



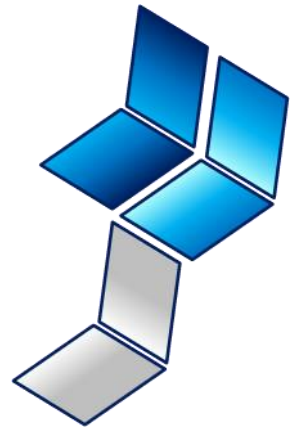
Optimiza 12

LIBRO 3

**Inventarios y Administración
de Proyectos**

Ing. Alejandro Roberti

Ing. Gustavo Chijani — Ing. Verónica Esain — Ing. Esteban Gidekel



Optimiza12

Libro 3

Inventarios y Administración de proyectos

Ing. Alejandro Roberti

Ing. Gustavo Chijani – Ing. Verónica Esain – Ing. Esteban Gidekel

2019

Edición de los autores. Agosto 2019 — Derechos reservados.

Diseño de portada: aero@optimiza.org

Versión digital disponible (e-book) <http://optimiza.org>

ÍNDICE

CAPÍTULO 13 — Administración de inventarios

Terminología.....	2
Demanda (D).....	2
Ítem.....	3
Nivel de inventario.....	3
Faltantes	3
Tiempo de espera (L)	3
Estrategias de pedido	3
Cantidad a pedir para completar el inventario (Q).....	4
Punto de reposición (R)	4
Costos	4
Costo de trámite de compra. (K)	4
Costo unitario de la compra (C)	4
Descuentos por cantidad.....	5
Costo de tener un inventario (H).....	5
Tasa de transferencia (i)	5
Costo de faltante (B).....	5
Modelos de inventario.....	6
Modelos determinísticos	7
Modelo de cantidad de pedidos económicos (EOQ)	7
Modelo de cantidad de pedidos económicos con descuento por cantidad.....	19
Modelo de Inventario por pedidos de producción	22
Modelos con Demanda Probabilística	30
Modelo de revisión continua.....	30
Modelo de revisión periódica.....	34
Costos	39
Revisión periódica con tiempo de espera (L) más largo que el tiempo del período de revisión (T)	40
Software en inventarios.....	41
Resumen	42
Inventarios “Justo a Tiempo” (JIT).....	43
Problema de demanda probabilística en un período simple. (Problema del canillita).....	44

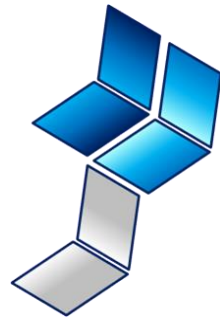
Capítulo 14 — Administración de proyectos

CPM.....	51
Identificación de las tareas individuales	51
Tiempos asignados para cada tarea	52
Creación de la tabla de precedencia.....	53
Diagrama de red	54
Cálculo de tiempo de terminación del proyecto	62
Actividades críticas	67
Resolución empleando WinQSB	71
Proyectos con técnicas de choque.....	74
Desarrollo del modelo de choque	76
PERT	83
Estimación de tiempos.....	83
Cálculo de tiempo de terminación usando te.....	85
Probabilidad del tiempo de terminación	87
Ejemplo integrador	93
Análisis administrativo.....	94
Nueva red y camino crítico	99
Grado de avance de un proyecto.....	100

Capítulo 15. — Uso de software en administración de Proyectos

Microsoft Project	101
Principios generales.....	101
Escala de tiempo.....	106
Completando la carga de datos	107
Diagrama de Gantt.....	107
Información del proyecto y costos.	110
PERT	112
Project Libre (ex OpenProj).....	116
Introducción.....	116
Abrir el programa.....	118
Nuevo proyecto	119
Carga de tareas	120
Conversión de unidades de tiempo de trabajo.....	123
Recursos de las tareas	125
Otras vistas	127
Administración del proyecto	134
Otros programas disponibles.....	139
GanttProject	139

Presentación



El tercer libro de la serie “*Optimiza 12*” cubre dos aspectos necesarios en la formación del ingeniero: la administración de almacenes y la capacidad de planificación, monitoreo y seguimiento de proyectos, tanto en las etapas de proyección propiamente dicha como de ejecución.

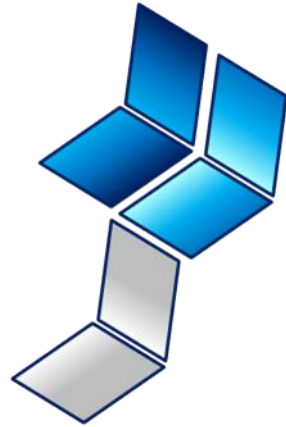
Ambos temas se abordan con la perspectiva de su inserción general en Investigación Operativa aprovechando sus métodos y herramientas, por lo cual, los objetivos que se tuvieron en cuenta en el momento del diseño e inclusión en la obra fueron brindados por la experiencia de los autores en muchos años de trabajo con estudiantes de Ingenierías, ya sea en Alimentos, Industrial e Informática.

Esos objetivos contemplan la posibilidad de otorgar al futuro profesional herramientas básicas en estos temas, pero siempre con una mirada que le permita comprender que existen medios informáticos accesibles y relativamente sencillos que le ayudarán a agilizar cualquier gestión en las materias. Se propone, incluso, el diseño propio o la adecuación personal de esas herramientas. Creemos que este enfoque no solo es novedoso, sino que conlleva un potencial de inmediata aplicación profesional en ingeniería.

En contrapartida, el desarrollo y evolución de la informática obligan al estudiante a estar atento para detectar los cambios que se producen constantemente en este sector.

En cuanto a uso de cierto software comercial o de libre disponibilidad, se pretende demostrar que, con una sencilla guía, el estudiante puede utilizarlo profesionalmente sin necesidad de someterse a costosos cursos de entrenamiento.

Agosto, 2019



Capítulo 13.

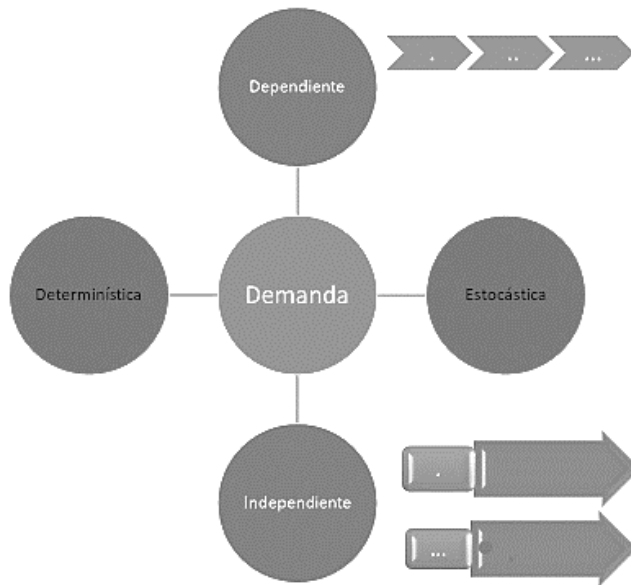
Administración de inventarios

La **administración de inventarios** es una técnica que permite mantener en depósito los materiales necesarios para la producción de bienes, servicios o ventas directas sin caer en problemas de escasez, aprovechando economías por compra de cantidades en determinados momentos, mantener un adecuado flujo en la corriente principal del establecimiento (flujo productivo, flujo de servicios, flujo de ventas, etc.) y evitar costos de mantenimiento de almacenes sobrecargados, o pérdidas por vencimiento de productos perecederos u obsolescencia. El administrador de inventarios debe saber en cualquier momento cuándo y cuánto reponer de cada uno de los ítems que componen su almacén.

Es una parte del conjunto de actividades comúnmente denominadas **logística** y se ha convertido en uno de los aspectos importantes en la administración de organizaciones de todo tipo.

Lo primero que vamos a abordar es la descripción de los tipos y modelos de inventarios, incluso los modelos matemáticos que permiten trabajar sobre ellos. Comenzaremos, entonces, por describir la terminología usual y las características generales de los

modelos de inventario, y, cuando corresponda, el símbolo con que trabajaremos en el resto del capítulo.



Terminología

Demanda (D).

Primero debemos establecer si los diferentes artículos que componen un inventario están o no relacionados entre sí. Por ejemplo, la mayor parte de los artículos de una casa que vende electrodomésticos son independientes entre sí. La demanda de televisores de la semana no afecta la demanda de heladeras de la próxima semana. Por el contrario, los elementos de almacén de una terminal automotriz están relacionados entre sí, son dependientes, y su demanda sigue la demanda de producto terminado: por cada automóvil que se demanda se requerirán cinco ruedas completas, y para cada una de ellas, una llanta, una cubierta, etc.

Para los modelos que analizamos en este capítulo, partiremos del supuesto de que la demanda es siempre independiente.

La demanda también puede ser clasificada según sea determinística (se conoce la demanda de cada artículo por unidad de tiempo) o probabilística (no se conoce con certeza la demanda).

Ítem

Un almacén puede contener varios artículos diferentes. Cada uno de ellos se denomina **ítem** y, por consiguiente, el inventario se refiere a cada ítem y nunca al conjunto de ellos. Por ejemplo, el almacén de una casa de electrodomésticos tiene muchos artículos (heladera de 12 pies marca X, televisor de 55" marca Z, etc.) cada uno de ellos es un ítem, pero los inventarios son para cada ítem (Inventario de heladeras de 12 pies marca X).

Nivel de inventario

Es la cantidad de unidades de un ítem determinado que se encuentra al hacer una revisión del almacén.

Faltantes

En ciertas ocasiones puede existir falta de material en almacén en el momento que es demandado. Lo que puede ser admisible o ser inadmisibile, según la incidencia e importancia del suministro faltante (pueden faltar televisores de 42" en un negocio que vende todo tipo de electrónicos pero es diferente que falte leche en un hospital de niños), también puede ser generadora de pérdidas o de satisfacción retrasada y de otros costos, como penalizaciones (el negocio de los televisores perdió la venta de uno de 42", pues el cliente fue a otro negocio, una fábrica puede compensar una falta de provisión cuando ésta se regulariza).

Tiempo de espera (L)

Se lo llama también **Tiempo Guía** o, en algunos textos, **Lead Time**. Es el lapso que transcurre desde que se efectúa el pedido de artículos hasta que se dispone efectivamente en el depósito de esos artículos. La demanda de bienes continúa mientras transcurre el tiempo de espera L .

Estrategias de pedido

La forma de determinar cuándo y cuánto hay que pedir obedece a una de dos estrategias posibles:

Pedido en lapsos fijos de tiempo. Se solicita la cantidad que arroja el nivel de inventario en el momento en que revisamos lo que queda en el almacén (*nivel de inventario*). Esa revisión se hace en períodos de tiempo preestablecidos. La cantidad varía. El tiempo es constante. Suele denominarse ***estrategia de revisión periódica***. El inventario se revisa después de un tiempo y el pedido se hace en función del número de unidades encontradas.

Pedido por cantidad fija en almacén. Se deja caer el inventario hasta un número fijo y entonces se realiza un pedido que también es un número fijo. La cantidad es fija, el tiempo varía. Se denomina ***Estrategia de revisión continua***, ya que se debe observar continuamente el nivel de inventario para verificar cuándo ese nivel llega al número de unidades prefijado para hacer el pedido.

Cantidad a pedir para completar el inventario (Q).

Es la cantidad de unidades que se solicitará al proveedor o que se fabricarán para reponer el inventario. Debemos tener presente que esa cantidad a pedir no será necesariamente el número de unidades disponibles en almacén, ya que ese variará en el tiempo a una tasa D .

Punto de reposición (R)

Es la cantidad de unidades del artículo que queda en el almacén (nivel de inventario) que indica que llegó el momento de hacer la solicitud de reposición, ya sea mediante una ***orden de reposición*** o una ***orden de producción***.

Costos

Costo de trámite de compra. (K)

Es el costo asociado con cada pedido, es un costo fijo independiente del número de unidades del artículo (ítem) solicitadas. Engloba los costos administrativos, de puesta a punto, a veces de flete, seguros, etc.

Costo unitario de la compra (C)

Es el costo de compra por cada unidad del ítem, si se multiplica por el número adquirido se obtiene el gasto de compra del inventario. Contablemente no es un costo estricto, ya que este, generalmente, se recupera cuando el artículo sale del almacén (por venta o uso). Si es de producción propia también debe registrarse como si se comprara a un proveedor externo. Sin embargo, corresponde tenerlo en cuenta, porque puede haber

modificaciones derivadas de la política de inventario o con la cantidad solicitada, como, por ejemplo, descuentos por cantidad u ofertas de temporada.

Descuentos por cantidad

El precio de un artículo puede ser función de la cantidad adquirida. Puede ser beneficioso pagar menos comprando más en lapsos mayores si el costo de almacén lo permite.

Costo de tener un inventario (H).

Es el costo más importante en cuanto a definir políticas de administración de inventarios. Incluye

costos de almacenamiento, (valor de alquiler del depósito o amortización, cuidados especiales como frío u otros, robos, depreciación, obsolescencia o vencimiento, etc.). Generalmente se establece el costo como una fracción del valor unitario.

costos de inmovilización de dinero invertido. Supongamos que una prestigiosa agencia de venta de autos desea mantener un inventario de 30 vehículos en su local. Si por cada uno debe abonar a la fábrica \$ 20.000, significa que la concesionaria debe disponer de un capital de \$ 600.000 que está inmovilizado pero que en el mercado financiero le hubiera reportado por lo menos \$ 90.000 anuales en concepto de intereses si lo hubiera colocado a muy bajo riesgo. Este valor es un **costo de oportunidad**.

Estos costos se calculan como una fracción (i) del costo unitario (C): $H = i * C$

Tasa de transferencia (i)

La fracción i se denomina **tasa de transferencia** y, en general, es un término contable global que incluye la incidencia de costos en términos de inversión en un negocio alternativo seguro (baja tasa). Contablemente, la tasa de transferencia no solo se refiere al valor del capital inmovilizado, sino también a la incidencia de otros costos tales como seguros, frío, costo de mantenimiento de los productos en stock, riesgo de obsolescencia, etc.

Costo de faltante (B).

Es el costo asociado con la falta de un ítem:

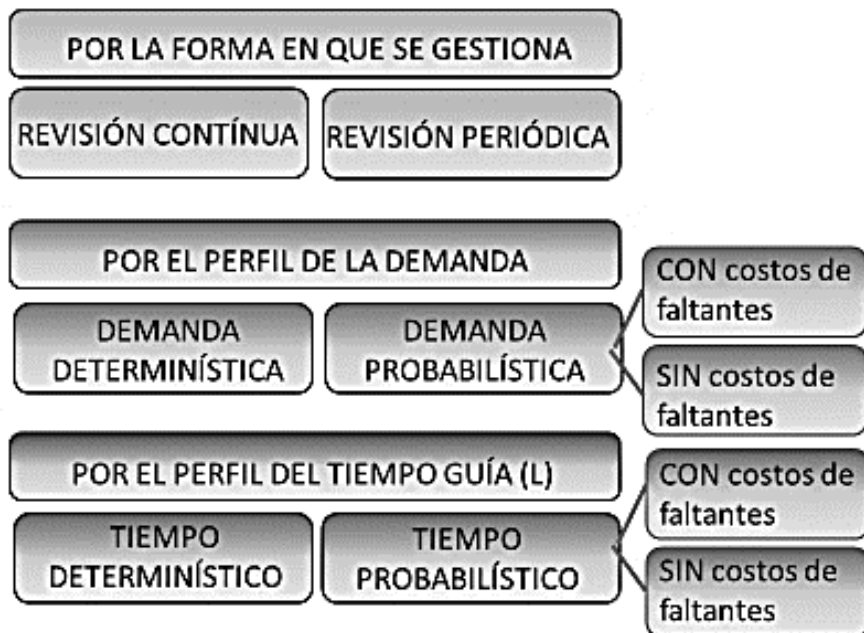
costos de faltante explícitos: se asocian a cada unidad faltante. Incluye descuentos en el valor por demora en la entrega o costos extras para conseguir los faltantes de urgencia.

costos de faltante implícitos: se asocian con la no satisfacción de la demanda: lo que se perdió de vender, la pérdida de prestigio. Generalmente se estima.

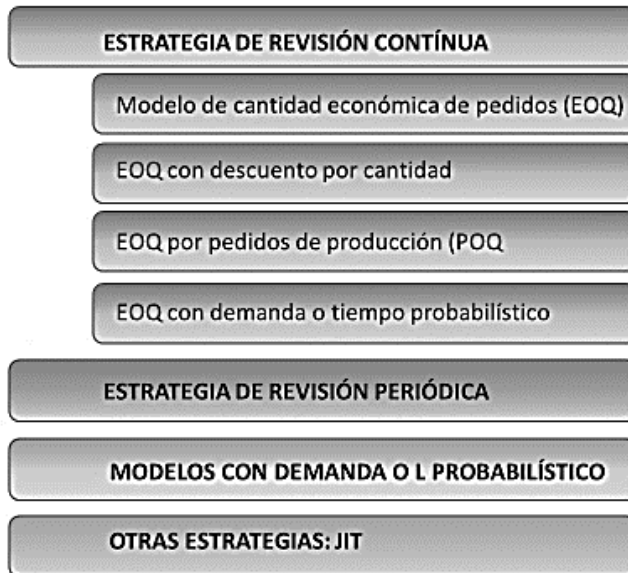
costos de faltante compuestos: son los costos anteriores a los que se suman sanciones contractuales por no entregar en fecha.

