



Departamento de
Ciencias de la Computación y Tecnologías de Información
Universidad del Bío-Bío
Sede Chillán



Gestión de Proyectos de Software

**RA1: Planificación, Estimación,
Administración y Seguimiento**

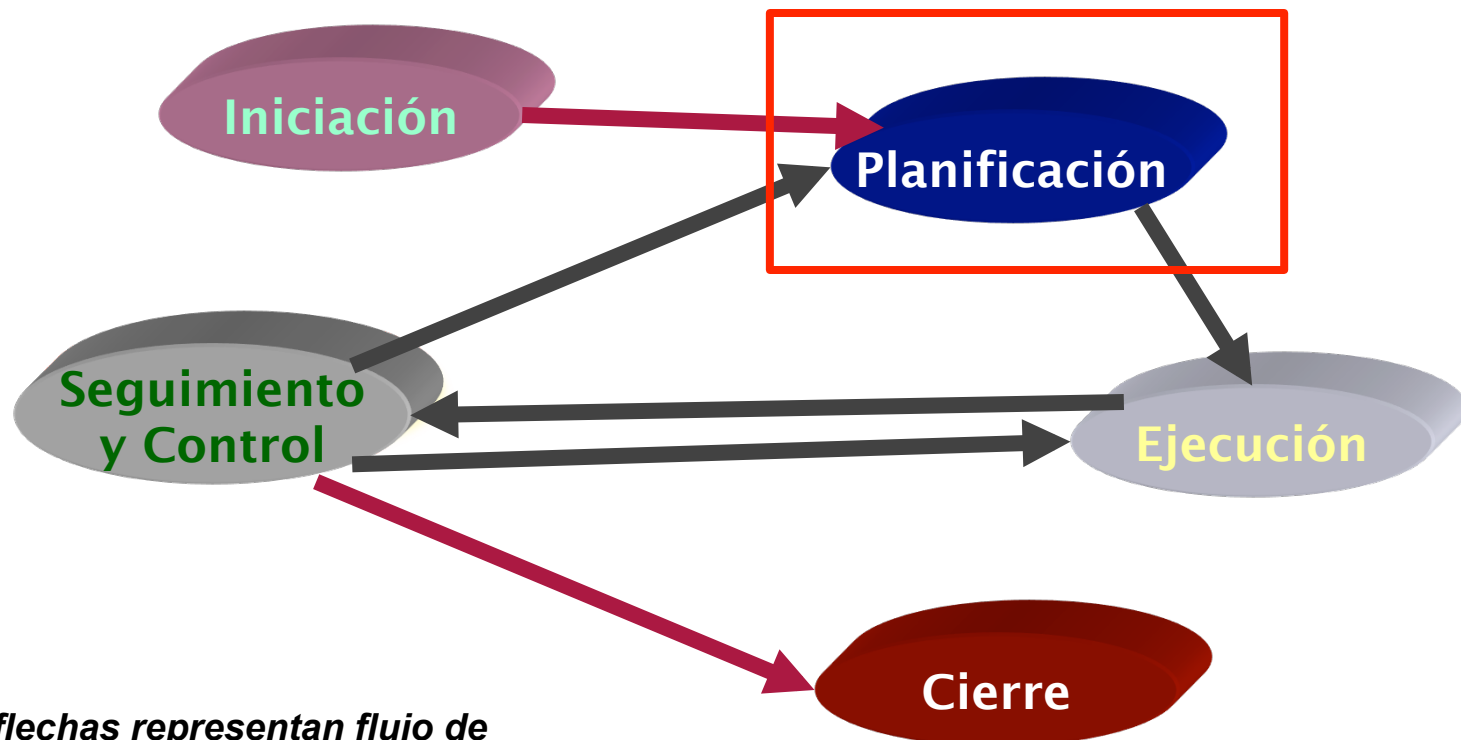
M^a Angélica Caro Gutiérrez

<http://www.face.ubiobio.cl/~mcaro/>

mcaro@ubiobio.cl

Planificación de un Proyecto de Sw

Modelo Básico



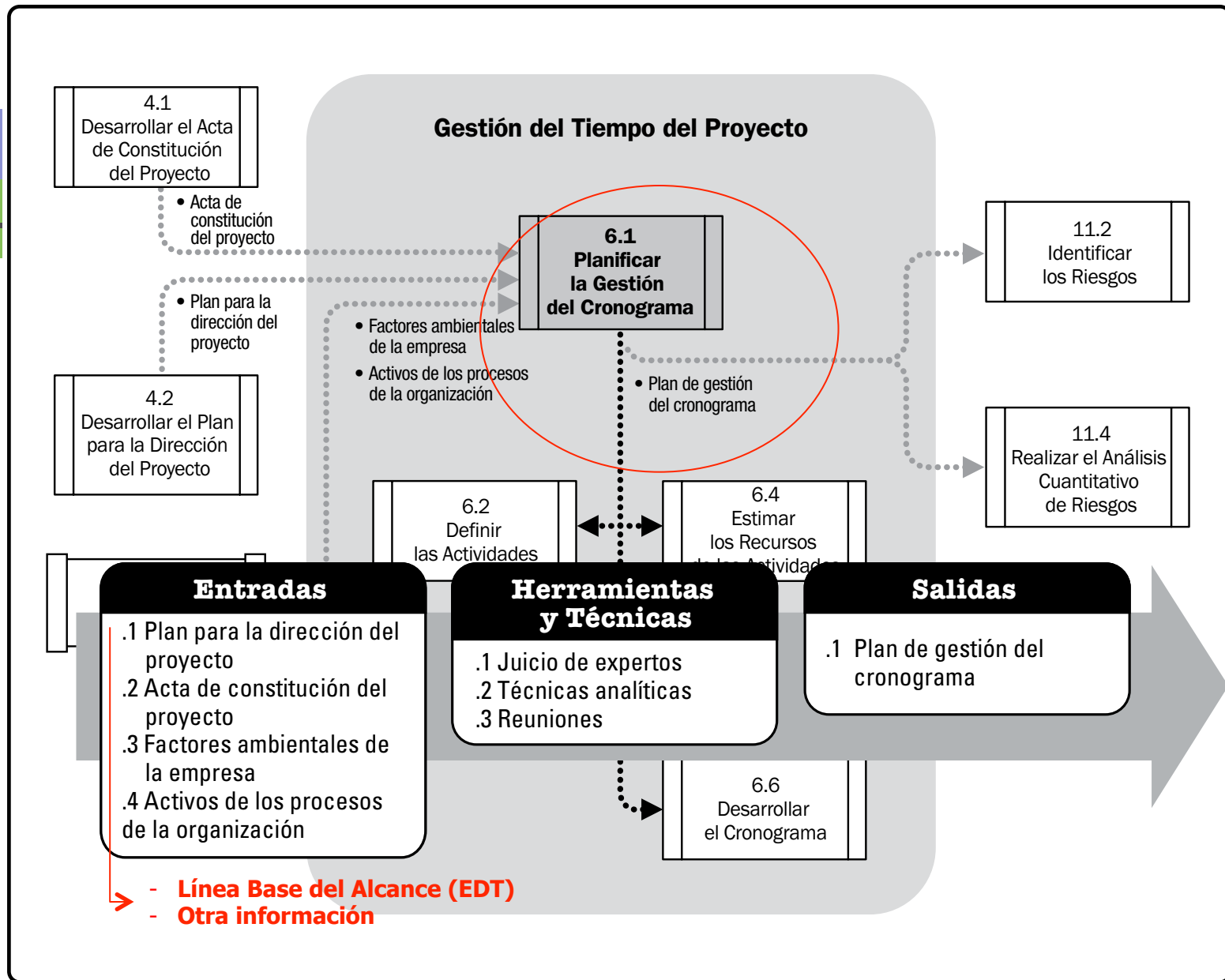
Las flechas representan flujo de información

