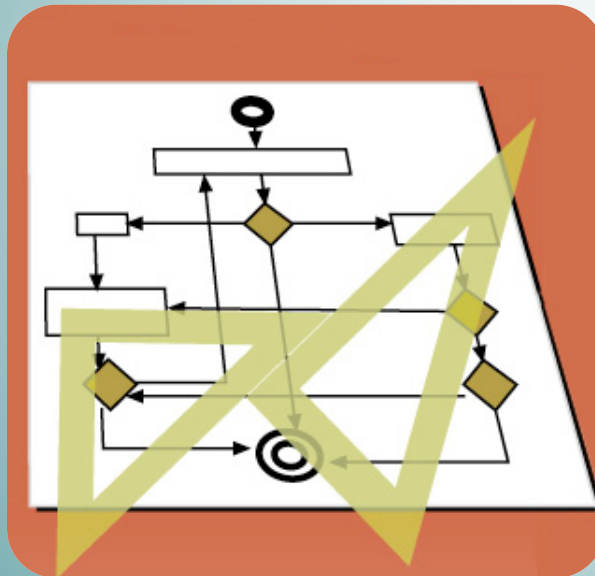


Ingeniería del Software II

Tema 06. Gestión del Tiempo



Carlos Blanco Bueno

DPTO. DE MATEMÁTICAS, ESTADÍSTICA Y
COMPUTACIÓN

carlos.blanco@unican.es

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/)

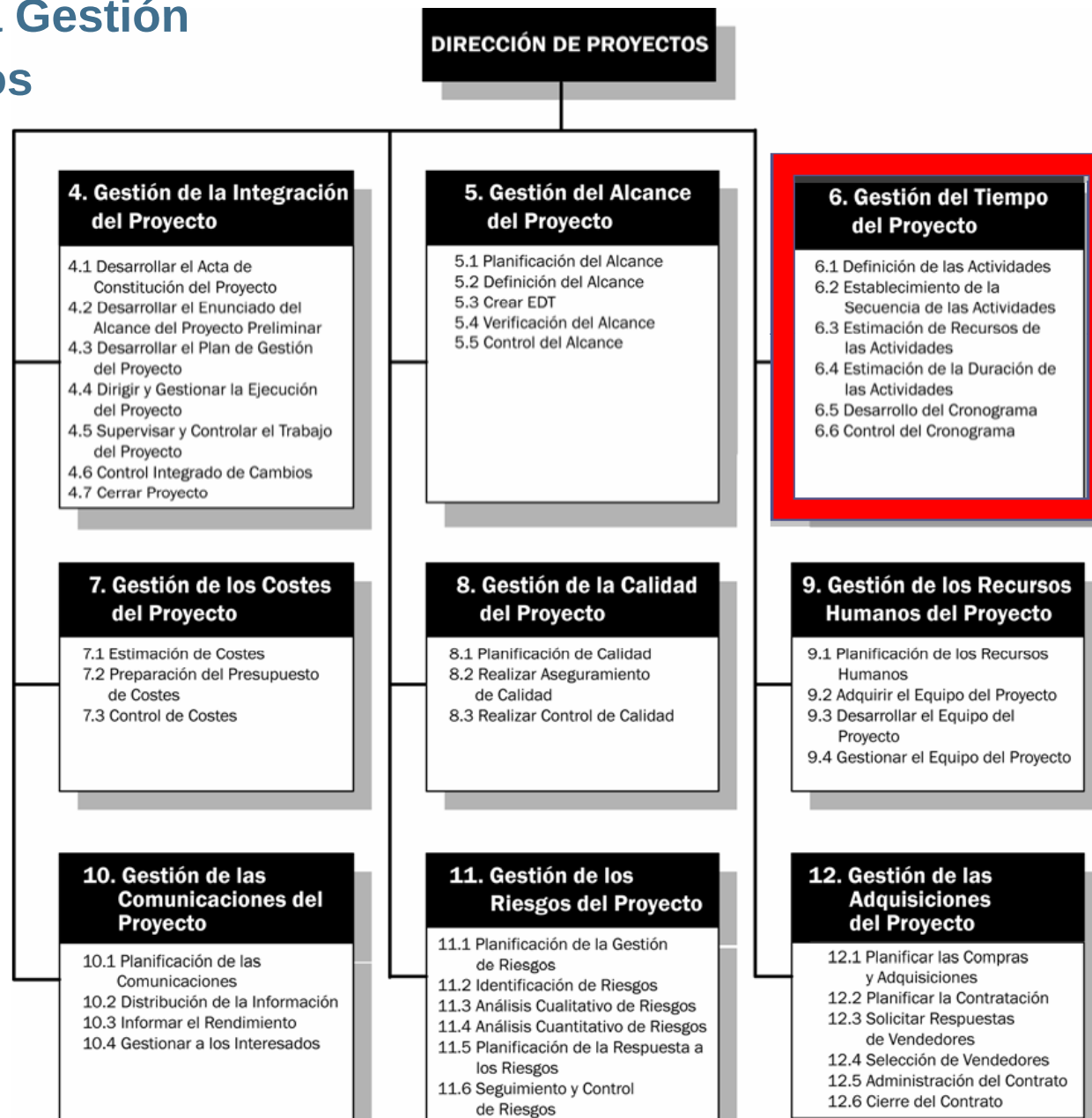
Objetivos

- 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.

Bibliografía

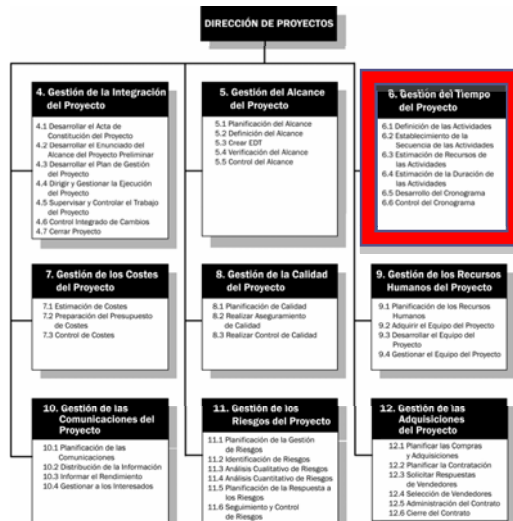
- Piattini, M. et al, Análisis y diseño detallado de Aplicaciones Informáticas de Gestión. Ed. Ra-Ma. Caps. 5 y 6.
- Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Cap. 6
- Romero, C., Técnicas de Programación y Control de Proyectos. Caps. 1, 2 y 4.
- University of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

Áreas de la Gestión de Proyectos



Objetivos

Gestión del Tiempo



GESTIÓN DEL TIEMPO DEL PROYECTO

6.1 Definición de las Actividades

- Entradas**
- Factores ambientales de la empresa
 - Activos de los procesos de la organización
 - Enunciado del alcance del proyecto
 - Estructura de desglose del trabajo
 - Diccionario de la EDT
 - Plan de gestión del proyecto
- Herramientas y Técnicas**
- Descomposición
 - Plantillas
 - Planificación gradual
 - Juicio de expertos
 - Componente de planificación
- Salidas**
- Lista de actividades
 - Atributos de la actividad
 - Lista de hitos
 - Cambios solicitados

6.2 Establecimiento de la Secuencia de las Actividades

- Entradas**
- Enunciado del alcance del proyecto
 - Lista de actividades
 - Atributos de la actividad
 - Lista de hitos
 - Solicitudes de cambio aprobadas
- Herramientas y Técnicas**
- Método de Diagramación por Precedencia (PDM)
 - Método de Diagramación con Flechas (ADM)
 - Plantillas de red del cronograma
 - Determinación de dependencias
 - Aplicación de adelantos y retrasos
- Salidas**
- Diagramas de red del cronograma del proyecto
 - Lista de actividades (actualizaciones)
 - Atributos de la actividad (actualizaciones)
 - Cambios solicitados

6.3 Estimación de Recursos de las Actividades

- Entradas**
- Factores ambientales de la empresa
 - Activos de los procesos de la organización
 - Lista de actividades
 - Atributos de la actividad
 - Disponibilidad de recursos
 - Plan de gestión del proyecto
- Herramientas y Técnicas**
- Juicio de expertos
 - Análisis de alternativas
 - Datos de estimaciones publicados
 - Software de gestión de proyectos
 - Estimación ascendente
- Salidas**
- Requisitos de recursos de las actividades
 - Atributos de la actividad (actualizaciones)
 - Estructura de desglose de recursos (actualizaciones)
 - Calendarios de recursos (actualizaciones)
 - Cambios solicitados

6.4 Estimación de la Duración de las Actividades

- Entradas**
- Factores ambientales de la empresa
 - Activos de los procesos de la organización
 - Enunciado del alcance del proyecto
 - Lista de actividades
 - Atributos de la actividad
 - Requisitos de recursos de las actividades
 - Calendarios de recursos
 - Plan de gestión del proyecto
 - Registro de riesgos
 - Estimaciones de costes de las actividades
- Herramientas y Técnicas**
- Juicio de expertos
 - Estimación por analogía
 - Estimación paramétrica
 - Estimaciones por tres valores
 - Análisis de reserva
- Salidas**
- Estimaciones de la duración de la actividad
 - Atributos de la actividad (actualizaciones)

