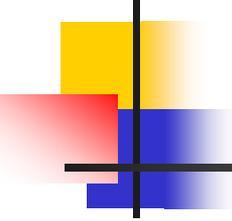


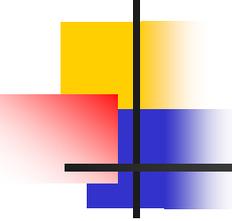
Gestión de Operaciones

Capítulo 18: Programación de Proyectos



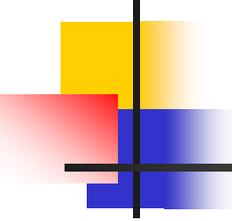
Introducción

- **Supuesto:**
 - La programación de proyectos asume que los proyectos están divididos en etapas independientes con claras relaciones de precedencia.
 - **Ejemplos:**
 - Construcción de un edificio.
 - Instalación de un equipo.
 - Construcción de una máquina.
 - Proyecto del curso.



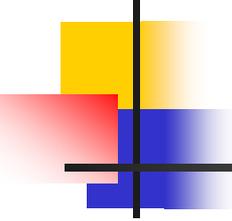
Introducción

- Usos:
 - Planificación:
 - Recursos requeridos.
 - Plazos en forma global.
 - Programación de actividades:
 - Actividades específicas.
 - Plazos detallados.



Introducción

- Medidas de control:
 - Cumplimiento de plazos.
 - Costos.
 - Uso de recursos.



Ejemplo

Proyecto del Curso:

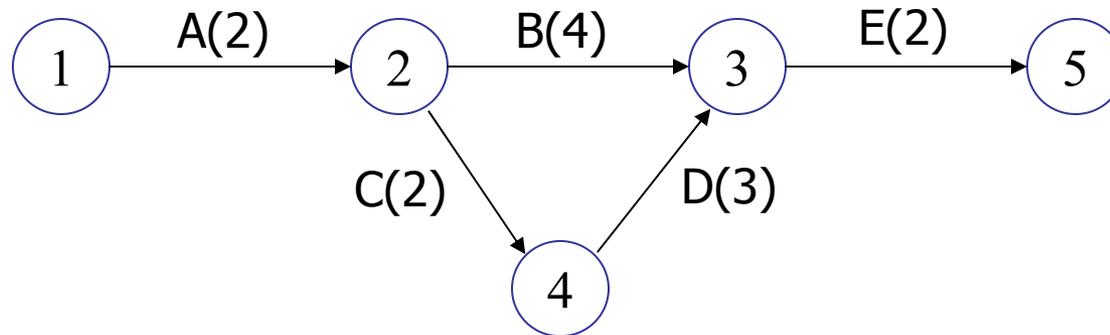
Actividad	Detalle	Duración
A	Análisis del Problema	2 semanas
B	Búsqueda de Datos	4 semanas
C	Desarrollo del Modelo	2 semanas
D	Programación	3 semanas
E	Correr Modelo y Elaborar Informe	2 semanas

Relaciones de Precedencia Directa:

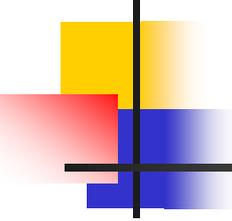
Actividad	Predecesores
A	B y C
B	E
C	D
D	E

Ejemplo

Malla de Actividades:

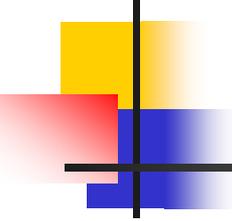


- Se definen actividades en el tiempo: cuando una actividad termina, la(s) actividad(es) que la sucede(n) puede(n) comenzar.
- En la malla los nodos corresponden a eventos y los arcos a actividades.



Ejemplo

- ¿Cuánto demora el proyecto?
 - El proyecto de mora 9 semanas.
- ¿Cuál es la ruta crítica?
 - La ruta crítica es A-C-D-E.
 - En esta ruta cualquier actividad es cuello de botella.
- ¿Qué holguras existen?
 - Una actividad presenta holgura si se puede retrasar.
 - En el ejemplo la actividad B tiene una holgura de una semana.



Procedimiento

- Para resolver este problema se definen:

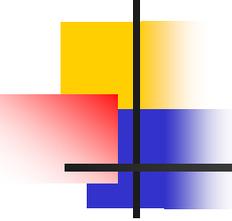
$t(x)$: tiempo que demora la actividad x .

$TCmin(x)$: tiempo de comienzo mínimo de la actividad x .

