de la técnica PERT:
 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**.



Método PERT Elaboración del Grafo

- En PERT los proyectos se consideran descompuestos en **actividades**.
- Las actividades ocurren entre dos **sucesos** (inicial y final).
- Un **suceso** es un acontecimiento temporal (una fecha) que **no consume ni tiempo ni recursos**.
- **Grafo: Actividades = arcos** (flechas); **Sucesos = nodos** (círculos).
- **La longitud del arco no** tiene relación con la **duración** de la actividad.
- **Relaciones de precedencia** entre las **actividades: Fin-Comienzo**.
- Los **sucesos** deben estar **numerados** siempre de **forma creciente** a lo largo de cualquiera de los caminos.





Método PERT

Elaboración del Grafo

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

	A	B	C	D	E	F	G	H
A								
B	X							
C	X							
D	X							
E		X						
F			X					
G				X				
H					X	X		

Actividades	Actividades Precedentes
A	-
B	A
C	A
D	A
E	B
F	C
G	D
H	E, F



Método PERT

Elaboración del Grafo: Tipos de Relaciones de Precedencia

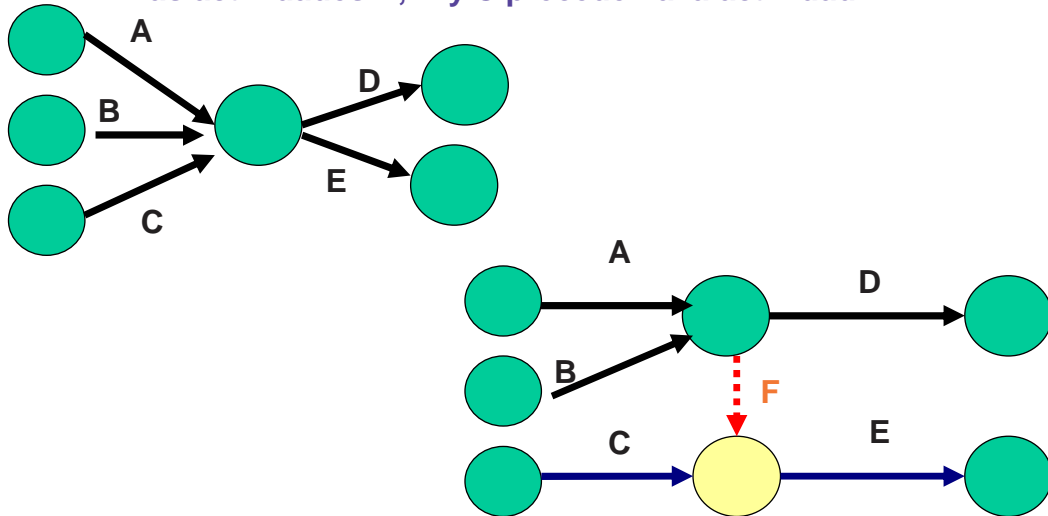
Relaciones de Precedencia Lineales		Para iniciar la actividad B es necesario haber finalizado la actividad A. El suceso 2 es suceso final de A e inicial de B
Relaciones de Precedencia Convergentes		Para iniciar la actividad D es necesario haber finalizado las actividades A, B y C.
Relaciones de Precedencia Divergentes		Para iniciar cualquiera de las actividades B, C y D es necesario que haya finalizado la actividad A



PERT: Elaboración del grafo

- **Conflictos:** determinadas combinaciones de precedencias no se pueden representar directamente y es necesario incluir en el grafo *actividades ficticias* (duración 0 y costes 0)

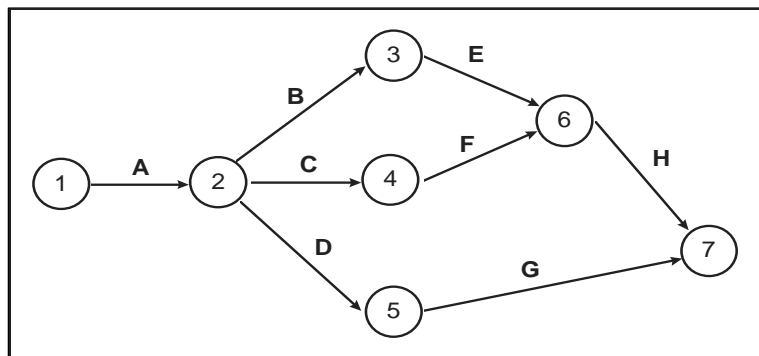
- Las actividades A y B preceden a la actividad D
- Las actividades A, B y C preceden a la actividad E