6.5 Desarrollo del Cronograma

- Entradas**
- Activos de los procesos de la organización
 - Enunciado del alcance del proyecto
 - Lista de actividades
 - Atributos de la actividad
 - Diagramas de red del cronograma del proyecto
 - Requisitos de recursos de las actividades
 - Calendarios de recursos
 - Estimaciones de la duración de la actividad
 - Plan de gestión del proyecto
 - Registro de riesgos
- Herramientas y Técnicas**
- Análisis de la red del cronograma
 - Método del camino crítico
 - Compresión del cronograma
 - Análisis del escenario "qué pasa si"
 - Nivelación de recursos
 - Método de cadena crítica
 - Software de gestión de proyectos
 - Aplicación de calendarios
 - Ajuste de adelantos y retrasos
 - Modelo de cronograma
- Salidas**
- Cronograma del proyecto
 - Datos del modelo de cronograma
 - Línea base del cronograma
 - Requisitos de recursos (actualizaciones)
 - Atributos de la actividad (actualizaciones)
 - Calendario del proyecto (actualizaciones)
 - Cambios solicitados
 - Plan de gestión del proyecto (actualizaciones)
 - Plan de gestión del cronograma (actualizaciones)

6.6 Control del Cronograma

- Entradas**
- Plan de gestión del cronograma
 - Línea base del cronograma
 - Informes de rendimiento
 - Solicitudes de cambio aprobadas
- Herramientas y Técnicas**
- Informe del avance
 - Sistema de control de cambios del cronograma
 - Medición del rendimiento
 - Software de gestión de proyectos
 - Análisis de variación
 - Diagramas de barras de comparación del cronograma
- Salidas**
- Datos del modelo de cronograma (actualizaciones)
 - Línea base del cronograma (actualizaciones)
 - Mediciones del rendimiento
 - Cambios solicitados
 - Acciones correctivas recomendadas
 - Activos de los procesos de la organización (actualizaciones)
 - Lista de actividades (actualizaciones)
 - Atributos de la actividad (actualizaciones)
 - Plan de gestión del proyecto (actualizaciones)

Contenido

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 T: Representación del Calendario (Gantt, Hitos,..)
	Control del Cronograma	Seguimiento y Control	T: Análisis de Variación

Definición de las Actividades

- Proceso:
 - *Identificar y documentar las actividades* específicas que deben realizarse para producir los diversos entregables definidos en la Gestión del Alcance (WBS, WFD).
- *Lista de Actividades*: entregable del proceso.
 - Debe incluir:
 - todas las *actividades* que deberán ser realizadas en el proyecto y sólo las del proyecto.
 - *descripciones* de cada actividad para que el equipo comprenda el trabajo que debe realizarse.
- 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 las que está sometido el proyecto.

Definición de las Actividades

- *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 (por requisitos o **factores internos**).
 - 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.

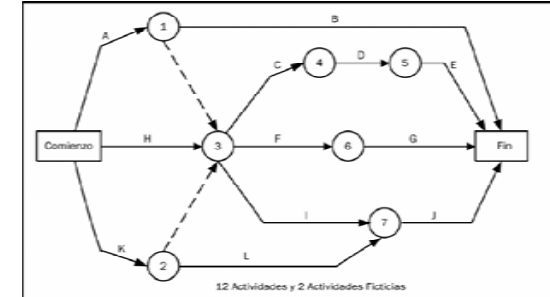
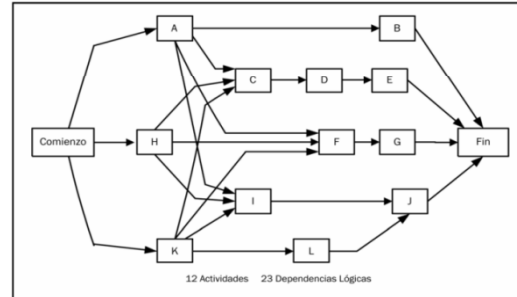
Contenido

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 T: Representación del Calendario (Gantt, Hitos,..)
	Control del Cronograma	Seguimiento y Control	T: Análisis de Variación

Establecimiento de la Secuencia de Actividades

- Método de Diagramación:

- Por Precedencia (PDM)
- Por Flechas (ADM)
- ...



- Plantillas del Cronograma

- Cuando un proyecto incluye varios productos entregables idénticos o casi idénticos:
 - pisos de un edificio alto de oficinas,
 - estudios clínicos de un proyecto de investigación farmacéutica,
 - módulos de codificación de programas de un proyecto de software,
 - fase de lanzamiento de un proyecto de desarrollo...

- Aplicación de Adelantos y Retrasos

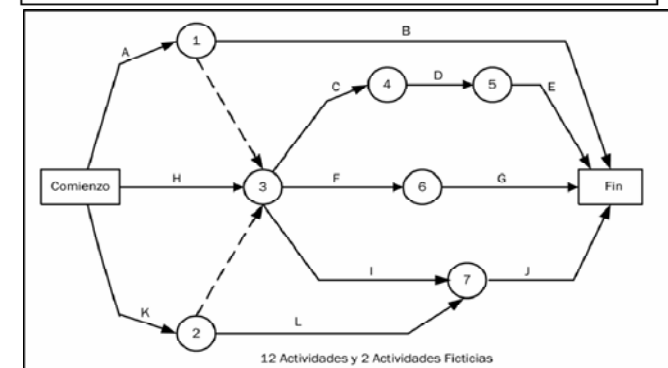
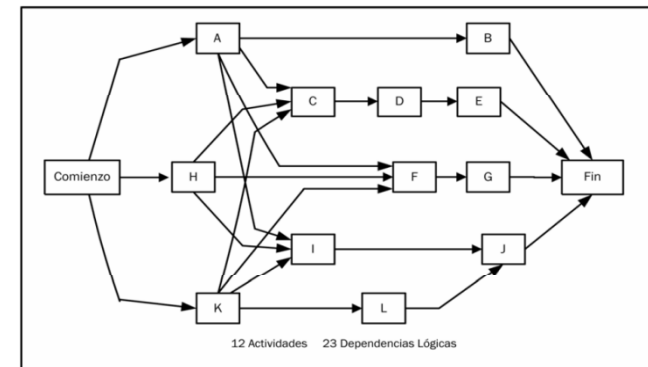
- Dependencias pueden requerir un adelanto o un retraso
- El uso de adelantos y retrasos, y sus asunciones relacionadas están documentados.

Establecimiento de la Secuencia de Actividades

- 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

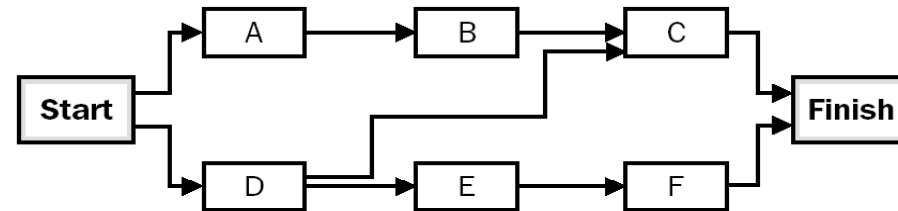
- Diagramas en Red del Proyecto:
 - Visión **esquemática** de las **actividades** del proyecto y las **dependencias** entre ellas.
 - Existen dos tipos básicos de **técnicas** para construir el DRP:
 - Método de Diagramación por Precedencia (**PDM** - Precedence diagramming method)
 - Nodos → Actividades
 - Arcos → Dependencias
 - Método de Diagramación por Flechas (**ADM** - Arrow diagramming method)
 - Nodos → Dependencias
 - Arcos → Actividades



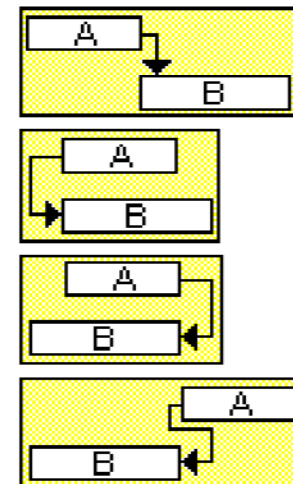
Establecimiento de la Secuencia de Actividades

- Método de Diagramación por Precedencia (**PDM**)
 - Consiste en construir un Diag. Red del Proyecto utilizando
 - **nodos** para representar las **actividades**
 - conectándolas con **flechas** que representan las **dependencias**

- Es el método más utilizado.
- Los DFT se pueden considerar una extensión de PDM

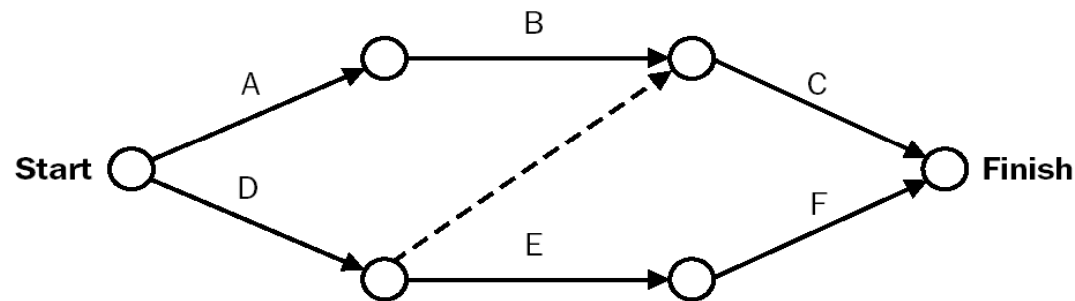


- Si una actividad A precede a otra B, Existen 4 tipos de **relaciones de precedencia**:
 - **Acabar-para-empezar (fin-comienzo)**:
La actividad A debe concluir antes de poder comenzar la B.
 - **Empezar-para-empezar (comienzo-comienzo)**:
La actividad A debe comenzar antes que la B.
 - **Acabar-para-acabar (fin-fin)**:
La actividad A debe haber concluido antes de poder concluir también la B.
 - **Empezar-para-acabar (comienzo-fin)**:
La actividad A debe haber comenzado antes de poder concluir la B (no usada en software).