$TFmin(x)$: tiempo de fin mínimo de la actividad x .

$$TFmin(x) = TCmin(x) + t(x)$$

$TCmin(x) = Max\{TFmin(y)\}$, y predecesor inmediato de x .



Procedimiento

- En el ejemplo:

$$TCmin(A) = 0$$

$$TCmin(B) = TFmin(A) = 2$$

$$TCmin(C) = TFmin(A) = 2$$

$$TCmin(D) = 4$$

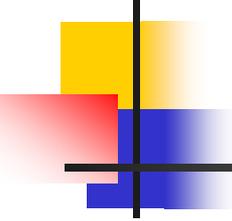
$$TFmin(A) = 0 + 2 = 2$$

$$TFmin(B) = 2 + 4 = 6$$

$$TFmin(C) = 2 + 2 = 4$$

$$TFmin(D) = 4 + 3 = 7$$

$$TCmin(E) = Max\{TFmin(B), TFmin(D)\} = Max\{6, 7\} = 7$$



Procedimiento

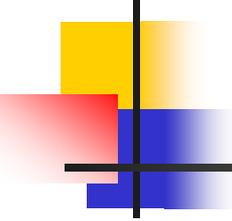
- Para determinar la ruta crítica y las holguras además hay que definir:

$TCmax(x)$: tiempo de comienzo máximo de la actividad x sin atrasar el proyecto.

$TFmax(x)$: tiempo de fin máximo de la actividad x sin atrasar el proyecto.

$$TCmax(x) = TFmax(x) - t(x)$$

$$TFmax(x) = \text{Min}\{TCmax(y)\}, \text{ y sucesor de x.}$$



Procedimiento

- En el ejemplo:

$$TFmax(E) = 9$$

$$TCmax(E) = 9 - 2 = 7$$

$$TFmax(B) = 7$$

$$TCmax(B) = 7 - 4 = 3$$

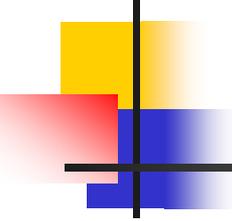
$$TFmax(D) = 7$$

$$TCmax(D) = 7 - 3 = 4$$

$$TFmax(C) = 4$$

$$TCmax(C) = 4 - 2 = 2$$

$$TFmax(A) = \text{Min}\{TCmax(B), TCmax(C)\} = \text{Min}\{3, 2\} = 2$$

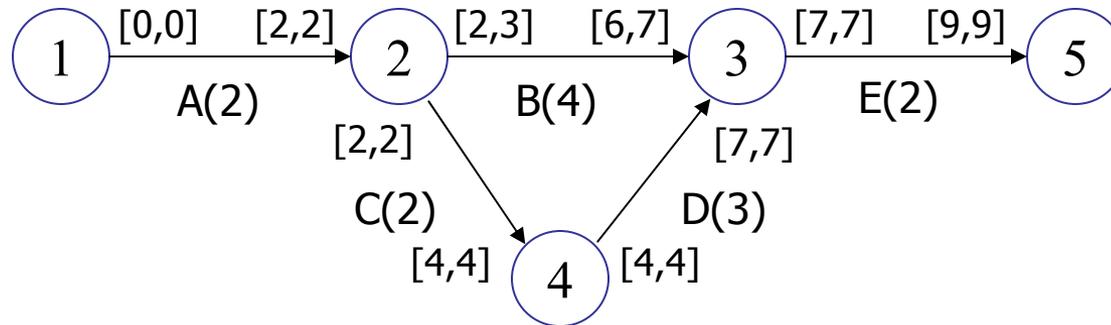


Procedimiento

- De esta manera:
 - La ruta crítica esta definida por las actividades en que $TCmax(x) = TCmin(x)$:
 - A-C-D-E.
 - La holgura de la actividad x estará dada por $TFmax(x) - TFmin(x) = TCmax(x) - TCmin(x)$.
 - Holgura de B = 1.

