

## Capítulo 6 - CRONOGRAMA



*No hubo tiempo alguno en que no hubiese tiempo.*  
San Agustín (354-439). Obispo y filósofo.

¿Tus proyectos terminan siempre en el plazo estimado? Si la respuesta es NO, presta mucha atención a este capítulo donde veremos varias herramientas para gestionar de manera eficiente el cronograma del proyecto.

Al finalizar el capítulo habrás aprendido los siguientes conceptos:

- ✓ Procesos de gestión del cronograma
- ✓ Definir actividades
- ✓ Secuenciar actividades
- ✓ Desarrollar el cronograma
- ✓ Ruta crítica y holguras
- ✓ Controlar el cronograma

Un buen cronograma será fundamental para saber cómo y cuándo se van a entregar los productos, servicios o resultados acorde al enunciado del alcance.

*🗒 El cronograma servirá como herramienta de comunicación para gestionar a los interesados informando el estado de avance del proyecto.*

En **metodologías ágiles**, el alcance detallado de todo el proyecto no ha sido definido con exactitud antes de la ejecución. Por lo tanto, es muy difícil estimar un cronograma con la duración total del proyecto. En estos proyectos que utilizan un ciclo de vida adaptativo, se define el alcance de una iteración y se limita el tiempo de duración de esa iteración. Cada iteración, sería una especie de mini-cronograma.

Por lo general, la duración de una iteración suele ser relativamente corta (ej. 15 días), lo que ayuda a mitigar una posible corrupción del alcance en caso que sobrara tiempo y los técnicos comenzaran a agregar funcionalidad adicional no solicitada.

En estos proyectos de ciclos adaptativos, los cronogramas son más flexibles en relación a los ciclos predictivos. Al finalizar cada iteración se recopilan lecciones aprendidas que pueden cambiar las prioridades del plan preliminar.

**Procesos de gestión del cronograma** <sup>17</sup>

Vamos a desarrollar los procesos de la gestión del cronograma que se distribuyen entre los grupos de procesos de “planificación” y “control”.

**Procesos de Cronograma**

Inicio	Planificación	Ejecución	Control	Cierre
	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Planificar cronograma</li> <li>. Definir actividades</li> <li>. Secuenciar actividades</li> <li>. Estimar duración</li> <li>. Desarrollar cronograma</li> </ul>		Controlar cronograma	

Los seis procesos de la gestión del cronograma son:

1. **Planificar** la gestión del cronograma: definir los procesos para desarrollar, gestionar y controlar la agenda del proyecto.
2. **Definir** las actividades: identificar cada una de las acciones que se deben realizar para elaborar los entregables.
3. **Secuenciar** las actividades: analizar qué tipo de dependencias y relaciones existe entre las actividades.
4. Estimar la **duración** de las actividades: calcular el tiempo necesario para completar cada actividad.
5. Desarrollar el **cronograma**: integrar la secuencia, requisitos de recursos, restricciones y duración de actividades.
6. **Controlar** el cronograma: monitorear estados de avance y gestionar actualizaciones y cambios en el cronograma.

*👉 En pequeños proyectos se suele desarrollar el cronograma en un único proceso que incluye: definir actividades, secuenciarlas, estimar duración y elaborar el cronograma.*

Estos procesos podrían diferir en proyectos de ciclos adaptativos que utilizan metodologías ágiles. Por ejemplo:

- ✓ **Programación iterativa**: los requisitos se recopilan en un backlog con las historias de usuarios. En cada iteración de tiempo limitado, se priorizan las historias que se van a trabajar en esa iteración, para entregar un valor incremental al cliente lo más rápido posible.
- ✓ **Programación bajo demanda**: a medida que se cuenta con recursos disponibles, se va sacando y priorizando el trabajo a realizar del backlog.

<sup>17</sup> Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Sixth Edition, Project Management Institute, Inc., 2017.

## Planificar la gestión del cronograma

Al planificar la gestión del cronograma no sólo definimos las políticas para elaborar y gestionar el cronograma, sino todos los temas relacionados con el control y gestión de cambios.

¿Qué necesitamos para empezar a planificar la gestión del cronograma?

- ↓ Acta de constitución: **hitos**.
- ↓ Planes: gestión del **alcance**, enfoque de desarrollo (ciclo predictivo o adaptativo).

¿Qué herramientas podemos utilizar?

- **Análisis de alternativas**: ¿Qué metodologías utilizar?, ¿Cuál será el nivel de detalle del cronograma?, ¿Cuál será la duración de cada iteración?, etc.

¿Qué obtenemos al final del proceso?

- **Plan de gestión del cronograma**: descripción de los procesos para desarrollar, gestionar y controlar el cronograma. Por ejemplo:
  - ¿Qué **metodología** y herramientas se utilizarán? Ej: Critical Path Method, Ágil, etc.
  - ¿Cuáles serán las **unidades** de medida? Ej: horas, días, meses, etc.
  - ¿Cuál será el nivel de **precisión** en las estimaciones de tiempo? Ej: +/- 5%, ROM (rough order of magnitude) -25% a +75%, etc.
  - ¿Cuánto será el nivel de **tolerancia o límites de control** de los desvíos? Ej: +20% sin necesidad de aplicar acciones correctivas.
  - ¿Qué **reglas** se utilizarán para definir el porcentaje de avance de una actividad? Ej: horas trabajadas, regla 50/50 (50% si comenzó o 100% si terminó), etc.
  - ¿Cuáles serán las **cuentas de control** de la EDT para gestionar los avances?
  - ¿Cómo se estimará la **reserva** para contingencias?
  - ¿Cómo será el formato y cuándo se presentarán los **informes de avance**?

### Resumiendo

➤ EDT	➤ Análisis de alternativas	➤ Plan del gestión del cronograma
-------	----------------------------	-----------------------------------



## Definir las actividades

Para producir los entregables aprobados en el enunciado del alcance, será necesario identificar y documentar todas las actividades para cada uno de los paquetes de trabajo.

¿Qué necesitamos para empezar a definir las actividades?

- ↓ Plan de **gestión del cronograma**
- ↓ Línea base del alcance: enunciado del alcance, **EDT** y su diccionario

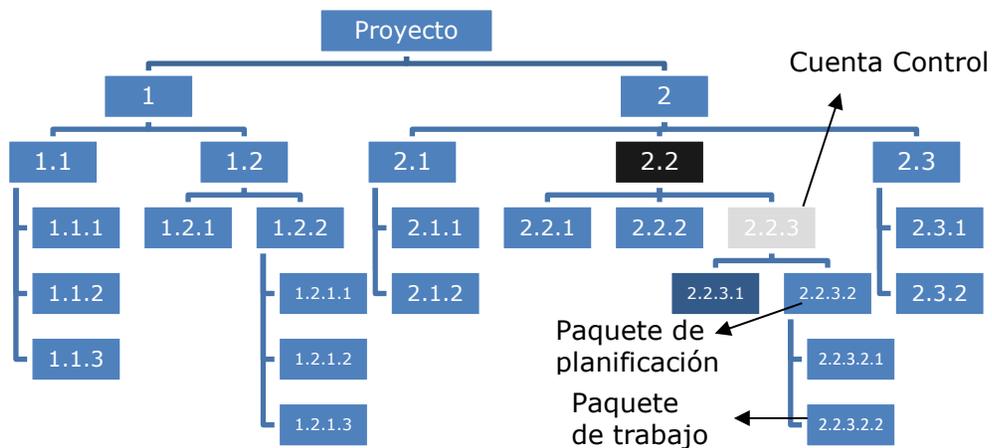
👉 *El enunciado del alcance será una entrada de casi todos los procesos para la dirección del proyecto, por lo que no se volverá a mencionar en todos los procesos de este libro.*

¿Qué herramientas podemos utilizar?

- **Descomposición:** subdividir los paquetes de trabajo de la EDT en actividades.
- **Planificación gradual:** planificar en detalle las actividades cercanas en el tiempo, por ejemplo los próximos 6 meses (o próxima iteración de 15 días), y planificar a nivel agregado aquellas actividades que se realizarán más adelante.

👉 *Cuando todavía es difuso el alcance del proyecto, se pueden utilizar cuentas de control o paquetes de planificación en la EDT para estimar actividades a nivel agregado.*

### Componentes de planificación en la EDT



¿Qué obtenemos al final del proceso?

- **Lista de actividades**
- **Atributos de las actividades**

**Atributo de la actividad - ejemplo**

Identificador en la EDT	3.4.1
Nombre	Estudio de mercado
Código	3.4.1.2
Descripción	Estimar ingresos de turistas al país
Actividad predecesora	3.4.1.1
Actividad sucesora	3.4.1.3
Relación de dependencia	discrecional
Adelanto o retraso	Comenzar cuando 3.4.1.1 tiene 50% de avance
Requisito de recursos	1 licenciado en comercialización y 1 notebook
Fechas impuestas	No finalizar después del 15 de Agosto
Restricciones	Presupuesto máximo de 50 horas
Supuestos	Se accede a base de datos del gobierno
Persona responsable	Juana Ping
Lugar de realización	Oficina de +C
Nivel de esfuerzo	Discreto / prorrateado

- **Lista de hitos:** eventos de duración 0, que marcan un momento importante dentro del proyecto.

⚠ *Mientras que las actividades tienen principio y fin, los hitos no tienen duración. Por ejemplo, un hito sería la firma del contrato el 15 de septiembre a las 10:00 am.*

- **Solicitudes de cambio**

*Resumiendo*

➤ Plan cronograma	➤ Descomposición	➤ Actividades
➤ EDT		➤ Hitos



## Secuenciar las actividades

El proceso de secuenciar las actividades consiste en determinar las dependencias entre las mismas. O sea, qué realiza primero y qué sigue luego. En este proceso se convertirá el listado de actividades en un diagrama.

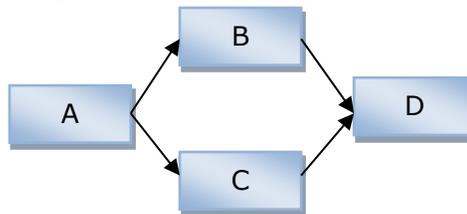
¿Qué necesitamos para empezar a secuenciar las actividades?

- ↓ Planes: [gestión del cronograma](#), línea base del [alcance](#).
- ↓ Documentos: listado de [actividades](#) y sus atributos, [hitos](#), supuestos.

¿Qué herramientas podemos utilizar?

- **Diagramación por precedencia** (PDM: precedence diagramming method): las actividades se representan en cada nodo y las flechas indican precedencia, también conocido como AON (activity on node).

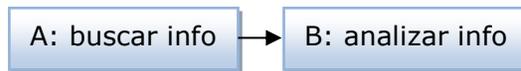
### Diagramación por precedencia



La diagramación por precedencia permite cuatro tipos de dependencias entre las actividades: final a inicio (FS: finish-start), final a final (FF: finish-finish), inicio a inicio (SS: start-start), e inicio a final (SF: start-finish). Esta última no se utiliza, siendo la más utilizada la relación final a inicio.

### Tipo de dependencias del PDM

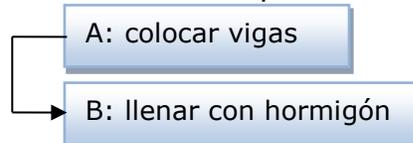
- **Final a inicio:** B puede comenzar cuando A termina



- **Final a final:** B no puede finalizar hasta que A no finalice



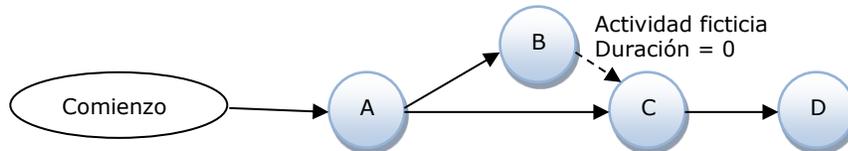
- **Inicio a inicio:** B no puede comenzar hasta que A comience



- **Inicio a final:** B no puede finalizar hasta que comience A.