Establecimiento de la Secuencia de Actividades

- Método de Diagramación por Flechas (**ADM**)
 - Construir un Diag. Red del Proyecto utilizando
 - flechas para representar las actividades
 - nodos para indicar las dependencias entre actividades.



- Otros tipos de técnicas:
 - Métodos de Diagramación Condicional (**CDM** - Conditional Diagramming Method)
 - 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

Contenido

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 T: 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**
 - Para evaluar la **relación** entre tareas y recursos
- **Análisis de Alternativas**
 - Distintos **métodos** de **realizar** las **actividades** del cronograma
 - 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**
 - **Ayuda para** 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.

Contenido

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 T: Representación del Calendario (Gantt, Hitos,..)
	Control del Cronograma	Seguimiento y Control	T: Análisis de Variación

Estimación de la Duración

- 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

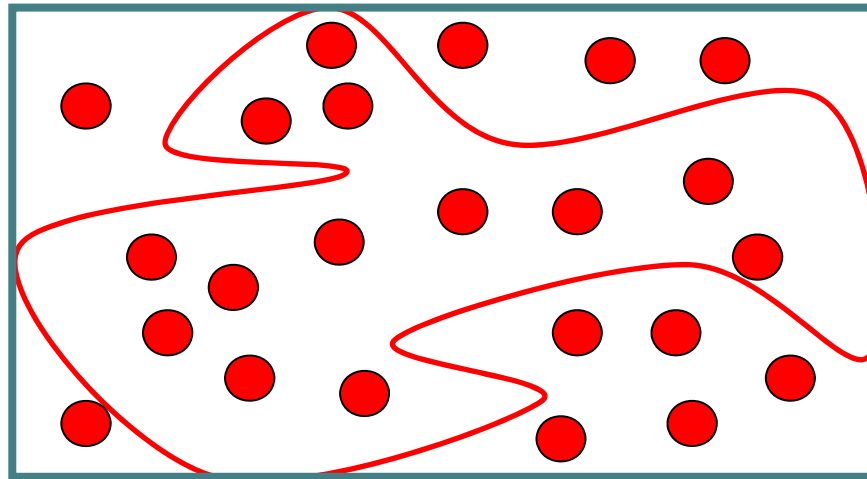
- Herramientas y Técnicas
 - Juicio de Expertos
 - Estimación por Analogía
 - Utiliza la duración real de una actividad de un **proyecto similar anterior** como base para una estimación futura
 - Utiliza información histórica y el juicio de expertos.
 - Es más fiable cuando las actividades previas son 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)

Estimación de la Duración

- 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).

Estimación de la Duración

- Método de Montecarlo
 - Ejemplo: Estimar el área de una superficie irregular



Área Rectángulo = 20

Dentro Figura: 13

Fuera: 10

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

Contenido

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 T: 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:** 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.
 - **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).
 - 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

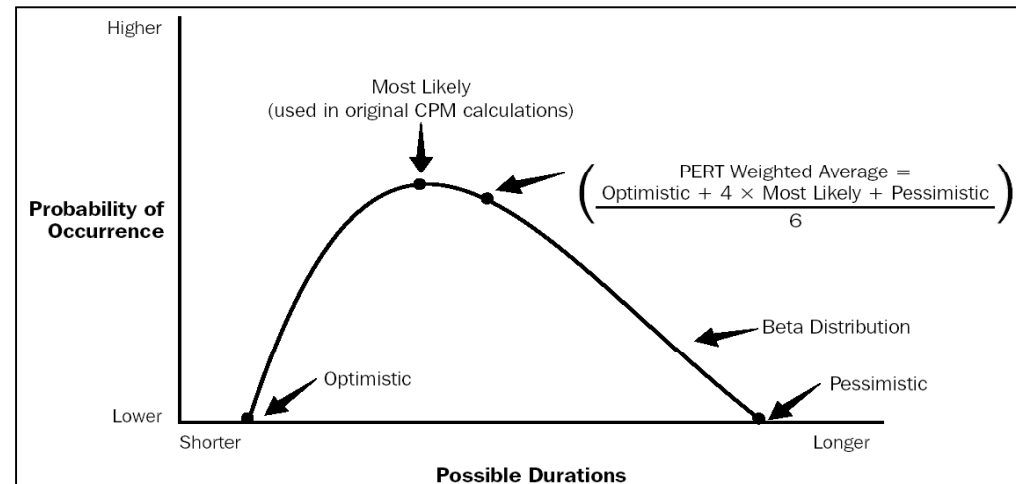
- CPM y PERT tuvieron un origen completamente diferente pero son muy similares en sus aspectos esenciales.

□ Diferencias:

- Al calcular la duración de cada actividad:

- PERT utiliza una media ponderada de tres valores
- 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

- **¿ Cuándo utilizar PERT / CPM ?**

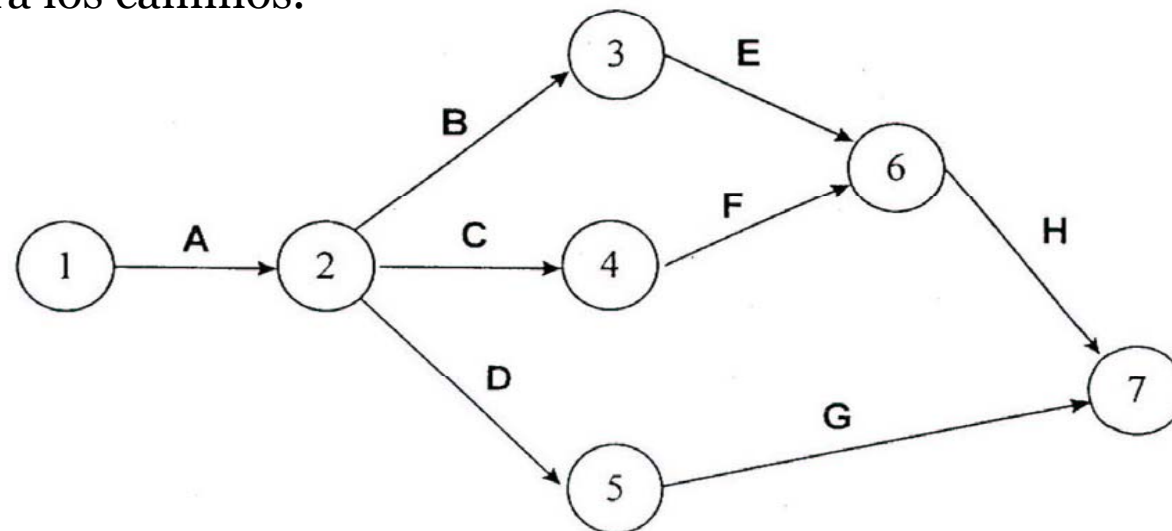
1. La red debe tener **al menos 20 actividades**.
En casos más pequeños es aconsejable utilizar otras técnicas de desarrollo del calendario más sencillas (Gantt, Hitos, ...).
2. Si la red incluye más de 100 sucesos (o nodos) es necesario utilizar alguna herramienta de gestión de proyectos.
3. Los **proyectos** 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

- 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**.

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 **son Fin-Comienzo**.
- Los **sucesos** deben estar **numerados** siempre de **forma creciente** a lo largo de cualquiera los caminos.