Modelos de inventario

Los modelos de inventario pueden ser clasificados por la **manera en que se gestionan**, por el perfil determinístico o estocástico de la demanda o del tiempo guía:



Pero es en función de las **estrategias de revisión** donde se plantean modelos concretos:



Modelos determinísticos

Para trabajar con inventarios, ya sean determinísticos como probabilísticos, podemos utilizar un modelo básico de partida, llamado **EOQ**, con el que podemos calcular la cantidad óptima de pedidos, la frecuencia de revisión, los costos asociados, puntos de stock críticos, y otros datos. Estos datos pueden ser aplicables — posteriormente — a otros modelos u otras estrategias. A su vez, **EOQ** es el modelo determinístico básico.

Modelo de cantidad de pedidos económicos (EOQ)

La sigla **EOQ** proviene de las iniciales en inglés de *Cantidad Económica de Pedidos* y tiene las siguientes características:

- El inventario es para un solo ítem (artículo)
- La demanda es determinística de **D** unidades del artículo por unidad de tiempo
- El tiempo de espera **L** es determinístico y se conoce
- No se permiten faltantes. (Condición asociada con la demanda determinística)
- Los pedidos se hacen en una cantidad fija **Q**
- Se pide **Q** cuando el inventario llega a un cierto punto **R** , llamado **punto de reposición**. Esto quiere decir que hay que revisar el inventario para saber cuándo se alcanza la cantidad **R** . Los valores de **Q** y de **R** se eligen para tener un costo total mínimo compuesto por:

- costo fijo de pedido, K , [\$/pedido]
- costo de compra, C , [\$/unidad], sin descuento por cantidad
- costo de conservación, $H = i * C$, [\$/unidad x tiempo de almacén]
- No hay costo por faltante.

EJEMPLO:

Una panadería de la ciudad de Pergamino requiere un suministro fijo de levadura que es provista por una empresa de Rosario. Hay que determinar cómo hacer los pedidos para que nunca falte la levadura manteniendo los costos lo más bajos posible.

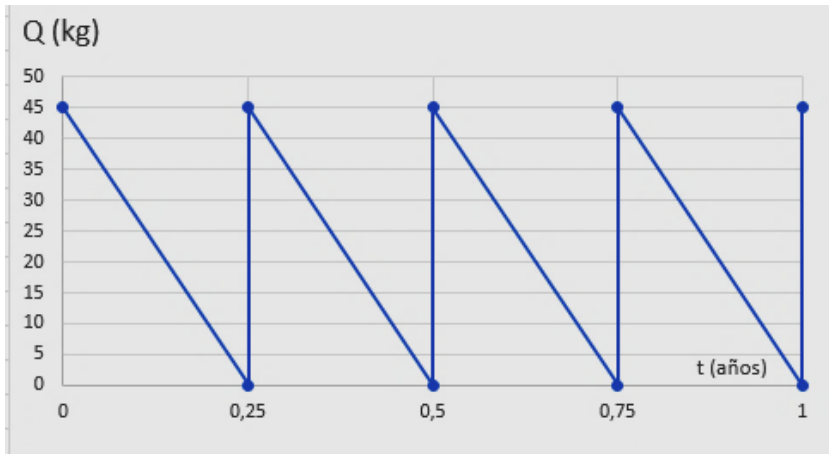
El primer paso consiste en identificar las características del inventario:

- Un solo artículo: levadura
- Se provee en lotes
- La demanda es constante y determinística,
 $D = 15 \text{ kg/mes}$
- El proveedor entrega el producto en una semana desde que se hace el pedido,
 $L = 1 \text{ semana}$
- No se admite dejar de elaborar pan. No se permite faltante.
- El costo fijo de pedido es
 $K = \$100$
- La levadura tiene un precio de \$ 20/kg sin descuentos por cantidad
 $C = 20\$/\text{kg}$
- La tasa de transferencia i es de 30% anual (calculada sobre la base de que hay ciertos costos como mantener la levadura en freezer, el costo de capital inmovilizado, etc.)
 $i = 0,30$

Luego homogeneizaremos las unidades, porque tenemos intervalos de tiempo diferentes. Si se supone que la panadería trabaja todas las semanas del año, entonces tiene una actividad de 52 semanas por año:

- Demanda $D = 15 \text{ kg/mes} \times 12 \text{ mes/año} = 180 \text{ kg/año}$
- Tiempo de espera $L = 1 \text{ semana} \left[L = \frac{7 \text{ día/sem} \text{ semana}}{365 \text{ día/año}} = 0,019 \text{ año} \right]$
- Tasa de transferencia $i = 0,30 \text{ año}^{-1}$
- Costo del pedido $K = 100 \text{ \$/pedido}$
- Costo unitario de mercadería pedida $C = 20 \text{ \$/kg}$
- Costo de almacén $H = iC = 0,30 \times 20 = 6 \text{ \$/kg año}$

Para analizar el caso, supongamos que hemos decidido – arbitrariamente - que pediremos lotes de 45 kg de levadura ($Q = 45$ kg). Esa es, a los efectos de este análisis, la **cantidad inicial de inventario**. Si graficamos el inventario en función del tiempo Q vs. t , tendremos:



Dado que la demanda es determinística, la disminución de inventario a razón de 180 kg/año lleva a agotar el stock en un cuarto de año. Como no está permitido tener faltante, el pedido de renovación del almacén debe llegar exactamente en el momento en que se acaba el inventario anterior: 0,25 de año.

El costo anual asociado con esta estrategia es:

$$\left| \begin{array}{c} \text{Costo} \\ \text{anual} \\ \text{total} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{c} \text{Costo} \\ \text{anual de} \\ \text{pedidos} \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} \text{Costo} \\ \text{anual de} \\ \text{compra} \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} \text{Costo} \\ \text{anual de} \\ \text{almacén} \end{array} \right|$$

donde

$$\begin{aligned} \text{costo anual de pedidos} &= [\text{costo por pedido}] \times [\text{cantidad de pedidos anuales}] = \\ &= K (D/Q) = \\ &= 100 \times (180/45) = 400 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{costo anual de compra} &= [\text{costo unitario}] \times [\text{demanda}] = \\ &= C D = \\ &= 20 \times 180 = 3600 \end{aligned}$$

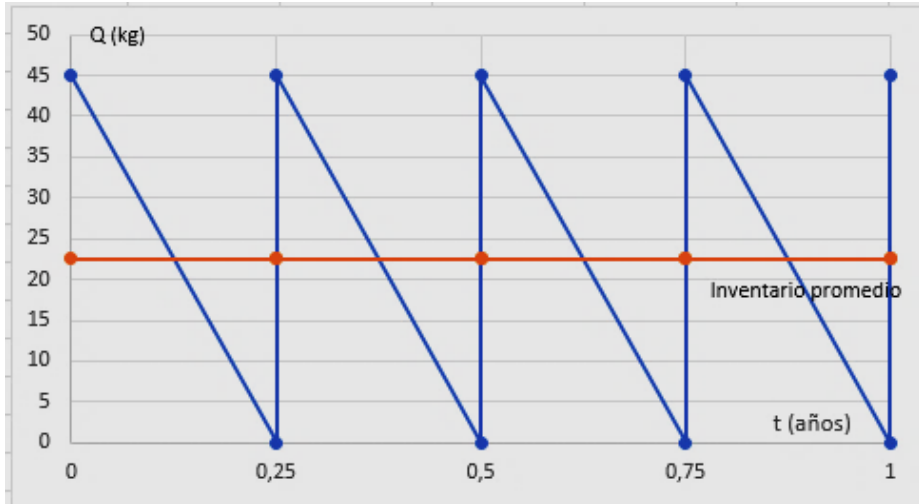
$$\text{costo anual de almacén} = [\text{inventario promedio}] \times [\text{costo anual de almacén}] =$$

$$= (Q/2) H = (Q/2) (i C) =$$

$$= 22,5 \times 0,30 \times 20 = 135.$$

Entonces, el **costo total anual**, será:

$$400 + 3600 + 135 = 4135$$



El siguiente paso será analizar lo que ocurre para diferentes cantidades de pedido de inventario (Q) buscando aquel que minimice el costo anual, que es el objetivo del análisis.

Generalizando, vamos a graficar para cualquier cantidad de reposición, Q , y para hacerlo usaremos la expresión para el **Costo anual total** presentada de la siguiente manera:

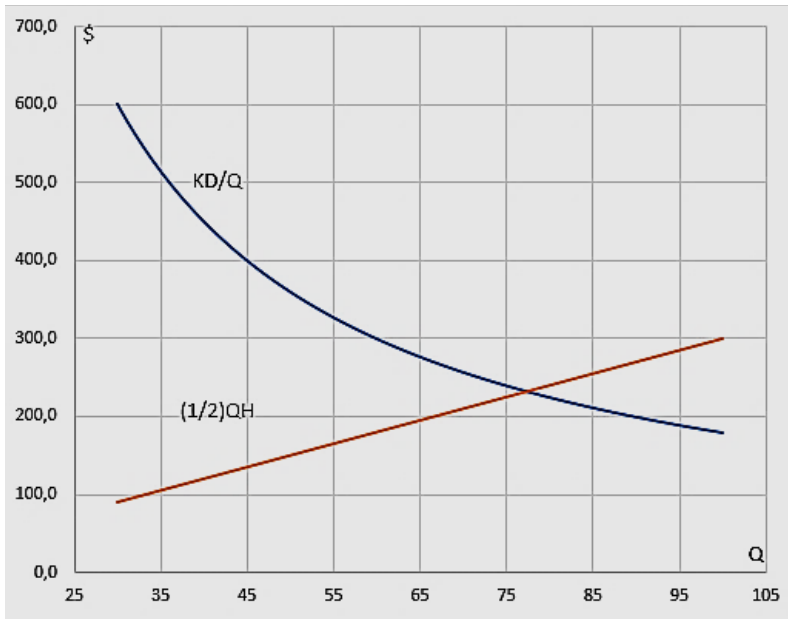
$$\text{Costo total anual} = \frac{KD}{Q} + CD + \frac{1}{2} QiC$$

la que podemos representar, en un plano $\$$ vs. Q . Si tomamos cada monomio, comenzando por el término KD/Q , y luego el costo de compra, (que permanece constante cuando aumenta la cantidad de compra) y terminando con el costo de conservación, que varía linealmente con la cantidad adquirida.

Como el objetivo es encontrar la cantidad de pedidos más económica, Q , habrá que buscar el mínimo de la función compuesta por estos tres costos. Vemos que el término CD no es función del nivel de inventario Q , ya que la demanda debe ser satisfecha completamente y en forma independiente del inventario puntual. En el caso del

ejemplo, los 180 kg de levadura deben adquirirse ya sea todos de una vez o en compras diarias o semanales a lo largo del año.

Por esa razón y por la escala utilizada, no graficaremos el monomio **CD**.



La solución para el pedido económico se obtiene derivando **CT** respecto de **Q** e igualando a cero:

$$d(CT) = KDd\left(\frac{1}{Q}\right) + \frac{d}{dQ}(CD) + \frac{1}{2}HdQ = \frac{HD}{Q^2} + \frac{H}{2}$$

$$-\frac{KD}{Q^2} + \frac{H}{2} = 0$$

$$Q = \sqrt{\frac{2DK}{H}} = \sqrt{\frac{2DK}{iC}}$$

que, aplicada al ejemplo que estamos viendo, resulta:

$$Q = \sqrt{\frac{2 \times 180 \times 100}{0,3 \times 20}} = 77,46$$

Así hemos obtenido la cantidad óptima del pedido con el criterio de tener asegurado un inventario a mínimo costo. El siguiente paso será calcular el costo total anual de esta política de inventario:

$$\begin{aligned} \text{Costo total anual} &= \frac{KD}{Q} + CD + \frac{1}{2}QiC = \frac{100 \times 180}{77,46} + 20 \times 180 + \frac{1}{2} \times 77,46 \times 0,3 \times 20 \\ &= 4064,76 \end{aligned}$$

Ahora podremos calcular el número de pedidos que debemos hacer por año, que lo obtenemos dividiendo la demanda por período entre la cantidad de cada pedido

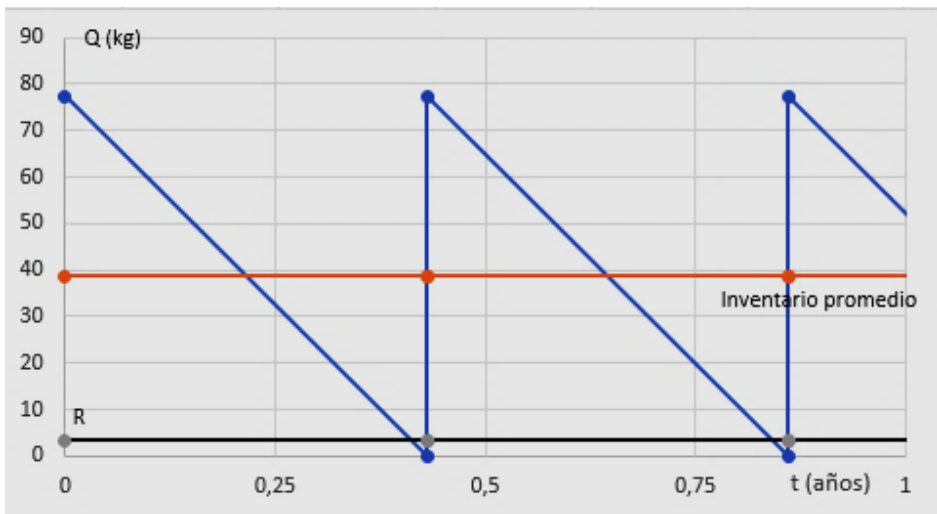
$$\frac{D}{Q} = \frac{180}{77,46} = 2,32 \text{ pedidos/año}$$

El tiempo entre pedidos será

$$T = \frac{Q}{D} = \frac{77,46}{180} = 0,43 \text{ año}$$

Cálculo del momento de realizar pedidos

Nos resta determinar el nivel de inventario (**R**) que nos indique que llegó el momento para realizar un nuevo pedido, de manera tal que cuando lo que nos queda se agote nos llegue la reposición **Q** solicitada. (Recuerde que es revisión continua: estamos siempre revisando el saldo en el almacén)



En este caso, el tiempo que tardará en llegar la reposición de inventario Q será el tiempo de espera L de 1/52 de año. Por eso necesitaremos saber cuánta levadura consumimos en ese tiempo.

$$R = DL$$

$$R = 180 \text{ Kg/año} \times (1/52) \text{ año} = 3,46 \text{ kg de levadura.}$$

por lo tanto, cuando queden 3,46 kg de levadura hay que solicitar un nuevo embarque de 77,46 kg.

Cálculo avanzado de R

Hay que tener presente que, en el caso de calcular el Punto de Reposición, se pueden dar otras dos alternativas. La primera se da cuando el punto de reposición cae en un instante de tiempo situado entre el agotamiento del inventario y la llegada del pedido.

Como en este modelo EOQ esa situación no es posible (la pendiente de la velocidad de reposición tiende a infinito: se supone instantánea), la analizaremos más adelante en el modelo de Pedidos Económicos de Producción (POQ) donde eso puede ocurrir.

La segunda posibilidad es que el tiempo guía (L) sea igual o mayor que el tiempo entre pedidos (o la duración de un ciclo de inventario)

En ese caso, a la demanda total del período L (que originalmente es coincidente con la cantidad R) se le debe restar el número de ciclos de inventario completos que abarca este tiempo L multiplicado por la cantidad óptima a pedir (Q) lo cual nos daría el verdadero punto de reposición:

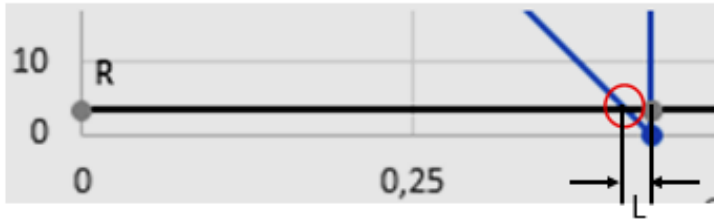
$$R = D.L - \left[\text{Entero} \left(\frac{D.L}{Q} \right) \right] \cdot Q$$

Veamos tres ejemplos:

$$\begin{aligned} 1) \quad & D = 180 \\ & L = 0,019 \\ & Q = 77,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R = D.L - \left[\text{Entero} \left(\frac{D.L}{Q} \right) \right] \cdot Q &= \frac{180}{52} - \left[\text{ent} \left(\frac{180 \times 0,019}{77,46} \right) \times 77,46 \right] = 3,46 - 0 \times 77,5 \\ &= 3,46 \end{aligned}$$

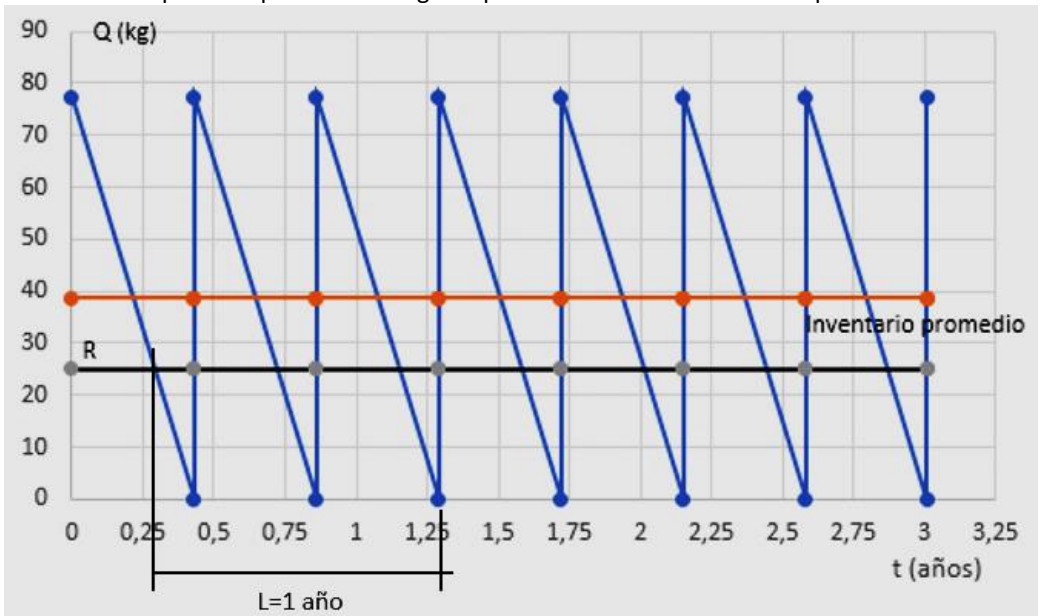
El primer ejemplo tiene un ciclo de espera de $(1/52)$ año (problema original), por tanto, cuando existan – en CUALQUIER MOMENTO DEL AÑO – 3,46 kg en el depósito hay que hacer el pedido. Es exactamente igual a como está desarrollado en el modelo anterior.