✎ *Diagramación con flechas o ADM (arrow diagramming method): las actividades se representan con flechas y los nodos circulares son eventos, también conocido como AOA (activity on arrow). Este método no se utiliza en la actualidad.*

### Diagramación con flechas



➤ **Determinación de dependencias:** definir qué tipo de dependencia existe entre las actividades. Existen diferentes tipos de dependencias: obligatorias (lógica dura), discrecionales (lógica blanda), internas y externas. Por ejemplo, secuencias:

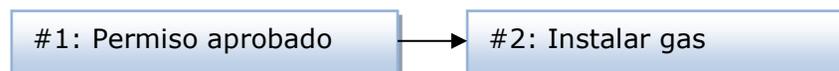
- **Obligatorias:** no podemos colocar los pisos hasta que no termine de fraguar el hormigón.



- **Discrecionales (o elegidas):** podemos realizar el estudio de viabilidad legal antes que el estudio de viabilidad económica, o viceversa.



- **Externas:** hasta que no apruebe el permiso la municipalidad, no podemos instalar el gas.



- **Internas:** hasta que no terminen la EDT los miembros del equipo, no podemos definir las actividades.



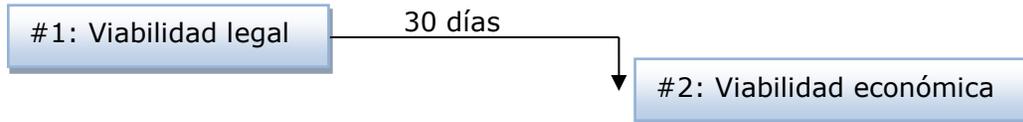
✎ *Los cuatro tipos de dependencias son: obligatorias externas, obligatorias internas, discrecionales externas y discrecionales internas.*

➤ **Adelantos y retrasos.** Por ejemplo:

- **Adelanto:** la “viabilidad económica” puede comenzar cuando la “viabilidad legal” tenga un avance del 50%.



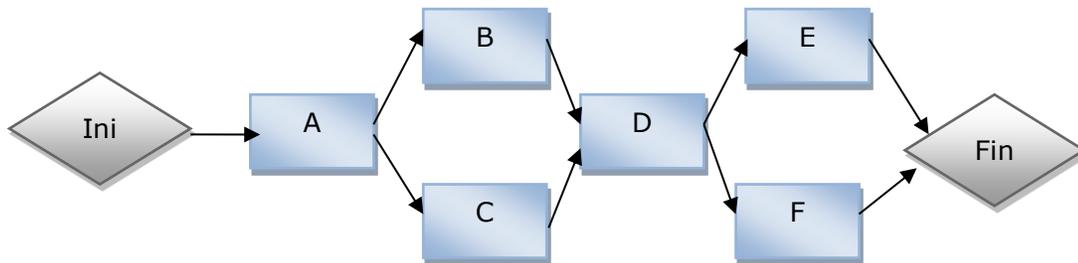
- **Retraso:** la “viabilidad económica” comienza a los 30 días de finalizada la “viabilidad legal”.



¿Qué obtenemos al final del proceso?

- **Diagrama de red del cronograma:** todas las actividades del proyecto y su secuencia desde el comienzo hasta el fin.

**Diagrama de red (PDM)**



✂ El método PDM tiene la limitación de no permitir programación condicional como por ejemplo: reiteraciones entre actividades (looping) o secuencias condicionadas (la actividad A comienza sólo si hay sol). Para realizar programación condicional se puede utilizar GERT (Graphic Evaluation and Review Technique).

**Resumiendo**

➤ Actividades	➤ Dependencias	➤ Diagrama de Red
---------------	----------------	-------------------

## Estimar la duración de las actividades

Estimar la duración de cada una de las actividades será de elaboración progresiva y dependerá de diferentes factores como por ejemplo:

- ✓ Complejidad del alcance
- ✓ Recursos disponibles
- ✓ Competencias de los recursos humanos
- ✓ Motivación de los miembros del equipo
- ✓ Calendario de los recursos
- ✓ Restricciones
- ✓ Cambios tecnológicos
- ✓ Ley de Parkinson, Síndrome del estudiante, Procrastinación

🗑 *Ley de Parkinson: las actividades se extienden el tiempo disponible. Por ejemplo, si una actividad la puedo entregar en 30 días, aunque se pueda realizar en un par de días, seguramente la entregaré en el día 30.*

🗑 *Síndrome del Estudiante: dejar todo para el último minuto. Por ejemplo, si puedo preparar una materia en 10 horas, y el examen lo tengo dentro de 15 días, estudiaré las últimas 10 horas previas a ese examen. En otras palabras, las personas comienzan a dedicarse seriamente a una tarea que les fue asignada solamente cuando la fecha de entrega se acerca.*

🗑 *Procrastinación: retrasar actividades que deben atenderse, por otras situaciones más irrelevantes o agradables. Por ejemplo, refugiarse en Internet, el celular, leer libros, salir de compras, o dejarse absorber en exceso por la rutina como pretexto para evadir alguna responsabilidad sobre una actividad.*

No existe una relación lineal entre cantidad de recursos y duración de actividades. Por ejemplo, algunos software trabajan con la lógica de que si duplico los recursos en una actividad, la duración bajará a la mitad. Esa lógica lineal aplica a muy pocas actividades en el mundo real. Por ejemplo, si tenemos que pintar una pared de 100m<sup>2</sup> y un pintor podría hacerlo en 4 días, es probable que con 2 pintores se pueda pintar esa pared en 2 días. ¿Y qué pasa si tenemos 8 pintores, podremos terminar esa actividad en medio día? No necesariamente, es probable que tanta gente en un mismo lugar físico sea ineficiente y cometan tantos errores que la duración total supere los 4 días.

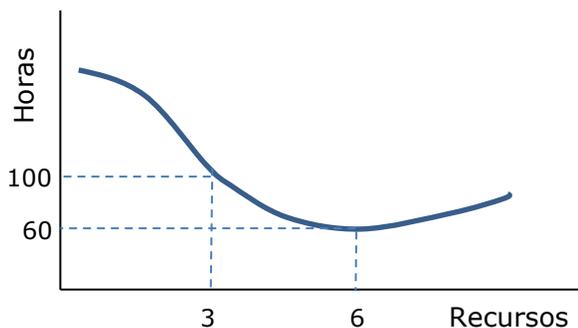
😊 *Nueve mujeres embarazadas no producirán un bebé en un mes.*

😊 *Dos jinetes en un mismo caballo no lo harán llegar antes a la meta.*

Por otro lado, hay situaciones donde la especialización y la división del trabajo permiten armar equipos que multipliquen la productividad, en relación a los esfuerzos individuales. Por ejemplo, un ingeniero podría terminar un plano en 100 horas. Pero si se junta un equipo de 5 especialistas, donde cada uno es experto en una parte de esos planos, esa actividad podría completarse con 10 horas de trabajo de cada persona, o sea, 50 horas en total.

🗒️ **Ley de rendimientos decrecientes:** al incrementar los recursos, al principio la producción crece a tasa creciente y luego comienza a decrecer a tasa decreciente. Esto puede implicar que a mayor cantidad de recursos, primero la duración decrece a tasa creciente y luego decrece a tasa decreciente.

### **Rendimientos decrecientes**



¿Qué necesitamos para empezar a estimar la duración de actividades?

- ↓ Planes: gestión del cronograma, línea base del **alcance**
- ↓ Documentos: **actividades**, hitos, **recursos**, calendarios, **riesgos**, supuestos, lecciones aprendidas, etc.

¿Qué herramientas podemos utilizar?

- **Estimación análoga** (o por analogía): se realiza la estimación de la duración en función de otras actividades similares realizadas con anterioridad. También se conoce como estimación descendente. Suele ser la técnica más rápida y económica, pero también la más imprecisa.
- **Estimación paramétrica:** utilizar parámetros estadísticos con base en información histórica para poder estimar la duración de una actividad futura.



 **Ejercicio 6.1 – Estimación paramétrica de tiempos**

En tu empresa se ha llevado a cabo en varias oportunidades la actividad de cargar formularios. La duración de esta actividad depende de la cantidad de formularios que hay que cargar.

Quieres estimar la duración de una actividad del proyecto que consiste en cargar 10 formularios.

En la tabla a continuación se presentan los registros históricos.

Formularios cargados (Variable X)	Duración en horas (Variable Y)
5	18
2	7
15	53
<b>10</b>	<b>47</b>
1	3
15	50
14	40
2	6
4	10
11	30
5	16
14	40
16	59
9	30
5	14
11	35
9	25
16	48
14	43

- a) ¿Cuál sería la duración para cargar 10 formularios con una estimación análoga?
  
- b) ¿Cuál será la duración de esa misma actividad con una estimación paramétrica?



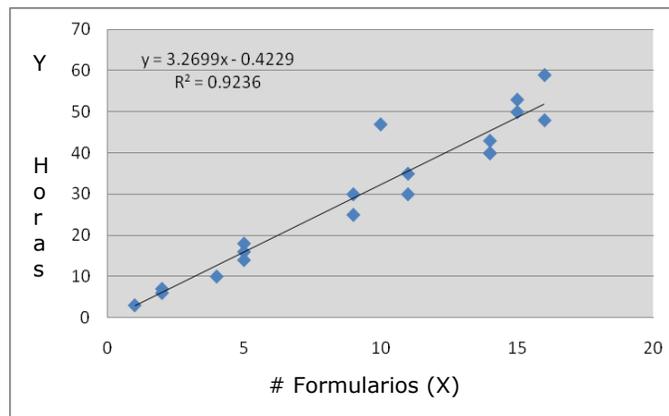
### ❖ Respuesta ejercicio 6.1

- Con base en el registro histórico de lo que demoró cargar 10 formularios en el pasado, podríamos estimar por analogía una duración de 47 horas la próxima vez que tengamos que realizar la misma actividad.
- Para realizar una estimación paramétrica, vamos a utilizar toda la información histórica y aplicaremos el método de los mínimos cuadrados ordinarios para estimar el futuro.

Pasos con Excel para aplicar este método:

- Cargar datos de la variable "X" en la primera columna
- Cargar datos de la variable "Y" en la segunda columna
- Seleccionar todo el rango de datos
- Clic en Insertar / Gráfico dispersión
- Clic en alguno de los puntos del gráfico
- Clic con el botón derecho del mouse sobre uno de los puntos
- Agregar línea de tendencia
- Tipo de tendencia: lineal. Seleccionar: presentar ecuación y presentar el valor R cuadrado.
- Cerrar

Luego de estos pasos, obtenemos la siguiente información:



El valor  $R^2$  de 0,92 indica que la variable X (número de formularios) está explicando en un 92% a la variable Y (duración en horas). Valores de  $R^2$  superiores a 0,7 podrían indicar que los datos son aceptables para proyectar el futuro.

Reemplazando la incógnita de 10 formularios ( $X = 10$ ) en la ecuación, se obtiene lo siguiente:  $Y = 3,2699 \times 10 - 0,4229 = 32,28$

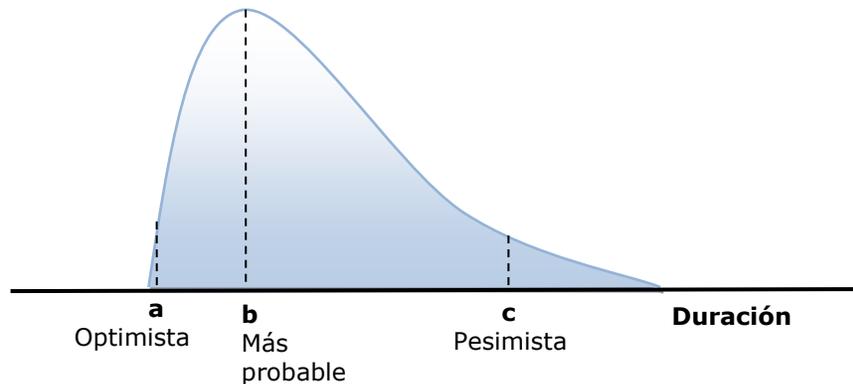
Esto significa que la estimación más probable en caso de volver a cargar 10 formularios será cercana a las 32,28 horas y esto tiene un nivel de confianza del 92%.

Podemos concluir que utilizar una estimación análoga puede ser poco preciso, sería preferible utilizar una estimación paramétrica que tenga en cuenta toda la información histórica.