PERT: Elaboración del grafo

- **PERT.** Ejemplo:
 - Proyecto con actividades: A, B, C, D, E, F y G.
 - Relaciones Precedencia

Actividades	Duración	Actividades Precedentes
A	8	-
B	5	A
C	6	A
D	5	A
E	6	B
F	7	C
G	9	D
H	3	E, F





PERT: Ordenación del grafo por niveles

Algoritmo de Demoucron

- Pasos:

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 $V_1(i) = \sum_{j=1}^n a_{ij}$
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.



PERT: Ordenación del grafo por niveles

Algoritmo de Demoucron

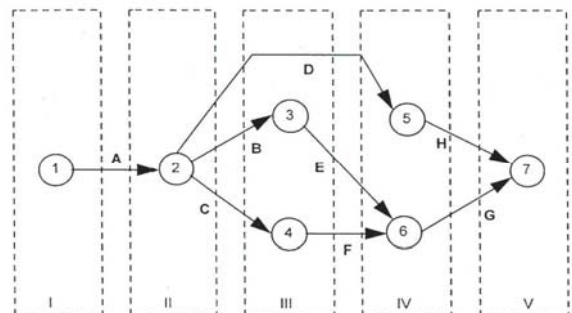
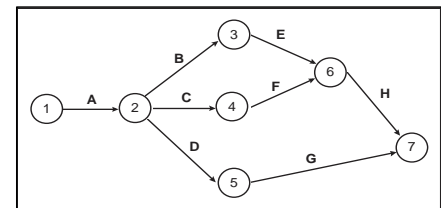
- Ejemplo:

	1	2	3	4	5	6	7	V1	V2	V3	V4	V5
1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
2	0	0	1	1	1	0	0	3	3	2	0	X
3	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	X	X
4	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	X	X
5	0	0	0	0	0	0	1	1	0	X	X	X
6	0	0	0	0	0	0	1	1	0	X	X	X
7	0	0	0	0	0	0	0	0	X	X	X	X

7	5	3	2	1
6	4			

V	IV	III	II	I
---	----	-----	----	---

Niveles





PERT: Cálculo de los tiempos PERT

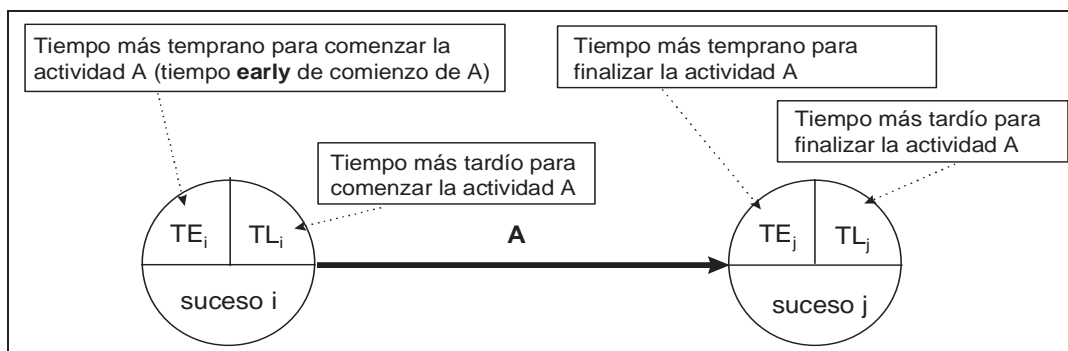
- Para cada actividad se consideran tres tiempos (estimados previamente):
 - Estimación de *tiempo pesimista* (T_p): tiempo máximo en el que podría finalizarse la actividad si aparecen todas las circunstancias negativas posibles.
 - Estimación de *tiempo optimista* (T_o): tiempo mínimo si no surge ningún 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):

$$T_d = \frac{T_p + 4T_n + T_o}{6} \quad V = \frac{T_p - T_o}{6}$$



PERT: Cálculo de los tiempos *early* y *late*

- El tiempo *early* del suceso j (TE_j) es:
 - $TE_j = \max[TE_i + T_{ij}] , \forall i$
 - 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:
 - $TL_i = \min[TL_j - T_{ij}] , \forall j$
 - El tiempo *late* del último suceso coincide con su tiempo *early*.
 - Los demás tiempos *late* se calculan en orden descendente de sucesos.