- 2) $D = 180$
 $L = 1$ (año)
 $Q = 77,5$

$$R = D.L - \left[\text{Entero} \left(\frac{D.L}{Q} \right) \right] . Q = 180 \times 1 - \left[\text{ent} \left(\frac{180}{77,46} \right) \times 77,46 \right] = 180 - 155 = 25$$

El segundo ejemplo tiene un ciclo de espera de un año, por tanto, cuando existan – en CUALQUIER MOMENTO DEL AÑO – 25 kg en el depósito hay que hacer el pedido. Mientras se espera ese pedido va a llegar el pedido anterior hecho un tiempo antes



- 3) $D = 180$
 $L = 4$ años
 $Q = 77,5$

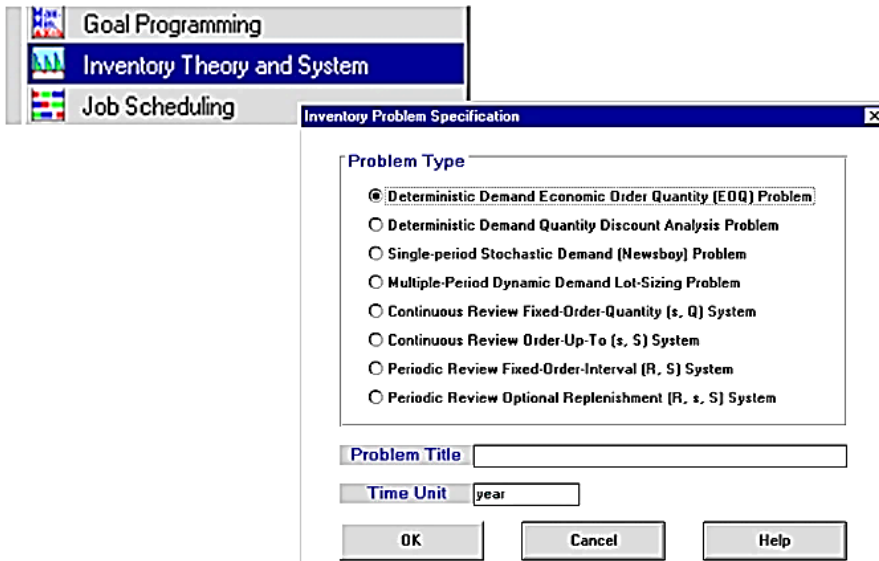
$$R = D \cdot L - \left[\text{Entero} \left(\frac{D \cdot L}{Q} \right) \right] \cdot Q = 180 \times 4 - \left[\text{ent} \left(\frac{180 \times 4}{77,46} \right) \times 77,46 \right]$$

$$= 720 - 697,5 = 22,5$$

El tercer ejemplo tiene un ciclo de espera de cuatro años, por tanto, cuando existan – en CUALQUIER MOMENTO DEL AÑO – 22,5 kg en el depósito hay que hacer el pedido. Mientras se espera ese pedido van a llegar pedidos anteriores

Resolución del modelo con WinQSB

En WinQSB se utiliza el módulo *Inventory Theory and System* en el cual se elige EOQ.



Se observa que hay que cargar la unidad de tiempo que usaremos. Esta puede ingresarse solicitada puede ser ingresada con cualquier sintaxis, pues el software no opera con ella, solamente tiene un valor informativo en los resultados. Los demás datos se pueden incorporar en forma simple y en el orden desarrollado en el texto:

DATA ITEM	ENTRY
Demand per year	180
Order or setup cost per order	100
Unit holding cost per year	6
Unit shortage cost per year	M
Unit shortage cost independent of time	
Replenishment or production rate per year	M
Lead time for a new order in year	0,019
Unit acquisition cost without discount	20
Number of discount breaks (quantities)	
Order quantity if you know	

El tercer renglón de la tabla de entrada corresponde al producto de i por C , o sea, H .

Con estos datos se procede a resolver el problema mediante el menú *Solve and Analyse*, obteniéndose como resultado:

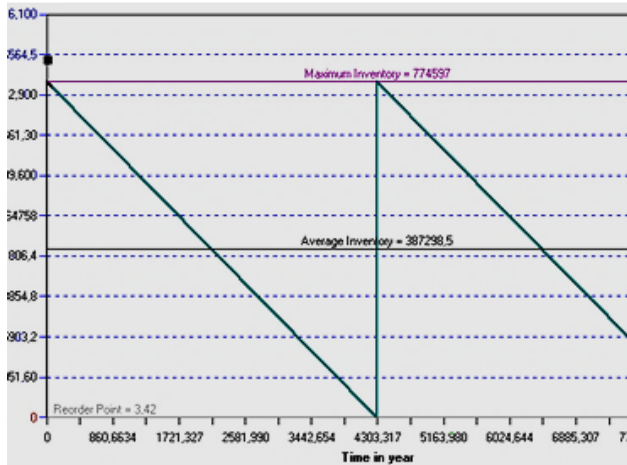
07-24-2002	Input Data	Value	Economic Order Analysis	Value
1	Demand per year	180	Order quantity	77,4597
2	Order [setup] cost	\$100,0000	Maximum inventory	77,4597
3	Unit holding cost per year	\$6,0000	Maximum backorder	0
4	Unit shortage cost		Order interval in year	0,4303
5	per year	M	Reorder point	3,42
6	Unit shortage cost			
7	independent of time	0	Total setup or ordering cost	\$232,3790
8	Replenishment/production		Total holding cost	\$232,3790
9	rate per year	M	Total shortage cost	0
10	Lead time in year	0,019	Subtotal of above	\$464,7580
11	Unit acquisition cost	\$20,0000		
12			Total material cost	\$3600,0000
13				
14			Grand total cost	\$4064,7580

Esta planilla confirma el pedido óptimo de 77,46 y el punto de nuevos pedidos ($R = 3,42^1$), el intervalo entre pedidos (0,4303) y la información Máximo número de pedidos en espera (Maximum backorder) indica que, en cualquier momento del año, no habrá pedidos anteriores en espera.

Además, muestra los costos anuales derivados de esta estrategia de compras. Incluyen el costo de comprar los 180 kg de levadura anuales (*Total material cost*) que se ve

¹ Antes obtuvimos 3,46 debido a que usamos $L = 1/52$. Si en cambio se usa 0,019 (redondeo de $1/52$) se obtiene 3,42

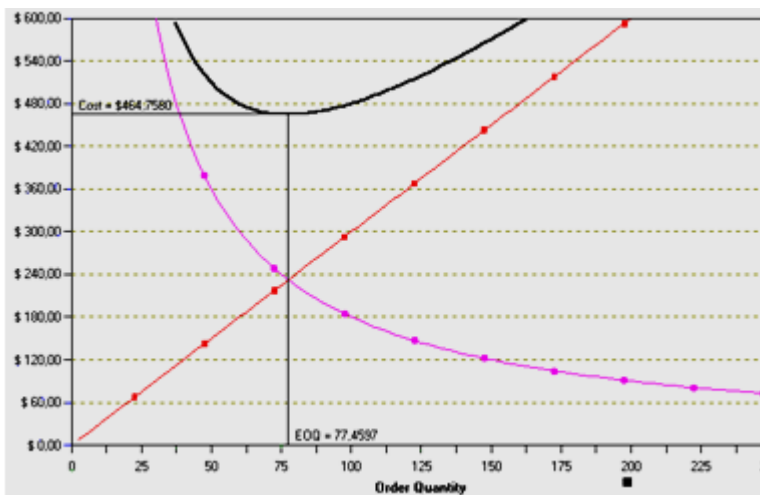
separado de los costos “puros” del inventario que son el costo de orden y el costo de almacén con su subtotal.



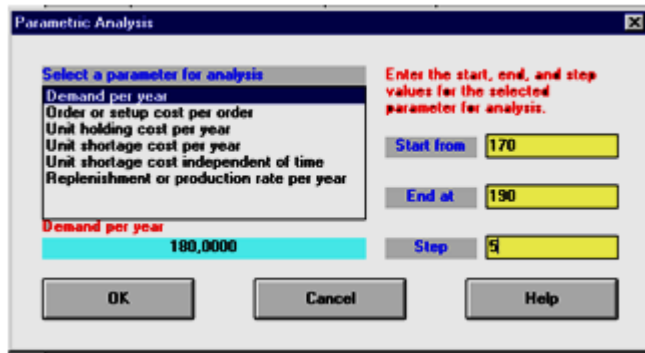
La suma de todo brinda un gran total (podemos ver que los costos de almacén y de pedido son iguales ¿porqué?).

También es posible obtener un análisis gráfico del inventario en la opción correspondiente del menú *Resultados*, como se muestra a la izquierda para dos ciclos de inventario.

Mediante el mismo menú podremos obtener un análisis gráfico de los costos:



Por último, podemos hacer un análisis paramétrico sobre algunos de los valores ingresados, tales como la demanda. A título de ejemplo vemos en la figura que haremos un estudio de la demanda entre 170 y 190 kg de 5 en 5 kg :



con lo cual obtenemos el siguiente informe de análisis paramétrico:

7-24-200	Demand per year	Economic	Inventory	Grand Total	Total Setup	Total Holding	Total Shortage	Total Material	Maximum	Maximum	Order Interval	Re P
1	170	75,2773	51,6636	51,6640	25,8318	25,8318	0	00,0000	75,2773	0	0,4428	
2	175	76,3763	58,2576	58,2580	29,1288	29,1288	0	00,0000	76,3763	0	0,4364	
3	180	77,4597	64,7580	64,7580	32,3790	32,3790	0	00,0000	77,4597	0	0,4303	
4	185	78,5281	71,1688	71,1690	35,5844	35,5844	0	00,0000	78,5281	0	0,4245	
5	190	79,5822	77,4935	77,4940	38,7467	38,7467	0	00,0000	79,5822	0	0,4189	

En resumen...

El **Modelo de pedido en cantidades económicas** se describe con los siguientes parámetros:

D = demanda por período

L = Tiempo de espera para recibir el pedido

i = tasa de transferencia por período

K = costo fijo de pedido

C = costo de compra por unidad

$H = i C$ = costo de almacén por unidad de tiempo

$$Q = \sqrt{\frac{2DK}{H}} = \sqrt{\frac{2DK}{iC}} = \text{cantidad a solicitar en cada reposición}$$

promedio de pedidos por u de tiempo = D/Q

tiempo entre pedidos = Q/D

$R = D \cdot L - \left[\text{Entero} \left(\frac{D \cdot L}{Q} \right) \right] \cdot Q$ punto de reposición para realizar un nuevo pedido
o bien $R = DL$.

Modelo de cantidad de pedidos económicos con descuento por cantidad

Seguimos el mismo ejemplo de la sección anterior, con el que hallamos la estrategia de almacenamiento óptimo para levadura comprada a 20 \$/kg.

Supongamos ahora que nos hacen una oferta de descuento por cantidad. Replanteamos el problema con los datos anteriores y le agregamos los descuentos que nos ofrecen:

Demanda anual	$D = 180$ kg
Tiempo de espera	$L = 1/52$ año
Tasa de transferencia anual	$i = 0,3$
Costo fijo de pedido	$K = \$ 100/\text{pedido}$
Costo de compra	$C = \$ 20/\text{kg}$ de 1 a 49 kg $C = \$ 18/\text{kg}$ de 50 a 99 kg $C = \$ 16/\text{kg}$ de 100 o más kg
Costo de conservación anual	$H = i \cdot C$

Lo resolveremos siguiendo este método:

1) Determinamos Q (cantidad de pedido óptimo) para cada uno de los costos unitarios C .

$$\text{Para el costo de compra } C = 20 \text{ \$/kg} \quad Q = \sqrt{\frac{2DK}{iC}} = 77,5$$
$$C = 18 \text{ \$/kg} \quad Q = 81,6$$
$$C = 16 \text{ \$/kg} \quad Q = 86,6$$

Observamos que en el caso de $C = 16\$/\text{kg}$ el Q obtenido (86,6 kg) está por debajo del límite donde ese precio es válido (que es de 100 kg o más) y que en el caso de $C = 20 \text{ \$/kg}$, la cantidad Q a solicitar (77,5 kg) está por encima de la validez de la oferta de precio, que es como máximo 49 kg.

Para avanzar, entonces, aplicaremos el siguiente criterio:

- Si la cantidad de pedidos Q es más alta que el límite superior del intervalo de validez de precios, se toma ese límite superior como óptimo **para el intervalo**.
- Si la cantidad de pedidos Q es más baja que el límite inferior de validez del precio, se toma el límite inferior como óptimo **para el intervalo**.
- Obviamente cualquier valor que se encuentre dentro de los límites será el óptimo de ese intervalo.

2) Calculamos el costo anual total para cada costo unitario C hallado en 1)

costo total anual = costo anual de pedidos + costo anual de compras + costo anual de conservación

$$\text{costo total anual} = KD/Q + CD + \frac{1}{2}(iCQ)$$

(Nota: en este caso debe computarse el monomio CD porque C es variable)

Obtenemos:

Intervalo	C (\$/kg)	Q	Costo total anual (\$)
1 - 49	20	49	4114,35
50 - 99	18	81,6	3680,91
> 99	16	100	3300,00

3) Seleccionamos el menor costo anual total

En la tabla anterior vemos que corresponde a un pedido de 100 kg, pues tiene el costo asociado menor.

El número de pedidos promedio será

$$D/Q = 180/100 = 1,8$$

Y el punto de reposición

$$R = DL = 180/52 = 3,46$$

Con WinQSB, el análisis puede ser realizado comenzando en la pantalla de inicio del módulo, donde, en lugar de elegir EOQ seleccionamos la opción de análisis con descuentos por cantidad:

Problem Type

Deterministic Demand Economic Order Quantity (EOQ) Probl

Deterministic Demand Quantity Discount Analysis Problem

completamos la planilla de entrada (la misma que en el modelo anterior) pero agregando, en el anteúltimo renglón (*Number of discount breaks*), que consideraremos dos puntos de corte de descuento. Recordemos que el primero está en 50 unidades y el otro en 100:

DATA ITEM	ENTRY
Demand per year	180
Order or setup cost per order	100
Unit holding cost per year	6
Unit shortage cost per year	M
Unit shortage cost independent of time	
Replenishment or production rate per year	M
Lead time for a new order in year	0.019
Unit acquisition cost without discount	20
Number of discount breaks (quantities)	2
Order quantity if you know	

Nos queda especificar el tipo de descuento. Para ello accedemos al ítem *Puntos de descuento* del Menú Edición y ahí en cada valor de corte incorporamos el porcentaje que, a partir de esa cantidad, se aplica como descuento.

50

Number	Discount Break	Discount %
1	50	10
2	100	20

OK

Cancel

Help

En el mismo menú *Edición*, debemos especificar las *Características del descuento*, lo que nos permite que el descuento se aplique al costo de inventario (*Holding Cost – Also discount*) y que vale para todas las unidades en *Discount Type*:

Con esto ya estamos en condiciones de buscar la solución del problema. Obtenemos el análisis completo, similar al hallado anteriormente, pero que ahora incluye la recomendación de un pedido de 100 unidades.

15-2005	Break Qty.	Discount %	EOQ	EOQ Cost	Feasibility	Order Qty.	Total Cost
0	0	0	77.4597	\$4064.7580	No	50	\$4110.0000
1	50	10	81.6497	\$3680.9080	Yes	81.6497	\$3680.9080
2	100	20	86.6025	\$3295.6920	No	100	\$3300.0000
**	Recommended	Order Qty. =	100	Discount =	20%	Total Cost =	\$3300.0000

Modelo de Inventario por pedidos de producción

Este modelo, cuya sigla es **POQ**, por sus iniciales en inglés, se diferencia del anterior en que la reposición del almacén no es por lotes, sino que las unidades del ítem van ingresando al inventario a medida que llegan o que son producidas, sin que se interrumpa la demanda, tal como ocurriría en el caso en que el inventario está al final de una línea de producción destinada a satisfacer la demanda de otra línea.