PERT: Elaboración del Grafo

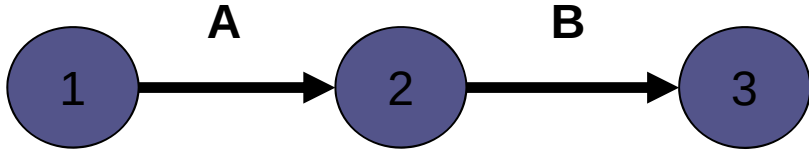
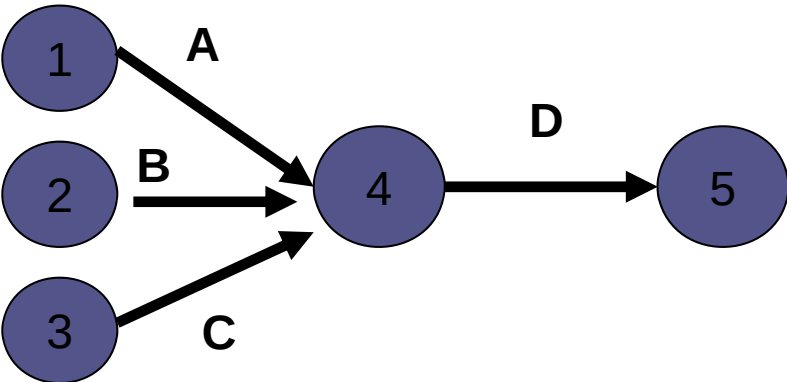
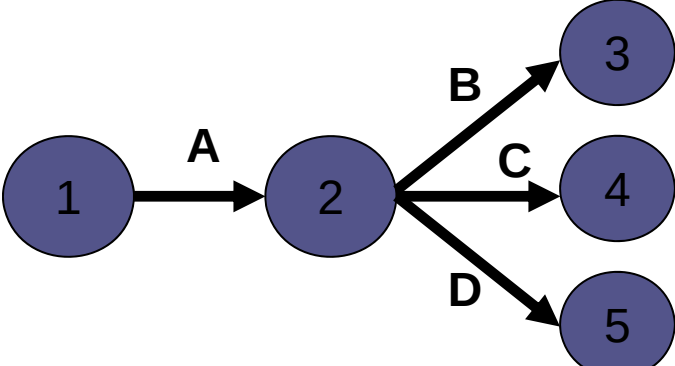
- Las relaciones de precedencia pueden venir expresadas en:
 - un diagrama tipo PDM (por ejemplo, un DFT),
 - una matriz de encadenamientos o un cuadro de relaciones de precedencia

	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

PERT: Elaboración del Grafo

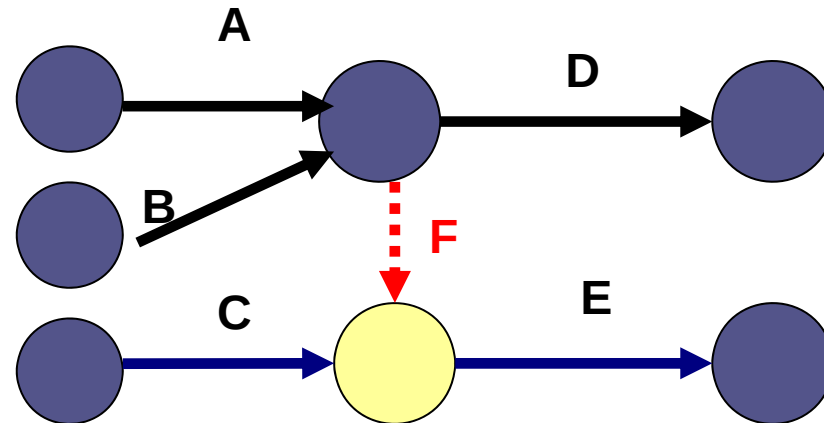
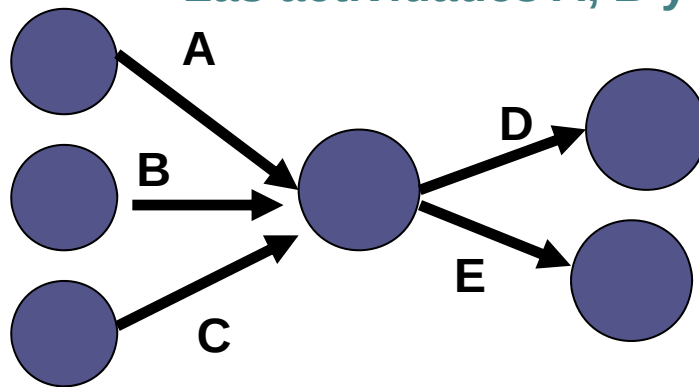
- Tipos de relaciones de precedencia

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)

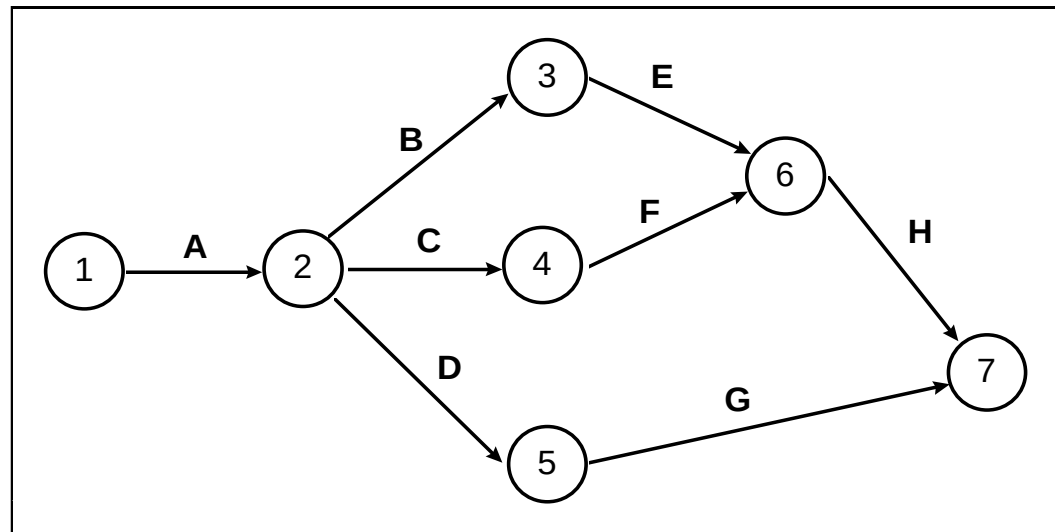
- Las actividades A y B preceden a la actividad D
- Las actividades A, B y C preceden a la actividad E



PERT: Ejemplo

- Proyecto con actividades: A, B, C, D, E, F, G y H.
- 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

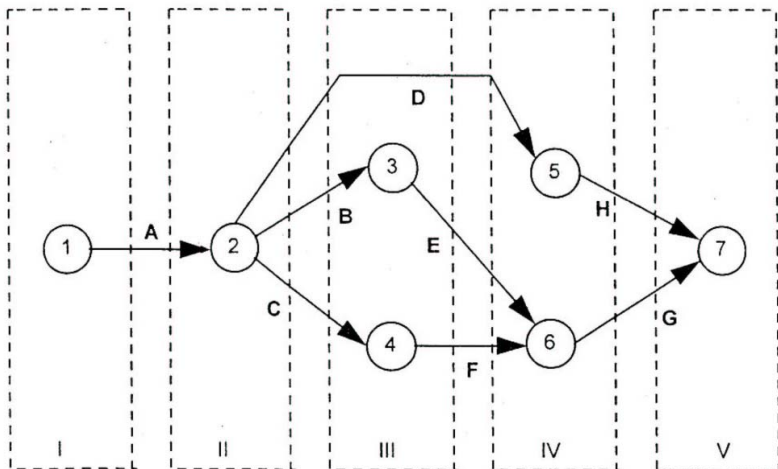
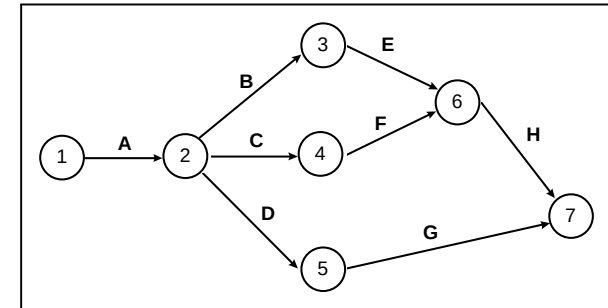
• Pasos:

- 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 minuyendo 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
1	0	1	0	0	0	0	0
2	0	0	1	1	1	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0
4	0	0	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	0



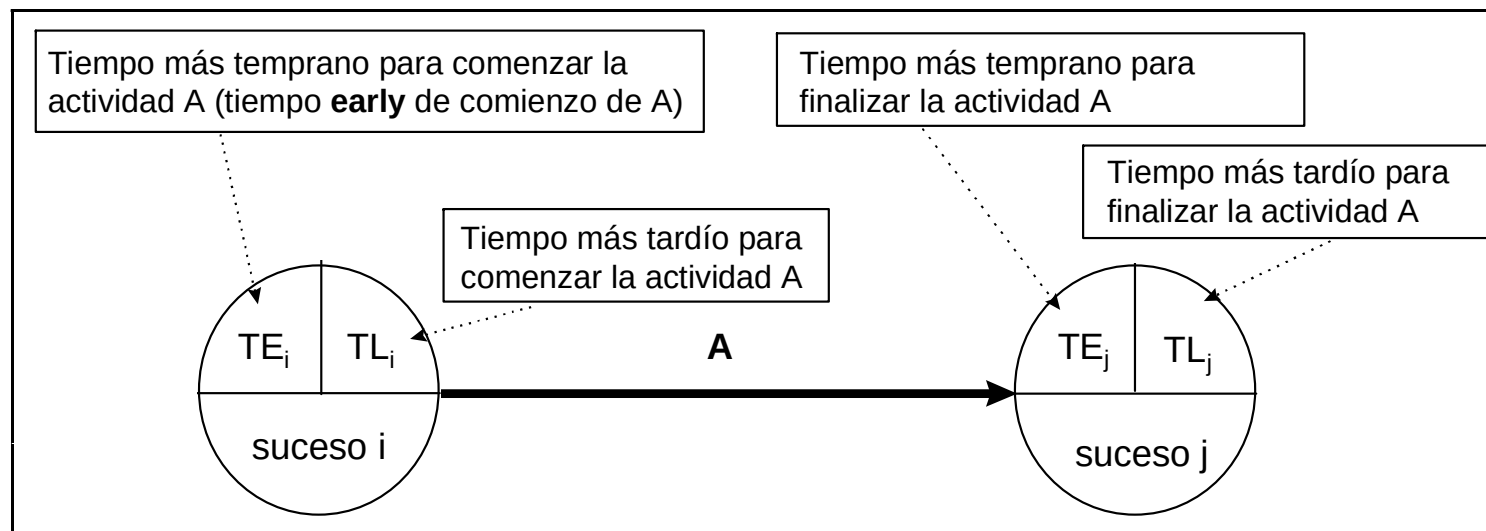
PERT: Cálculo de los tiempos PERT

- 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):