- **Estimación por 3 valores (PERT):** consiste en estimar la duración de una actividad utilizando las estimaciones pesimista, más probable y optimista. Esta técnica también es conocida como PERT: Program Evaluation and Review Technique.

En la técnica PERT, el tiempo de la actividad se considera como una variable aleatoria según una distribución de probabilidad Beta como se presenta en el gráfico a continuación.

**Distribución Beta**



Las fórmulas estadísticas detrás de la distribución PERT se resumen en la tabla a continuación.

**Estimación por tres valores según PERT**

Media	$M = \frac{a + 4b + c}{6}$
Desviación estándar para cada actividad	$\sigma = \frac{c - a}{6}$
Varianza	$\sigma^2$
Duración del proyecto	$\Sigma M$ (tiempos en el camino crítico)
Varianza del proyecto	$\Sigma \sigma^2$ (varianzas en el camino crítico)

Por ejemplo, si el equipo de trabajo estima que la duración optimista de una actividad es de 4 días, lo más probable es 7 días y el escenario pesimista es de 16 días; aplicando las fórmulas PERT se obtiene lo siguiente:

Duración estimada = (4 días + 4 x 7 días + 16 días) / 6 = 8 días

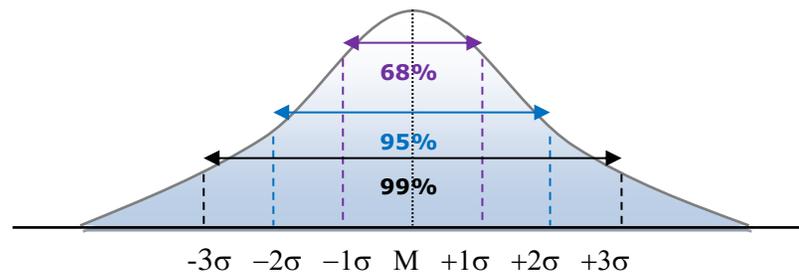
Desviación estándar = (16 días - 4 días) / 6 = 2 días

☺ Al momento de estimar la duración de una actividad siempre aparece la **Ley de Murphy**: la estimación más probable siempre será lo más improbable.

Ahora bien, ¿para qué sirve la desviación estándar de una actividad?

Bajo el supuesto de que esa actividad la podríamos repetir cientos de veces, según la ley estadística de los grandes números, la distribución de esa actividad se aproximará seguramente a una normal estándar.

### Distribución Normal Estándar



Aplicando las leyes estadísticas de la normal estándar obtenemos lo siguiente:

- Existe un 68,26% de probabilidad de que la duración de esa actividad esté comprendida entre la media +/- 1 desviación estándar.
- Existe un 95,45% de probabilidad de que la duración de esa actividad esté comprendida entre la media +/- 2 desviaciones estándar.
- Existe un 99,73% de probabilidad de que la duración de esa actividad esté comprendida entre la media +/- 3 desviaciones estándares.

*No es objeto de este libro profundizar en demostraciones estadísticas. Si quiere saber el porqué de estas relaciones estadísticas te recomendamos el libro "Statistics for Business Economics" de Anderson, Sweeney y Williams.*

Volviendo a nuestro ejemplo donde la duración media de la actividad era 8 días con una desviación estándar de 2 días, obtendríamos que existe un:

- 68,26% de probabilidad de que la duración de esa actividad esté comprendida entre 8 +/- 2, o sea, entre 6 y 10 días.
- 95,45% de probabilidad de que la duración de esa actividad esté comprendida entre 8 +/- 4, o sea, entre 4 y 12 días.
- 99,73% de probabilidad de que la duración de esa actividad esté comprendida entre 8 +/- 6, o sea, entre 2 y 14 días.

Supongamos que estamos con un proyecto con tres actividades críticas.



Extendiendo los cálculos de estimaciones por tres valores de una actividad a un proyecto, en el gráfico a continuación se presentan los resultados.

#### Estimación PERT para un proyecto

Actividad	Duración optimista	Duración más probable	Duración pesimista	PERT	$\sigma$	$\sigma^2$
A	2	3	10	4	1,33	1,77
B	4	7	16	8	2	4
C	3	5	13	6	1,67	2,79
<b>TOTAL</b>		<b>15</b>		<b>18</b>	<b>N/A</b>	<b>8,56</b>

Duración del proyecto = 18  
 Varianza del proyecto = 8,56  
 Desviación estándar del proyecto =  $\sqrt{8,56} = 2,92$   
 Rango de duración 68% =  $18 + - 2,92 = (15,08 ; 20,92)$   
 Rango de duración 95% =  $18 + - 2 \times 2,92 = (12,16 ; 23,84)$   
 Rango de duración 99% =  $18 + - 3 \times 2,92 = (9,24 ; 26,76)$

Estadísticamente no es correcto sumar desviaciones estándares de las actividades, lo que se debe hacer es sumar las varianzas de cada actividad. Una vez que obtenemos la varianza total del proyecto, podemos calcular la desviación estándar del proyecto sacando la raíz cuadrada a la varianza total.

☞ La estimación por 3 valores también podría utilizar una distribución triangular, dónde la fórmula sería un promedio simple:  $M = (a+b+c) / 3$

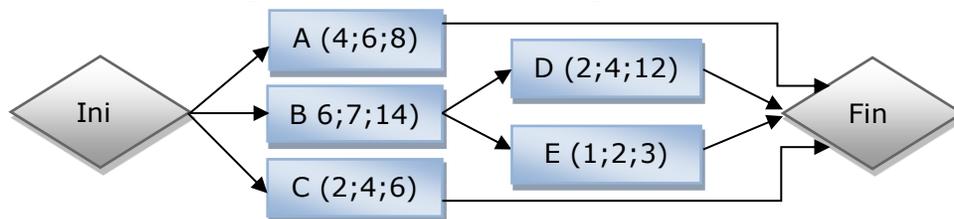
☞ En el examen puede haber una pregunta de cálculo PERT relacionada con actividades del proyecto. Difícilmente te tomen cálculos PERT para un proyecto con varias actividades.

### **Ejercicio 6.2 – Estimación por tres valores**

Te vas a juntar con tu equipo para estimar con mayor precisión la duración de un proyecto. En este proyecto, no tenemos muchos datos históricos que indiquen con exactitud cuánto demorará cada una de las actividades. Por tal motivo, trabajarás con tres estimaciones de tiempo para cada actividad: lo mejor, lo más probable y lo peor.

En el diagrama a continuación se resume la programación del proyecto representando las actividades en el nodo (AON). A su vez, en cada nodo figuran las 3 estimaciones de duración de cada actividad. Por ejemplo, la actividad A puede demorar 4 semanas en el mejor escenario, 6 semanas como más probable y 8 semanas en el peor de los casos.

**Diagrama de red del Proyecto**



- Según PERT, estime la duración de cada una de las actividades
- ¿Según PERT, cuál es la duración del proyecto?
- ¿Cuál será el rango de duración del proyecto con 95% de confianza?

 Dedicar 15 minutos a resolver este ejercicio

❖ **Respuesta ejercicio 6.2**

a) La duración de cada actividad se presenta debajo de la columna PERT de la tabla a continuación.

Actividad	Min.	Más Probable	Max.	PERT	DE	VAR
A	4	6	8	6	0,67	0,44
<b>B</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>1,33</b>	<b>1,78</b>
C	2	4	6	4	0,67	0,44
<b>D</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>1,67</b>	<b>2,78</b>
E	1	2	3	2	0,33	0,11
<b>Total</b>				<b>13</b>	<b>Var</b>	4,56
					<b>DE</b>	<b>2,13</b>

b) Para calcular la duración del proyecto no se debe sumar la duración de todas las actividades, sino sumar solamente la duración de las actividades que forman la ruta crítica (el camino más largo). En este ejemplo, existen 4 caminos:

- Inicio – A – Fin = 6 semanas
- Inicio – B – D – Fin = 13 semanas
- Inicio – B – E – Fin = 10 semanas
- Inicio – C – Fin = 4 semanas

Como se puede observar el camino más largo está compuesto por las actividades críticas B y D, cuya duración es de 13 semanas.

Por su parte, A tiene una holgura de 7 semanas, C una holgura de 9 semanas y E una holgura de 3 semanas. Más adelante, veremos con más detalle temas relacionados con la ruta crítica y holguras.

c) La varianza total del proyecto se obtiene sumando la varianza de las actividades críticas B y D, o sea,  $1,78 + 2,78 = 4,56$ . La desviación estándar del proyecto es de 2,13 semanas, que se obtiene sacando la raíz cuadrada a la varianza. Con la media de 13 semanas y la desviación estándar de 2,13 semanas obtenemos lo siguiente:

- Existe un 68% de probabilidad de que la duración del proyecto esté comprendida entre  $13 \pm 2,13 =$  entre 10,87 y 15,13 semanas.
- Existe un 95% de probabilidad de que la duración del proyecto esté comprendida entre  $13 \pm 2 \times 2,13 =$  entre 8,73 y 17,27 semanas.
- Existe un 99% de probabilidad de que la duración del proyecto esté comprendida entre  $13 \pm 3 \times 2,13 =$  entre 6,60 y 19,40 semanas.

- **Estimación de abajo hacia arriba:** dividir una actividad en menores componentes más fáciles de estimar. Luego, estimar la duración de cada uno de esos componentes y sumar todos los valores para obtener la duración total de esa actividad.
- **Análisis de alternativas:** ¿Cuál sería la cantidad óptima de recursos para cada actividad? ¿Qué competencias y habilidades debería tener cada recurso? ¿Qué técnicas para comprimir la duración de una actividad se pueden utilizar? ¿Cómo afecta la duración de una actividad al resto de las variables del proyecto (ej. costo, riesgos)?
- **Análisis de reserva:** agregar a las actividades una reserva de tiempo para **contingencias** para aquellos riesgos conocidos (ej. si se enferma un miembro del equipo se retrasan las tareas); o una reserva de **gestión** para los riesgos desconocidos (ej. estallido social en el país difícil de predecir, que retrasará las actividades del proyecto).
- **Toma de decisiones:** evaluar alternativas en equipo para estimar la duración de las actividades. Por ejemplo a través de la votación.

🗳️ *Técnica de votación de **Puño a Cinco**: los miembros del equipo muestran un puño cerrado (0 dedos) cuando no dan soporte a una estimación o indican hasta 5 dedos cuando hay un apoyo total. Si un miembro del equipo muestra menos de 3 dedos, se suele discutir esa decisión con todo el equipo. El consenso se suele alcanzar cuando todos los miembros del equipo muestran 3, 4 o 5 dedos.* 🖐️

- **Reuniones Sprint:** en proyectos que aplican metodologías ágiles como por ejemplo Scrum, el primer día de cada iteración se reúne el dueño del producto, el equipo de desarrollo y el director de proyecto, para negociar las prioridades de las actividades a realizar del backlog y estimar la duración de esa iteración.

¿Qué obtenemos al final del proceso?

- **Duración de las actividades:** puede incluir el rango de la duración (ej. 1 mes +/- 1 semana) y la probabilidad de ocurrencia (ej. existe un 95% de probabilidad que la actividad culmine en 15 días o antes).
- **Bases de la estimación:** documentación que respalda las duraciones estimadas para cada actividad. Suele incluir: supuestos, restricciones, escenarios, nivel de confianza, riesgos, etc.

*Resumiendo*

<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Actividades</li> <li>➤ Recursos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Estimaciones:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>. Análoga</li> <li>. Paramétrica</li> <li>. 3 valores</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Duración de actividades</li> </ul>
---	--	---

## Desarrollar el cronograma

El desarrollo del cronograma será iterativo y consiste en integrar las actividades, secuencias, recursos y duraciones.

El cronograma preliminar debería ser revisado por los miembros del equipo para verificar restricciones, disponibilidad de recursos, calendarios, etc. En caso de detectarse inconsistencias, el cronograma será actualizado, por ejemplo, mediante una nivelación de los recursos. El cronograma aprobado por los interesados será la línea base de tiempos del proyecto, que se utilizará para el seguimiento y control de desvíos durante la fase de ejecución.