El problema consiste en determinar:

Momento a emitir la orden de producción del artículo

Cantidad del ítem a producir con el objetivo de tener un costo mínimo de inventario

Como en el caso anterior, en este modelo, se deben considerar los siguientes supuestos básicos:

- El inventario es de un solo ítem
- La demanda del ítem es determinística y ocurre a una tasa conocida de D unidades por período.
- El tiempo de espera es determinístico y conocido L
- El pedido se produce con una tasa de producción conocida P
- El costo de producción por unidad es fijo y no depende de la cantidad de unidades producidas, se incluye en el costo del pedido K
- Cada unidad producida tiene un valor o costo C
- No se permiten faltantes
- Cuando el inventario alcanza un nivel R se emite el pedido de producción de Q unidades. Tanto R como Q se eligen para que el costo anual total sea mínimo. Ese costo está compuesto por
 - costo fijo por pedido (incluye el costo de producción) K
 - costo de almacén o conservación por período $H = iC$
 - no hay costo por faltantes ya que no se permiten faltantes.

Con el siguiente ejemplo haremos el desarrollo del modelo:

AutoPop, produce un modelo “fuera de línea” que tiene altos costos de ensamblaje y una demanda fija de 6000 unidades por año. Se planea producirlo a mínimo costo. Para iniciar una corrida de producción se necesita un tiempo de espera $L = 1$ semana y se producen a una tasa de $P = 900$ unidades/mes.

El costo de producción no varía con el número de unidades producidas, que tiene que ser un promedio de 6000 u/año.

El costo de organización de producción es de \$ 5000 por corrida de producción, el valor de cada unidad C es de \$ 15000. La tasa de transferencia i (costo de oportunidad del dinero invertido en almacén) es de 0,24.

En resumen y en unidades coherentes, el problema se presenta con los siguientes parámetros:

$P = 900$ unidades/mes

$D = 6000$ u/año $\times 1/12$ año/mes = 500 u/mes

$L = 1$ semana = 12/52 mes

$K = \$ 5000$

$C = \$ 15000$

$i = 0,24$ /año = 0,24/12 = 0,02/mes

$H = i \cdot C = 0,02 \times 15000 = \$ 300$ /vehículo

Tasa de producción

Demanda anual

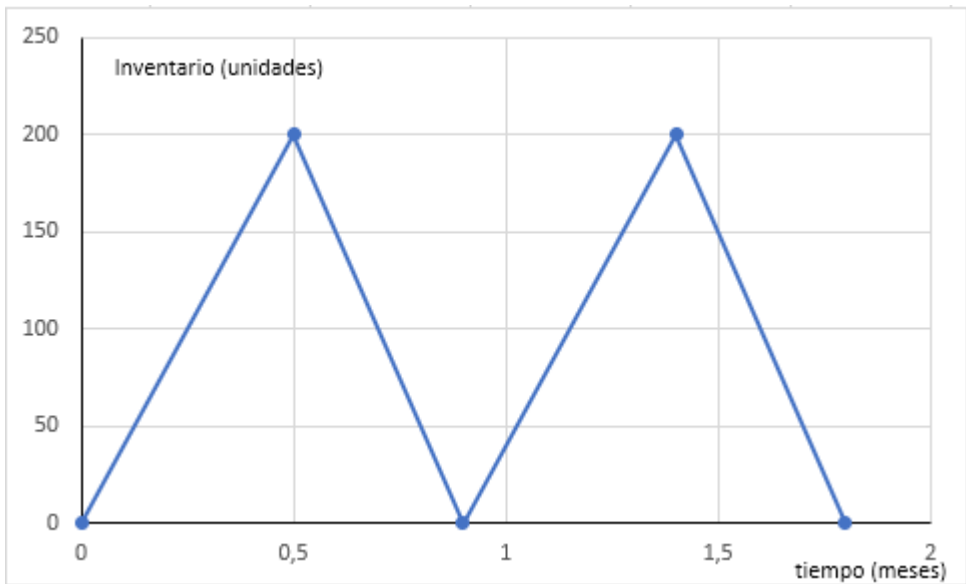
Tiempo de espera

Costo de organización

Costo de un vehículo

Tasa de transferencia

Costo de almacén



Para estudiar el caso, comenzamos suponiendo que partimos de inventario cero en el inicio de una corrida de producción que, arbitrariamente, establecimos en $Q = 450$ unidades. Esos autos se fabrican a razón de $P = 900$ /mes, lo que nos da un tiempo de producción de

$$Q/P=1/2 \text{ mes}$$

Durante ese tiempo los autos se están entregando (salen del almacén) a razón de 500/mes, por lo que el almacén acumula desde el comienzo de la producción hasta el final un total de

$$(P-D) Q/P=(900-500) \times 450/900=400 \text{ u/mes} \times 1/2 \text{ mes}=200 \text{ unidades}$$

Como los autos se entregan a una tasa de 500 al mes, este *stock* se agota en $200/500 = 0,4$ meses, dando un ciclo de inventario completo de 0,9 mes.

Si el tiempo de espera de un nuevo pedido de producción, L , es de $12/52 = 0,231$ mes, el pedido debe realizarse antes de que termine el ciclo de inventario, momento en que el *stock* se hace cero. Se hace en el siguiente momento:

$$0,9 - 0,231 = 0,669 \text{ mes.}$$

Para evaluar el costo de esta propuesta de producir 450 autos, tendremos que calcular estos costos parciales:

costo mensual total = costo de organización + costo de conservación

Costo de organización: es lo que cuesta un pedido por el número de pedidos mensuales:

$$K \frac{D}{Q}$$

Costo de conservación: es el *inventario medio* por el *costo de almacén (iC)* de cada unidad:

$$\frac{1}{2} \left((P - D) \frac{Q}{P} \right) iC$$

Costo mensual total resultante es:

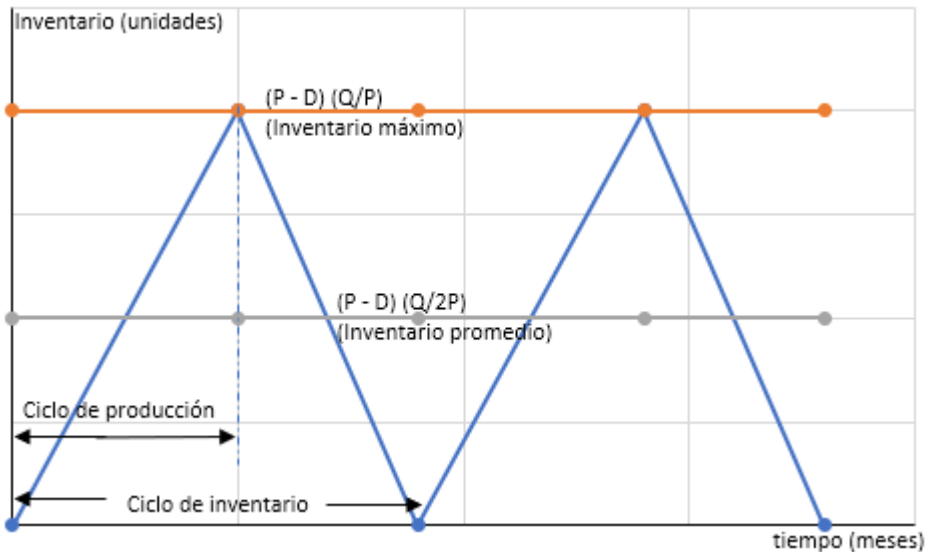
$$\text{Costo mensual total} = K \frac{D}{Q} + \frac{1}{2} \left((P - D) \frac{Q}{P} \right) iC$$

que arroja un valor de 35.555,56

Como pretendemos generalizar este análisis para cualquier cantidad Q producida, a fin de saber la de menor costo, tendremos en cuenta los siguientes parámetros:

- 1) Organización de producción por (unidad de tiempo) D/Q
- 2) Costo de organización por (udt) $K D/Q$
- 3) Duración de la producción Q/P
- 4) Incremento neto de inventario durante la producción $(P - D)$
- 5) Nivel de inventario máximo $(P - D)Q/P$
- 6) Inventario promedio $\frac{1}{2} \left((P - D) \frac{Q}{P} \right)$
- 7) Costo de inventario / (udt) = inventario promedio x H
 $\frac{1}{2} \left((P - D) \frac{Q}{P} \right) iC$
- 8) Costo total = costo de organización / (udt) + costo de conservación / (udt)

$$\text{Costo total} = K \frac{D}{Q} + \frac{1}{2} \left((P - D) \frac{Q}{P} \right) iC$$



Para encontrar el mínimo, es decir la cantidad óptima a producir a fin de lograr el menor costo de almacén, usaremos la expresión siguiente, que es similar a la encontrada en el modelo EOQ, pero que incorpora el nuevo término de acumulación en el cálculo de inventario promedio:

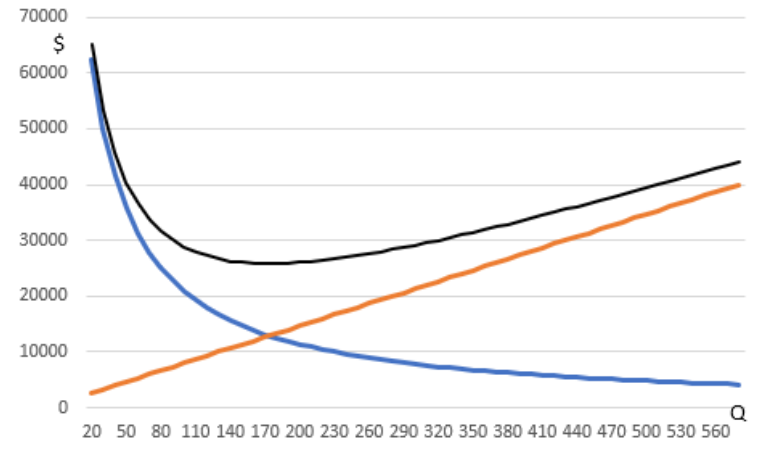
$$Q = \sqrt{\frac{2DK}{H\left(\frac{P-D}{P}\right)}} = \sqrt{\frac{2DK}{iC\left(\frac{P-D}{P}\right)}}$$

Dado que en este ejemplo los valores de cada parámetro son: $P = 900$; $D = 500$; $K = 5000$; $i = 0,02$ y $C = 15000$, obtendremos

$$Q = \sqrt{\frac{2 \times 500 \times 5000}{0,02 \times 15000 \left(\frac{900 - 500}{900}\right)}} = 193,65$$

Podemos ver que la expresión que ahora utilizamos es conceptualmente idéntica a la de EOQ. Si en aquella consideráramos que la tasa de producción es muy alta (pendiente de la recta "ascendente" de inventario infinita), nos daría un ritmo de acumulación instantáneo y el paréntesis del denominador pasa a ser unitario, por lo que quedaría

convertida al modelo EOQ. Por tanto, ambas expresiones son una sola. que, por otra parte, es el valor “M” que se ingresa en WinQSB.

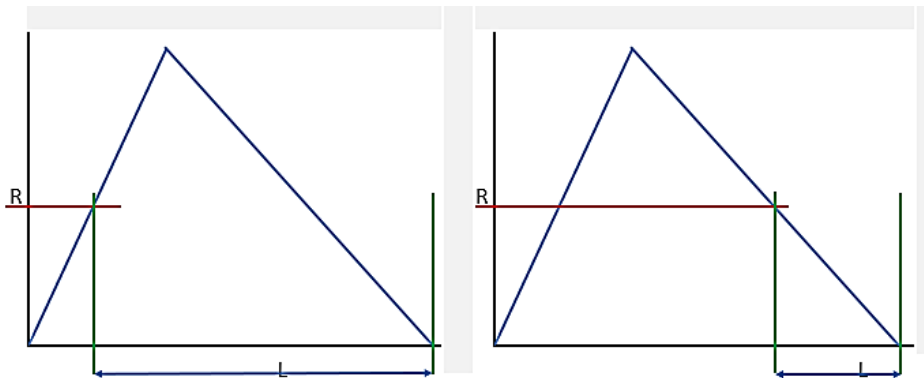


El número promedio de pedidos será $D/Q = 500/193 = 2,6$.

Resta ahora determinar el momento de realizar el pedido de producción, de manera tal que el stock llegue a cero cuando se entregue la primera unidad producida. Como el tiempo de espera es 1 semana, (0,231 mes), debemos calcular la demanda de unidades en ese período de tiempo, pero — a diferencia del EOQ — no es lo mismo determinarlo:

- **después** de haber terminado la corrida de producción anterior, (en la rampa descendente, igual que en el EOQ) la demanda durante el tiempo de espera será satisfecha por el almacén.
- **antes** de haber terminado la corrida anterior, (en la rampa ascendente) la demanda se satisface con la producción y debe acumularse hasta el final de producción la cantidad necesaria en el depósito para cubrir los remanentes.

En todo caso, si R vale, por ejemplo 5 unidades, hay dos momentos en el tiempo en que en el inventario hay cinco unidades: cuando se acumula stock y cuando se está agotando, rampa ascendente y rampa descendente. El valor informado ($R = 5$) no indica cuál de los dos es (recordemos que es un modelo de revisión continua, así que esto es importante). La figura muestra ambas alternativas:



En el caso de la derecha, lo resolvemos como en el modelo EOQ, donde $R = DL$. En el de la izquierda, deberemos seguir estos pasos:

- 1) **Determinamos el tiempo T** luego de cada ciclo de producción para que el nivel de inventario vuelva a cero.

$$T = Q / D = 193 / 500 = 0,386$$

- 2) **Encontramos el tiempo en que termina la producción anterior:**
 $t = Q \text{ (vehículos)} / P \text{ (vehículos/mes)} = 193 / 900 = 0,214 \text{ mes.}$

- 3) Restamos el tiempo de espera, ($L = 0,231$ mes) del ciclo completo ($T = 0,386$), para hallar el momento en que hay que efectuar el nuevo pedido

$$T - L = 0,386 - 0,231 = 0,155 \text{ mes,}$$

este momento ocurre antes de que se termine la producción anterior que tenía un tiempo t (que es 0,214 mes)

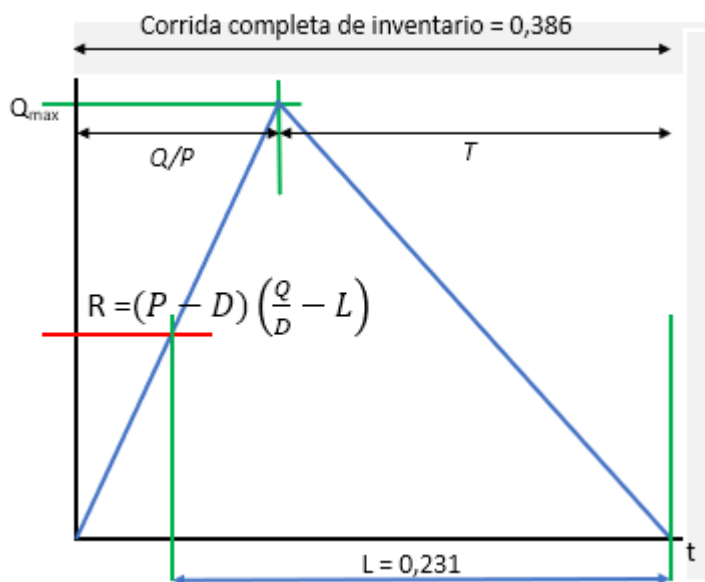
- 4) Calculamos el punto de nuevos pedidos, con lo que encontramos el inventario acumulado durante el tiempo de producción al momento de emitir la orden, o sea lo acumulado en 0,155 mes a una tasa de

$$P - D = 900 - 500 = 400 \text{ unidades/mes,}$$

así que hay que hacer el pedido cuando en el almacén se encuentren

$$400 \text{ unidades/mes} \times 0,155 \text{ mes} = 62 \text{ unidades.}$$

En ese momento hay que solicitar $Q = 193$ unidades, que comenzarán a producirse cuando el stock se agota.



Este problema puede ser resuelto con WinQSB, utilizando también el modelo EOQ pero ahora completando el ítem **tasa de reposición** que deja de tener una pendiente infinita (que caracteriza a un lote) para pasar a tener un valor que corresponde al ritmo de producción (900). La unidad usada en este caso fue **mes**:

DATA ITEM	ENTRY
Demand per mes	500
Order or setup cost per order	5000
Unit holding cost per mes	300
Unit shortage cost per mes	M
Unit shortage cost independent of time	
Replenishment or production rate per mes	900
Lead time for a new order in mes	0.231
Unit acquisition cost without discount	15000
Number of discount breaks (quantities)	
Order quantity if you known	

07-24-2002	Input Data	Value	Economic Order Analysis	Value
1	Demand per meses	500	Order quantity	193,6492
2	Order (setup) cost	\$5000,0000	Maximum inventory	86,0663
3	Unit holding cost per	\$300,0000	Maximum backorder	0
4	Unit shortage cost		Order interval in meses	0,3873
5	per meses	M	Reorder point	62,5193
6	Unit shortage cost			
7	independent of time	0	Total setup or ordering cost	\$12909,9400
8	Replenishment/production		Total holding cost	\$12909,9500
9	rate per meses	900	Total shortage cost	0
10	Lead time in meses	0,231	Subtotal of above	\$25819,8900
11	Unit acquisition cost	\$15000,0000		
12			Total material cost	\$7500000,0000
13				
14			Grand total cost	\$7525820,0000

Modelos con Demanda Probabilística

Modelo de revisión continua

Cuando discutimos, en este mismo capítulo, el modelo EOQ vimos que se trabajaba sobre una demanda conocida determinística. Para presentar un modelo basado en demanda probabilística vamos a usar el mismo problema de la provisión de levadura que vimos antes.