PERT: Cálculo de los tiempos *early* y *late* (2)

- Ejemplo: grafo anterior con los siguientes tiempos PERT:

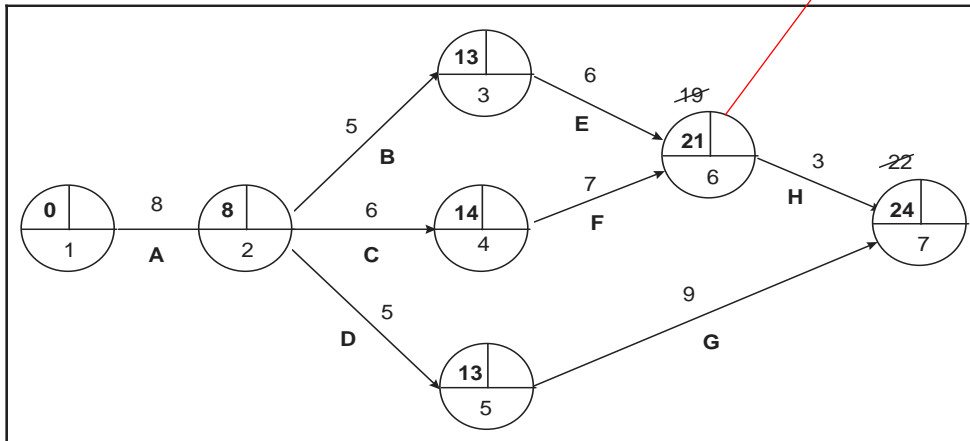
Actividad: A B C D E F G H

Duración: 8 5 6 5 6 7 9 3

Cálculo de los Tiempos Early

$TE_j = \text{Para todo } j: \text{máx} [TE_i + T_{ij}]$

$$TE_6 = \text{máx} [14+7, 13+6] = 21$$



Ruiz & García. G. Tiempo

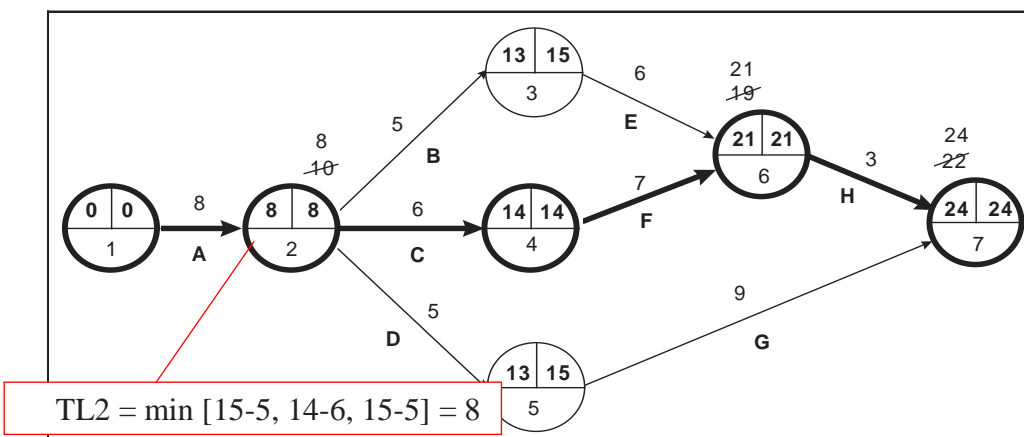
6.39



PERT: Cálculo de los tiempos *early* y *late*

- Cálculo de los Tiempos Late:

$TL_i = \text{Para todo } j: \text{mín} [TL_j - T_{ij}]$



$$TL_2 = \text{mín} [15-5, 14-6, 15-5] = 8$$

Ruiz & García. G. Tiempo

6.40



PERT: Cálculo de las holguras

- Holgura de un **suceso** i : $H_i = TL_i - TE_i$
 - 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 : $HT_{ij} = TL_j - TE_i - T_{ij}$
 - 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 : $HL_{ij} = TE_j - TE_i - T_{ij}$
 - 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 : $HI_{ij} = TE_j - TL_i - T_{ij}$
 - Cantidad de holgura disponible si todas las actividades han comenzado en sus tiempos 'late'.
 - Ejemplo: $HI_{36} = 21 - 15 - 6 = 0$