Correspondencia Grupos de



47 Procesos
5 Grupos
Procesos
10 Áreas
Conocim.

PMBOK 2013		Grupos de Procesos			
Áreas de Conocimiento	Inicio	Planificación	Ejecución	Seguimiento y Control	Cierre
4. Integración	4.1 Desarrollar el Acta Constitución del Proyecto	4.2. Desarrollar Plan de Gestión del Proyecto (PGP) ✓	4.3. Dirigir y Gestionar la Ejecución del Proyecto	4.4. Monitorear y Controlar el Trabajo 4.5. Realizar el Control Integrado de Cambios	4.6. Cerrar Proyecto o Fase
5. Alcance		5.1. Planificar la Gestión del Alcance 5.2. Recopilar Requisitos 5.3. Definir el Alcance ✓ 5.4. Crear la EDI		5.5. Verificar el Alcance 5.6. Controlar el Alcance	
6. Tiempo		6.1. Planificar la Gestión del Calendario 6.2. Definir las Actividades 6.3. Establecer la Secuencia de Actividades 6.4. Estimar los Recursos de Actividades 6.5. Estimar la Duración de Actividades 6.6. Desarrollar el Cronograma 7.1. Planificar la gestión de costos		6.7. Controlar el Cronograma	
7. Costes		7.2. Estimar los Costes 7.3. Determinar el Presupuesto		7.4. Controlar los Costes	
8. Calidad		8.1. Planificar la Calidad	8.2. Realizar Aseguramiento de Calidad	8.3. Realizar Control de Calidad	
9. Recursos Humanos		9.1. Planificar la gestión de los RRHH	9.2. Adquirir Equipo Proyecto 9.3. Desarrollar Equipo Proyecto 9.4. Gestionar Equipo Proyecto		
10. Comunicaciones		10.1. Planificar las Comunicaciones	10.2. Gestionar las comunicaciones	10.3. Controlar las comunicaciones	
11. Riesgos		11.1. Planificar la Gestión de Riesgos 11.2. Identificar los Riesgos 11.3. Análisis Cualitativo de Riesgos 11.4. Análisis Cuantitativo de Riesgos 11.5. Planificación de Respuestas a los Riesgos		11.6. Controlar los Riesgos	
12. Adquisiciones		12.1. Planificar Compras y Adquisiciones	12.2. Efectuar las adquisiciones	12.3. Controlar las Adquisiciones	12.4. Cerrar las Adquisiciones
13. Interesados	13.1 Identificar Stakeholders	13.2 Planificar la Gestión de Stakeholders	13.3 Gestionar la implicación de los Stakeholders	13.4 Controlar la implicación de los Stakeholders	





Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

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



Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

- 6.2 Definir 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. Una vez planificada la fecha puede cambiarse, pero con mucha dificultad.