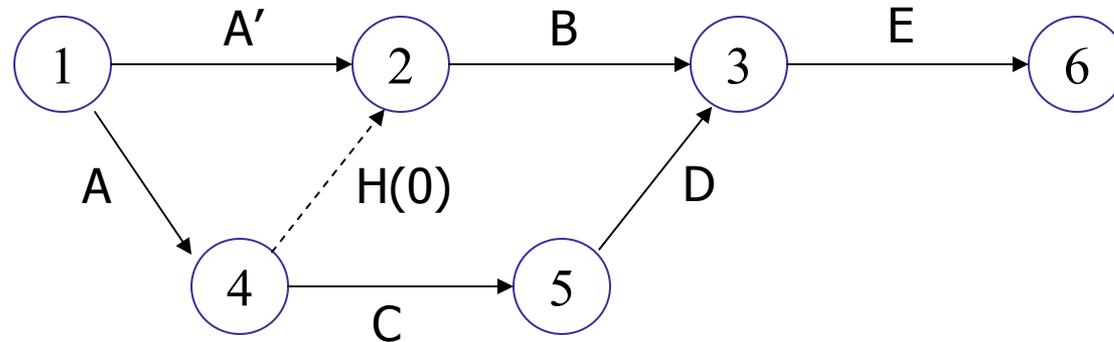
Procedimiento

- Se pueden hacer los cálculos directamente en la malla:



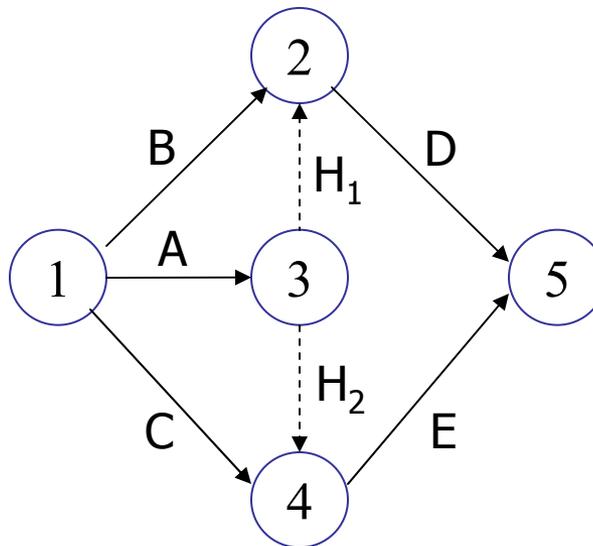
Procedimiento

- Actividades artificiales:
 - ¿Qué pasa si agregamos una actividad A' que precede a B pero no a C?
 - Es necesario definir una actividad artificial con tiempo de duración igual a cero.



Procedimiento

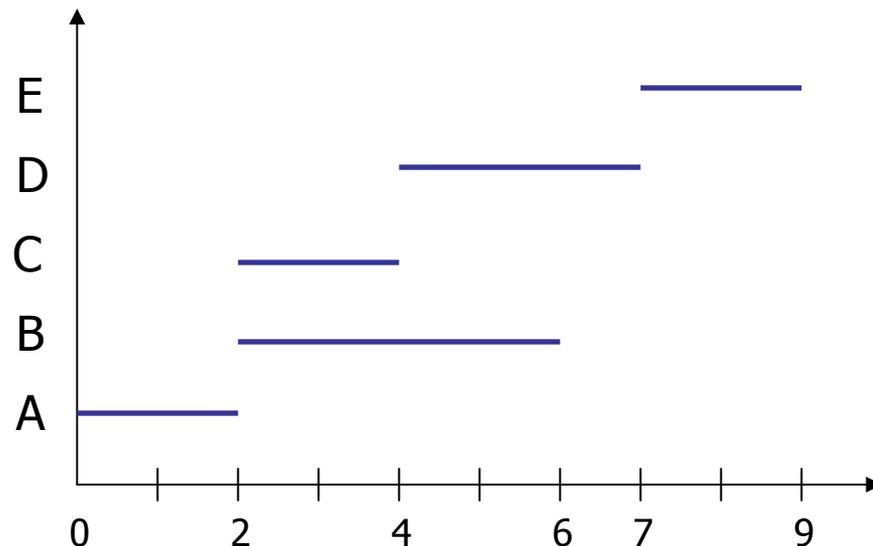
- Ejemplo:
 - A precede a D y E.
 - B precede a D.
 - C precede a E.



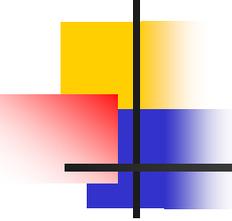
Carta Gantt

- Características:

- Muestra cuánto tiempo se necesita para cada actividad y cuándo tendrá lugar la misma.
- Permite ver el uso de recursos en el tiempo.