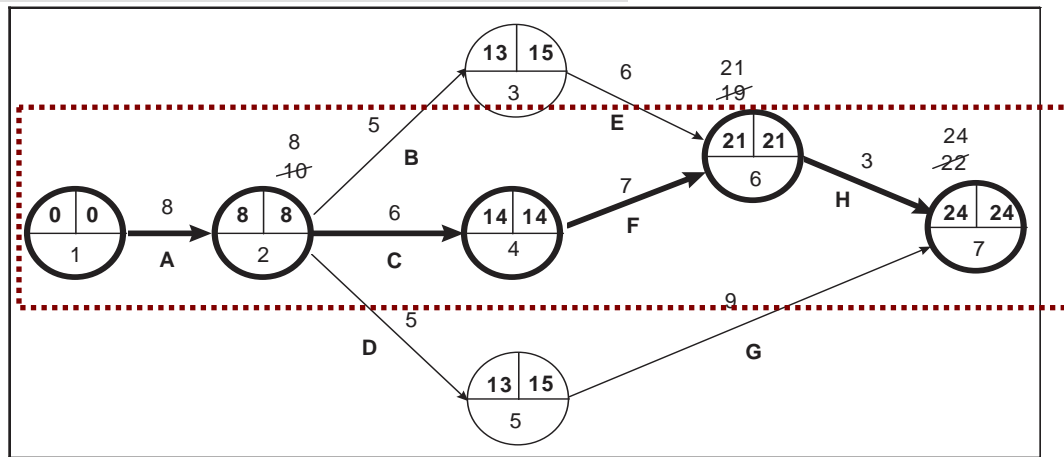


PERT: Determinación del camino crítico

- **Suceso crítico**: aquel que tiene una holgura de 0.
 - Ejemplo: 1, 2, 4, 6 y 7.
- **Actividad crítica**: su holgura total es 0.
 - Ejemplo: A, C, F, H
 - Las actividades críticas tienen sucesos inicial y final críticos.
- **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.



PERT: Determinación del 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.
 - $DTP = T(A) + T(C) + T(F) + T(H) = 8 + 6 + 7 + 3 = 24$



PERT: Definición de las fechas

- Para cada actividad ij se establecen cuatro fechas relativas:
 - Fecha de comienzo más temprana:
 - $FCE_{ij} = TE_i$
 - Fecha de comienzo más tardía:
 - $FCL_{ij} = TE_i + HT_{ij} = TL_j - T_{ij}$
 - Fecha de finalización más temprana:
 - $FCE_{ij} = TE_i + T_{ij}$
 - Fecha de finalización más tardía:
 - $FCL_{ij} = TL_j$
- Ejemplo:
 - para la actividad E de [T34] con inicio del proyecto el 7-enero,
 - $FCE_{36} = FIP + TE_3 = 13$ (20-enero)
 - $FCL_{36} = TL_6 - T(E) = 21 - 6 = 15$ (22-enero)
 - $FCE_{36} = TE_3 + T(E) = 13 + 6 = 19$ (26-enero)
 - $FCL_{36} = TL_6 = 21$ (28-enero)
- En una actividad crítica, las fechas de comienzo más temprana y más tardía coinciden.



Método CPM

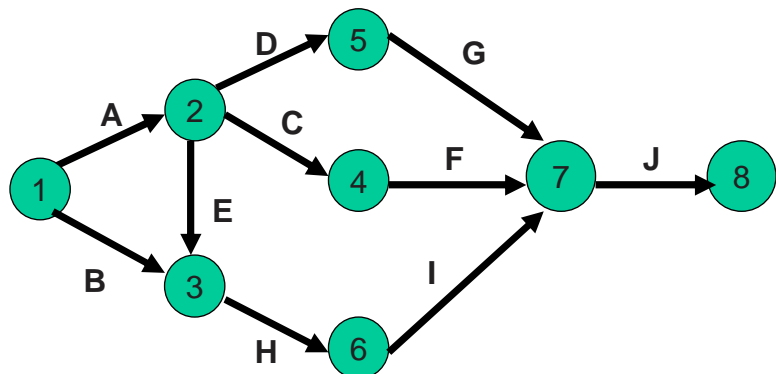
- Las etapas de la técnica CPM son:
 1. Elaborar el grafo (diagrama de flechas tipo ADM).
 2. Construir la matriz de caminos posibles.
 3. Calcular los tiempos totales de cada camino.
 4. Identificar el camino crítico.
 5. Definir las fechas.
- Variantes:
 - Compresión de la duración.