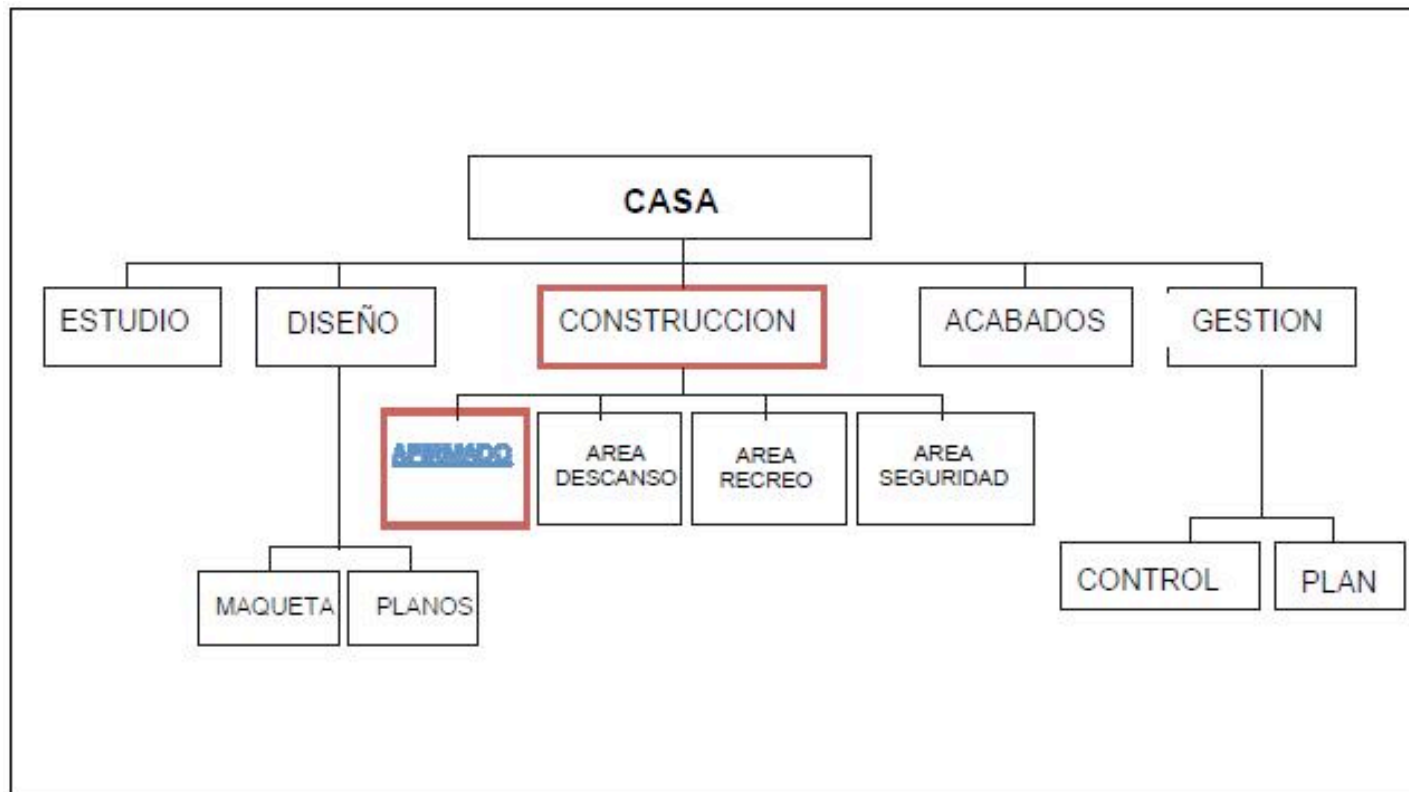


Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

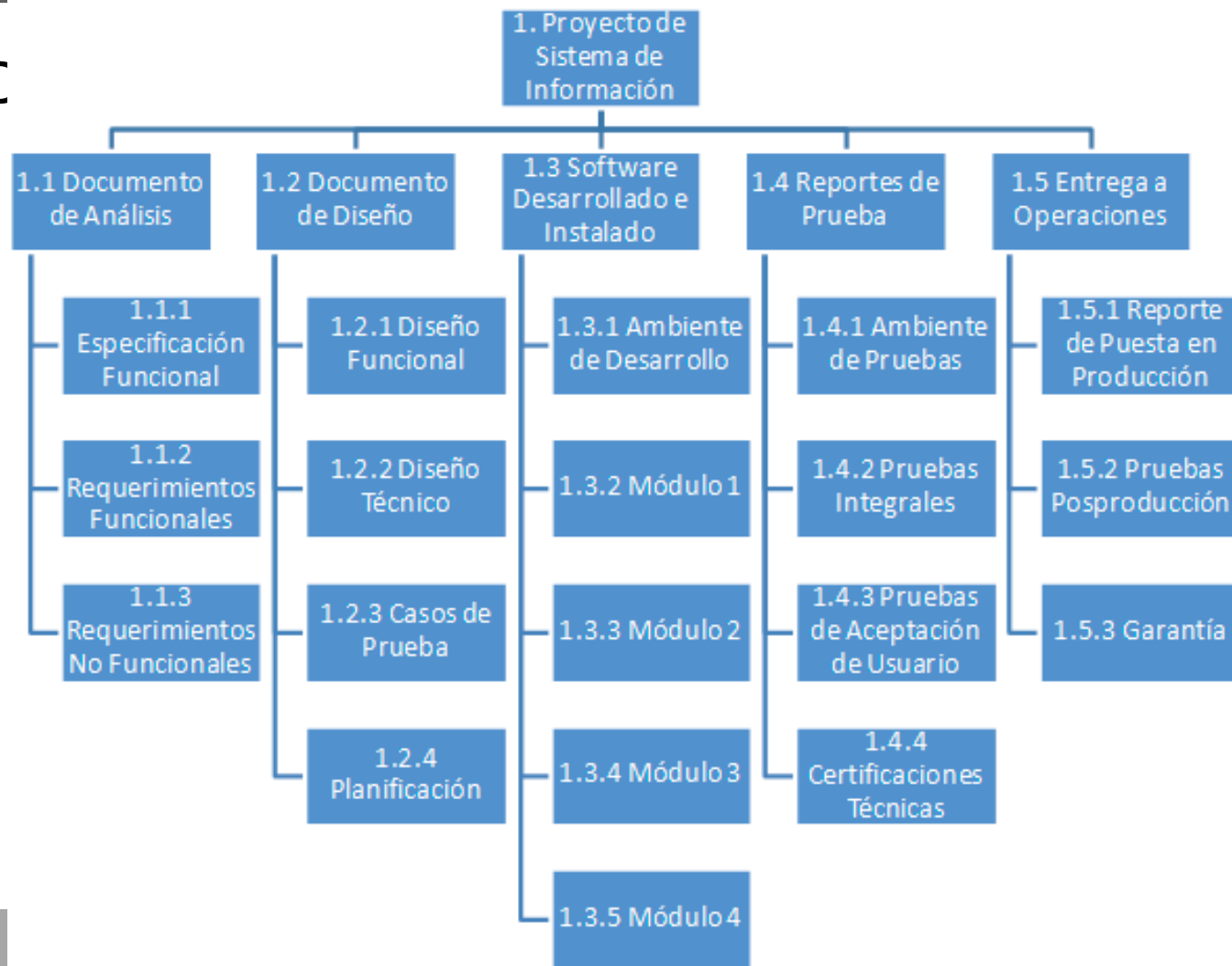
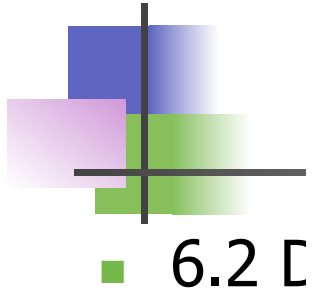
- 6.2 Definir las actividades: (Herramientas y Técnicas)
 - **Descomposición**
 - Subdividir Paquetes de Trabajo en componentes más fáciles de manejar → Actividades
 - La salida son actividades del cronograma en vez de productos entregables (EDT)
 - La lista de actividades, la EDT y el diccionario EDT pueden elaborarse de manera secuencial o en paralelo, usando la EDT y el diccionario como base para el desarrollo de la lista actividades.
 - Cada paquete de trabajo dentro de la EDT se descompone en las actividades necesarias para producir los entregables del paquete de trabajo.
 - **Planificación Gradual**
 - El trabajo a corto plazo se planifica en detalle a un nivel inferior de la EDT.
 - El trabajo a largo plazo se planifica para los componentes de la EDT que se encuentran a un nivel relativamente alto de la EDT.
 - **Plantillas**
 - Lista de actividades estándar o una parte de una lista de actividades de un proyecto anterior.
 - **Juicio de Expertos**

Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

- 6.2 Definir las actividades: (Herramientas y Técnicas)



Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**





Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

■ 6.2 Definir las actividades: (Salidas)

■ Lista de Actividades

- Lista exhaustiva de todas las actividades del cronograma necesarias para el proyecto.

■ Atributos de las actividades

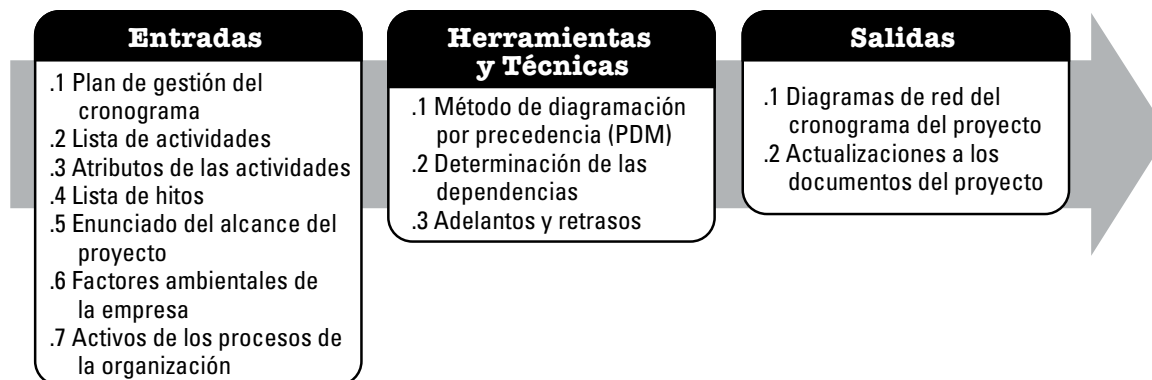
- Los atributos de las actividades amplían la descripción de la actividad, al identificar los múltiples componentes relacionados con cada una de ellas.
- Los componentes de cada actividad evolucionan a lo largo del tiempo.
- Por cada actividad Se podría incluir:
 - Identificador o Código de actividad
 - Descripción del alcance del trabajo, con el nivel de detalle suficiente para que los miembros del equipo del proyecto comprendan el trabajo que deben realizar.
 - Título único, que describa su ubicación dentro del cronograma
 - Actividades predecesoras
 - Actividades sucesoras
 - Otros: Relaciones lógicas, adelantos y retrasos, requisitos de recursos, fechas obligatorias, restricciones y supuestos, persona responsable de ejecutar el trabajo, la zona geográfica o el lugar donde debe realizarse el trabajo, el calendario del proyecto al que se asigna la actividad, y el tipo de actividad, etc.

■ Hitos (Hito = punto o evento significativo dentro del proyecto)

- Listado de todos los hitos del proyecto indicando los obligatorios (exigidos por contrato), y los opcionales (basados en información histórica).
- Similares a las actividades normales, pero con duración nula, ya que representan un momento en el tiempo.

Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

- 6.3 Secuenciar actividades:
 - Proceso: *Identificar y documentar las relaciones entre las actividades del proyecto.*
 - El beneficio clave de este proceso reside en la definición de la secuencia lógica de trabajo para obtener la máxima eficiencia teniendo en cuenta todas las restricciones del proyecto.



Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

■ 6.3 Secuenciar 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

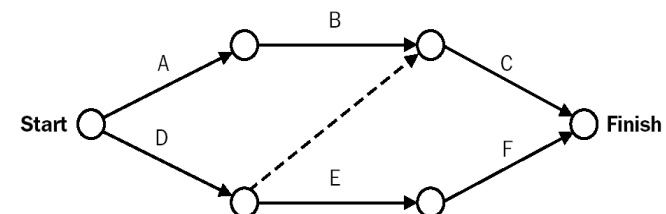
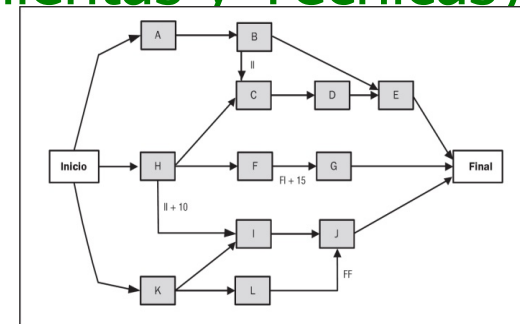
- Redes Cronograma

■ 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.