Para eso, vamos a suponer que la demanda de 180 kg anuales de levadura, en realidad, era un muy buen promedio anual, pero que en realidad existen probabilidades de que se den fluctuaciones en esa demanda que nos generan riesgos.

Para resolver este caso planteado en las nuevas condiciones necesitaríamos conocer la distribución de probabilidad de la demanda, lo que es difícil de saber, por eso, en general, se usan distribuciones normales como una razonable aproximación.

El problema de la levadura — como lo vimos antes — se resuelve pidiendo 77 kg cuando quedarán 3,46 kg, teniendo en cuenta que la estrategia se basa en que el inventario se agota justo cuando llega la reposición. Una demanda de 1 kg más, que ocurra en el lapso que media entre el momento en que se hizo el pedido y el momento en que llega (tiempo L), agotaría el stock antes de tiempo.

Puede ocurrir que el tiempo **entre pedidos** varíe si el momento de realizar uno nuevo depende de una demanda probabilística. En ese caso, la demanda puede ser fluctuante mientras transcurre el tiempo de espera, y puede haber déficit. En ese caso nos resulta conveniente tratar de conocer la posibilidad de agotar el stock antes de tiempo.

El método de controlar el faltante comienza cuando establecemos un *nivel de servicio* (α), que podríamos definir como “la mínima probabilidad de satisfacer la demanda que aceptamos”.

$$\alpha = P(\text{satisfacer la demanda en un ciclo de inventario})$$

o, en términos más claros, la probabilidad de que la demanda D durante el tiempo de espera L (o D_L) sea menor o igual a lo que hay en el inventario cuando se realizó el pedido (que es la definición de R):

$$\alpha = P(D_L \leq R)$$

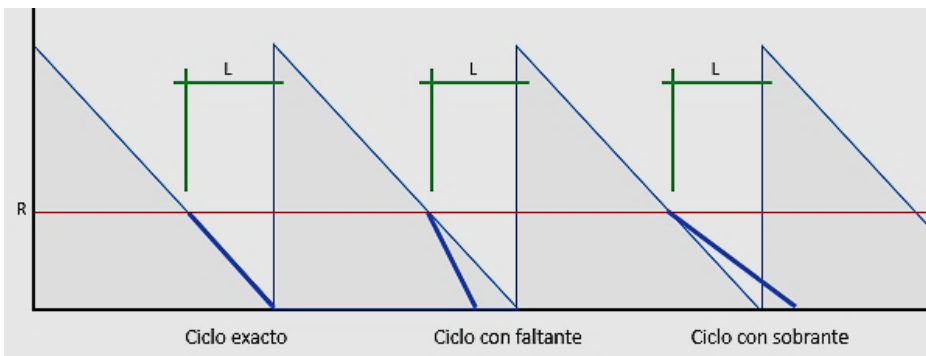
Por ejemplo, si especificamos un nivel de servicio $\alpha = 0,95$ significa que queremos satisfacer la demanda de levadura en, por lo menos, el 95% de los ciclos de inventario, o, que aceptamos que en no más del 5% de los ciclos de inventario habrá faltante.

La **existencia de seguridad, S** , es un inventario adicional que usaremos para cubrir las fluctuaciones de la demanda durante el tiempo de espera. Determinamos S en conjunto con R (punto de reposición para un nuevo pedido), de manera tal que $R + S$ en el inventario durante el tiempo de espera cubra por lo menos el nivel de servicio α

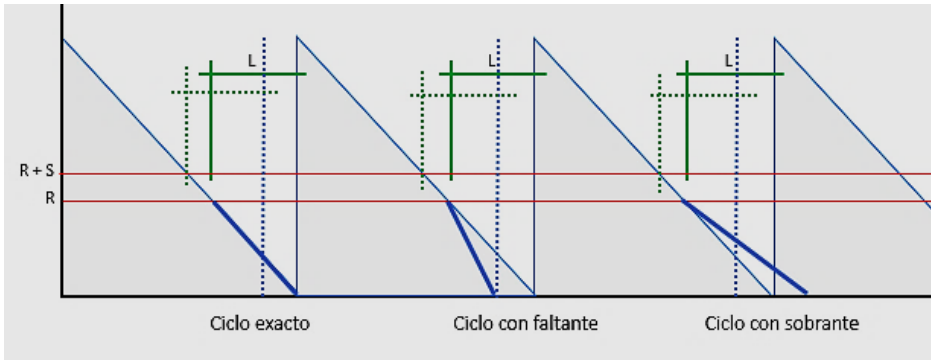
$$P(D_L \leq R + S) \geq \alpha$$

Si bien haciendo esto nos aseguramos un nivel de servicio adecuado a nuestras necesidades (α fue fijado por nosotros), vemos que hemos aumentado el costo de almacén, pues elevamos el nivel de inventario. Por eso, debemos calcular el mínimo S , que equivale a “satisfacer el nivel de servicio adoptado con el mínimo costo posible”.

Para hacerlo, necesitamos, como se dijo, conocer la función de probabilidad de la demanda, o describirla adoptando una distribución como la normal.



En la figura anterior vemos que, con demanda probabilística, a iguales tiempos de espera (L) pueden ocurrir faltantes usando idénticos puntos R . Mientras que en la de abajo, vemos el mismo inventario con la adición de existencias de seguridad (S). En este caso, el instante de hacer el pedido (Punto R) implica una manera “de adelantar” el tiempo L (líneas punteadas)



Podríamos preguntarnos ¿y qué ocurre con los sobrantes que tenemos en el primer y en el último ciclo de la figura?. La respuesta es que, como es un inventario de revisión continua, para hacer el próximo pedido vamos a verificar el punto $R + S$ que es independiente de las condiciones de inicio: no afecta al próximo ciclo lo que ocurrió en el anterior.

Para utilizar la *distribución normal* y así determinar la cantidad S deberemos estimar la media, μ_L , que será la demanda promedio durante el tiempo de espera L

$$\mu_L = R$$

y la desviación estándar, σ_L , de la demanda durante el tiempo de espera L

Volvamos al caso de la levadura. Supongamos ahora que la demanda era, en realidad, una demanda promedio $D' = 180$ kg/año, y que tenía, por ejemplo, una varianza σ^2 de 100 kg/año.

Como vemos que tanto la media como la varianza están dados en valores anuales, vamos a adaptarlos al tiempo de espera L (1/52 año). Para esto podemos suponer que la media y la varianza en esa fracción de tiempo es proporcional a los valores anuales. Por ejemplo:

$$\text{Para el año: } \mu = 180 \text{ kg, } \sigma^2 = 100, \sigma = 10$$

Para $\frac{1}{4}$ de año $\mu = 180/4 = 45$, $\sigma = 10/4 = 2,5$
 Así se puede calcular:

$$\mu_L = R = D' L$$

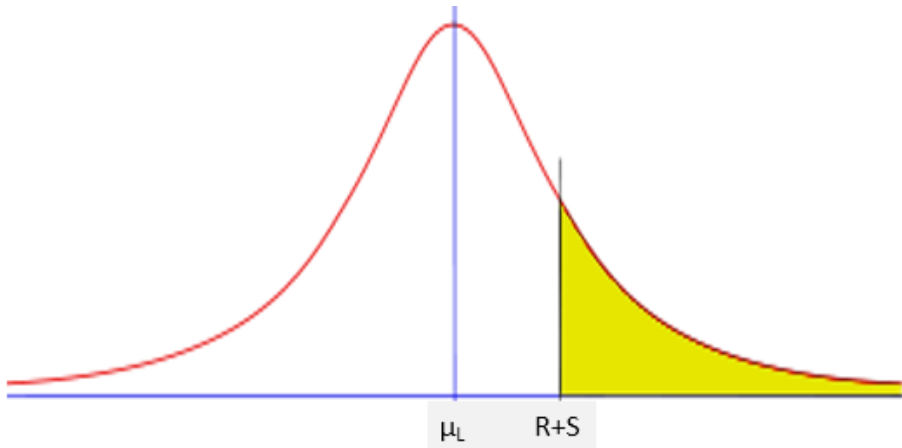
$$\sigma_L^2 = \sigma^2 L$$

$$\sigma_L = \sigma L^{1/2}$$

Para el ejemplo de las levaduras:

$$\mu_L = 180 \times (1/52) = 3,46$$

$$\sigma_L = \sigma L^{1/2} = 10 \times (1/52)^{1/2} = 1,4$$



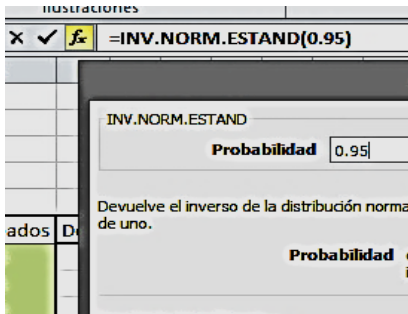
Como se busca que la probabilidad de la demanda durante el tiempo de espera sea menor o igual a $R + S$ se debe encontrar un valor para $R+S$ de manera tal que el área a la izquierda debajo de la curva se haga igual a α

Supongamos que hemos elegido un $\alpha = 0,95$, debemos buscar el valor de Z en tablas de distribución normal, siguiendo estos pasos: a $0,95$ le restamos la mitad del intervalo $(0,5)$ y el resultado $(0,95 - 0,5 = 0,45)$ es el que buscamos qué Z le corresponde (es el área a la izquierda de Z cuyo valor es igual a α). Lo que encontraremos será: $1,64$ para $0,4495$ y $1,65$ para $0,4505$. Interpolando es $1,645$.

También podemos usar planilla de cálculo con la función

$$=INV.NORM.ESTAND(p)$$

[versiones anteriores =DISTR.NOM.ESTAND.INV(p)]:



$$z = \frac{(R + S) - \mu_L}{\sigma_L} = \frac{S}{\sigma_L}$$

$$S = z\sigma_L = 1,645 \times 1,4 = 2,303$$

Esto significa que, para asegurar un nivel de servicio de 0,95, se deben solicitar 77 kg de levadura cada vez que el inventario disminuya hasta $R + S =$

$3,46 + 2,303 = 5,76$ kg de levadura.

Vemos que el nivel de seguridad, en realidad NO se adquiere como tal, sino que se hace el nuevo pedido cuando queda la cantidad R más el nivel de seguridad.

¿Cuál es la diferencia con el modelo determinístico? En aquel se puede calcular el momento (tiempo) en que se debía hacer el pedido, en cambio en este caso para saber cuándo solicitar levadura hay que revisar el inventario continuamente hasta encontrar que cae, en números redondos, por debajo de 6 kg.

Pero, realmente, todo se puede modelizar diciendo que, en realidad, “agregamos” una cantidad extra, S , al inventario, y eso provoca un aumento de costos.

Costo anual total = Costo de pedidos anual + costo de compra anual + costo de conservación anual =

$$\text{Costo anual total} = \left(K \frac{D'}{Q} \right) + (CD) + \left[\left(\frac{Q}{2} + S \right) iC \right] =$$

$$= \left(100 \times \frac{180}{77} \right) + (20 \times 180) + \left[\left(\frac{77}{2} + 3 \right) \times 0,30 \times 20 \right] = 4082,77$$

(Se redondeó S en 3 kg). Vemos que el costo original de 4064,77 se incrementó en 3 kg por la tasa i de 0,30 por el costo por kg de la levadura. También es interesante resaltar otros dos aspectos: la cantidad a solicitar, Q , es la misma, por lo tanto, los ciclos de inventario no varían y el costo asociado con el primer monomio no cambia (costo por comprar). El único que varía es el costo de almacén afectado por el nivel de seguridad S .

Modelo de revisión periódica.

El modelo de revisión periódica es una alternativa a la necesidad de revisar los inventarios continuamente, ya que se basa en una revisión única en un lapso fijo. También los desarrollaremos siguiendo el ejemplo de la levadura, cuyos principales datos, recordamos, son los siguientes:

Demanda con distribución normal con media $D' = 180$ kg/año y $\sigma_L = 10$ kg.

Tiempo de espera $L = 1/52$ año

Tasa de transferencia anual $i = 0,30$

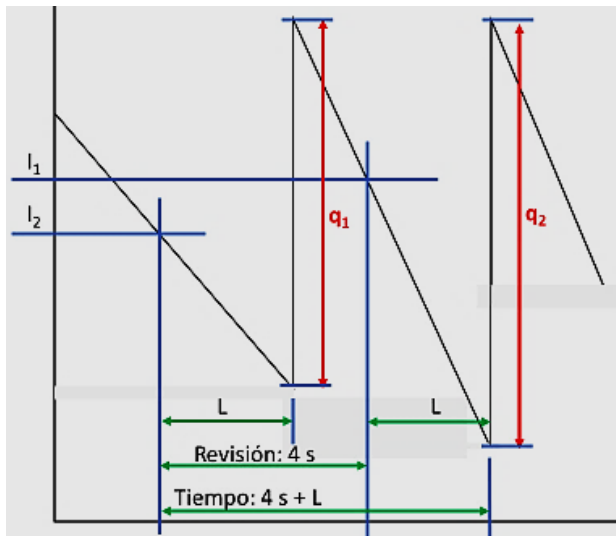
Costo de pedido $K = 100$ \$/pedido

Costo de compra $C = 20$ \$/kg

Costo de conservación anual $H = iC = 0,30 \times 20 = 6$ \$/kg año

Nivel de servicio $\alpha = 0,95$

Se debe hacer inventario cada mes (cuatro semanas)



La Ilustración anterior nos muestra cómo varía el nivel de inventario en el tiempo.

Si suponemos que, al fin de un período de 4 semanas, al hacer la revisión, nos encontramos que hay una existencia de I_1 kg de levadura. Sabiendo esto, pedimos, en consecuencia, q_1 kg de levadura. Esa cantidad se incorporará al inventario luego de transcurrido el tiempo de espera L de una semana, mientras tanto seguimos usando la levadura que había (I_1) cuando hicimos la revisión. Transcurrida la semana del tiempo de espera, el nivel de inventario se eleva, desde lo que queda después de consumir durante una semana la cantidad I_1 más el pedido q_1 .

A partir de ese momento el inventario decrece según una demanda probabilística hasta que se llega al nuevo punto de revisión T de 4 semanas. (3 semanas después que llegó el pedido anterior). Nuevamente el nivel de almacén se incrementa en q_2 kg.

Generalizando, si la existencia al momento de revisar es I y se solicita q , la cantidad $I + q$ debe durar hasta que llegue el siguiente pedido que lo hace después de un tiempo $T + L$. Por ejemplo: si hay un inventario de $I = 4$ kg, la demanda esperada durante las siguientes

$$T + L = 4 + 1 = 5 \text{ semanas, será}$$

$$180 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \times \frac{5 \text{ sem}}{52 \frac{\text{sem}}{\text{año}}} = 17,31 \text{ kg}$$

Esta demanda se satisface con $q = 17,31 - I = 17,31 - 4 = 13,31$ kg adicionales.

Como la demanda es probabilística, hay un 50% de probabilidad que esa cantidad no alcance para satisfacer la demanda real, así que deberemos solicitar más de 13,31 kg para aumentar la probabilidad de que alcance.

Para saber cuánto más, recordamos que hemos establecido un $\alpha = 0,95$, que significa que deseamos que el 95% de las veces podamos satisfacer la demanda² sin faltantes, en el tiempo $T + L = 5$ semanas, cuya distribución será normal con media

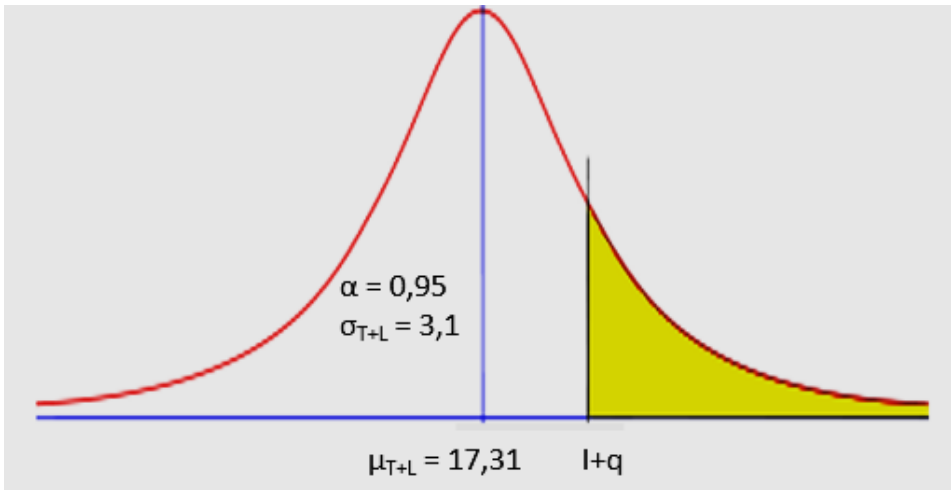
$$\mu_{T+L} = D' (T + L) = 180 \times 5/52 = 17,31$$

y desviación estándar

$$\sigma_{T+L} = ((T + L)\sigma^2)^{1/2} = ((5/52) \times 100)^{1/2} = 3,1$$

La cantidad q debe elegirse de tal manera que el área bajo la curva normal con una media de 17,31 y una desviación estándar de 3,1 a la izquierda de $I + q$ sea igual a un nivel de $\alpha = 0,95$.