CPM: 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).

Actividad	Pred	Dur
A. Diseño	-	5
B. Investigación de Mercado	-	1
C. Análisis de Producción	A	2
D. Modelado Producto	A	3
E. Gestión de Ventas	A	2
F. Análisis de Coste	C	3
G. Pruebas	D	4
H. Formación Ventas	B, E	2
I. Gestión Precios	H	1
J. Realizar Informe	F, G, I	1

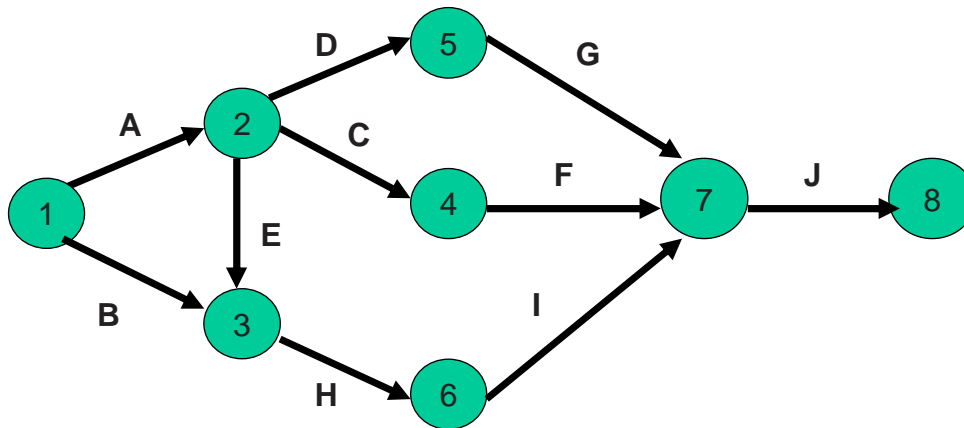




CPM: Construir matriz de caminos posibles

- 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.

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
Camino 1:	1	0	1	0	0	1	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



Ruiz & García. G. Tiempo

6.47



CPM: Calcular los tiempos totales de los caminos

- 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:

- $DTC_1 = 5+2+2+1 = 10$
- $DTC_2 = 5+3+4+1 = 13$
- $DTC_3 = 1+2+1+1 = 5$
- $DTC_4 = 5+2+2+1+1 = 11$

- 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:** $DTP = DTC_2 = 13$

Ruiz & García. G. Tiempo

6.48



CPM con compresión de la duración

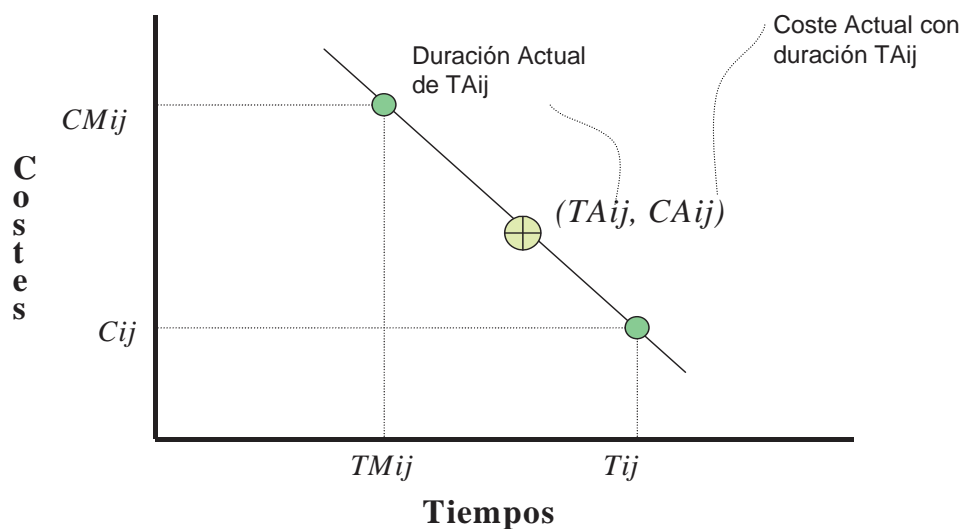
- Variante del método CPM.
- Objetivo: *reducir la duración total* del proyecto reduciendo la duración de algunas actividades (*a cambio de aumentar los costes*).
- Para comenzar, para cada actividad se necesitan dos duraciones y dos costes:
 - T_{ij} : **tiempo normal** de ejecución de la actividad 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} .