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

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

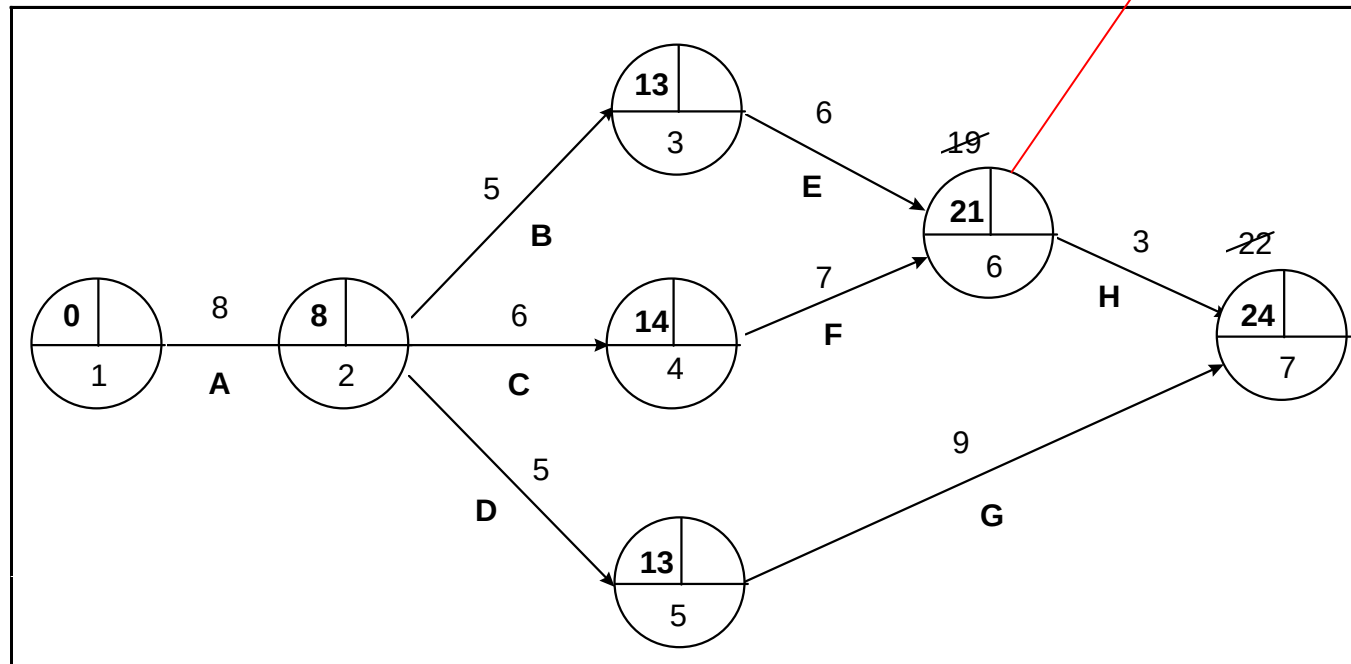
- Ejemplo: grafo anterior con los siguientes tiempos PERT:

Actividad: A B C D E F G H

Duración: 8 5 6 5 6 7 9 3

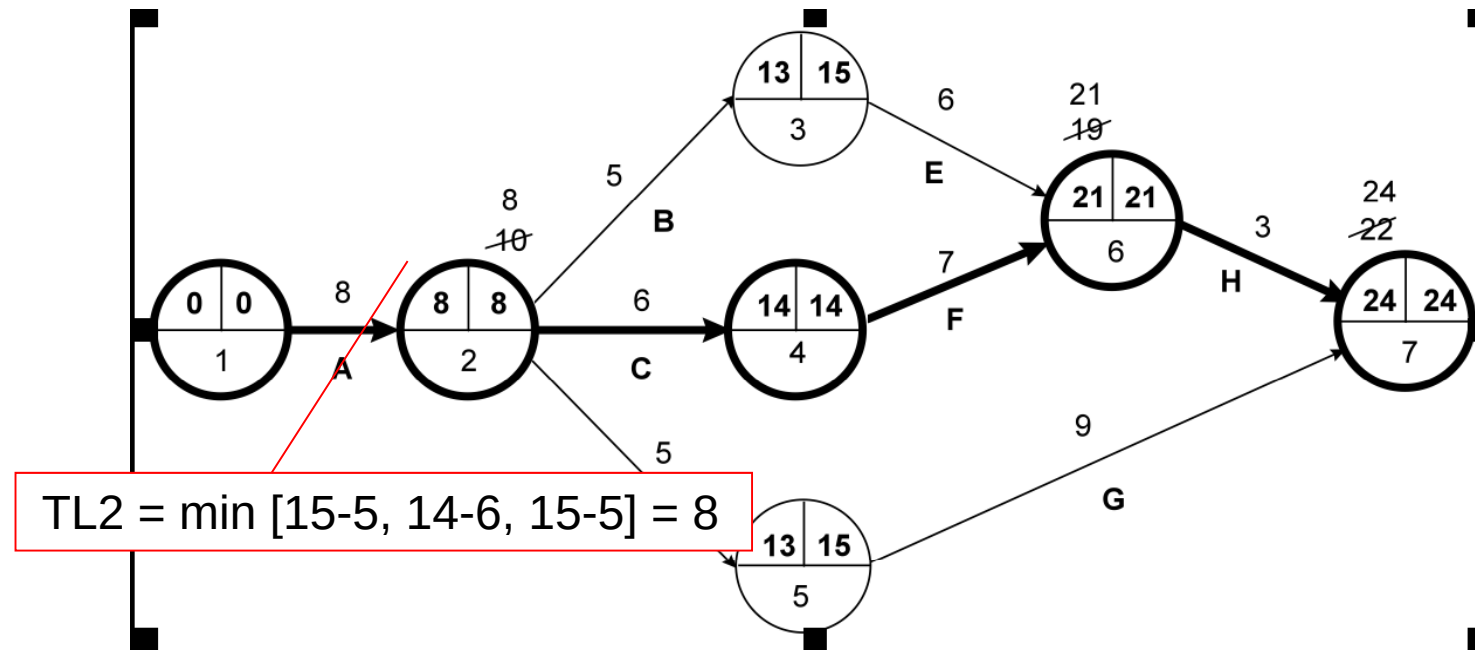
Cálculo de los Tiempos Early

$$TE_j = \text{Para todo } j: \text{máx} [TE_i + T_{ij}] \quad TE_6 = \text{máx} [14+7, 13+6] = 21$$



PERT: Cálculo de los tiempos early y late

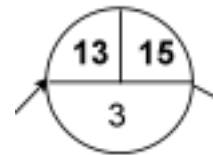
- **Cálculo de los Tiempos Late:**
 - **$TL_i = \text{Para todo } j: \min [TL_j - T_{ij}]$**



PERT: Cálculo de holguras

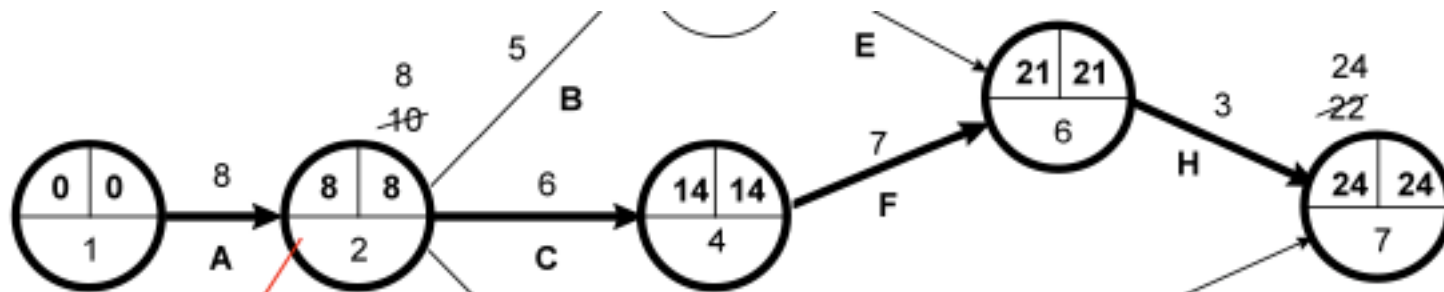
- Holgura de un **suceso** i : $H_i = T_{Li} - T_{Ei}$
 - Número de unidades de tiempo en las que se puede **retrasar** la realización **sin** que **aumente** la **duración** total del **proyecto**.