² Recordemos que la demanda anualmente se distribuye con una media $D' = 180$ y una desviación estándar de 10,



Para poder hallar q hay que utilizar el valor Z correspondiente a 0,95, que es 1,645. Así, estamos en condiciones de calcular q de la siguiente manera:

$$z = \frac{(I + q) - \mu_{T+L}}{\sigma_{T+L}}$$

$$q = \mu_{T+L} + (z\sigma_{T+L}) - I =$$

$$q = 17,31 + (1,645 \times 3,1) - 4 = 18,409$$

Pero también podemos calcular q utilizando en una hoja de cálculo la función DISTRIBUCIÓN NORMAL INVERSA y restando los 4 kg que encontramos cuando revisamos el almacén:

$$= \text{DISTR.NORM.INV}(P;\mu;\sigma) - 4$$

$$= \text{INV.NORM}(P;\mu;\sigma) - 4$$

M23		f_x		=INV.NORM(0,95;17,31;3,1)					
▲	A	B	C	D	E	F	G	H	I

concluimos que debe realizarse un pedido de 18 o 19 kg para tener un 95% de probabilidades de satisfacer la demanda en las próximas cinco semanas antes que llegue el siguiente pedido. Este pedido, junto a la existencia proporciona un nivel de stock de $z\sigma_{T+L} = 1,645 \times 3,1 = 5$ kg por arriba de la demanda media esperada de 17,31 kg.

Si decidimos hacer una revisión cada 8 semanas, veremos que aumenta σ_{T+L} y, por tanto, la existencia de seguridad: cuanto menos frecuentes sean las inspecciones, más caro será el inventario pues debemos aumentar la existencia de seguridad.

Por otro lado, debemos tener en cuenta que la cantidad necesaria para satisfacer la demanda durante el período $T + L$ con el α especificado es $q + I$. Esta cantidad, $q + I$, debe ser siempre la misma:

$$I + q = \mu_{T+L} + (z\sigma_{T+L}) = 17,31 + (1,645 \times 3,1) = 22,41$$

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2		alfa		0,95			
3		X(T+L)		17,31			
4		Z		1,645			
5		Sigma(T+L)		3,1			
6							
7				I	q		
8				0	22,41		
9				1	21,41		
10				2	20,41		
11				3	19,41		
12				4	18,41		
13				5	17,41		
14				6	16,41		
15				7	15,41		
16				8	14,41		
17				9	13,41		
18				10	12,41		
19				11	11,41		
20				12	10,41		
21				13	9,41		
22				14	8,41		
23				15	7,41		
24				16	6,41		
25				17	5,41		
26				18	4,41		
27				19	3,41		
28							

=	=DISTR.NORM.INV(0,95;17,31;3,1)			
B	C	D	E	
22,4090443				

Quando revisamos el inventario y vemos que quedan I kg de levadura, debemos solicitar $q = (22,41 - I)$ kg de levadura,

será fácil mantener una hoja de cálculo con una celda destinada a ingresar el nivel del inventario encontrado en la revisión y que opere por diferencia con la constante (en este caso 22,41) así sabremos la cantidad a reponer. En la figura vemos un diseño posible con la función que, por arrastre, nos permite calcular los pedidos según el inventario encontrado.

Costos

En el ejemplo, la frecuencia de pedidos será de 4 semanas ($T = 4 \text{ semanas} \equiv 4/52 \text{ año}$), por lo tanto, el costo anual es:

Costo anual de pedido = costo del pedido X número de pedidos (promedio) = $K/T = 100 \times 52/4 = \$ 1300$

Costo anual de compra = demanda (promedio) X costo unitario = $D'C = 180 \times 20 = 3600$

Costo anual de conservación = inventario (promedio) X costo unitario de conservación =
 $= (\frac{1}{2} (\text{demanda esperada del período } T) + \text{existencia de seguridad}) H =$
 $= [\frac{1}{2} (D' T) + S] iC = [\frac{1}{2} (D' T) + Z\sigma_{(T+L)}]iC = [(180 \times 2 / 52) + 5,1] * 0,3 * 20 =$
 $= 72,14$

$COSTO \text{ TOTAL ANUAL} = K/T + D'C + [\frac{1}{2} (D' T) + Z\sigma_{(T+L)}]iC$

$COSTO \text{ TOTAL ANUAL} = 1300 + 3600 + 72,14 = 4972,14$

Al comparar este costo con el obtenido en el caso anterior ($\$ 4082,77$) podremos evaluar la posibilidad de realizar o no revisión continua. También vemos que el único miembro que varía es el que corresponde al costo de almacén, tercer monomio.

Modelo de revisión periódica: Ejemplo de Tabla de pedidos en hoja de cálculo

Analicemos el siguiente caso:

Demanda promedio:	$D' = 180 \text{ kg/año}$
Desviación estándar:	$\sigma = 10$
Costo unitario:	$C = 20 \$$
Tasa de Transferencia:	$i = 0,3$
Costo de almacén:	$H = 6 \$$
Costo de pedido:	$K = 100 \$$
Tiempo de revisión:	$T = 4 \text{ semanas}$
Tiempo de entrega,	$L = 1 \text{ semana}$
Nivel de servicio:	$\alpha = 0,95$

$$\mu_{T+L} = D (T + L) = 180 \times 5/52 = 17.31$$

$$\sigma_{T+L} = ((T+L) \sigma^2)^{1/2} = ((5/52) \times 100)^{1/2} = 3,1$$

sabiendo que:

$$q = \mu_{T+L} + (Z\sigma_{T+L}) - I$$

podremos construir, en una hoja de cálculo, una tabla como la siguiente.

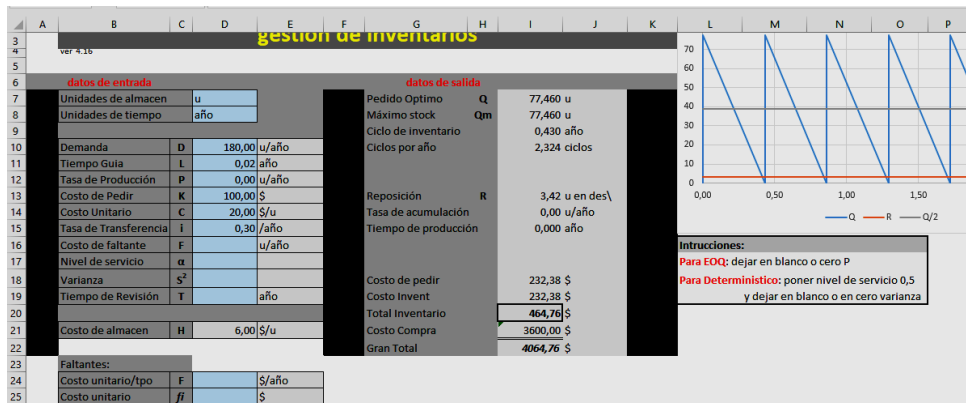
Inventario por revisión periódica - ejemplo			
T (semanas)	4	8	10
D media	17,31	31,15	38,08
sigma T+L=	3,10	4,16	4,60
CTA	25,53	38,81	44,90
Cantidad Inventariada	Pedido de Reposición	Pedido de reposición	Pedido de reposición
0	22,41	38,00	45,64
2	20,41	36,00	43,64
4	18,41	34,00	41,64
6	16,41	32,00	39,64
8	14,41	30,00	37,64
10	12,41	28,00	35,64
12	10,41	26,00	33,64
14	8,41	24,00	31,64
16	6,41	22,00	29,64
18	4,41	20,00	27,64
20	2,41	18,00	25,64
22	0,41	16,00	23,64
24		14,00	21,64
26		12,00	19,64
28		10,00	17,64
30		8,00	15,64
32		6,00	13,64
34		4,00	11,64
36		2,00	9,64
38		0,00	7,64
40			5,64

Revisión periódica con tiempo de espera (L) más largo que el tiempo del período de revisión (T)

Deberemos tener en cuenta que la cantidad *I* en inventario debe incluir no solo lo que está en el almacén al momento de la revisión, sino también lo que está en camino. Por lo demás se calcula igual.

Software en inventarios

Si bien en WinQSB disponemos de un módulo destinado a este tipo de modelos, es recomendable trabajar en hoja de cálculo, que resulta más apropiada y confiable. Reservaremos WinQSB para casos específicos como el “**problema del canillita**” que veremos más adelante, al fin de este capítulo. La siguiente figura muestra un ejemplo de modelo integral construido en hoja de cálculo y sin usar macros.



Resumen

Revisión Continua		
1	Calcular la cantidad óptima a pedir	$Q = \sqrt{\frac{2D'K}{iC}}$
2	Calcular el punto de nuevos pedidos	$R = D'L$
3	Determinar la media como demanda promedio durante el tiempo de espera L	$\mu_L = R = D'L$
4	Determinar la desviación estándar durante el tiempo de espera L teniendo como dato la desviación estándar de la demanda por período	σ_L
5	Con el nivel de servicio α calcular existencias de seguridad buscar Z de forma tal que el área bajo la curva normal est. iguale al nivel de servicio calcular el stock de seguridad	α $S = Z\sigma_L$
6	Calcular el punto de nuevos pedidos	$R + S$
7	Calcular el costo promedio por período	$= \left(K \frac{D'}{Q} \right) + CD' + \left[\left(\frac{1}{2} Q + S \right) iC \right]$
Revisión periódica		
	Obtener la desviación estándar de la demanda por período	σ
	El tiempo de revisión	T
	El tiempo de espera	L
	El nivel de servicio deseado	α
	Los componentes de los costos: de pedido, por pedido de compra, por unidad tasa de transferencia, por período	K C i
	Calcular la cantidad para satisfacer la demanda durante el tiempo $T + L$	$l + q$
1	Calcular media y desviación estándar	$\mu_{T+L} = D'(T + L)$ $\sigma_{T+L} = \sqrt{(T + L)}\sigma$
2	Calcular Z asociada con el nivel de servicio α en una tabla de distribución normal	Z
3	Calcular la cantidad "correcta" de pedidos	$l + q = \mu_{T+L} + (Z\sigma_{T+L})$

4	Implementar la estrategia de revisión periódica	
5	Revisar el inventario cada T tiempo y ver el nivel de I unidades que contiene	i
6	Solicitar q unidades de manera tal que $q + I$ sea la cantidad "correcta" de pedidos:	$\mu_{T+L} + (z\sigma_{T+L}) - I$
7	Calcular el costo asociado	
	$= \left(\frac{K}{T}\right) + \left[\left(\frac{1}{2}D'T\right) + S\right]iC + D'C = \left(\frac{K}{T}\right) + \left[\left(\frac{1}{2}D'T\right) + z\sigma_{T+L}\right]iC + D'C$	

Inventarios "Justo a Tiempo" (JIT)

El objetivo de esta modalidad de inventario (que se asocia a métodos de producción) es eliminar o reducir los inventarios que abastecen líneas productivas: los artículos se obtienen en el momento en que van a ser utilizados. Se eliminan existencias de seguridad y revisiones innecesarias. La ventaja es la economía de recursos y la desventaja es que no hay respaldo ante posibles errores o imprevistos. Se basa, en última instancia en crear una conciencia general que busque la eliminación de esos errores o aquellos imprevistos.

Son condiciones:

- Proceso de producción repetitivo con demanda relativamente estable
- Los proveedores deben ser muy confiables. Capaces de entregar con muy poco tiempo de espera (o con ningún tiempo de espera)
- La planta debe ser capaz de recibir pedidos pequeños en frecuencias altas
- Eficiente diseño del *lay out* de la planta capaz de mantener un flujo armónico de producción mientras que se recibe en cualquier sector de demanda el artículo necesario
- Calidad total. No hay respaldo de inventario para reemplazar artículos defectuosos.

El modelo JIT funciona arrastrando el proceso de producción: la demanda del producto final se usa para accionar la demanda de sus partes componentes en el paso precedente, que -a su vez- activan la demanda de sus propios componentes. Lo contrario es un modelo de empuje que funciona con inventarios que activan la producción y el paso siguiente en ella.

Problema de demanda probabilística en un período simple. (Problema del canillita)

Usamos este modelo cuando no tenemos certeza de la demanda y , además, ésta se da en un único período. Si no hay existencias para satisfacerla, tendremos pérdidas de ventas. Estas pérdidas se cuantifican por la ganancia neta que se dejó de tener (precio de compra menos precio de venta) a la que se le suman los cargos o multas por faltantes:

$$C(falt) = P - C + B$$

Si, por contrario, hay exceso de almacén respecto a la demanda (sobrantes) existe un costo por depreciación del producto representado por la diferencia entre costos y retorno efectivamente obtenido por reventa a un precio remanente o de saldo. Si el producto no se pudo vender el costo de almacén será el costo del producto.

$$C(exc) = C - S$$

En este modelo la demanda es una función aleatoria $D = f(x)$ en la cual la variable x tiene una función de densidad de probabilidad que debe especificarse. Los demás parámetros son:

C	Costo unitario
P	Precio de venta
S	Precio de saldo por obsolescencia
B	Costo por faltante
$C(e)$	Costo unitario por exceso de almacén, $C(e) = C - S$
$C(f)$	costo unitario por falta de almacén, $C(f) = P - C + B$
α	Nivel de Servicio (Probabilidad de que no va a haber faltante).
P_s	Probabilidad de falta, $\alpha = 1 - P_s$

Veamos como ejemplo el caso de la organización de un Congreso de Aditivos y Colorantes donde se pretende vender una estatuilla alegórica a \$ 50 con un costo de 20. La idea es entregar una a cada participante del Congreso, cuya asistencia está estimada en 2000 congresales con una desviación estándar de 300. Si no alcanzaran las estatuillas se debe abonar una multa de \$ 20 a los organizadores. La orden de compra

se tramita con un desembolso de \$ 200 y las estatuillas sobrantes se pueden vender a \$ 10 a refundidores. ¿Cuántas estatuillas debemos solicitar?

Utilizaremos WinQSB en la opción “*Single period Stochastic Demand (Newsboy Problem)*” (**Problema del Canillita: Demanda estocástica – período simple**). Esto se encuentra en el módulo correspondiente a Inventarios.

Deterministic Demand Economic Order Quantity (EOQ) Problem
 Deterministic Demand Quantity Discount Analysis Problem
 Single-period Stochastic Demand (Newsboy) Problem
 Multiple-Period Dynamic Demand Lot-Sizing Problem
 Continuous Review Fixed-Order-Quantity (s, Q) System
 Continuous Review Order-Up-To (s, S) System
 Periodic Review Fixed-Order-Interval (R, S) System
 Periodic Review Optional Replenishment (R, s, S) System

Cargamos los datos del caso:

DATA ITEM	ENTRY
Demand distribution (in semana)	Normal
Mean (u)	2000
Standard deviation (s>0)	300
(Not used)	
Order or setup cost	200
Unit acquisition cost	20
Unit selling price	50
Unit shortage (opportunity) cost	20
Unit salvage value	10
Initial inventory	0
Order quantity if you know	
Desired service level (%) if you know	

y obtendremos el siguiente reporte:

06-13-2003	Input Data or Result	Value
1	Demand distribution (in semana)	Normal
2	Demand mean	2000
3	Demand standard deviation	300
4	Order or setup cost	\$200,0000
5	Unit cost	\$20,0000
6	Unit selling price	\$50,0000
7	Unit shortage (opportunity) cost	\$20,0000
8	Unit salvage value	\$10,0000
9	Initial inventory	0
10		
11	Optimal order quantity	2290,237
12	Optimal inventory level	2290,237
13	Optimal service level	83,3347%
14	Optimal expected profit	\$55302,5900

Podemos ver que se calcula el nivel óptimo de inventario (2290) y se establece un nivel de servicio, α , que corresponde al nivel de inventario resultante y no al revés como hacíamos hasta ahora. Pero, no obstante, podríamos haber fijado, antes, en la carga de datos, un nivel de servicios, por ejemplo 60% y otro con 95%. Los resultados serían, para el primero,

06-13-2003	Input Data or Result	Value
1	Demand distribution (in semana)	Normal
2	Demand mean	2000
3	Demand standard deviation	300
4	Order or setup cost	\$200,0000
5	Unit cost	\$20,0000
6	Unit selling price	\$50,0000
7	Unit shortage (opportunity) cost	\$20,0000
8	Unit salvage value	\$10,0000
9	Initial inventory	0
10		
11	Optimal order quantity	2290,237
12	Optimal inventory level	2290,237
13	Optimal service level	83,3347%
14	Optimal expected profit	\$55302,5900
15		
16	If desired service level =	60%
17	Order quantity	2076,021
18	Maximum inventory level	2076,021
19	Expected profit	\$53913,1000

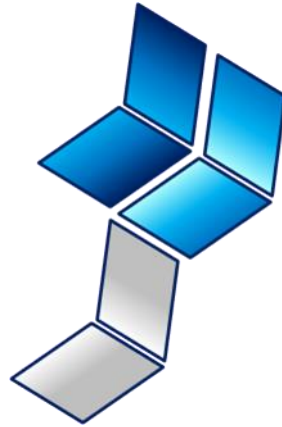
como se ve en la figura, el informe agrega nuevos renglones que corresponden al nivel forzado (60%), lo que nos permite comparar resultados con el cálculo del nivel óptimo

que da el programa. Si nuestra prueba hubiese sido con el nivel 95% hubiésemos obtenido:

15		
16	If desired service level =	95%
17	Order quantity	2493,5
18	Maximum inventory level	2493,5
19	Expected profit	\$54491,4100

En ambos casos se verifica que el óptimo, efectivamente, corresponde al que informa originalmente el algoritmo.