¿Qué necesitamos para empezar a desarrollar el cronograma?

- ↓ Planes: gestión del cronograma, línea base del **alcance**
- ↓ Documentos: **actividades**, **diagramas de red**, **recursos**, **duración** de actividades, bases de la estimación, **hitos**, calendarios, riesgos, supuestos, lecciones, etc.
- ↓ **Acuerdos contractuales**. Por ejemplo, detalle de fechas de entregas al cliente o fecha de recibo de productos externos de proveedores.

¿Qué herramientas podemos utilizar?

- **Método de la ruta crítica**: identificar cuáles son las actividades críticas que forman el camino más largo del proyecto. Si alguna de esas actividades se retrasa, la duración del proyecto se retrasa (ver método de la ruta crítica en la próxima sección).
- **Técnicas de modelado**: realizar simulaciones de cómo cambiaría el cronograma del proyecto si cambia alguna de las variables que lo afectan. Por ejemplo, la simulación de **Monte Carlo** (ver capítulo de riesgo).
- **Método de la cadena crítica**: modificar la ruta crítica teniendo en cuenta las limitaciones de recursos, agregando colchones de duración que son actividades que no requieren trabajo y consideran el riesgo de disponibilidad de recursos de cada actividad (ver sección método de la cadena crítica en este capítulo).

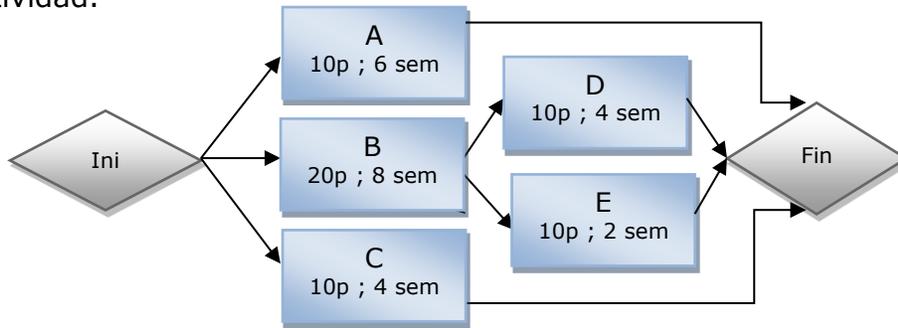
🗑️ *Si los recursos de un proyecto estuviesen siempre disponibles en cantidades ilimitadas, entonces la cadena crítica de un proyecto sería igual a su ruta crítica.*

- **Optimización de recursos**: modificar la programación del proyecto para mejorar la eficiencia en la asignación de recursos. Ver ejemplos de los ejercicios 6.3 **Nivelación de recursos** y 6.4 **Equilibrio de recursos**.

**Ejercicio 6.3 – Nivelación de recursos**

Debes agregar en la programación del proyecto los requisitos de personal para realizar cada una de las actividades.

Como se puede observar en el diagrama de red y tabla presentada a continuación, se han agregado los recursos humanos necesarios y duración de cada actividad.



Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	10	10	10	10	10	10						
B	20	20	20	20	20	20	20	20				
C	10	10	10	10								
D									10	10	10	10
E									10	10		
Personas	40	40	40	40	30	30	20	20	20	20	10	10

Las actividades D y E deben realizarse una vez que finalice la actividad B.

El Proyecto requiere de 40 personas entre las semanas 1-4, 30 personas entre las semanas 5-6, 20 personas entre las semanas 7-10 y 10 personas en las últimas 2 semanas. Si se asigna todo el personal de la empresa a este proyecto (40 personas) durante las primeras semanas, no se podrá llevar a cabo ninguna otra actividad durante ese período, y esto es sumamente riesgoso para la Compañía. Por otro lado, no es posible que este proyecto demore más de 12 semanas porque nuestro Patrocinador no lo aceptaría.

¿Cómo podrías nivelar los recursos para mejorar este problema y utilizar menos de 40 personas en este proyecto?

Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A												
B												
C												
D												
E												
Personas	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

Dedicar 10 minutos a resolver este ejercicio.

**Respuesta ejercicio 6.3**

En primer lugar, dada la restricción de que no se puede demorar el proyecto más de 12 semanas, las actividades críticas B y D no deberían modificarse. Las opciones podrían ser postergar el comienzo de A o C, como se presenta en las tablas a continuación:

**Equilibrio 1**

Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A					10	10	10	10	10	10		
B	20	20	20	20	20	20	20	20				
C	10	10	10	10								
D									10	10	10	10
E									10	10		
Personas	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	10	10

**Equilibrio 2**

Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	10	10	10	10	10	10						
B	20	20	20	20	20	20	20	20				
C							10	10	10	10		
D									10	10	10	10
E									10	10		
Personas	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	10	10

En cualquiera de esas alternativas, se puede realizar el proyecto utilizando solamente 30 personas, lo que mejora la eficiencia en relación a la situación base de 40 personas. Desde un punto de vista técnico la segunda situación (Equilibrio 2) sería preferible, porque C queda con una holgura de 2 semanas que representa un 50% de su duración; mientras que en el Equilibrio 1, las 2 semanas de holgura de A representan solamente un 33% de holgura.

*☞ Varios software de gestión de proyectos permiten la nivelación automática de recursos. Sin embargo, el software no piensa y elegirá una nivelación considerando sólo el parámetro técnico de holgura relativa, cuando podría ser mejor otra alternativa que considere factores como clima, disponibilidad de recursos u otros riesgos asociados a cada actividad.*



Por otro lado, otras opciones de equilibrio que también utilizan un máximo de 30 personas, podrían ser las que se presentan en las tablas a continuación:

**Equilibrio 3**

Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A							10	10	10	10	10	10
B	20	20	20	20	20	20	20	20				
C	10	10	10	10								
D									10	10	10	10
E									10	10		
Personas	30	30	30	30	20	20	30	30	30	30	20	20

**Equilibrio 4**

Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	10	10	10	10	10	10						
B	20	20	20	20	20	20	20	20				
C									10	10	10	10
D									10	10	10	10
E									10	10		
Personas	30	30	30	30	30	30	20	20	30	30	20	20

Sin embargo, estas soluciones no serían eficientes por los siguientes motivos:

- Suele ser poco eficiente gestionar recursos con altibajos, es decir, 30 personas, luego 20 personas, luego 30 nuevamente, etc. Es preferible recursos equilibrados con ritmos crecientes, decrecientes o constantes, en lugar de nivelarlos con altibajos.
- Actividades que no eran críticas y tenían holgura, al moverlas hasta la semana final se convirtieron en críticas, lo que agregó innecesariamente el riesgo de no cumplir los plazos del proyecto.



 **Ejercicio 6.4 – Equilibrio de recursos**

Luego de trabajar muy firme en la reprogramación del proyecto para mejorar la eficiencia en la asignación de los recursos, logras una programación que consiste en terminar el proyecto en 12 semanas utilizando solamente 30 personas, como se resume en la tabla a continuación:

Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	10	10	10	10	10	10						
B	20	20	20	20	20	20	20	20				
C							10	10	10	10		
D									10	10	10	10
E									10	10		
Personas	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	10	10

Envías la programación del proyecto al gran jefe para su aprobación y él responde lo siguiente:

*Realmente debo felicitarlos por todas las herramientas que han aprendido e implementado después de leer el libro de Paul Leido. El plan que han desarrollado está muy bien presentado. Sin embargo, han cometido un gravísimo error: sólo disponen de un presupuesto de 20 personas por semana para llevar a cabo el proyecto!*

- a) ¿Cuál de las restricciones puede cambiar en este proyecto si se lleva a cabo sólo con 20 personas?
  
- b) ¿Cómo cambiaría la programación del proyecto si sólo dispone de 20 trabajadores por semana?

Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
A																		
B																		
C																		
D																		
E																		
Personas																		

 Dedicar 10 minutos a resolver este ejercicio.



❓ **Respuesta ejercicio 6.4**

a) Si nos recortan la cantidad de recursos disponibles, podrían extenderse los plazos de finalización del proyecto. También podría disminuir el alcance, la calidad o la satisfacción del cliente.

b) Bajo el supuesto que la variable que se modifica es el plazo, una de las posibles soluciones a este problema podría ser la que se presenta en la tabla a continuación:

Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A									10	10	10	10	10	10		
B	20	20	20	20	20	20	20	20								
C													10	10	10	10
D									10	10	10	10				
E															10	10
Personas	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

En esta solución, se obtuvo como mínimo una duración de 16 semanas. Sin embargo, considerando la limitación de recursos, todas las actividades son críticas ya que si cualquiera de ellas se retrasa, todo el proyecto se retrasa porque no tenemos más que 20 personas disponibles.

- **Adelantos y retrasos:** adelantar y retrasar la vinculación entre actividades.
- **Compresión del cronograma:** acortar el cronograma del proyecto sin modificar al alcance. Dos de las técnicas más utilizadas para la compresión del cronograma son las siguientes:
  - **Intensificación (Crashing):** agregar la menor cantidad de recursos posible para acortar la duración. Por lo general, esta técnica implicará mayores costos.
  - **Ejecución rápida (fast-tracking):** realizar actividades en paralelo para acelerar el proyecto. Por lo general, esta técnica agrega riesgos al proyecto.

😊 *Crashing Latino: descubrir unos minutos antes de la fecha de finalización del proyecto que podemos intensificarlo agregando más recursos. Esos recursos de último momento no lograrán el milagro de cumplir con la fecha planificada de entrega.*



 **Ejercicio 6.5 – Compresión**

Necesitas acortar la duración de tu proyecto en 3 días. En la tabla a continuación se presentan las actividades críticas que podrían intensificarse para acortar la duración del proyecto.

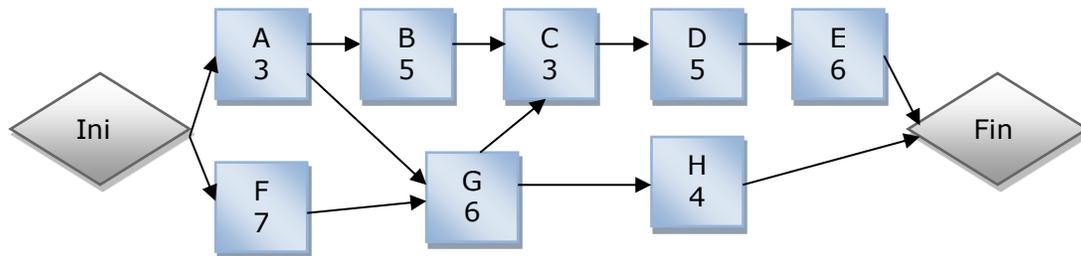
Actividad	Duración estimada	Duración con compresión	Reducción de días	Costo de la compresión	Costo por día
A	5	4	1	\$ 5.000	\$5.000
F	4	2	2	\$ 8.000	\$4.000
J	12	9	3	\$ 12.000	\$4.000
M	8	6	2	\$ 4.000	\$2.000
L	10	9	1	\$ 7.000	\$7.000

¿Qué actividades comprimirías?

 Dedicar 5 minutos a resolver este ejercicio.

 **Ejercicio 6.6 – Alternativas para la compresión del cronograma**

La duración estimada del proyecto es de 27 meses como se presenta en el diagrama a continuación.



La gerencia general te ha dado un plazo máximo de finalización de 24 meses.

¿Qué alternativas tienes para acortar la duración del proyecto a 24 meses?

 Dedicar 10 minutos a pensar distintas alternativas.



**Respuesta ejercicio 6.5**

Las alternativas para acortar la duración del proyecto en tres días son:

Actividades	Costo Total	Costo diario
A-F	13.000	9.000
A-M	9.000	7.000
F-L	15.000	11.000
J	12.000	4.000
M-L	11.000	9.000

La alternativa más económica para acortar la duración del proyecto en tres días es intensificar las actividades A y M con un costo total de \$9.000. El dato de costo diario no es relevante para resolver este ejercicio, ya que no representa el menor costo total para lograr el objetivo.