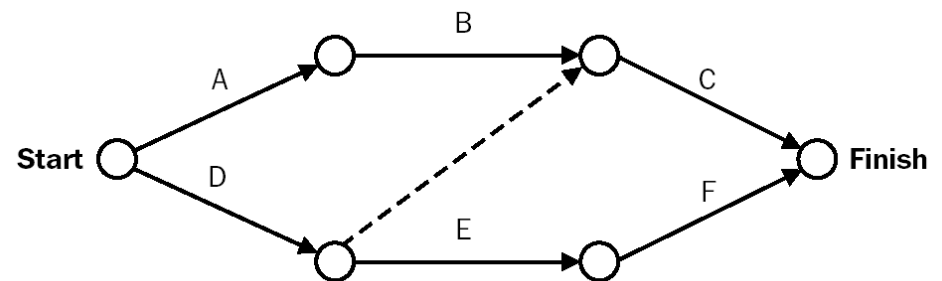
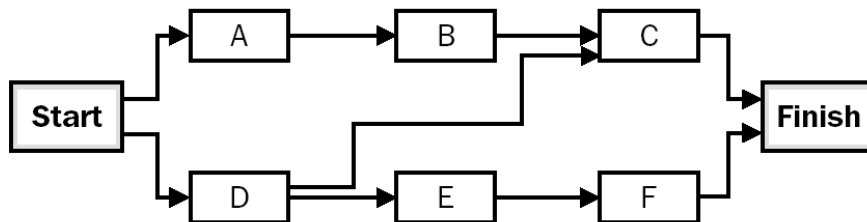
Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

- 6.3 Secuenciar 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.

Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

■ 6.3 Secuenciar actividades: (Herramientas y Técnicas)

- Diagramas en Red del Proyecto (DRP):
 - 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**

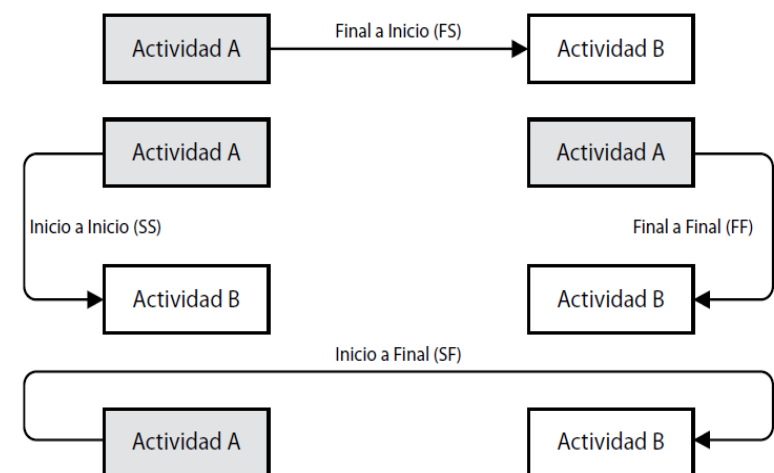


Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

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





Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

- 6.3 Secuenciar 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



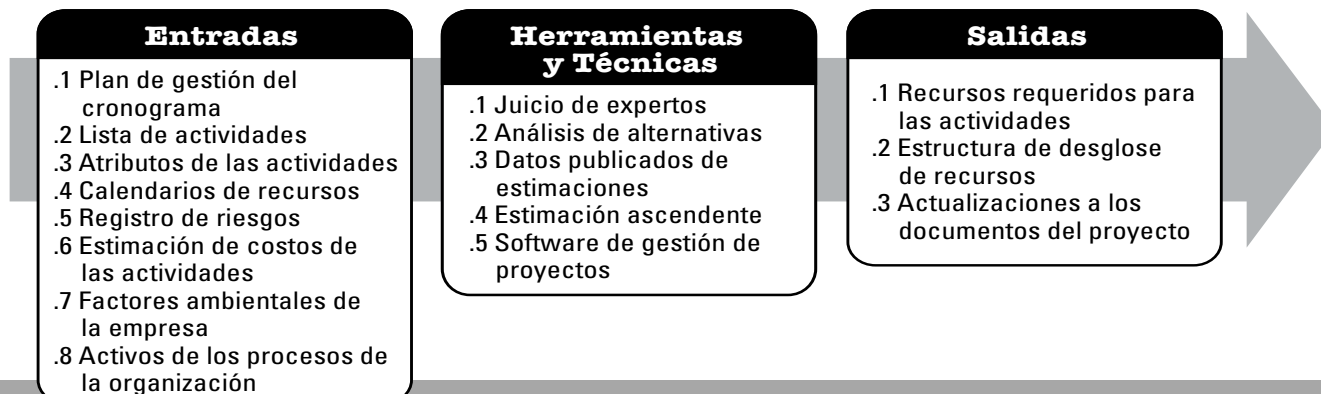
Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

- 6.3 Secuenciar 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

Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

■ 6.4 Estimar recursos de actividades:

- Proceso: *Estimar tipo y cantidades de materiales, personas, equipos o suministros requeridos para llevar a cabo cada una de las actividades.*
- El beneficio clave de este proceso es que identifica el tipo, cantidad y características de los recursos necesarios para completar la actividad, lo que permite estimar el costo y la duración de manera más precisa.





Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

- 6.4 Estimar recursos de actividades: **(Herramientas y Técnicas)**
 - **Juicio de Expertos**
 - **Análisis de Alternativas.** Muchas actividades tienen métodos alternativos de realización
 - Uso de distintos niveles de capacidad o habilidades de los recursos,
 - Diferente tamaño o tipo de máquinas, diferentes herramientas
 - Fabricación propia o compra a terceros de recursos, etc. (adquisiciones)
 - **Datos de Estimación**
 - Costos unitarios recursos, índices producción, etc..
 - Publicados por empresas periódicamente



Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

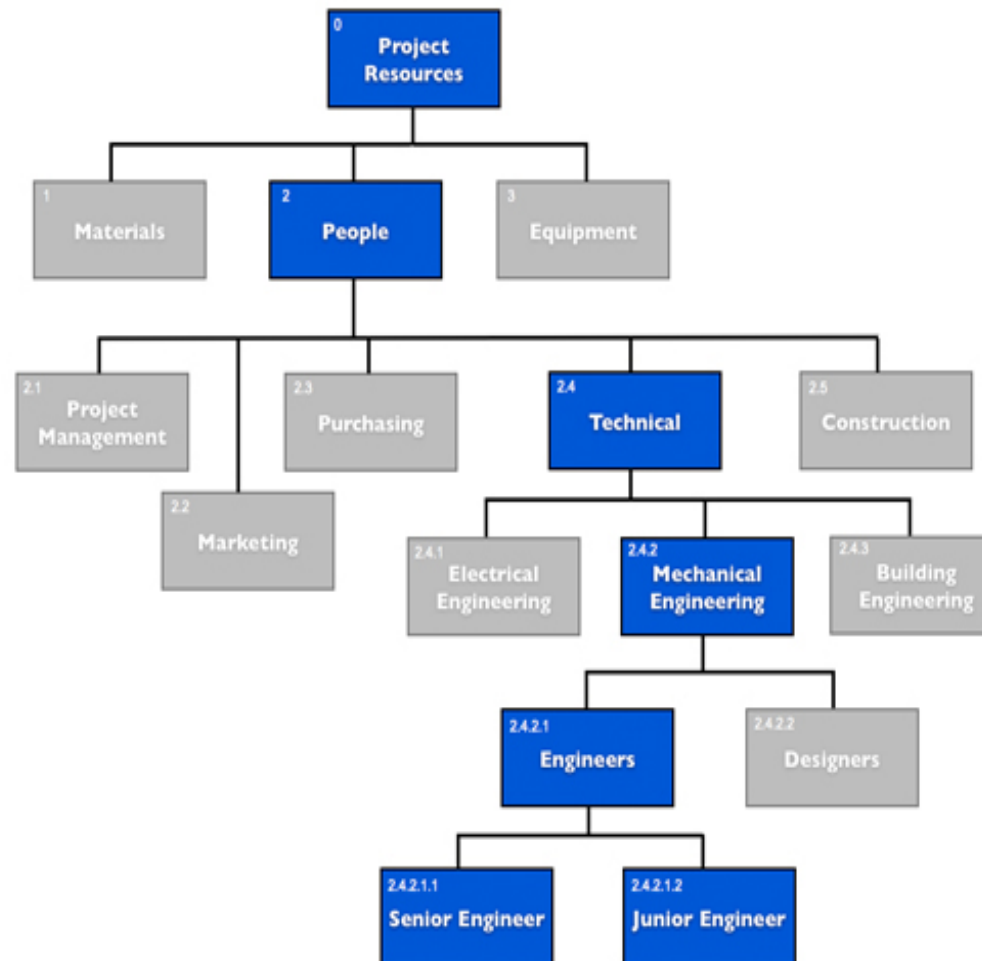
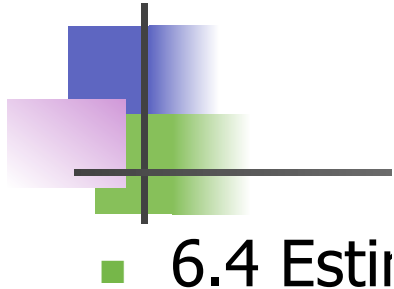
- 6.4 Estimar recursos de actividades: (Herramientas y Técnicas)
 - **Estimación Ascendente**
 - Se estiman las necesidades de recursos de niveles inferiores de paquetes de trabajo y se suman luego en una cantidad total para cada uno de los recursos de la actividad del cronograma.
 - **Software de Gestión de Proyectos**
 - Planificar, organizar y gestionar los recursos; estimaciones, etc



Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

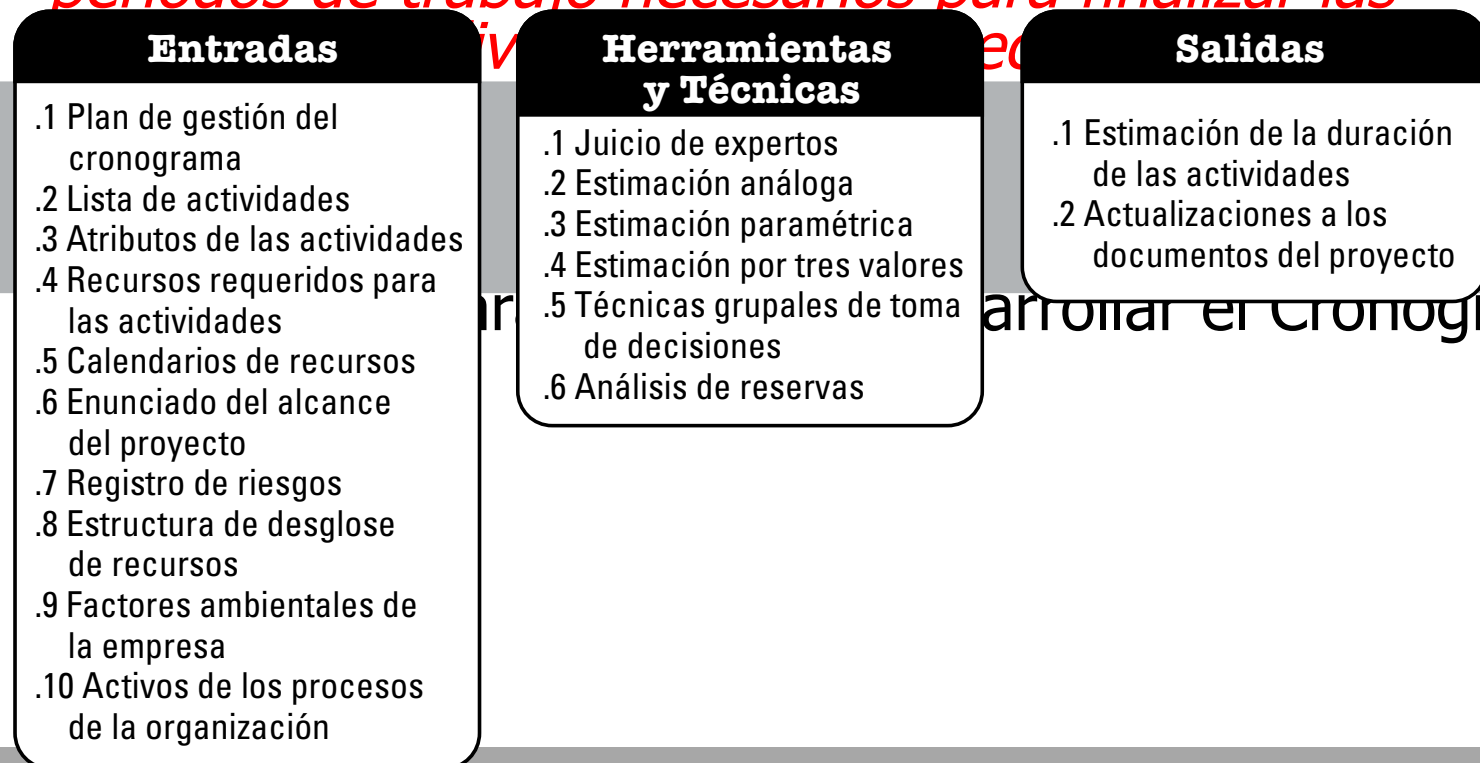
- 6.4 Estimar recursos de actividades: **(Herramientas y Técnicas)**
 - **Requisitos de Recursos** de las Actividades
 - Identificación y descripción de los tipos y las cantidades de recursos necesarios para cada actividad del cronograma de un paquete de trabajo.
 - Estos requisitos pueden sumarse para 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

Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**



Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

- 6.5 Estimar la duración de las actividades:
 - Proceso: *Realizar una estimación de la cantidad de períodos de trabajo necesarios para finalizar las*



Desarrollar el Cronograma.



Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

- 6.5 Estimar la duración de las actividades:
 - 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 costos.
 - 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),
 - La *productividad* de las personas.