- Ejemplo: $H_3 = 15 - 13 = 2$



- Se dice que el **suceso** es **crítico** si $\rightarrow H_i = 0$

- En el ejemplo son críticos: 1, 2, 4, 6, 7



PERT: Cálculo de holguras

- Holgura de una **actividad** que une el suceso i con el j:

Holgura total: $HT_{ij} = TL_j - TE_i - T_{ij}$

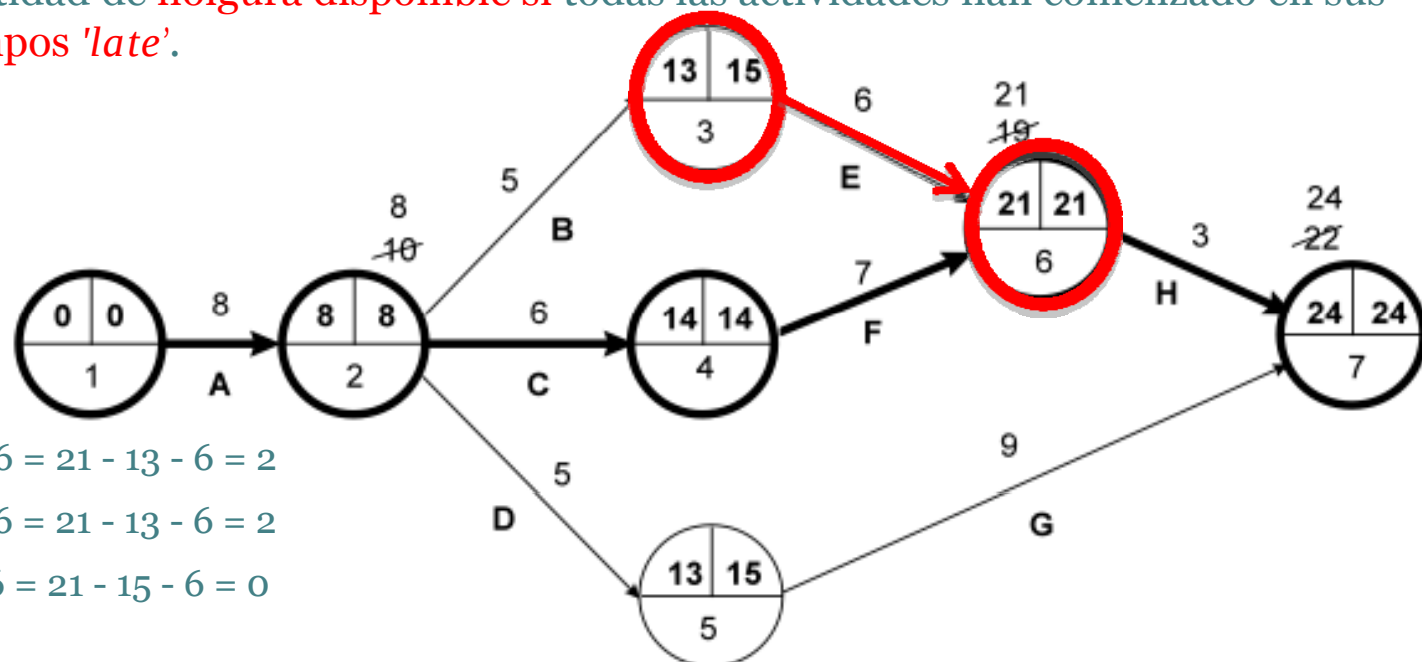
- Lo que puede **retrasarse** la actividad **sin** que **aumente** la **duración** del proyecto.

Holgura libre: $HL_{ij} = TE_j - TE_i - T_{ij}$

- Parte de la holgura total que puede consumirse **sin** que **afecte** a las **actividades siguientes**.

Holgura independiente: $HI_{ij} = TE_j - TL_i - T_{ij}$

- Cantidad de **holgura disponible** si todas las actividades han comenzado en sus **tiempos 'late'**.

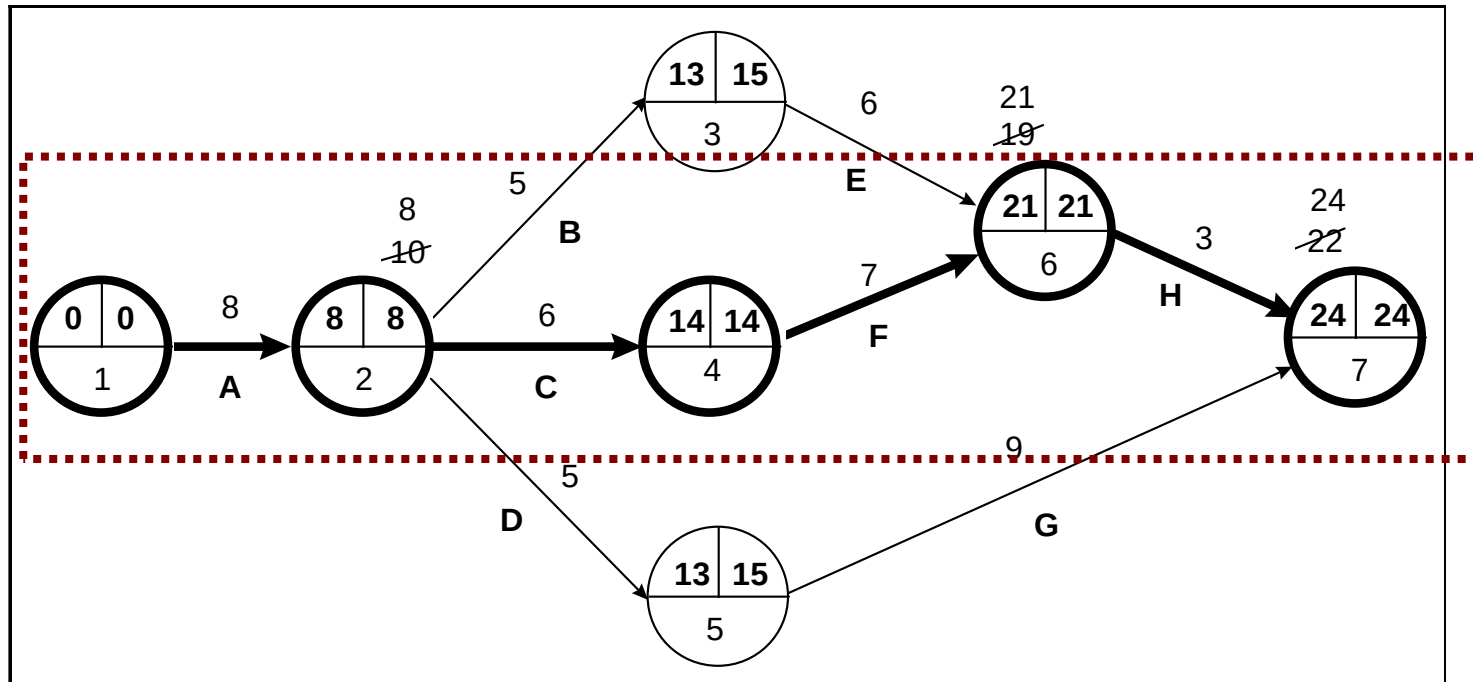


- $HT_{36} = 21 - 13 - 6 = 2$
- $HL_{36} = 21 - 13 - 6 = 2$
- $HI_{36} = 21 - 15 - 6 = 0$

PERT: Determinación del Camino Crítico

- **Suceso crítico**: aquel que tiene una holgura = 0
 - Ejemplo: 1, 2, 4, 6 y 7.
- **Actividad crítica**: su holgura total = 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: $FCE_{ij} = TE_i$
 - más tardía: $FCL_{ij} = TE_i + HT_{ij} = TL_j - T_{ij}$
 - Fecha de **finalización**:
 - más temprana: $FFE_{ij} = TE_i + T_{ij}$
 - más tardía: $FFL_{ij} = TL_j$
- 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)
 - $FFE_{36} = TE_3 + T(E) = 13 + 6 = 19$ (26-enero)
 - $FFL_{36} = TL_6 = 21$ (28-enero)
- En una actividad crítica, las fechas de comienzo más temprana y más tardía coinciden.