Capítulo 14.

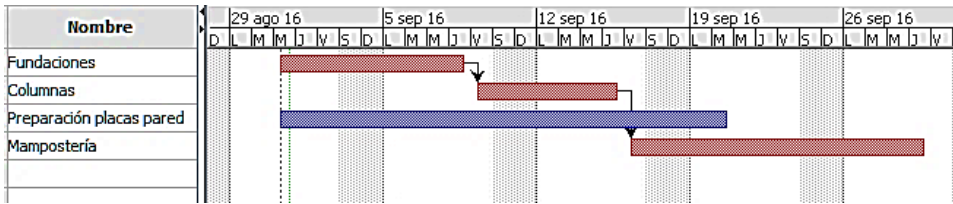
Administración de proyectos

Cuando trabajamos en un proyecto de ingeniería necesitamos disponer de información que permita la correcta planificación y una gestión ágil y efectiva para poder administrar, además, los recursos involucrados. Es importante conocer en todo momento el tiempo de ejecución total del proyecto, el grado de avance, cuáles son las tareas que hay que realizar para concretarlo, quienes son los responsables de dichas tareas, cuanto tiempo requieren y qué recursos serán necesarios para realizarlas, sus márgenes de tiempo y costos, cuáles de esas tareas, al retrasarse, demorarían todo el proyecto, y los costos adicionales que podrían provocar esas demoras, o los adelantos en cada una de ellas.

Las técnicas existentes para administrar proyectos complejos fueron desarrolladas en la década de 1950 por la empresa química Dupont (*Método de camino crítico — CPM*) y por la marina de guerra de EE. UU. en el desarrollo del proyecto *Polaris* (*Técnica de*

evaluación y revisión de proyectos — PERT)³. Ambos métodos son similares con la diferencia de que *CPM* utiliza tiempos determinísticos para la planificación de las tareas y del proyecto en general, mientras que *PERT* utiliza tiempos probables.

Se pueden utilizar diagramas específicos, como los Diagramas de Gantt, que permiten ver un proyecto o parte de él como un conjunto de tareas graficadas en una escala de tiempo y las relaciones temporales entre eventos o tareas diferentes.



³ La planificación y programación de proyectos complejos, sobre todo grandes proyectos unitarios no repetitivos, comenzó a ser motivo de investigación al final de la Segunda Guerra Mundial, cuando se difundió el Gráfico (o diagrama) de Gantt, que era la única herramienta disponible hasta finales de la década de 1950. En esa época, la *Oficina de Proyectos Especiales* de la Marina de los Estados Unidos, en colaboración con las empresas *Lockheed* (fabricantes de proyectiles balísticos y aviones) y *Booz, Allen & Hamilton* (ingenieros consultores), se propusieron un nuevo método para solucionar el problema de planificación, programación y control del proyecto de construcción de submarinos atómicos armados con misiles Polaris, a fin de coordinar y controlar, durante un plazo de cinco años a 250 empresas, 9000 subcontratistas y numerosas agencias del gobierno de ese país.

En julio de 1958 se publica el primer informe del programa, denominado *Programme Evaluation and Review Technique (PERT - Evaluación de Programas y Revisión Técnica)*, decidiéndose su aplicación en octubre del mismo año y logrando como resultado un adelanto en la tarea de dos años sobre los cinco previstos.

En 1960 se construyeron en Estados Unidos los primeros submarinos que transportaban y lanzaban misiles balísticos de combustible sólido (*SLBM*, del inglés *solid-propellant submarine-launched ballistic missiles*). Estos misiles de cabeza nuclear (misiles *Polaris*) podían alcanzar objetivos situados a 4.000 km del submarino que los disparaba. A mediados de la década de 1960, la Marina estadounidense desarrolló un misil antisubmarino de gran alcance guiado por inercia. Este misil podía ser disparado por los tubos para torpedos desde cualquier submarino. A finales de la década de 1960, los misiles *Polaris* fueron sustituidos en parte por un nuevo tipo de *SLBM* de más largo alcance: el misil *Poseidón*, que podía transportar hasta diez cabezas nucleares.

La figura anterior nos muestra un Diagrama de Gantt obtenido en “tiempo real” (es decir, a medida que se cargan los datos del proyecto) con uno de los programas comerciales actuales

CPM

El método del camino crítico es, realmente, un método base con el cual se pueden aplicar otras técnicas administrativas, como veremos a lo largo de este capítulo. Con él es posible obtener en forma muy segura datos de tiempo de realización de un proyecto como costos y tareas críticas, entre otros.

Para desarrollar el método CPM y la base conceptual de administración de proyectos, vamos a suponer que hemos decidido lanzar al mercado un nuevo producto y necesitamos calcular la fecha en que podríamos hacerlo.

Para calcular el tiempo que nos llevará el proyecto y, por lo tanto, su fecha de finalización, a la que llamaremos “*fecha de finalización del proyecto*”, podemos seguir los siguientes pasos:

1. Identificación de las tareas individuales que componen el proyecto
2. Obtención del tiempo determinístico estimado de realización de cada tarea y, si corresponde, su costo.
3. Determinación o asignación de responsables de cada tarea. Este paso puede ser posterior.
4. Identificación de las relaciones entre tareas: cuales deben terminarse para que puedan comenzar otras
5. Dibujo de una red del proyecto.
6. Cálculo de la fecha de finalización e individualización de aquellas tareas que son críticas.

Identificación de las tareas individuales

Cada tarea puede ser diferente en cuanto a tiempos requeridos como a complejidad o cantidad de subtareas que conlleva su realización. Por ejemplo, el diseño de una línea de producción puede tener incorporado el desarrollo de un sistema de control por computadora, tarea que es en sí misma un proyecto y que puede subdividirse en las necesarias para completar ese proyecto. Obviamente no hay límites ni reglas para decidir el grado de generalización de una tarea, pero se pueden seguir algunas pautas, como, por ejemplo:

- Cada tarea debe tener un comienzo y un final definido. Probar una línea tiene inicio claro y final claro. Vender el producto terminado tiene inicio cierto, pero no tiene un final definido.
- Cada tarea debe estar terminada cuando se termina el proyecto y debe representar un hito en el proyecto.
- El tamaño de la tarea debe ser acorde con el nivel de control de quien evalúa y administra el proyecto: la preocupación del administrador puede ser la instalación de una prensa y su puesta en marcha, pero no la colocación de los tornillos de basamento. Por lo contrario, el contratista que coloca la prensa deberá preocuparse por cada aspecto del conjunto.
- Debe haber responsables de cada tarea.

Así, en el caso del ejemplo que vamos a desarrollar, podemos identificar las siguientes tareas, las que podemos codificar, en este caso, con las letras A; B, ... hasta H:

TAREA	Descripción
A	Preparación de los planos y documentación técnica
B	Diseño de los materiales de propaganda del nuevo producto
C	Producción de la publicidad
D	Revisión de los planos y documentación
E	Obra base
F	Instalación del equipo y prueba
G	Permisos y registros legales
H	Capacitación de operarios y vendedores

El orden de las tareas en esta tabla no es necesariamente cronológico. El requisito para construir una tabla de este tipo es que estén previstas todas las tareas, que no falte ninguna.

Tiempos asignados para cada tarea

La estimación de tiempo para cada tarea se realiza confiando en la experiencia en actividades y proyectos similares, consultando con quienes las hacen o las han hecho o recurriendo a archivos y datos anteriores. Suponemos, por ahora, que los tiempos se conocen con bastante seguridad, entonces éstos se agregan a la lista de tareas anterior en una nueva columna. Es común que, cuando se presupuesta un tiempo para una tarea, éste esté asociado a un determinado costo. Este tema se desarrolla más adelante.

TAREA	Descripción	TIEMPO (sem)
A	Preparación de los planos y documentación técnica	30
B	Diseño de los materiales de propaganda del nuevo producto	6
C	Producción de la publicidad	4
D	Revisión de los planos y documentación	5
E	Obra base	10
F	Instalación DEL Equipo y prueba	8
G	Permisos y registros legales	14
H	Capacitación de operarios y vendedores	2

Creación de la tabla de precedencia

El tiempo de conclusión del proyecto difícilmente sea igual a la suma de los tiempos de conclusión individuales de cada actividad. Para calcular el tiempo total habrá que conocer las relaciones entre cada actividad. Por ejemplo, para comenzar la tarea **F – Instalación del equipo y prueba**, deben haber concluido otras tareas, de manera tal que el responsable debe saber que, para comenzar esa tarea, se debe verificar que:

1. se preparó la documentación técnica (A)
2. Se revisaron los planos y la documentación (D)
3. Se realizó la obra base (E)
4. Se obtuvieron los permisos legales (G)

Si observamos con atención descubriremos que, a su vez, la tarea D (revisión de documentación) no puede comenzar hasta que los planos y la documentación (A) no hayan sido entregados. La tarea E, realización de la obra base, no puede comenzar hasta que los planos fueron entregados (A) y corregidos (D). Por último, la tramitación de permisos, G, no podrá realizarse hasta que los planos hayan sido recibidos (A).

Así, sabremos que la tarea F podrá comenzarse cuando se concluyan las tareas G (permisos legales) y E (obra base). Estas dos tareas G y E, son entonces las tareas predecesoras de la tarea final F.

Construiremos, entonces, una lista de tareas predecesoras, identificando, para cada tarea, cuáles son las predecesoras, o sea, aquellas que deben estar concluidas antes de comenzar la tarea que analizamos. Para hacer esto debemos conocer el proyecto en su conjunto y las relaciones entre las tareas que lo componen.

Así es como construiremos una **tabla de precedencias** agregando a la tabla anterior una nueva columna de predecesoras inmediatas:

TAREA	Descripción	TIEMPO (sem)	Predec. Inmed.
A	Preparación de los planos y documentación técnica	30	ninguna
B	Diseño de los materiales de propaganda del nuevo producto	6	A
C	Producción de la publicidad	4	B,G
D	Revisión de los planos y documentación	5	A
E	Obra base	10	D
F	Instalación DEL Equipo y prueba	8	E,G
G	Permisos y registros legales	14	A
H	Capacitación de operarios y vendedores	2	C,F

Diagrama de red

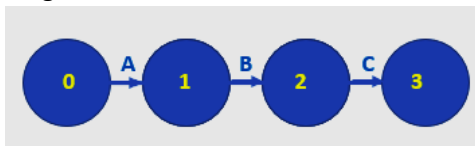
Una red consiste en una colección finita de nodos y arcos, siendo un arco la flecha que conecta cada uno de los nodos. Hay dos formas de construirla:

- Los arcos representan una actividad. Los nodos representan el inicio y el fin de la actividad.
- Los arcos conectan las actividades. Los nodos representan una actividad.

Es indiferente el tipo de diagrama que se realice. Sin embargo, hay que tener presente cual se usa durante el procedimiento de solución. Para comprender mejor en que consiste un diagrama y las diferencias entre ambos tipos, antes de seguir con el proyecto ejemplo, vamos a ver algunos ejemplos simples:

TAREA	PREDECESORA INMEDIATA
A	Ninguna
B	A
C	B

Diagrama con las tareas en arcos:



En este caso, los nodos indican que se inicia o se finaliza una actividad. La actividad A inicia en el momento 0 y termina en el 1 y está representada con un arco.

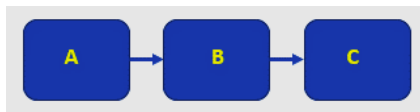


Diagrama con las tareas en nodos: Si se representara con nodos, el mismo diagrama anterior se convertiría en el de la figura.

En cualquiera de estos casos queda claro que la actividad B solo puede comenzar cuando finaliza la actividad A y que la actividad C solo puede comenzar cuando finaliza la B.

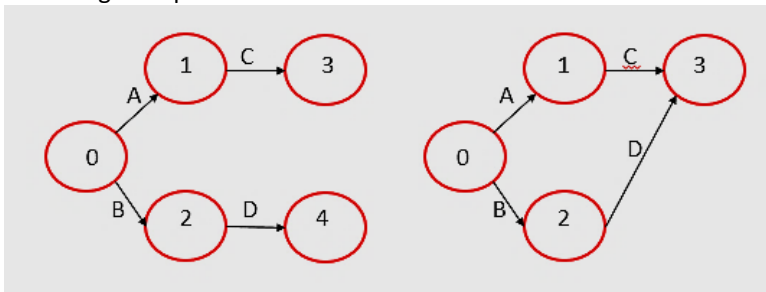
Puede ocurrir que para poder realizar el diagrama sea necesario crear actividades figuradas cuyo objetivo solamente sea conectar tareas, Para ver en qué casos y con qué criterio se pueden generar estas actividades vamos a dejar momentáneamente el problema que seguíamos y desarrollamos como ejemplo el siguiente caso:

TAREA	Predecesora Inmediata
A	Ninguna
B	Ninguna
C	A
D	B
E	C, D

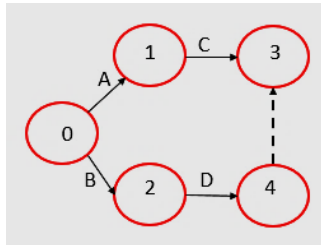
Las tareas A y B pueden comenzar directamente. Cuando finaliza A, según la tabla de arriba, debe comenzar C (renglón C, predecesora A) y cuando finaliza B debe comenzar D.

Veamos lo que se debe hacer cuando finaliza la tarea C: según la tabla, el requisito para seguir es que haya finalizado también la tarea D y así comenzar la tarea E, aunque no hay, en la tabla, vínculos entre C y D.

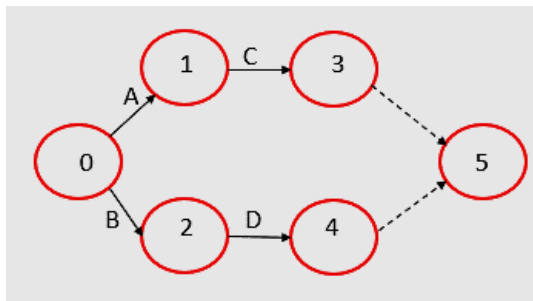
Si adoptamos la modalidad arco-tarea, podemos hacer coincidir en un solo nodo el tiempo de finalización de C y de D, como en la siguiente figura, donde el diagrama de la izquierda es la “transcripción” literal de la tabla, y el de la derecha que, **respetando la tabla**, “crea” un vínculo entre C y D. En los dos aún no se incluyó la tarea E. En el de la izquierda no queda claro donde se pondría, pero el de la derecha vemos que hemos preparado el diagrama para incluirla:



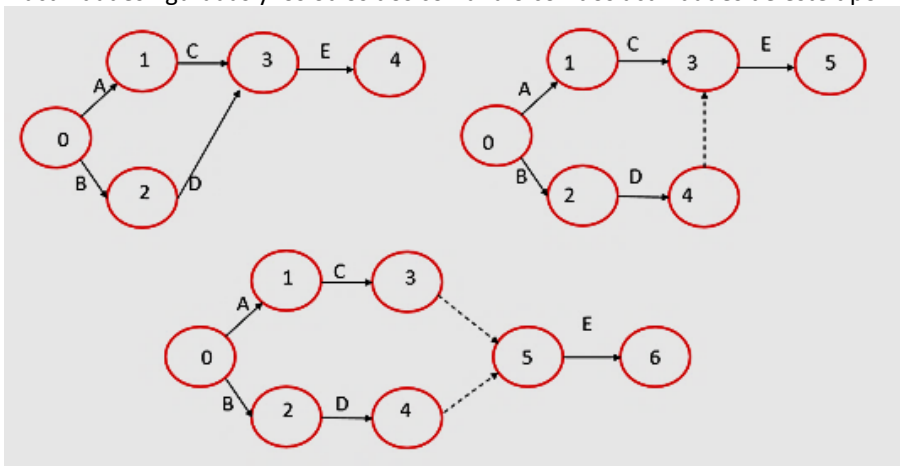
La segunda alternativa es — usando el primero de los diagramas — crear una actividad figurada, ficticia, de manera tal que uno de los nodos signifique que es el tiempo para que las dos tareas C y D — ambas — estén terminadas.