**Respuesta ejercicio 6.6**

Los distintos caminos del proyecto son:

- A-B-C-D-E = 22 meses
- A-G-C-D-E = 23 meses
- A-G-H = 13 meses
- F-G-C-D-E = 27 meses
- F-G-H = 17 meses

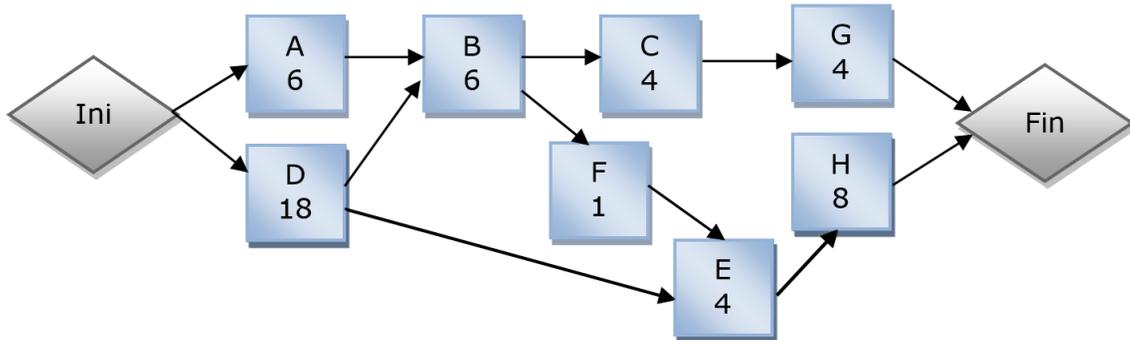
La ruta crítica es F-G-C-D-E = 27 meses, el resto de los caminos tienen holgura, o sea, se podrían retrasar algunas semanas sin retrasar al proyecto. Por lo tanto, deberíamos buscar alternativas de compresión de cronograma sobre las actividades que forman parte de la ruta crítica.

En la tabla a continuación, se presentan algunas alternativas para acortar la duración del proyecto.

Alternativa	Comentario
Realizar D y E en paralelo (ejecución rápida)	Supuesto: no existe dependencia obligatoria entre las actividades D y E
Intensificar D trasladando recursos de H a D	Supuesto: los recursos de H tienen habilidades para hacer D
Reducir alcance de la actividad E	Cuidado: seguramente afectará la satisfacción del cliente
Agregar recursos en la actividad C	Supuesto: existen los recursos calificados para hacer C
Bajar los estándares de calidad de las actividades de la ruta crítica	Recortar calidad siempre es una opción, pero puede afectar la satisfacción del cliente o agregar riesgos de producir productos defectuosos
Negociar para que el proyecto finalice en 27 meses	Seguramente esto no es viable
Hacer más con los mismos recursos trabajando horas extras	No es una opción durante la planificación. Es conveniente guardar esas horas extras como reserva de contingencia

Veamos dos preguntas relacionadas con la comprensión del cronograma.

**?** 1) Usted debe finalizar el proyecto que se presenta a continuación, cuatro semanas antes de lo planificado.



¿Cuál de las siguientes opciones es la mejor alternativa?

- A. Asignar una persona con más experiencia a la actividad D para finalizar esa actividad en 14 semanas. Sin embargo, esta persona cuesta \$10.000 adicionales.
- B. Eliminar parte de la actividad H para ahorrar \$5.000 y acortar la duración 2 semanas.
- C. Mover recursos desde la actividad B hacia la actividad F para ahorrar \$2.000 y acortar la duración de B en 2 semanas.
- D. Eliminar la actividad C para ahorrar \$15.000 y acortar la duración 4 semanas.

**?** 2) El gerente general te ha dicho que debes finalizar el proyecto tres semanas antes. ¿Qué deberías hacer?

- A. Consultar con el patrocinador
- B. Intensificación
- C. Informar al gerente sobre el impacto del cambio
- D. Ejecución rápida

 Piensa antes de buscar las respuestas.



❓ Respuesta 1): A

La ruta crítica es Ini - D - B - F - E - H - Fin = 37 días.

Ítem	Respuesta	Explicación
A	Correcta	Es la única opción que cumple el objetivo de recortar la duración del proyecto en 4 semanas.
B	Falso	Necesitamos acortar cuatro semanas.
C	Falso	Necesitamos acortar cuatro semanas.
D	Falso	C no está en la ruta crítica. Además, si se elimina el alcance podría haber insatisfacción del cliente.

❓ Respuesta 2): C. Antes de pensar en una intensificación o ejecución rápida, el DP debe informar sobre los impactos de cualquier cambio en el proyecto.

Podemos resumir las distintas alternativas para acortar el cronograma del proyecto en la tabla que se presenta a continuación.

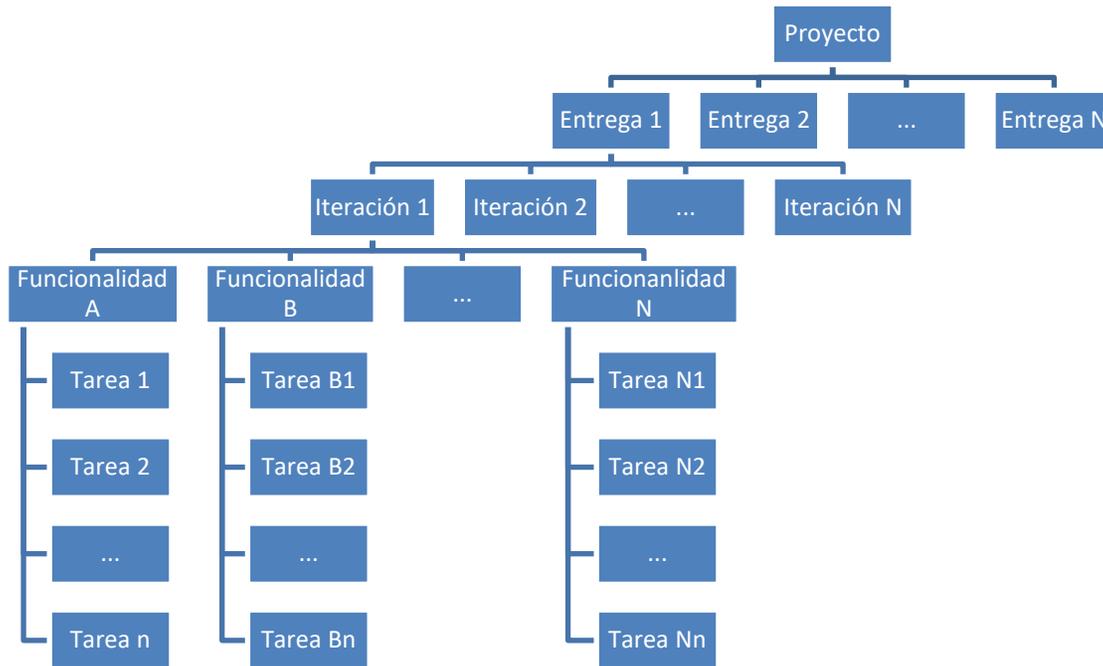
¿Cómo recortar el cronograma?	Impacto sobre el proyecto
Ejecución rápida	Agrega riesgos Requiere más tiempo del DP
Intensificación	Agrega costos Requiere más tiempo del DP
Reducir alcance	Ahorra tiempo y costos Reduce la satisfacción del cliente
Recortar calidad	Puede ahorrar tiempo y costos Agrega riesgos

➤ **Planificación Ágil de Entregas:** en metodologías ágiles el cronograma del proyecto se suele organizar en entregas (hoja de ruta), iteraciones para cada entrega, funcionalidades (historias de usuarios) a trabajar en cada iteración y las tareas específicas a realizar para cada funcionalidad.

El contenido de cada entrega e iteraciones podría tener un alcance preliminar o difuso, que se irá definiendo a medida que finalicen las primeras iteraciones. La primera iteración debería tener el alcance definido.

📌 *En la técnica "Scrum" a cada iteración se la denomina "Sprint", haciendo referencia a carreras cortas donde los atletas corren a máxima velocidad. Cada sprint suele demorar entre 2 y 4 semanas.*

## Planificación Ágil de entregas



¿Qué obtenemos al final del proceso?

- **Línea base del cronograma:** se establecen, se aceptan y se aprueban las fechas de inicio y finalización de las actividades.

*La línea base del cronograma debe ser aceptada y aprobada por el equipo de dirección del proyecto.*

- **Cronograma:** esquema que incluye todas las actividades con sus fechas. Puede ser en formato de cronograma de hitos, diagrama de barras (Gantt) o diagrama de red.



**Diagrama de Hitos**

#	Nombre de tarea	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct
1	Firmar contratos	◆ 1/3							
2	Escritura de terrenos		◆ 30/4						
3	Despacho de insumos			◆ 16/5					
4	Reporte a inversores					◆ 6/7			
5	Certificación orgánica							◆ 21/9	
6	Inauguración								◆ 8/10

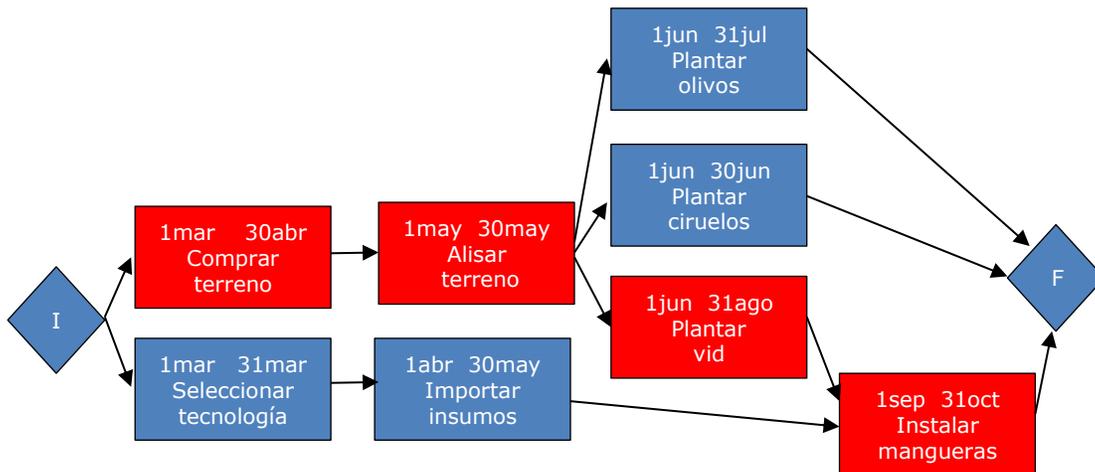
El cronograma de hitos se utiliza para presentar a la alta gerencia.

**Diagrama de barras (Gantt)**

Tarea	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Proyecto Agrícola</b>	[Barra de proyecto completa]									
<b>Terrenos</b>	[Barra de terreno completa]									
Comprar terrenos	[Barra roja]									
Alisar terrenos			[Barra roja]							
<b>Plantaciones</b>	[Barra de plantaciones completa]									
Plantar Olivos				[Barra azul]						
Plantar Vid				[Barra roja]						
Plantar Ciruelos				[Barra azul]						
<b>Riego</b>	[Barra de riego completa]									
Seleccionar tecnología	[Barra azul]									
Importar insumos		[Barra azul]								
Instalar mangueras							[Barra roja]			

El diagrama de Gantt es el formato adecuado para que gestionen el proyecto el equipo de trabajo y el DP.

**Diagrama de red**



- **Datos del cronograma:** documento que incluye toda la información de los hitos, las actividades, los atributos de cada actividad, histograma de recursos, alternativas de nivelación de recursos, reservas para contingencias, supuestos, restricciones, cronograma de entregas de proveedores, etc.
- **Calendarios del proyecto:** se presentan las actividades del proyecto en cada día (mes, hora, etc.), considerando los días laborales y los no laborales (fines de semana o los feriados).