CPM con CD (Duración vs Costes) Relación entre Duración y Costes de Actividad

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

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





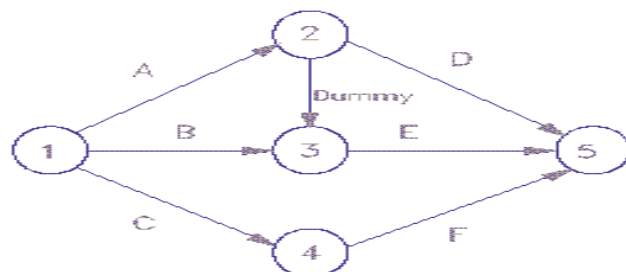
CPM con CD Etapas

- 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.



CPM con CD Ejemplo

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
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





CPM con CD

Ejemplo

- Los *caminos posibles* son:
 - C1: A D
 - C2: B E
 - C3: C F
 - C4: A Dummy E
- *Tiempos totales 'normales'* de cada camino:
 - DTNC1 = 3+8 = 11
 - DTNC2 = 4+3 = 7
 - DTNC3 = 5+5 = 10
 - DTNC4 = 3+0+3 = 6
- *Camino crítico*: el 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:

$$CTNP = \sum_{i=1}^{i=n} C_i$$

siendo n=número de actividades y Ck=coste normal de la actividad K=ij.
- En el ejemplo es:
 - CTNP = 3000+4000+5000+5000+3000+4000+0 = 24000



CPM con CD

Primera Aproximación

- *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=ij.
- En el ejemplo, el coste total actual en primera aproximación es:

$$CTAP = 3000+4000+5000+5000+3000+4000+0 = 24000$$

(coincide con el CTNP)



CPM con CD Optimización

- Optimizar el coste total actual:
- **Objetivo:** Buscar la manera de reducir la duración total del proyecto desde un tiempo DTNP a un tiempo DTAP con un incremento de costes mínimo:
 - $DTAP \leq DTNP$
- **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:
 - $DTACK \leq DTAP$



CPM con CD Ejemplo

- **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
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.



CPM con CD

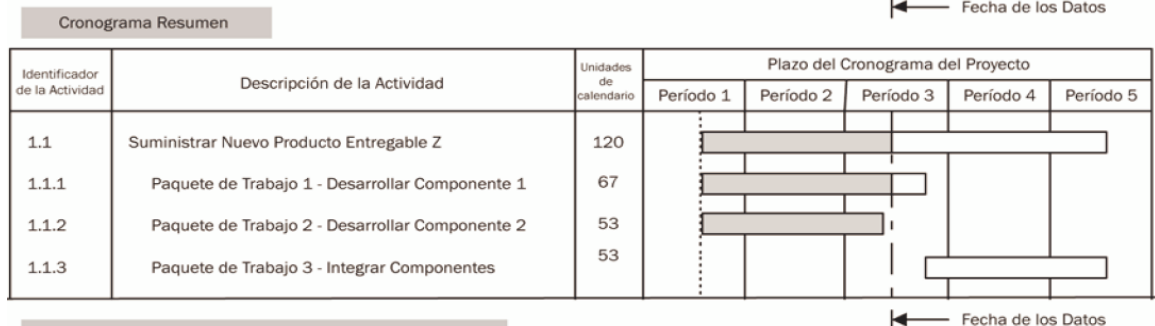
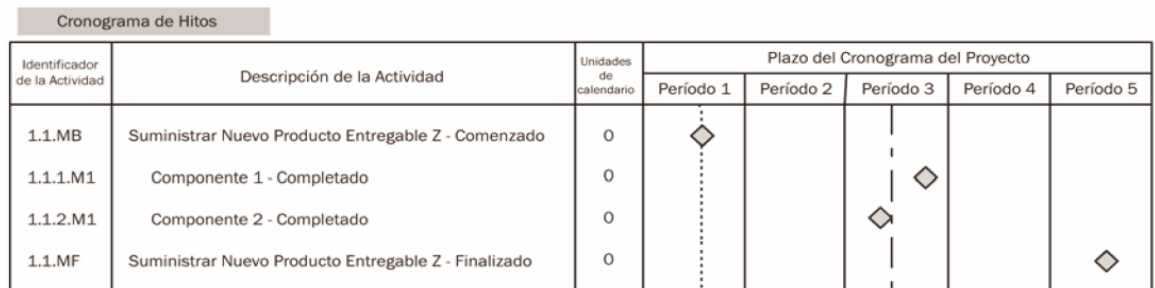
Ejemplo