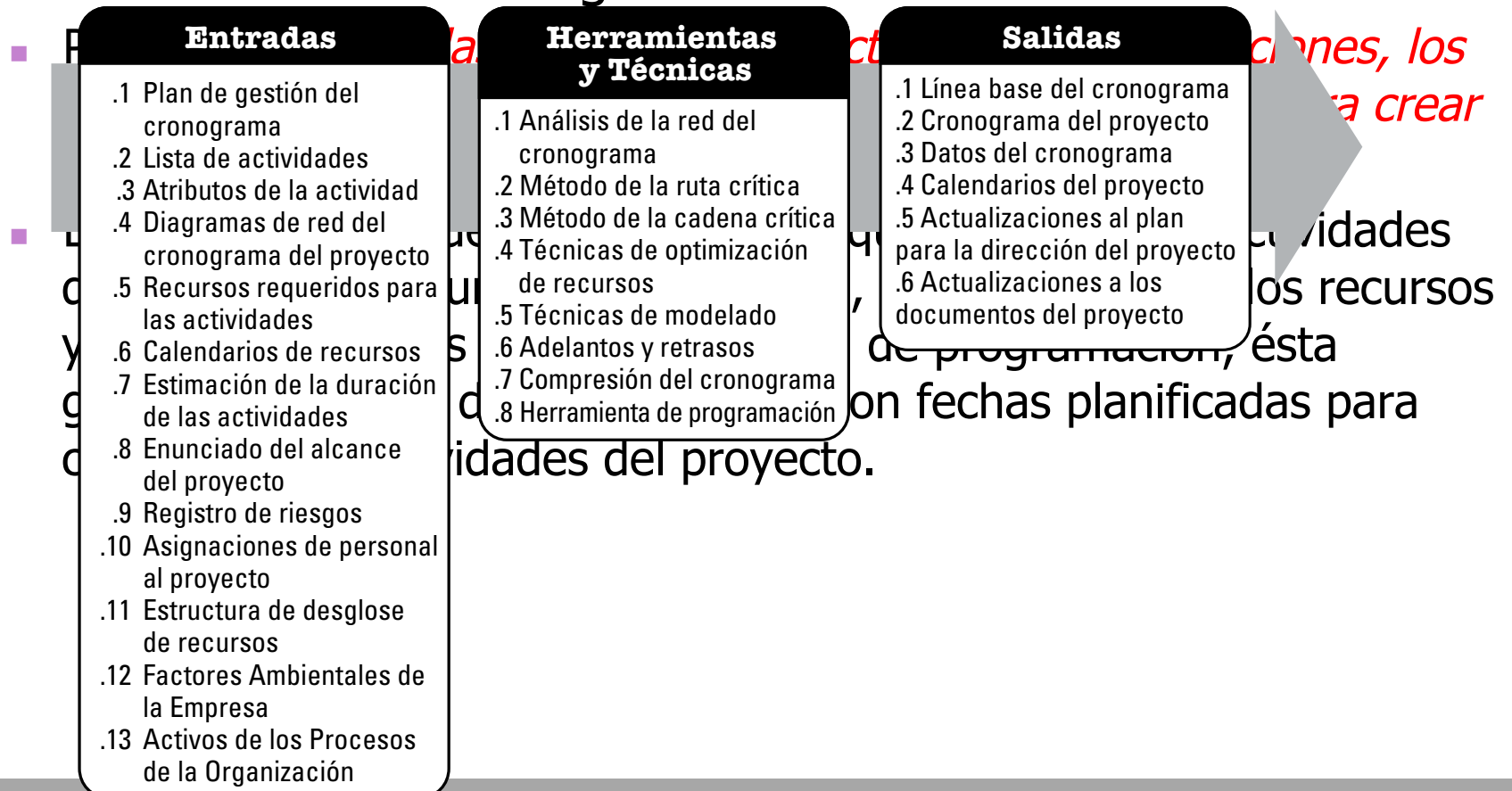


Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

- 6.5 Estimar la duración de las actividades:
 - Juicio de Expertos (Técnica Delphi, ...)
 - 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)

Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

■ 6.6 Desarrollar el cronograma:





Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

- 6.6 Desarrollar el cronograma:
 - 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
 - Requisitos de recursos en cada actividad.



Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

- 6.6 Desarrollar el cronograma: (Técnicas)
 - **Análisis de la Red del Cronograma**
 - Emplea un modelo de cronograma y técnicas analíticas (ruta crítica, que pasa si, etc..) para calcular las fechas de inicio y finalización tempranas y tardías, y las fechas de inicio y finalización de las actividades del cronograma del proyecto.
 - **Método del camino crítico**
 - Se realiza utilizando el modelo de cronograma.
 - Calcula las fechas de inicio y finalización tempranas y tardías teóricas para todas las actividades del cronograma, sin considerar las limitaciones de recursos.
 - **Compresión del cronograma**
 - Acorta el cronograma del proyecto (sin modificar alcance) para cumplir con las restricciones, fechas impuestas u otros objetivos del cronograma.
 - **Compresión.** Cómo obtener la mayor compresión con el mínimo incremento de costo.
 - **Ejecución Rápida.** Una técnica de compresión del cronograma en la cual las fases o actividades que normalmente se realizarían de forma secuencial, se realizan en paralelo



Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

- 6.6 Desarrollar el cronograma: (Técnicas)
 - **Análisis "¿Qué pasa si...?"**
 - Cálculo de diferentes escenarios (demora en la entrega, ampliación de la duración, huelgas, ..).
 - Los resultados permiten evaluar la viabilidad del cronograma del proyecto en condiciones adversas, preparar planes de contingencia y respuesta para superar o mitigar el impacto.
 - Se aplica simulación (Monte Carlo).
 - **Nivelación de Recursos**
 - Se aplica sobre cronogramas con análisis de camino crítico.
 - Gestión de las actividades para cumplir con fechas de entrega en situaciones como: recursos compartidos; críticos; limitados; o para mantener el uso de recursos seleccionados a un nivel constante durante períodos específicos.
 - Puede hacer que cambie el camino crítico original.
 - **Método de Cadena Crítica**
 - Otra técnica de análisis para contemplar los recursos limitados.
 - El cronograma resultante, en general, tiene un camino crítico alterado

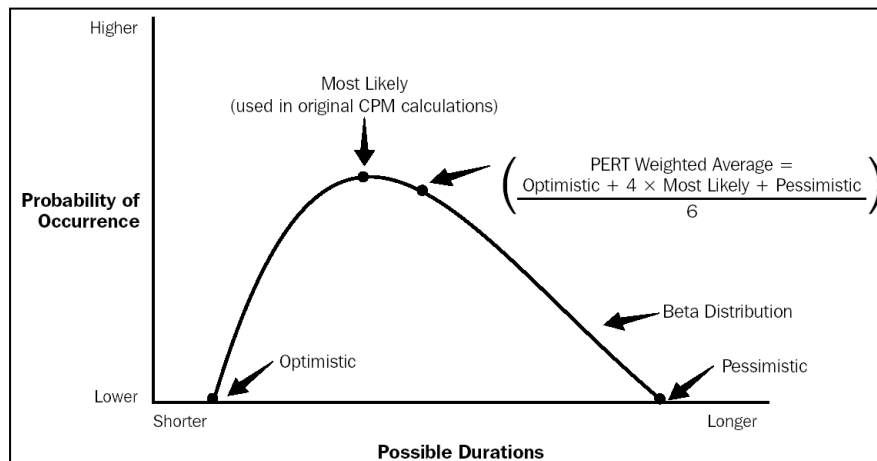


Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

- 6.6 Desarrollar el cronograma: (Técnicas)
 - **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.

Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

- 6.6 Desarrollar el cronograma: (Técnicas)
 - 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

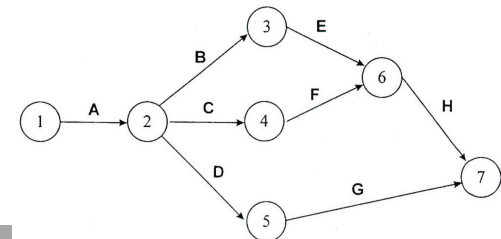


Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

- 6.6 Desarrollar el cronograma: (Técnicas) PERT
 - **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**.

Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

- 6.6 Desarrollar el cronograma: (Técnicas) 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.



Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

■ 6.6 Desarrollar el cronograma: (Técnicas) 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

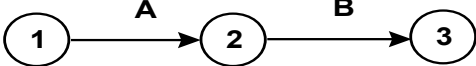
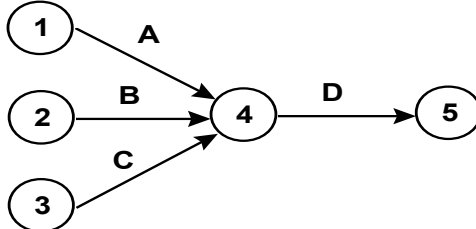
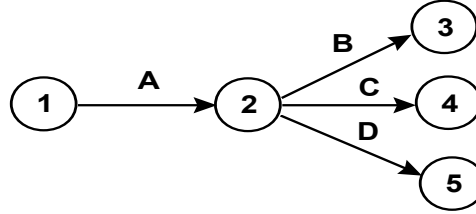
	A	B	C	D	E	F	G	H
A								
B	X							
C	X							
D	X							
E		X						
F			X					
G				X				
H					X	X		