**Calendario del proyecto**

Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
29	30	31	1 Mar	2	3	4
			Comprar terreno; Seleccionar tecnología			
5	6	7	8	9	10	11
	Comprar terreno; Seleccionar tecnología					
12	13	14	15	16	17	18
	Feriado	Comprar terreno; Seleccionar tecnología				
19	20	21	22	23	24	25
	Comprar terreno; Seleccionar tecnología					
26	27	28	29	30	31	1 Abr
	Comprar terreno; Seleccionar tecnología					Feriado
2	3	4	5	6	7	8
	Comprar terrenos; Importar insumos					

➤ **Solicitudes de cambio**

*Resumiendo*

<ul style="list-style-type: none"> <li>↓ Actividades</li> <li>↓ Secuencias</li> <li>↓ Recursos</li> <li>↓ Duraciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Método de la ruta crítica</li> <li>➤ Nivelación de recursos</li> <li>➤ Compresión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cronograma</li> </ul>
---	---	--

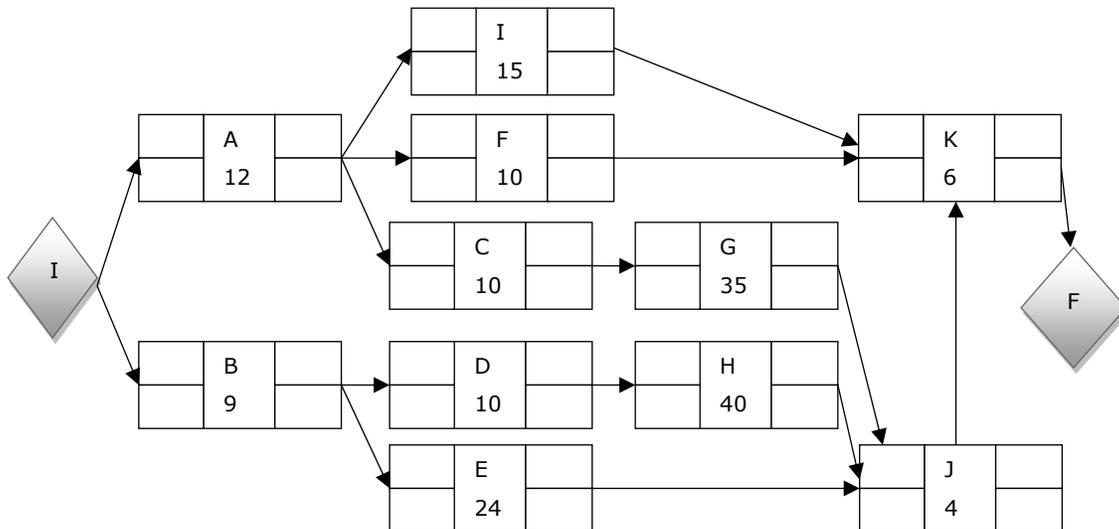
### Método de la ruta crítica

El método de la ruta crítica es una herramienta muy utilizada para desarrollar el cronograma del proyecto.

Supongamos que queremos aplicar herramientas de programación para la puesta en marcha de un proyecto. Luego de preguntar a los expertos entendidos en estos temas, hemos identificado todas las actividades, como así también, estimado la duración y secuencia de cada una de ellas. La información del proyecto se presenta en la tabla a continuación:

Nombre	Actividad	Duración	Predecesora
1 - A	Seleccionar personal	12	
2 - B	Seleccionar lugar	9	
3 - C	Seleccionar equipos	10	1
4 - D	Realizar planos	10	2
5 - E	Instalar servicios	24	2
6 - F	Entrevistar personal	10	1
7 - G	Comprar equipos	35	3
8 - H	Construir edificio	40	4
9 - I	Instalar informática	15	1
10 - J	Instalar equipos	4	5, 7, 8
11 - K	Capacitar personal	6	6, 9, 10

Por su parte, hemos aplicado técnicas de programación AON para realizar el diagrama de red del proyecto como se presenta a continuación, representando el nombre de la actividad y su duración en cada nodo.



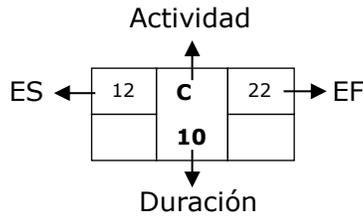
¿Cuál es la duración del proyecto?

¿Cuál es la ruta crítica?

¿Cuál es la holgura de cada actividad?

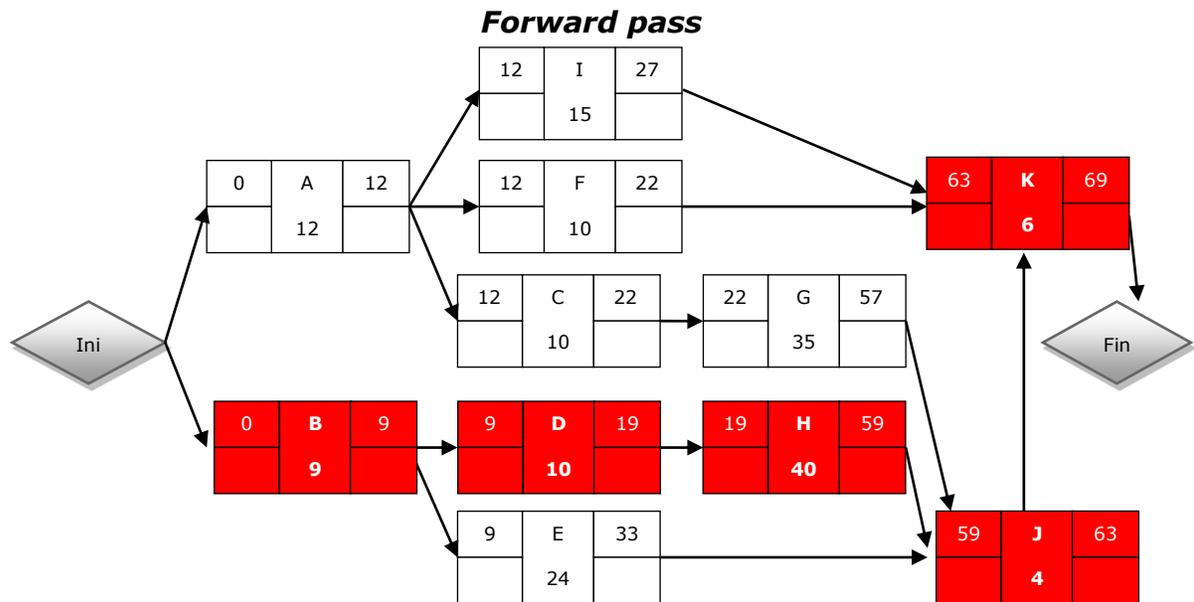
En primer lugar vamos a completar los casilleros superiores del diagrama de red, con la fecha más temprana de comienzo de la actividad (ES: early start) y la fecha más temprana de finalización de esa actividad (EF: early finish).

### Fechas tempranas de inicio y finalización



Por ejemplo, la actividad C puede comenzar cuando finalizó la actividad A. La actividad A no tiene predecesora, por lo que podemos decir que comienza en el día 0 y al demorar 12 días, finaliza como muy temprano el día 12 por la mañana. La actividad C puede comenzar ni bien termina A, con una fecha temprana de inicio el mismo día 12, demora 10 días y finaliza como muy temprano el día 22.

Siguiendo con esta misma lógica con el resto de las actividades, completamos el diagrama de red como se presenta a continuación.



Cabe destacar que las actividades que tienen más de una predecesora, comienzan como muy temprano en la fecha más temprana de finalización de su predecesora de mayor duración. Por ejemplo, a J la precede G que termina el día 57, H que termina el día 59 y E que termina el día 33, por lo tanto, J podrá comenzar como muy temprano el día 59.

Por su parte, si analizamos todos los caminos posibles de este proyecto obtenemos lo siguiente:

- A - I - K = 33 días
- A - F - K = 28 días
- A - C - G - J - K = 67 días
- B - D - H - J - K = 69 días
- B - E - J - K = 43 días

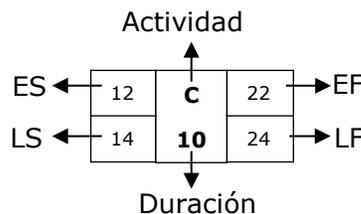
Podemos concluir entonces que la ruta crítica, el camino más largo, es B-D-H-J-K con una duración de 69 días.

☞ *La ruta crítica cercana (near critical path) es el camino "casi" crítico. En este ejemplo, sería el camino A-C-G-J-K de 67 días.*

De esta forma hemos analizado la ruta crítica desde el inicio hasta el fin (forward pass) y en el cuadrante superior derecho de la actividad K observamos la duración total del proyecto de 69 días.

Ahora vamos a analizar el diagrama de red en forma inversa, o sea, desde el final hacia el inicio (backward pass). Para ello, vamos a completar los cuadraditos inferiores de cada actividad, con la fecha más tardía de finalización (LF: late finish) y la fecha más tardía de comienzo (LS: late start).

**Fechas tardías de inicio y finalización**

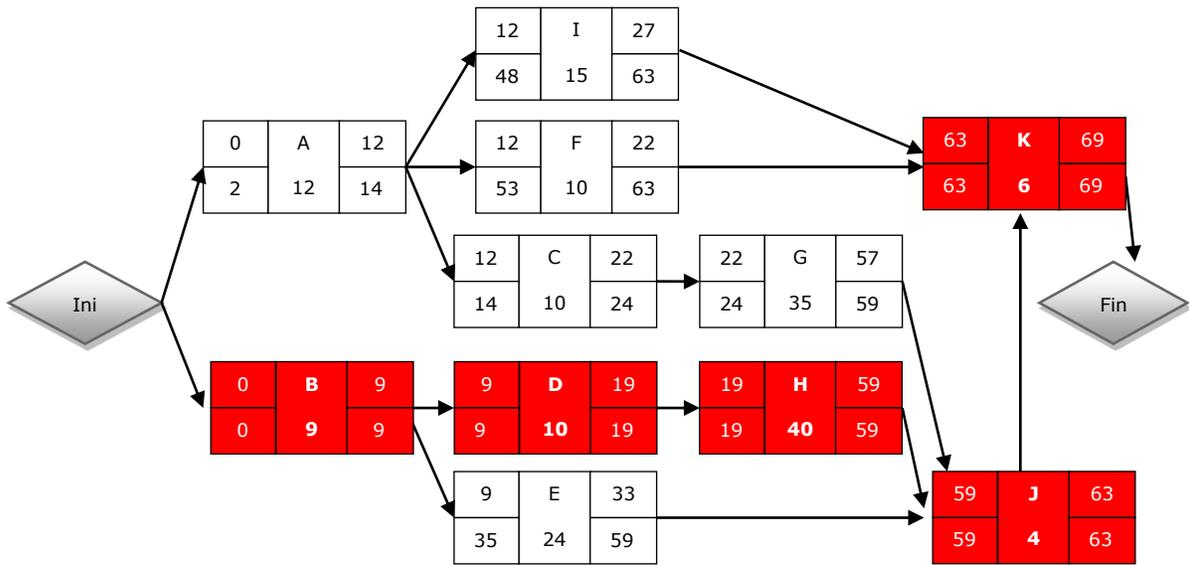


Por ejemplo, si la actividad C puede terminar como muy tarde el día 24, al tener una duración de 10 días, podrá comenzar como muy tarde el día 14.

Para llevar a cabo un backward pass tenemos que comenzar desde la última actividad, en nuestro ejemplo sería K. Ya sabemos que K termina el día 69, supondremos que ese será el día más tardío de finalización, y al restar su duración de 6 días, la fecha más tardía de comienzo será el día 63. Luego, las actividades I, F y J, predecesoras de K, tendrán una fecha tardía de finalización de 63 días.

Siguiendo esta misma lógica, obtenemos el diagrama de red que se presenta a continuación.

**Backward pass**



Pero... ¿Para qué sirven todos estos cálculos? Para determinar la holgura de cada una de las actividades del proyecto.

La **holgura total** de una actividad es el tiempo que se puede retrasar una actividad sin cambiar la fecha de finalización del proyecto. Esto se obtiene con cualquiera de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Holgura total} = \text{LS} - \text{ES}$$

$$\text{Holgura total} = \text{LF} - \text{EF}$$

😊 Para calcular la holgura total hay una fórmula de inicio y una de fin, pero por lo general los proyectos siempre empiezan tarde.

Por ejemplo, la holgura de la actividad I es de 36 días y esto se obtiene de la siguiente forma:

$$\text{LS} - \text{ES} = 48 - 12 = 36 \text{ días}$$

ó

$$\text{LF} - \text{EF} = 63 - 27 = 36 \text{ días}$$

Esto significa que la actividad I podría retrasarse hasta 36 días sin afectar la duración total del proyecto de 69 días. Más de 36 días de retraso en I afectará la duración total del proyecto.