- *Nuevos resultados:*
 - DTAC1=10, DTAC2=7, DTAC3=10, DTAC4=6
 - Caminos críticos: C1 y C3.
 - Duración total del proyecto: DTAP = 10
 - Coste total del proyecto: CTAP = 24500
- *Resumen de las posibles optimizaciones:*
 - No es posible reducir el tiempo total por debajo de 8, debido a los tiempos mínimos de las actividades:
 - DTP(mínima) = 8 (el C1 no puede durar menos de 6+2=8).

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

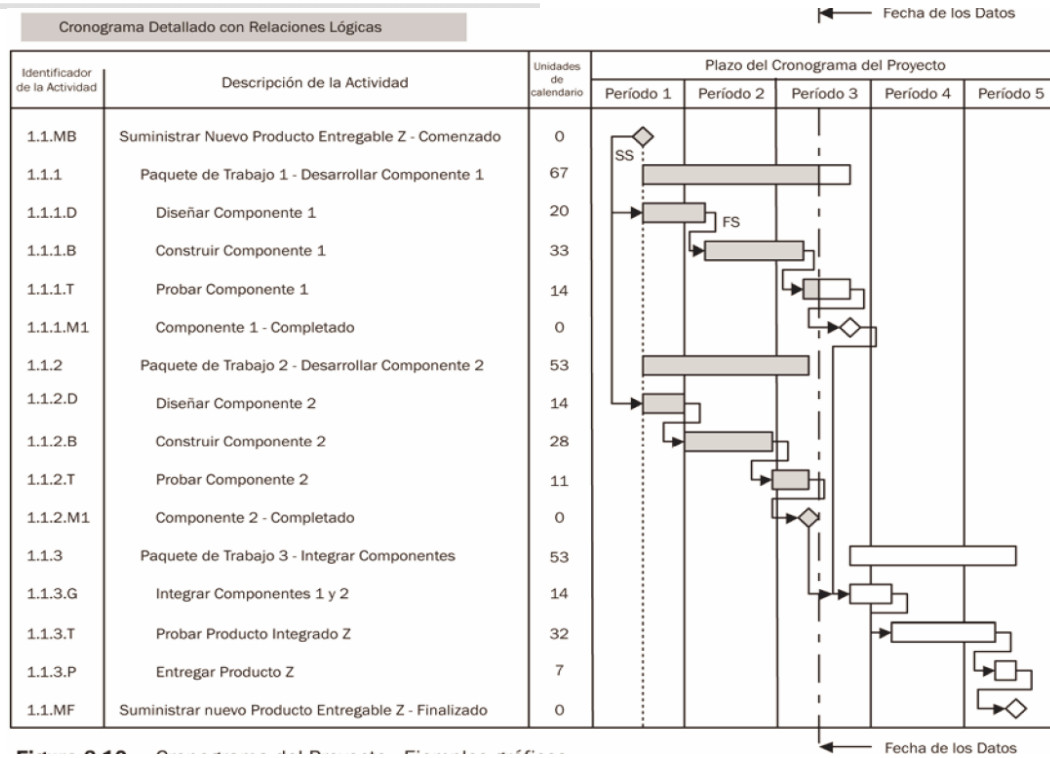


Representaciones del Calendario





Representaciones del Calendario



Introducción Mapa

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



Control del Cronograma:

- 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)