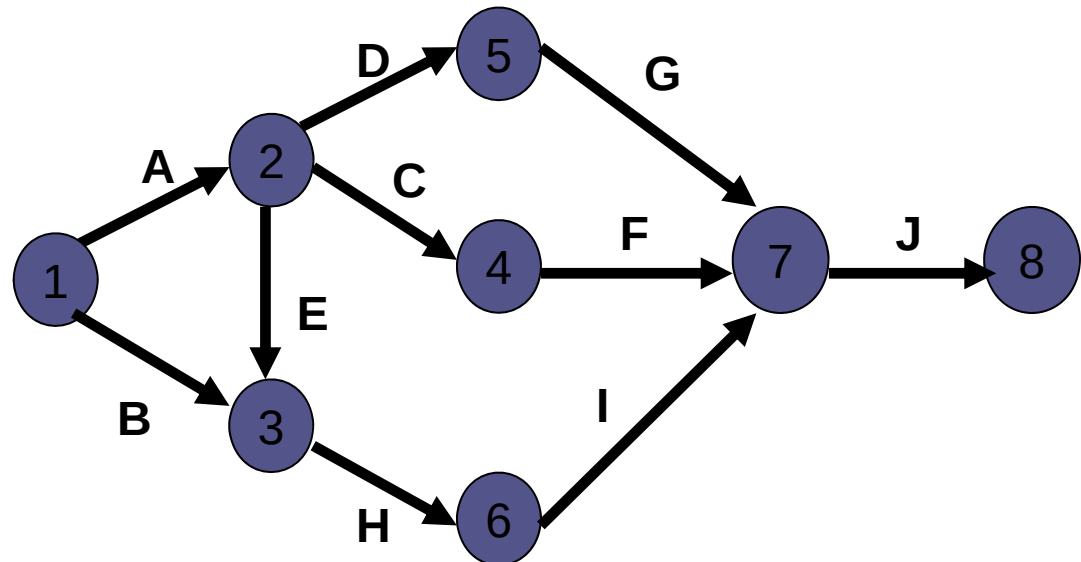
Método CPM

- 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).

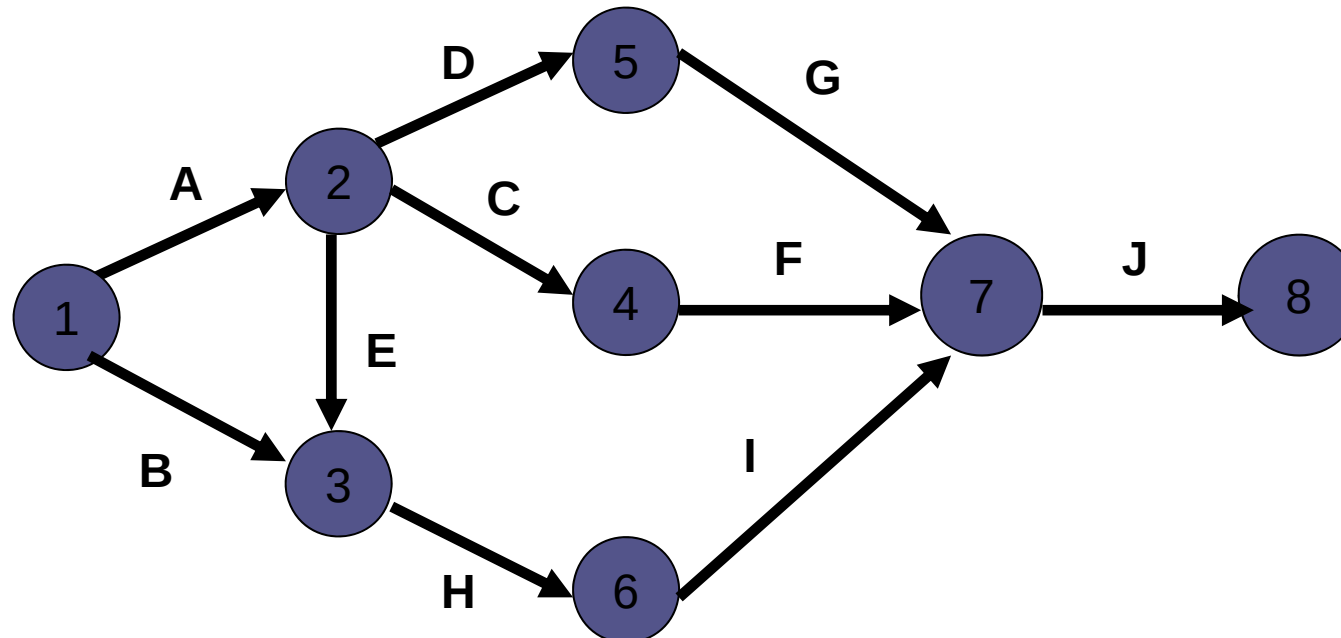
Actividad	Pred	Dur
A. Diseño	-	5
B. Investigación de Mercado	-	1
C. Análisis de Producción	A	2
D. Modelado Producto	A	3
E. Gestión de Ventas	A	2
F. Análisis de Coste	C	3
G. Pruebas	D	4
H. Formación Ventas	B, E	2
I. Gestión Precios	H	1
J. Realizar Informe	F, G, I	1



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



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: $DTP = DTC_2 = 13$**

CPM con **compresión de la duración**

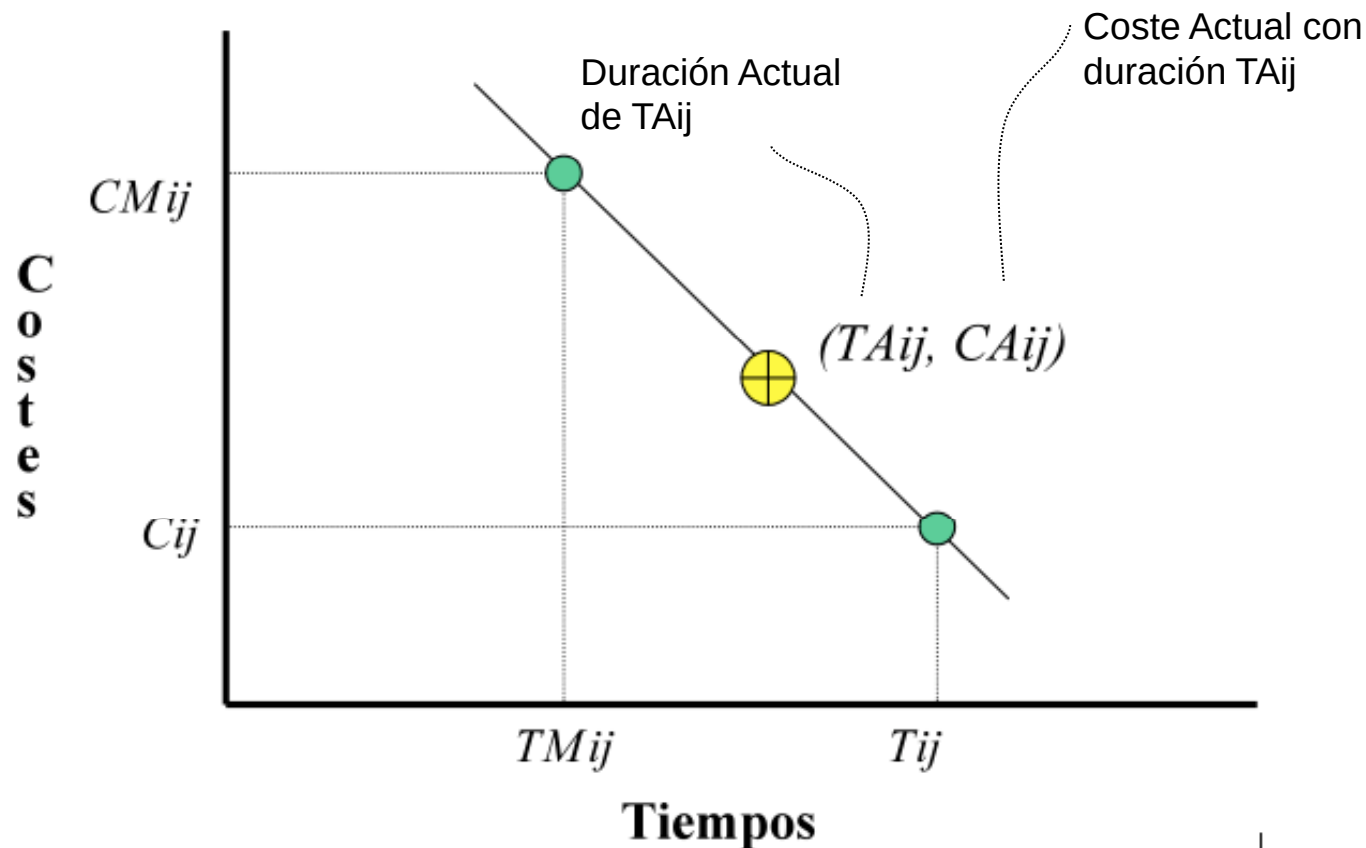
- Variante del método CPM.
- Objetivo:
Reducir la duración total del proyecto reduciendo la duración de algunas actividades (a cambio de aumentar los costes).
- Para cada actividad se necesitan dos duraciones y dos costes:
 - **Tij**: tiempo normal de ejecución de la actividad ij (coincide con la utilizada antes).
 - **Cij**: coste normal de realizar la actividad ij en el tiempo normal.
 - **TMij**: tiempo mínimo (crash time) de ejecución de la actividad ij. Es el tiempo imprescindible necesario utilizando los recursos al máximo posible.
 - **CMij**: coste máximo (crash cost) para realizar la actividad ij en el tiempo TMij.