Además, existen otras definiciones de holguras que tenemos que conocer:

- **Holgura libre:** tiempo que se puede retrasar una actividad sin retrasar la fecha más temprana de inicio de su sucesora.

Por ejemplo, la holgura libre de la actividad C es 0 (cualquier retraso en C retrasará el comienzo de su sucesora G) y una holgura total de 2 días (tiempo máximo que podría retrasarse sin retrasar la finalización del proyecto). Por otro lado, F tiene una holgura total y libre de 41 días.

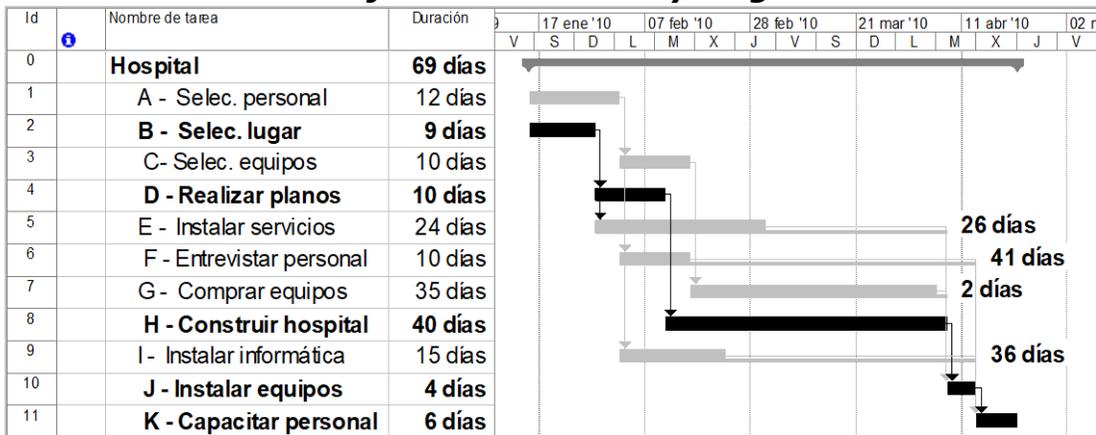
- **Holgura del proyecto:** tiempo que se puede demorar el proyecto sin retrasar la fecha externa de finalización.

Por ejemplo, si hemos firmado un contrato con el cliente para entregar el proyecto en 90 días y el plan indica 69 días, tenemos una holgura del proyecto de 21 días.

⚠ *La holgura del proyecto puede ser negativa. Por ejemplo, la fecha de finalización según el plan es de 69 días, mientras que la fecha establecida en el contrato con el cliente es de 60 días. En este caso la holgura total del proyecto es de -9 días.*

Ahora bien, la forma más simple de analizar la duración del proyecto, la ruta crítica y las holguras de cada actividad sería utilizando un software de gestión de proyectos. Por ejemplo, con el MS Project podríamos demorar 5 minutos en obtener toda esta información.

### MS Project – Ruta crítica y holguras



⚠ *No es objeto de este libro desarrollar herramientas para utilizar software de gestión de proyectos. Si necesitas herramientas de MS Project te recomendamos el libro "Administración de Proyectos" de Pablo Lledó o el manual "Project" de Ana María Rodríguez.*

Lamentablemente al momento de rendir el examen PMP® no tendrás ningún software disponible y deberás resolver los ejercicios a mano utilizando las técnicas manuales que seguiremos viendo en los ejercicios a continuación.

 **Ejercicio 6.7 – Diagramación por precedencia I**

Según la tabla a continuación, dibuja el diagrama de red y contesta las preguntas a continuación.

Actividad	Duración (Semanas)	Predecesora
A	4	Inicio
B	8	Inicio
C	3	A
D	2	C, G
E	1	B
F	3	D
G	2	B
H	4	C, G, E
Fin	0	F, H

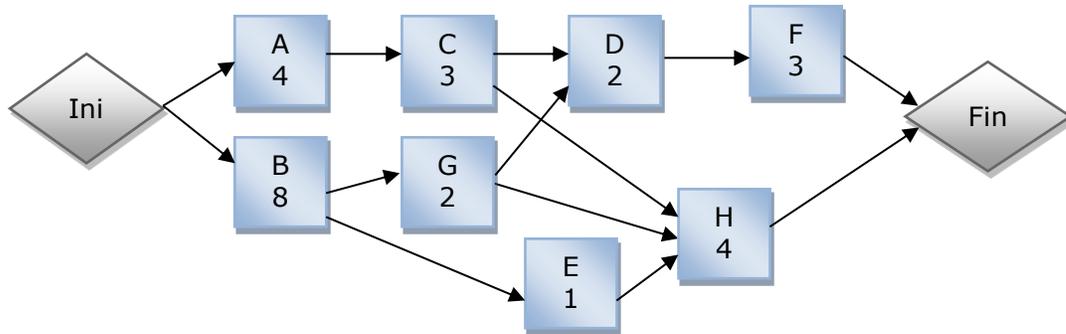
- a) ¿Cuál es la ruta crítica?
- b) ¿Cuál es el impacto en el proyecto si la actividad H aumenta 1 semana?
- c) Si el cliente solicita que finalicen el proyecto 3 semanas antes, ¿Cuál es la holgura del proyecto?, ¿Cambia la ruta crítica?

 Dedicar 10 minutos a resolver este ejercicio



❖ **Respuesta ejercicio 6.7**

El diagrama de red de este proyecto es el siguiente:



a) Los posibles caminos de este proyecto son:

- Ini-A-C-D-F-Fin = 12 semanas
- Ini-A-C-H-Fin = 11 semanas
- Ini-B-E-H-Fin = 13 semanas
- Ini-B-G-D-F-Fin = 15 semanas
- Ini-B-G-H-Fin = 14 semanas

El camino más largo, o sea la ruta crítica es Ini-B-G-D-F-Fin, lo que indica una duración del proyecto de 15 semanas.

b) Si la actividad H aumenta una semana, la duración de los distintos caminos sería la siguiente:

- Ini-A-C-D-F-Fin = 12 semanas
- Ini-A-C-H-Fin = 12 semanas
- Ini-B-E-H-Fin = 14 semanas
- Ini-B-G-D-F-Fin = 15 semanas (Camino crítico)
- Ini-B-G-H-Fin = 15 semanas (Camino crítico)

¿Pensaste que no hay impacto en el proyecto porque no cambia la duración?

Eso es incorrecto, ya que debes analizar el impacto en todas las restricciones del proyecto. Ahora tenemos dos rutas críticas, por lo que el impacto en el proyecto será que aumenta el riesgo de no finalizar a tiempo.

c) Si el cliente solicita que finalicen el proyecto 3 semanas antes, no cambia la ruta crítica. Sin embargo, tendremos una holgura negativa del proyecto de 3 semanas:

Duración según cliente (12 s.) – duración según plan (15 s.) = -3 semanas



**Ejercicio 6.8 – Diagramación por precedencia II**

Según la tabla a continuación, dibuja el diagrama de red y contesta las preguntas a continuación.

Actividad	Duración (días)	Predecesora
A	2	
B	4	A
C	6	A
D	5	B
E	3	C y D

- ¿Cuánto demora el proyecto?
- ¿Cuál es la holgura de la actividad B?
- ¿Cuál es la holgura de la actividad C?
- ¿Cuál es la holgura del camino de mayor holgura?
- ¿Qué impacto tiene el proyecto si la actividad C dura 8 días?
- Volviendo a los datos originales, el patrocinador agrega la actividad F de 7 días. Esta actividad debe finalizar antes de comenzar la E y debe comenzar después de finalizar la C. ¿Cuál será ahora la duración del proyecto?

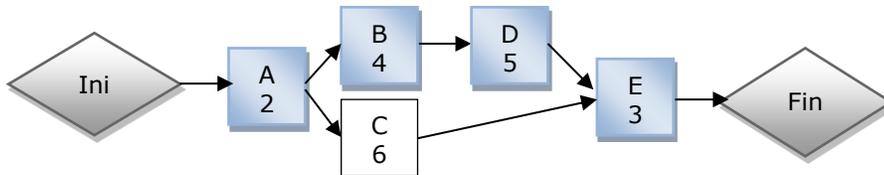


Dedica 10 minutos a resolver este ejercicio



**Respuesta ejercicio 6.8**

El diagrama de red de este proyecto es el siguiente:



a) Los posibles caminos son:

Ini-A-B-D-E-Fin = 14 días (Camino crítico)

Ini-A-C-E-Fin = 11 días (Camino con holgura)

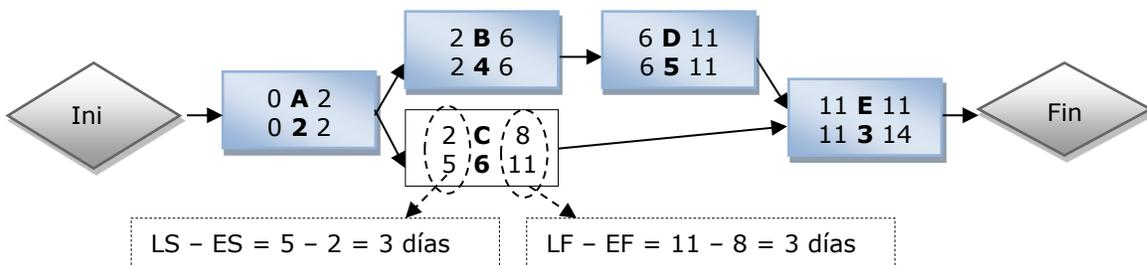
La duración del proyecto, con base en el camino crítico, es de 14 días

b) La actividad B está sobre la ruta crítica, por lo tanto no tiene holgura. En otras palabras, tiene una holgura de 0 días.

c) La actividad C tiene una holgura de 3 días.

Ruta crítica (14 días) – Camino con holgura (11 días) = 3 días de holgura.

La vía lenta de resolución, teniendo en cuenta los cálculos de ES, EF, LS y LF, se presenta en el diagrama a continuación:

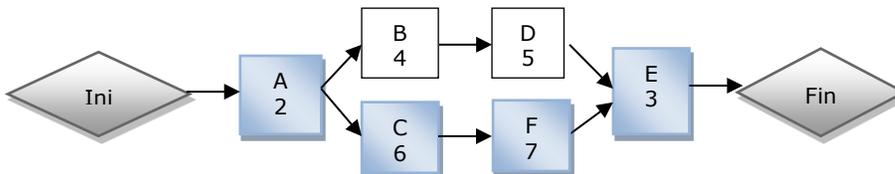


d) El camino de mayor holgura, Inicio-A-C-E-Fin, tiene una holgura de 3 días. Ruta crítica (14 días) – Camino con holgura (11 días) = 3 días de holgura.

e) Si la actividad C dura 8 días, la holgura de ese camino baja a 1 día, por lo que el proyecto será más riesgoso.

Ruta crítica (14 días) – Camino con holgura (13 días) = 1 día de holgura

f) Al aparecer la actividad F, el nuevo diagrama de red sería el siguiente:



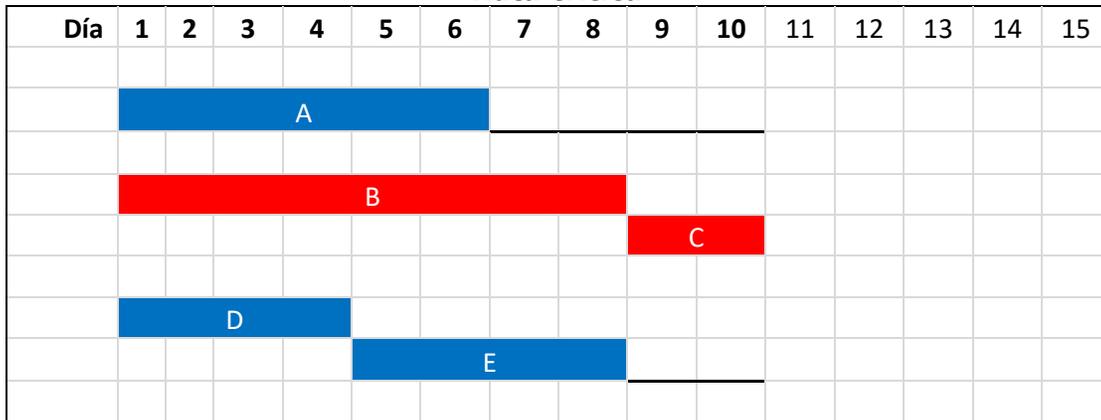
La ruta crítica es A-C-F-E y la duración del proyecto es de 18 días.