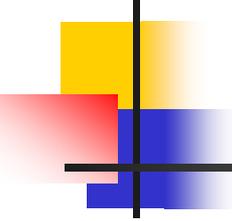


Carta Gantt para
el Ejemplo Inicial



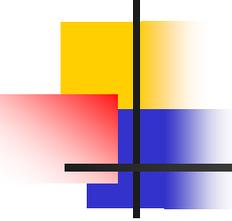
Método PERT

- Problema:
 - ¿Qué pasa si los tiempos de las actividades no son determinísticos?
 - Si la actividad de programación puede demorar entre 3 y 5 semanas, el proyecto podría demorar de 9 a 11 semanas.
 - ¿Cuáles son las actividades críticas?
 - ¿Cuál es el tiempo que demora cada actividad?



Método PERT

- Procedimiento:
 - Se supone una distribución beta para el tiempo que demoran las actividades.
 - Se definen:
 - T_o : tiempo optimista.
 - T_p : tiempo pesimista.
 - T_m : tiempo medio.
 - T_e : Tiempo esperado para cada actividad.
 - Var_j : varianza de cada actividad.
 - T : tiempo total de terminación del proyecto.
 - $E(T)$: valor esperado para T.
 - $Var(T)$: variación de T.

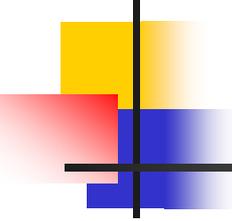


Método PERT

$$T_e = \frac{T_o + 4T_m + T_p}{6}$$

$$Var_i = \left(\frac{T_p - T_o}{6} \right)^2$$

- Se supone que los tiempos optimistas y pesimistas cubren seis desviaciones estándar en la distribución beta.



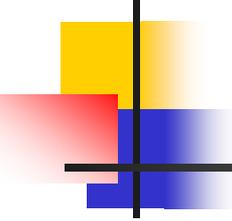
Método PERT

- De esta manera, considerando que T es el tiempo total de terminación del proyecto, se pueden calcular:

$$E(T) = \sum_{\text{ruta crítica}} T_e$$

$$Var(T) = \sum_{\text{ruta crítica}} Var_i$$

- Se asume independencia.



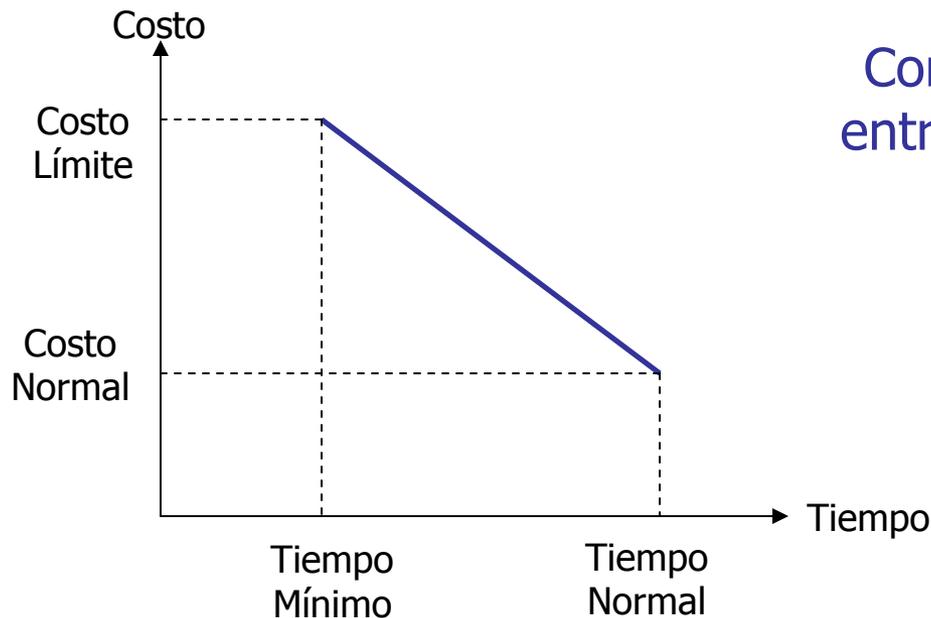
Método PERT

- Se busca la probabilidad de que $T \leq T_o$.
 - Una solución exacta es compleja en redes no triviales.
 - Como alternativa se puede utilizar simulación. Si se hacen n experimentos:
 - 1.- Determinar T_x para la actividad x , al azar.
 - 2.- Determinar T y ruta crítica.
 - Si $n = 1000$ y en 800 experimentos $T \leq T_o$, se puede decir que la probabilidad que el proyecto demore a lo más T_o es 0,8.
 - Si la actividad x aparece en la ruta crítica 600 veces, se puede decir que la probabilidad que x esté en la ruta crítica es 0,6.

Método CPM

- Problema:

- Es posible incrementar o disminuir el tiempo de las actividades a un mayor costo.