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:

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

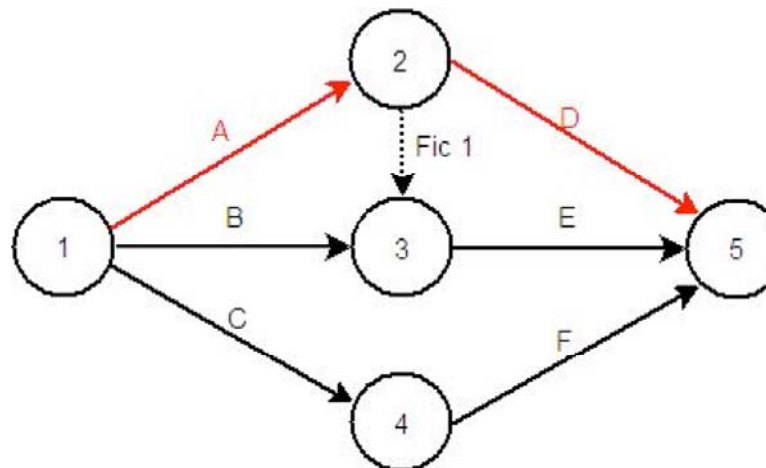


CPM con CD. Etapas

- Las etapas 1-4 son idénticas al CPM puro. Si ya se realizaron los cálculos CPM se puede ir directamente a la etapa 5.
- 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**.
- 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.
- 5. Calcular **costes y duraciones 'actuales'** en primera aproximación.
- 6. Calcular **coste total** actual en primera aproximación.
- 7. **Optimizar** el coste total actual.

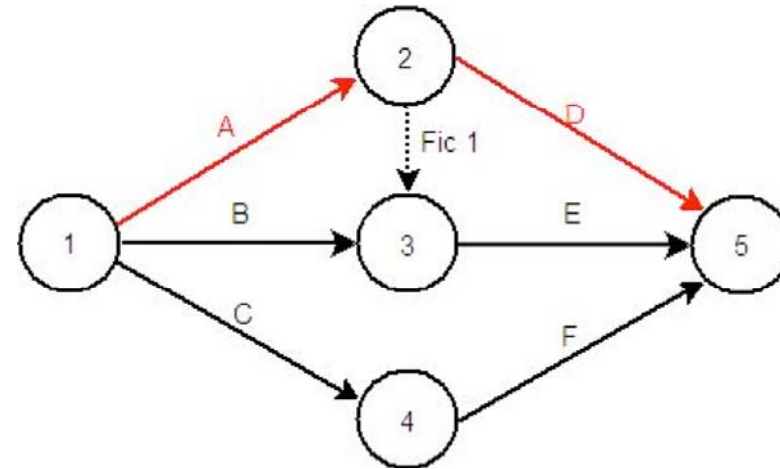
CPM con CD. Ejemplo

Actividad:	A	B	C	D	E	F	Fic
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 Fic1 E
 - Tiempos totales* 'normales' de cada camino:
 - $DTNC_1 = 3+8 = 11$
 - $DTNC_2 = 4+3 = 7$
 - $DTNC_3 = 5+5 = 10$
 - $DTNC_4 = 3+0+3 = 6$
 - Camino crítico*: el de duración mayor:
 - $CC = C_1$
 - La *duración total normal* del proyecto es la del camino crítico:
 - $DTNP = DTNC_1 = 11$
 - El *coste total normal* del proyecto es:
- siendo n=número de actividades y C_k =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: $TA_k(1) = T_k$
- *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 CA_k =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, 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

- Buscamos la forma más económica de reducir la duración del proyecto
 - Lo reducimos de 11 a 10 unidades de tiempo
 - Reducimos una actividad crítica (A o D)
 - Reducir A de 3 a 2 nos costaría +2000
 - Reducir D de 8 a 7 nos costaría +500 (así que seleccionamos esta)

$$CA_D = C_D + \frac{(T_D - TA_D)}{(T_D - TM_D)} * (CM_D - C_D) = 5000 + \frac{(8 - 7)}{(8 - 6)} * (6000 - 5000) = 5500$$

- Por lo tanto, el proyecto gana una duración - 1 y coste + 500

CPM con CD. Ejemplo

- *Nuevos resultados:*
 - Duración de los caminos:
 - $DTAC_1=10$, $DTAC_2=7$, $DTAC_3=10$, $DTAC_4=6$
 - Nuevos caminos críticos: C_1 y C_3
 - 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:
 - $DTP(\text{mínima}) = 8$ (el C_1 no puede durar menos de $6+2=8$)

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

Representación del Calendario

Cronograma de Hitos

Identificador de la Actividad	Descripción de la Actividad	Unidades de calendario	Plazo del Cronograma del Proyecto				
			Período 1	Período 2	Período 3	Período 4	Período 5
1.1.MB	Suministrar Nuevo Producto Entregable Z - Comenzado	0	◆				
1.1.1.M1	Componente 1 - Completado	0			◆		
1.1.2.M1	Componente 2 - Completado	0			◆		
1.1.MF	Suministrar Nuevo Producto Entregable Z - Finalizado	0					◆

 Fecha de los Datos

Cronograma Resumen

Identificador de la Actividad	Descripción de la Actividad	Unidades de calendario	Plazo del Cronograma del Proyecto				
			Período 1	Período 2	Período 3	Período 4	Período 5
1.1	Suministrar Nuevo Producto Entregable Z	120					
1.1.1	Paquete de Trabajo 1 - Desarrollar Componente 1	67					
1.1.2	Paquete de Trabajo 2 - Desarrollar Componente 2	53					
1.1.3	Paquete de Trabajo 3 - Integrar Componentes	53					

 Fecha de los Datos

Representación del Calendario

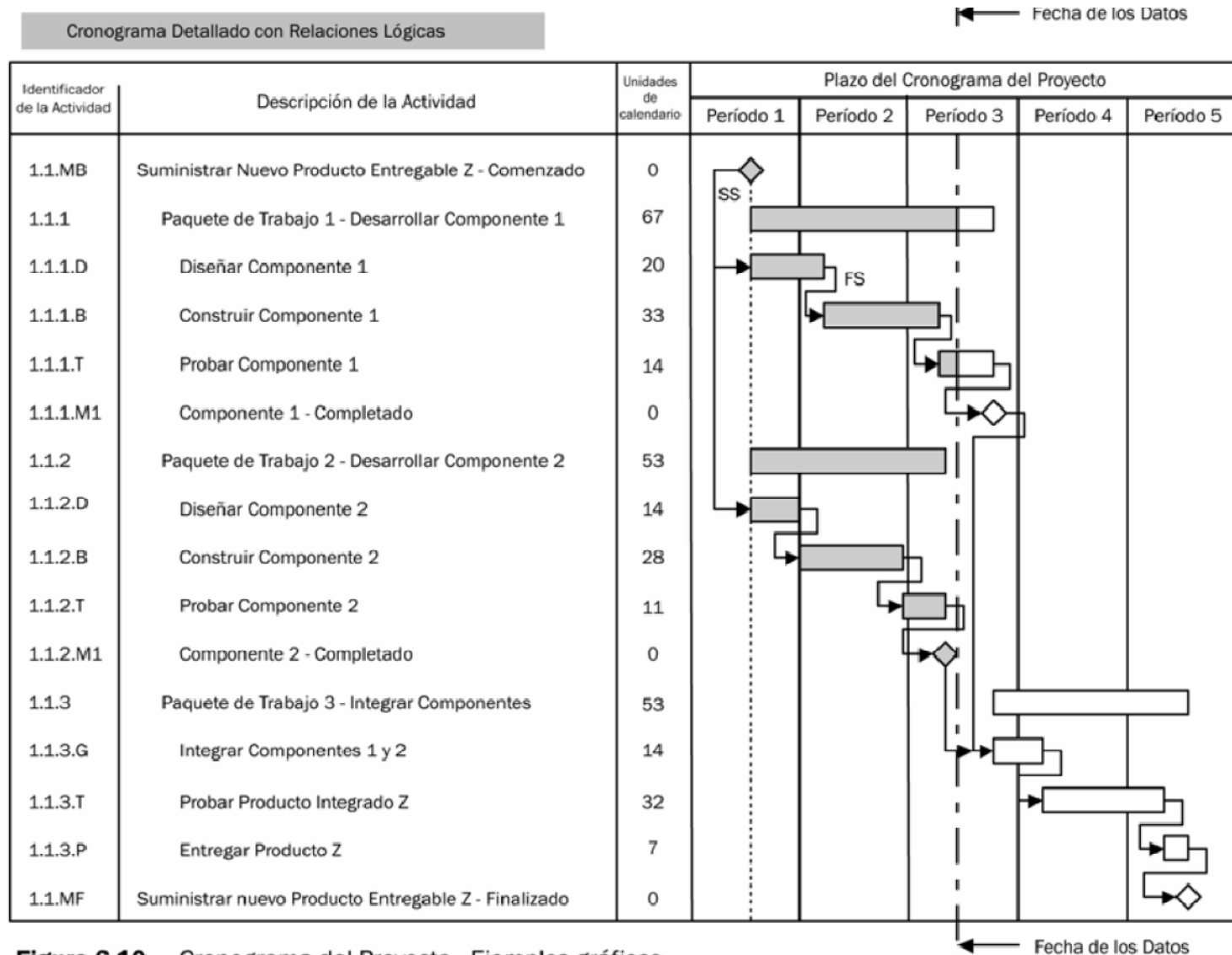


Figura 6.40 Cronograma del Proyecto - Ejemplo gráfico

Contenido

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 T: 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)