### Método de la cadena crítica

El método de la cadena crítica consiste en realizar un cronograma del proyecto considerando los recursos críticos.

Supongamos un proyecto simple como se presenta a continuación:

**Ruta crítica**



Como podemos observar, la ruta crítica sería B-C, A tiene 4 días de holgura y el camino D-E tiene 2 días de holgura.

Ahora bien, si asignamos recursos a cada actividad, podríamos tener una sobre-asignación de recursos como se presenta a continuación.

**Sobre-asignación de recursos**



Juan es un recurso sobre-asignado, ya que no podrá ejecutar las actividades A y B al mismo tiempo.

Si re-asignamos el recurso "Juan" obtenemos el cronograma que se presenta a continuación.

**Redistribución de recursos**



Aplicando el método tradicional de la ruta crítica, ahora la única actividad crítica sería A, ya que el camino B-C tiene 4 días de holgura y el camino D-E tiene 7 días de holgura. La duración total del proyecto sería de 14 días.

Sin embargo, aunque las actividades A y B no tienen vinculación alguna, si Juan se retrasa mientras realiza la actividad B, retrasará el comienzo de A. En estos casos, el método de la cadena crítica, desarrollado por Eliyahu M. Goldratt en 1997, podría ser de gran utilidad.

La cadena crítica sería el camino B-A, o sea, el camino más largo teniendo en cuenta los recursos críticos.

**Cadena crítica**



Pero el análisis de la cadena crítica no termina aquí. El marco teórico parte de un supuesto que al momento de estimar la duración de las actividades somos demasiado conservadores y utilizamos estimados pesimistas para cubrirnos de posibles retrasos.

Por ejemplo, la actividad B la hemos estimado en 8 días, mientras que una estimación optimista podría haber sido tan sólo 4 días.

No sólo eso, sino que a pesar de utilizar estimaciones conservadoras, lo mismo sufrimos retrasos y esto se debe principalmente a dos principios:

- Síndrome del estudiante: dejamos todo para el final.
- Ley de Parkinson: las actividades se extienden el tiempo disponible.

Para mejorar la planificación de estos cronogramas conservadores, que luego no se cumplen, el método de la cadena crítica sugiere trabajar con duraciones de actividades optimistas y colocar una reserva para contingencia a todo el proyecto.

Siguiendo con nuestro ejemplo, supongamos que las duraciones optimistas sería bajar la duración de todas las actividades a la mitad. A las actividades de la cadena crítica las hemos reducido en 7 días (A 3 días y B 4 días).

**Cadena crítica: Fechas optimistas + reserva**



Luego, a la cadena crítica le agregamos una reserva para contingencias por el posible retraso de esas actividades, denominado "colchón" o "buffer" (en inglés). Si el desvío de B y A, entre la fecha optimista y la planificada inicialmente, es de 7 días, el colchón general para todo el proyecto debería ser inferior a 7 días; ya que estadísticamente es poco probable que ambas actividades sufran el peor de los retrasos. Por lo tanto, podríamos suponer, por ejemplo, 5 días de reserva para todo el proyecto.

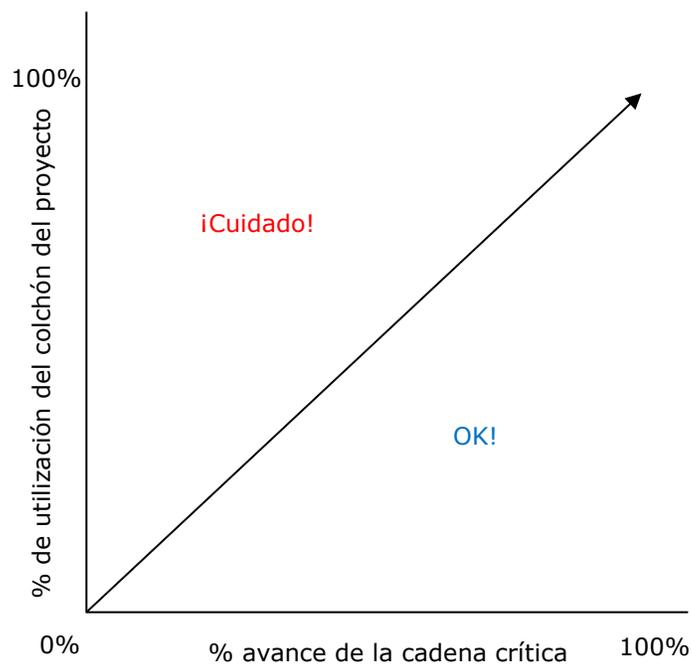
Cabe aclarar que no existe una fórmula para calcular la duración exacta de esa reserva o colchón. Si el proyecto es muy riesgoso, la reserva será grande (ej. 80% de la suma de las desviaciones de las actividades). Por otro lado, si tenemos gran experiencia en ese tipo de proyectos, seguramente una reserva menor sería suficiente (ej. 30% de la suma de las desviaciones de las actividades).

Además, es muy importante gestionar las holguras de aquellas actividades que no están sobre la cadena crítica (C, D, E), denominados colchones de alimentación a la cadena crítica. Si esas holguras desaparecen, podrían ocasionar el retraso de todo el proyecto. La forma de cálculo de esos colchones es desde la finalización de la actividad hasta el final de la cadena crítica sin

considerar el colchón del proyecto. Por ejemplo, C tiene una holgura de 2 días y el camino D-E una holgura de 3 días.

Como podemos observar, la duración total del proyecto pasó de 14 días (método de la ruta crítica con re-asignación de recursos) a 12 días con el método de la cadena crítica.

La clave del éxito del método de la cadena crítica es la forma de gestionar las holguras y el colchón global del proyecto. Por ejemplo, si las actividades de la cadena crítica tienen un avance del 10% y ya hemos utilizado un 70% del colchón, seguramente estamos en problemas y tendremos que corregir urgente la forma de gestión de ese proyecto. Por otro lado, si el avance de la cadena crítica estuviera en 50% y sólo hemos utilizado un 10% del colchón, tenemos el proyecto bajo control.



Empresas de la industria informática, aeronavegación, farmacéuticas, constructoras, entre otras, han implementado con éxito la metodología de la cadena crítica para la gestión de sus proyectos, con reducciones entre un 10% y 50% de los plazos, en relación a técnicas tradicionales como el de la ruta crítica.



## Controlar el cronograma

Durante el proceso de controlar el cronograma se monitorea el estado de avance de los tiempos del proyecto en relación a su línea base y se gestionan los cambios actualizando el cronograma cuando sea necesario.

En proyectos con metodologías ágiles, el seguimiento y control se realiza en cada iteración del proyecto, analizando las lecciones aprendidas al final de cada iteración, para volver a priorizar las funcionalidades del producto y re-planificar el cronograma de la próxima iteración.

¿Qué necesitamos para empezar a controlar el cronograma?

- ↓ Planes: línea base del alcance, gestión del cronograma, **línea base del cronograma**, línea base del desempeño.
- ↓ Documentos: **cronograma**, calendarios, lecciones aprendidas, etc.
- ↓ Datos de desempeño del trabajo

¿Qué herramientas podemos utilizar?

- **Revisiones del desempeño:** comparar las duraciones reales en relación a la línea base del cronograma y evaluar si son cambios significativos. Se puede utilizar el **análisis del valor ganado**, como se explicará en el próximo capítulo.

En varios proyectos los informes de avance se obtienen preguntando a los miembros del equipo: *¿Cómo van?* Y la respuesta suele ser: *¡todo bien!* 😊

¡Cuidado!, preguntar por el porcentaje de avance completado no sirve si no va acompañado de entregables tangibles. En aquellos proyectos donde es difícil obtener entregables tangibles parciales, se pueden utilizar las siguientes reglas para medir avances:

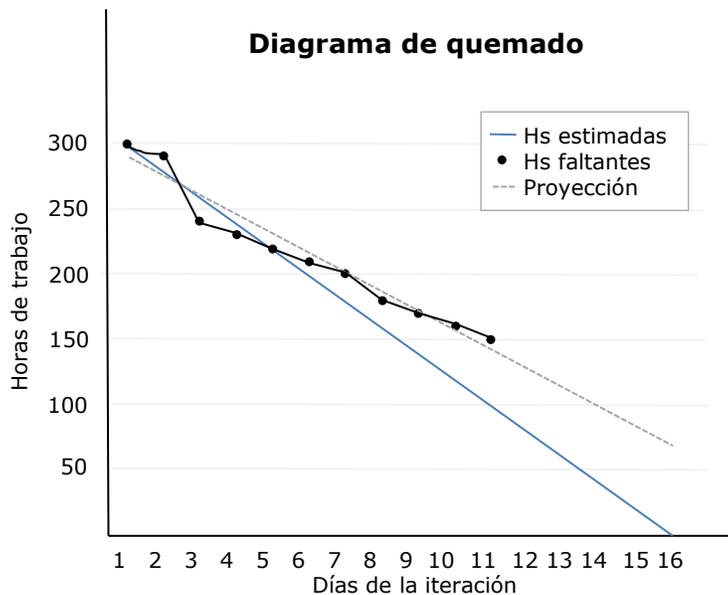
- Regla 50/50: la actividad se considera con un 50% de avance si ya comenzó y el otro 50% sólo se asigna si ya finalizó.
- Regla 20/80: se asigna 20% al comenzar y 80% al finalizar.
- Regla 0/100: solamente se informa 100% al finalizar, caso contrario la actividad se informa en 0%.

- **Gráficos de trabajo pendiente en la iteración (Diagrama de quemado):** en metodologías ágiles se compara todos los días el estado del trabajo pendiente de cada iteración, con lo que se había planificado.

Por ejemplo, supongamos que del backlog del producto de un proyecto se seleccionan 4 funcionalidades (historias de usuarios) para realizar en la próxima iteración de 15 días. Se estima que para poder completar esas funcionalidades, serán necesarias 300 horas de trabajo (75hs para cada

funcionalidad). En el gráfico a continuación se muestra un ejemplo del diagrama de quemado con información de avance hasta el día 11 y una proyección en base a la información histórica. En este ejemplo se puede concluir en base a la proyección, que al finalizar la iteración, los miembros del equipo no van a completar todo el trabajo. Por lo tanto, seguramente quedará alguna funcionalidad sin finalizar que volverá al backlog del producto y se podrá priorizar nuevamente, o no, en las próximas iteraciones.

Inicio día	Trabajo estimado (horas)	Horas restantes
1	300	300
2	280	290
3	260	240
4	240	230
5	220	220
6	200	210
7	180	200
8	160	180
9	140	170
10	120	160
11	100	150
12	80	
13	60	
14	40	
15	20	
16	0	



- **Análisis de tendencias:** ¿mejora o empeora el desempeño del cronograma a medida que avanza el proyecto?
- **Análisis de la variación:** ¿cuáles son las causas de los desvíos en las fechas, duraciones, reservas para contingencias? Si los desvíos son significativos, recomendar acciones correctivas o preventivas a través del control integrado de cambios.
- **Análisis “que pasa sí”:** analizar distintos escenarios y simulaciones con alternativas para ajustar el cronograma a su línea base.
- **Método de la ruta crítica:** comprar el estado de avance de las actividades críticas del proyecto para estimar desvíos en la duración total. También es importante un seguimiento y control de las actividades de las rutas casi críticas, ya que si se consume su holgura, se convertirán en críticas, lo que agregará riesgos al proyecto.



**Resumiendo la gestión del cronograma**

En el gráfico a continuación se resumen las principales entradas, salidas e interrelaciones de los procesos de gestión del cronograma.

**Integrando la gestión del cronograma**