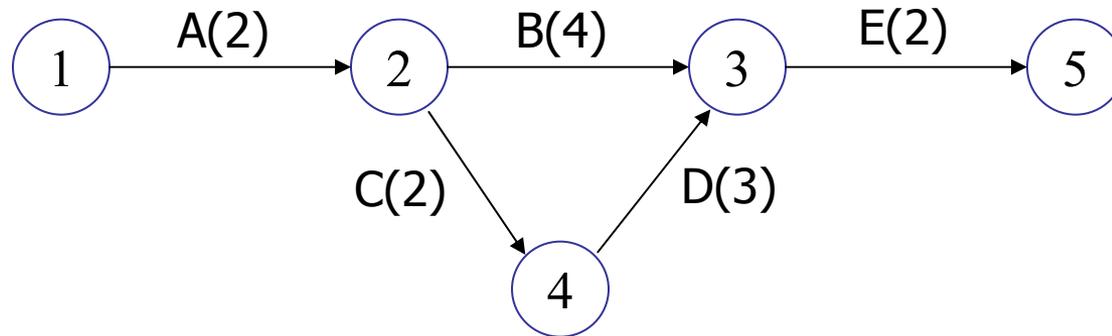


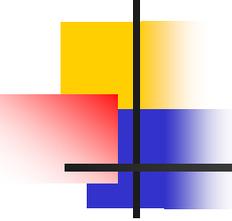
Compensación CPM
entre Tiempo y Costo

Método CPM

- Ejemplo:

Malla de Actividades



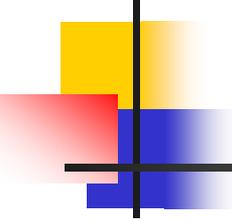


Método CPM

Tabla de Acortar Actividades

Actividad	Tiempo normal	Tiempo mínimo	Costo por reducir una semana
A	2	1	1
B	4	2	2
C	2	1	2
D	3	2	3
E	2	1	5

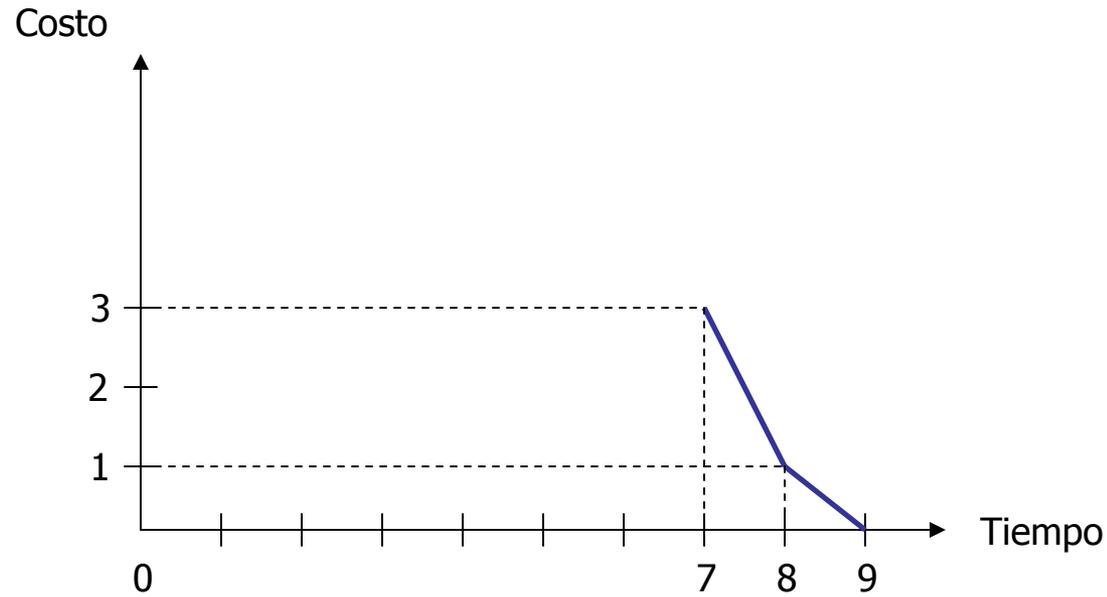
- Premio por terminar antes 4 por semana.



Método CPM

- ¿Qué conviene hacer?
 - Acortar A en una semana a costo 1 .
 - Acortar C en una semana a costo 2 
 - Se generan dos rutas críticas A-B-E, A-C-D-E.
 - Acortar simultáneamente B y D aun costo 5 .
 - No vale la pena.

Método CPM



Costo y Tiempo para CPM