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

Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

■ 6.6 Desarrollar el cronograma: (Técnicas) PERT

■ **Elaboración del Grafo:** Relaciones de Precedencia

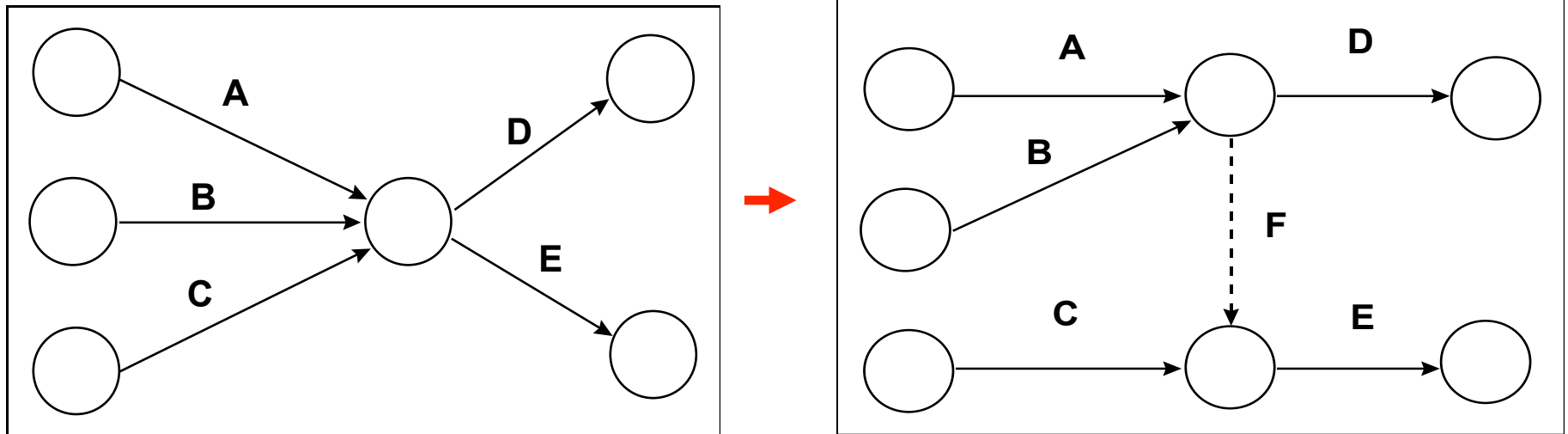
RELACIONES DE PRECEDENCIA LINEALES		Para iniciar la actividad B es necesario haber finalizado la actividad A. El suceso 2 es suceso final de A y suceso inicio de B.
RELACIONES DE PRECEDENCIA CONVERGENTES		Para iniciar la actividad D es necesario haber finalizado las actividades A, B y C.
RELACIONES DE PRECEDENCIA DIVERGENTES		Para poder iniciar cualquiera de las actividades B, C, o D, es necesario que haya finalizado la actividad A.

Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

6.6 Desarrollar el cronograma: (Técnicas) PERT

Elaboración del Grafo: Relaciones de Precedencia

- Actividades Ficticias (Duración 0 y costo 0)
- Ejemplo: Las actividades A y B preceden a la actividad D y las actividades A, B y C preceden a la actividad E.

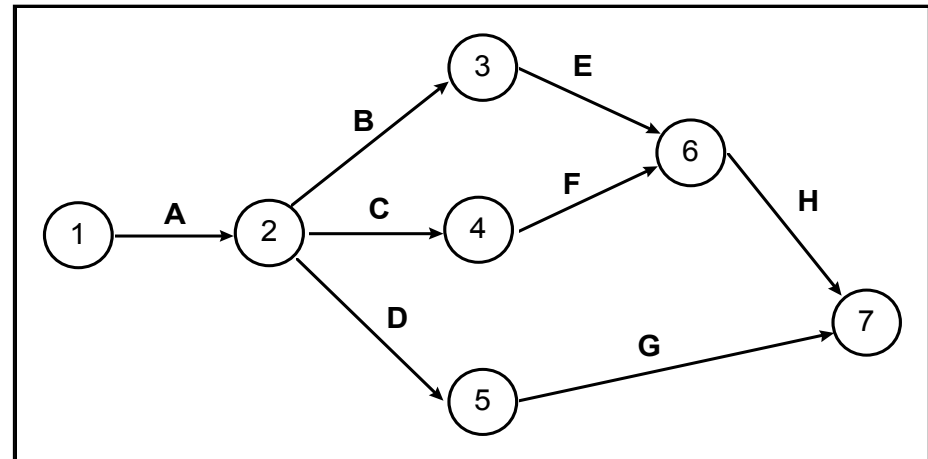


Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

■ PERT. Ejemplo:

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

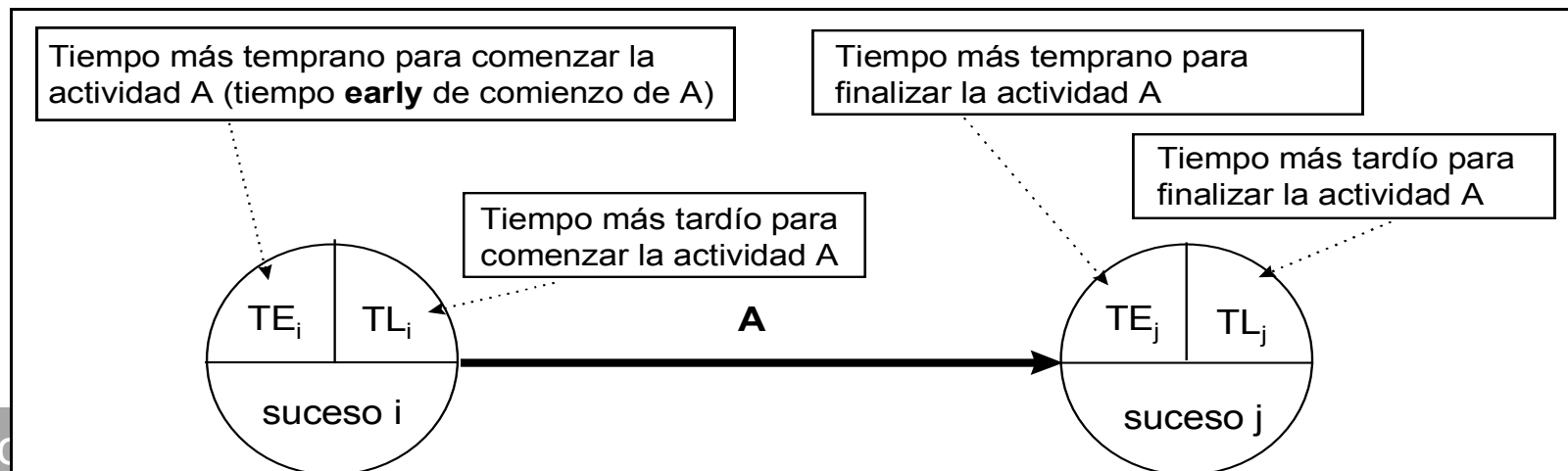
Actividades	Duración	Actividades Precedentes
A	8	-
B	5	A
C	6	A
D	5	A
E	6	B
F	7	C
G	9	D
H	3	E, F



Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

■ PERT. Estimación de tiempos:

- **Estimación de tiempo pesimista (t_P)**: tiempo máximo en que podría finalizarse la actividad si aparecen todas las circunstancias negativas que pueden darse durante su ejecución.
- **Estimación de tiempo más probable (t_n)**: tiempo normal de duración de la actividad considerando que hay problemas durante las actividades, pero no aparecen en su totalidad.
- **Estimación de tiempo optimista (t_o)**: tiempo mínimo si no aparece ningún problema durante la ejecución de la actividad.



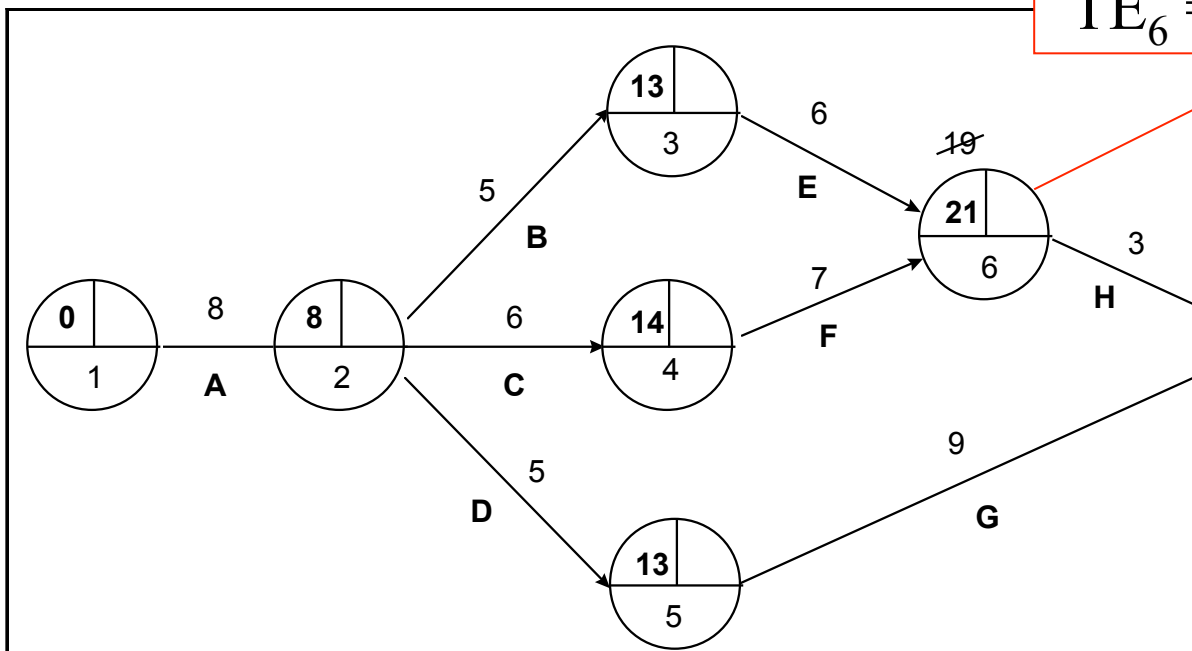
Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

■ PERT. Ejemplo:

- Cálculo de los Tiempos Early:

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

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

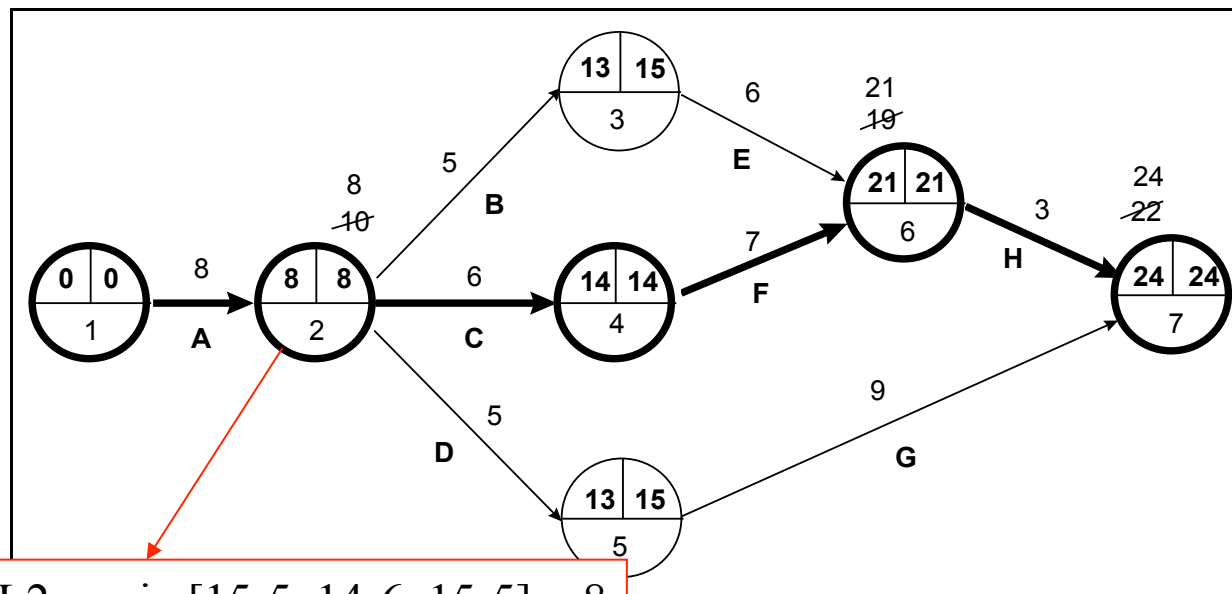


Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

■ PERT. Ejemplo:

- Cálculo de los Tiempos Late:

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



$$TL_2 = \min [15-5, 14-6, 15-5] = 8$$



Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

■ PERT. Ejemplo:

- 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: $HT_{36} = 21 - 13 - 6 = 2$



Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

■ PERT. Ejemplo:

- 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: $HI_{36} = 21 - 15 - 6 = 0$

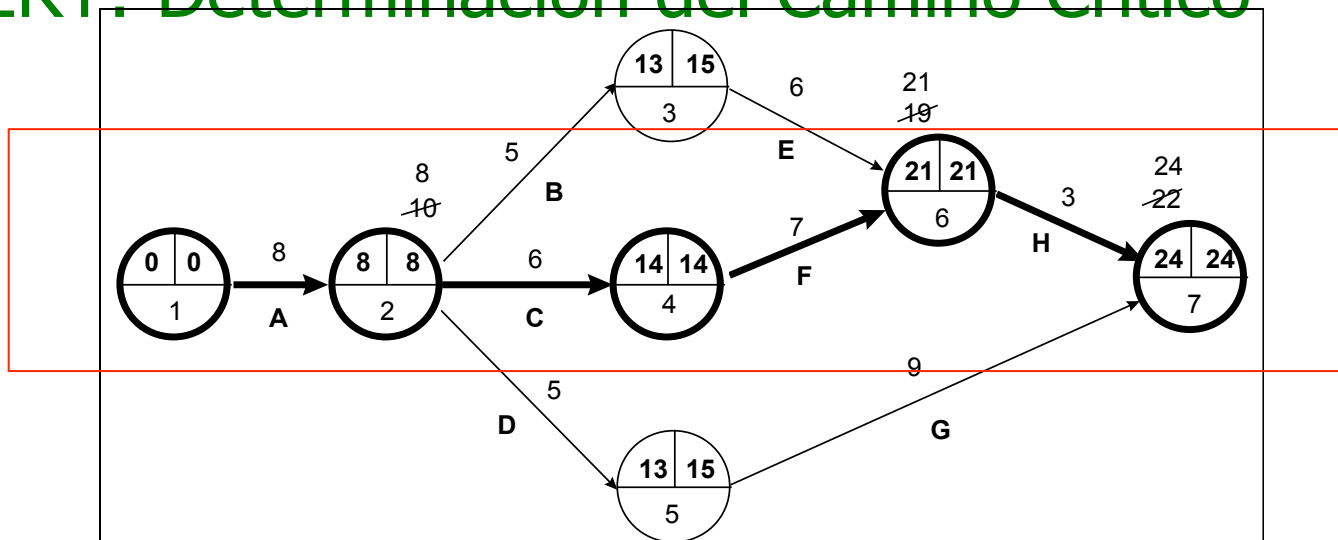


Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

- **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.

Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

■ PERT: Determinación del Camino Crítico



- Duración total del proyecto: se puede calcular de dos maneras:
 - a) tiempo *early* (o *late*) del último suceso; o
 - $DTP = TE7 = TL7 = 24$
 - b) suma de las duraciones de las actividades críticas.
 - $DTP = T(A) + T(C) + T(F) + T(H) = 8 + 6 + 7 + 3 = 24$



Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

- **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:
 - $FFL_{ij} = TL_j$



Planificación de un P. de Sw: **Tiempo**

- PERT: Definición de las fechas

- Ejemplo:

- para la actividad E de [T34] con inicio del proyecto el 7-enero,

- $FCE36 = FIP + TE3 = 13$ (20-enero)
 - $FCL36 = TL6 - T(E) = 21 - 6 = 15$ (22-enero)
 - $FFE36 = TE3 + T(E) = 13 + 6 = 19$ (26-enero)
 - $FFL36 = TL6 = 21$ (28-enero)

- En una actividad crítica, las fechas de comienzo más temprana y más tardía coinciden.