O también, como tercera alternativa, generando dos actividades figuradas que convergen a un nodo, también figurado, que representa el momento en que las dos tareas (C y D) terminaron:



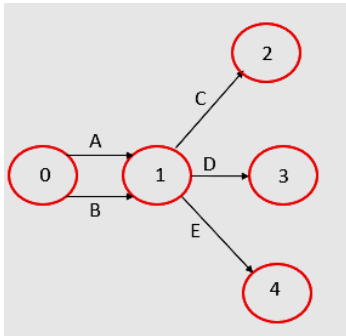
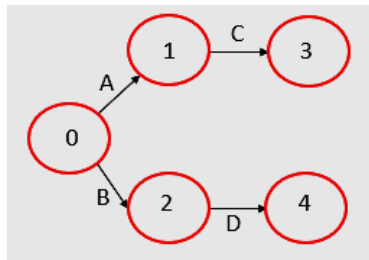
Así — cuando agreguemos la actividad E — vamos a disponer de tres posibles diagramas que representan exactamente la misma tabla y que son los tres correctos, el primero sin actividades figuradas y los otros dos con una o con dos actividades de este tipo.



Pero puede haber casos donde se dé que es forzoso añadir actividades y nodos figurados, como lo que ocurre con el siguiente ejemplo:

TAREA	Predecesoras Inmediatas
A	Ninguna
B	Ninguna
C	A
D	B
E	A,B

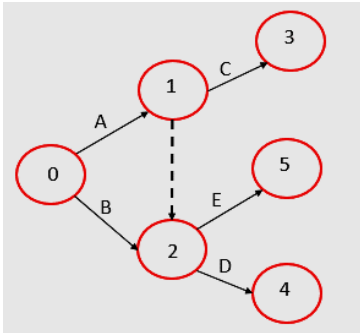
Si utilizamos el método básico para las primeras cuatro tareas, obtenemos la siguiente red:



Debemos buscar una manera para indicar que la tarea E debe comenzar cuando A y B, ambas estén terminadas. Pero, además, debemos tener cuidado de no plantearlo de manera incorrecta, como vemos en los siguientes casos, todos ellos INCORRECTOS:

La red de la izquierda es incorrecta pues, si bien representa un punto de inicio para la actividad E, no es cierto que las actividades C y D, cada una, requieran que las A y B, ambas, estén finalizadas.

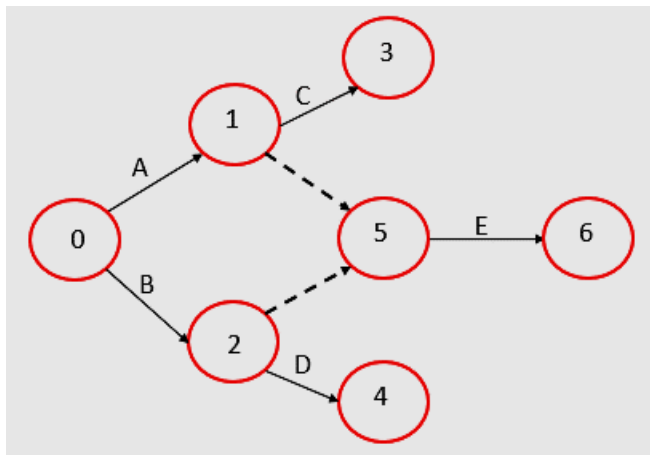
Por otro lado, es necesario evitar que dos tareas comiencen y finalicen en nodos únicos: entre 0 y 1 se han planteado dos caminos paralelos que impiden el cálculo del diagrama.



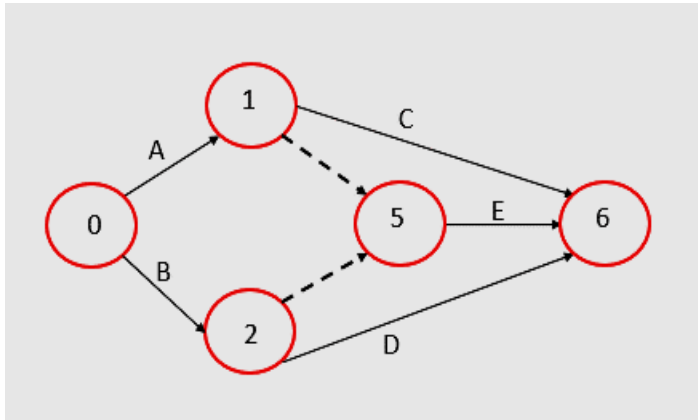
En el diagrama siguiente hemos añadido una actividad figurada entre 1 y 2.

La actividad D no puede comenzar hasta que A y B, ambas, no estén terminadas, lo que contraría a la tabla de precedencia. Por tanto, este diagrama también es INCORRECTO

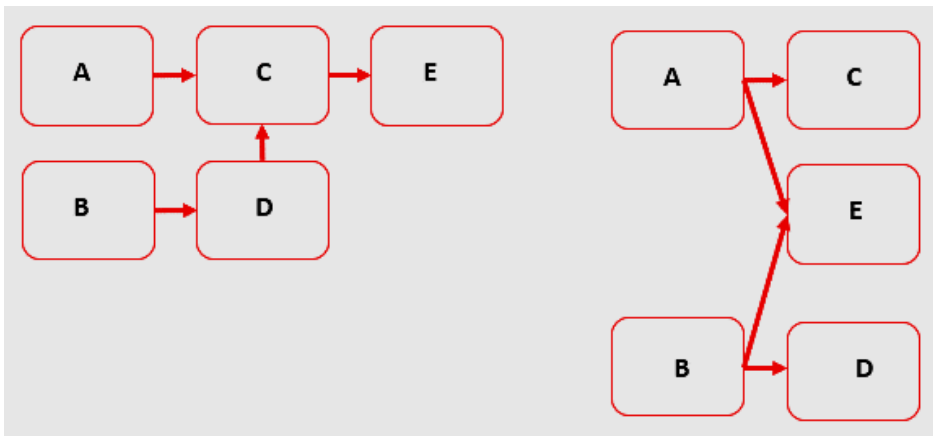
El diagrama CORRECTO, que vemos en la figura de abajo, se ha obtenido agregando DOS actividades figuradas que convergen a un único nodo figurado (el 5, que luego será el inicio de la actividad E) que representa el hito inicio de la actividad E.




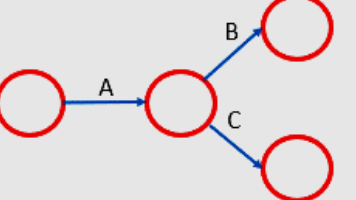
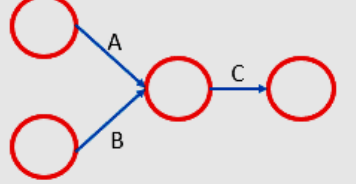
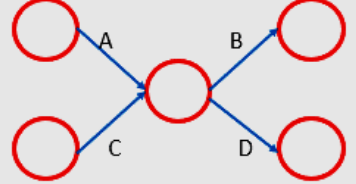
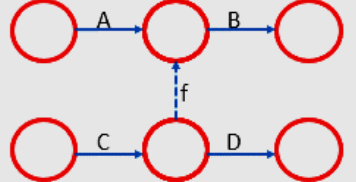
Pero hay tres nodos, el 3, el 6 y el 4 que aparecen como finales del proyecto, lo cual, si bien **no es incorrecto** confunde y resulta difícil de identificar el nodo que indica la finalización de la tarea. Una manera más clara de representar todo el conjunto es:

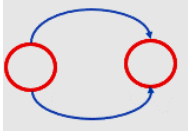
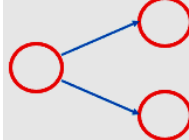
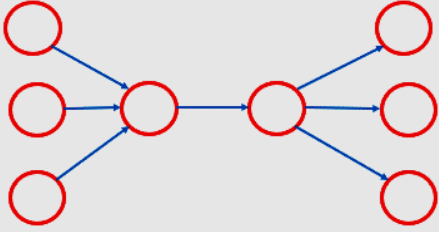
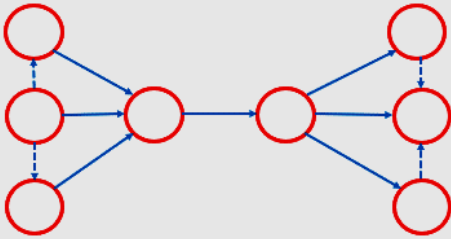
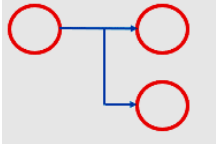
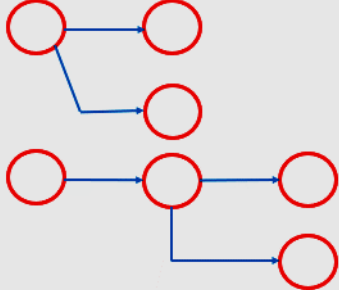


Las siguientes figuras muestran los dos ejemplos precedentes en graficas nodales:

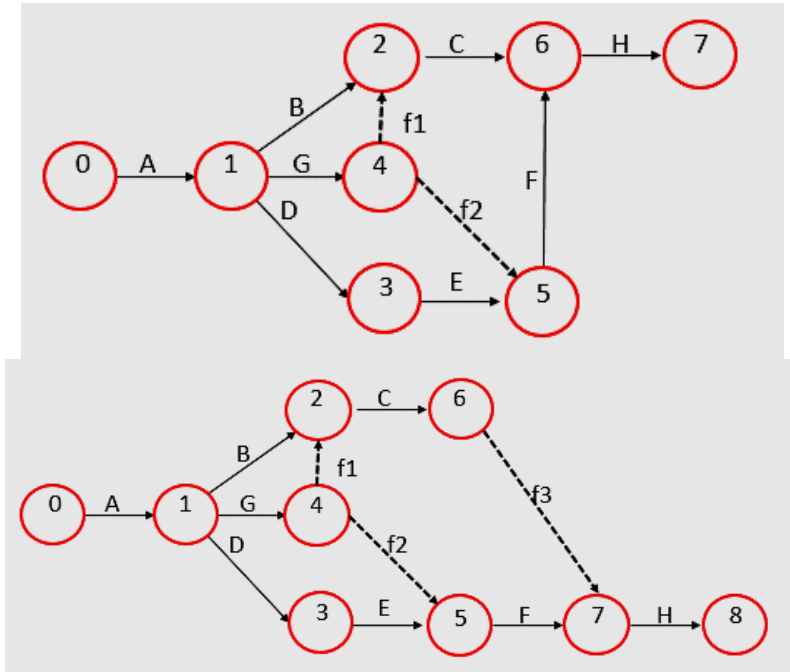


A manera de una guía general, vemos una tabla con situaciones permitidas y sencillas para la notación en arcos.

	<p>La actividad B puede comenzar al finalizar A</p>
	<p>Las actividades B y C no pueden comenzar hasta que termine A, pero se pueden hacer simultáneamente</p>
	<p>La actividad C solo puede comenzar cuando ambas actividades A y B estén terminadas. A y B pueden realizarse simultáneamente.</p>
	<p>A y B son simultáneas. C y D son simultáneas, pero no pueden comenzar hasta que A y B (ambas) estén terminadas.</p>
	<p>B No puede comenzar hasta que terminen A y C D puede comenzar cuando termine solamente C</p>

INCORRECTOS	CORRECTOS
	
	
	

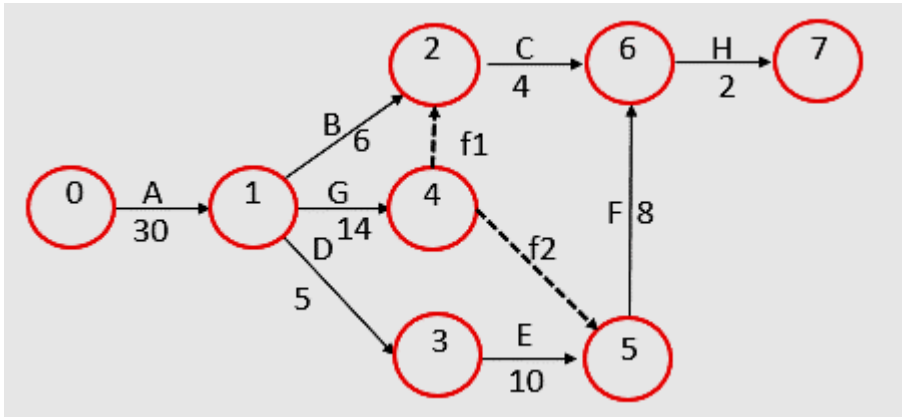
Continuamos con el ejemplo del caso de la nueva línea de producción. Las figuras que siguen presentan dos redes posibles, ambas válidas, y la correspondiente tabla desde la cual partimos para dibujarlas:



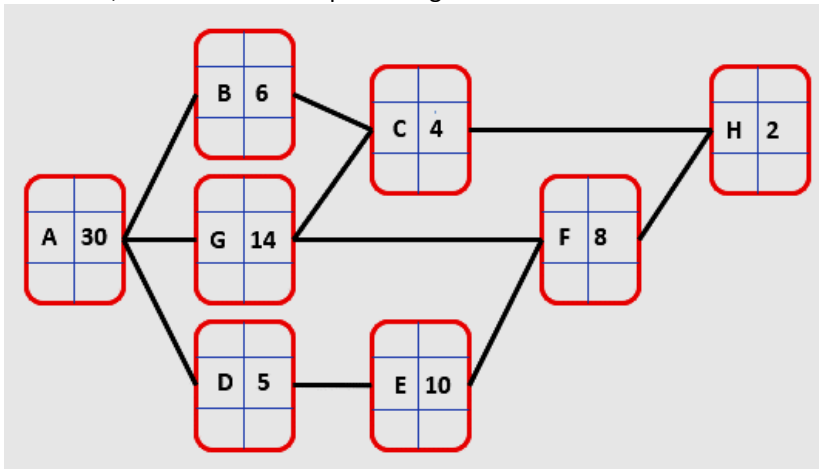
TAREA	Descripción	TIEMPO EST. (sem)	Predecec.Inmed.
A	Preparación de los planos y documentación técnica	30	ninguna
B	Diseño de los materiales de propaganda del nuevo producto	6	A
C	Producción de la publicidad	4	B,G
D	Revisión de los planos y documentación	5	A
E	Obra base	10	D
F	Instalación DEL Equipo y prueba	8	E,G
G	Permisos y registros legales	14	A
H	Capacitación de operarios y vendedores	2	C,F

Cálculo de tiempo de terminación del proyecto

Como podemos usar cualquiera de las dos redes que vemos en la figura anterior, elegimos la superior, y con ella calcularemos el tiempo de terminación del proyecto. Para ello, comenzaremos con anotar el tiempo de cada tarea junto a la etiqueta del nombre código de ella en cada arco de la red:



o en cada nodo, si usamos el otro tipo de diagrama:



El siguiente paso consiste en avanzar desde el principio (Nodo 0 o Nodo A), que es el inicio del proyecto, o tarea inicial, calculando para cada una de las tareas su **Tiempo de inicio más temprano** (T_i) y el tiempo en que esa tarea puede realizarse (T_e).

Con estos datos podremos encontrar el **Tiempo de terminación más rápido** (T_f) que es la suma de T_i más T_e .

Recorreremos la red desde el principio, anotando los tiempos encontrados. En general, el T_i de una tarea es el máximo de los tiempos de terminación más rápido (T_f) de las tareas precedentes. Aplicando estas reglas se tendrán los tiempos de cada tarea y, en conjunto, el del proyecto.

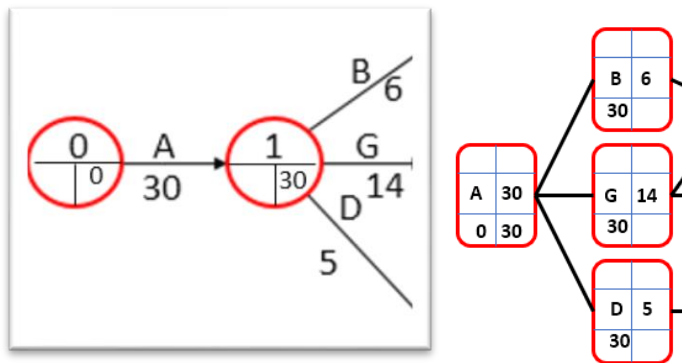
Cada nodo ahora representa un punto de tiempo o momento o *hito* que expresamente significa que todos los arcos que llegan a ese nodo han concluido las tareas que representan.

Se coloca en cada arco el Ti al comienzo de la flecha, y el Tf en la punta de ella. De esta manera, se puede expresar de la siguiente manera lo relacionado con la tarea A:

La actividad A comienza en 0, dura 30, y finaliza en $0 + 30 = 30$.

$$Tf = Ti + Te$$

$$30 = 0 + 30$$



Con las siguientes tres tareas no hay inconvenientes en este ejemplo, ya que todas deben comenzar cuando finalice la tarea A, y, por tanto, todas tienen un Ti común, 30

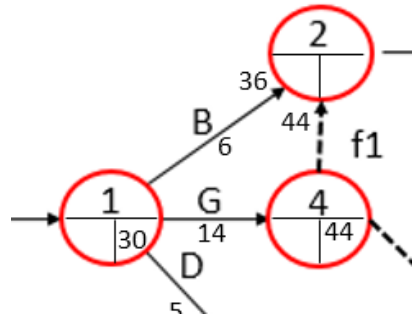
Así el Tf de la actividad A se convirtió en el Ti de las actividades B, G y D, cuyas duraciones nos permiten calcular sus Tf :

Para B, $Tf = Ti + Te = 30 + 6 = 36$

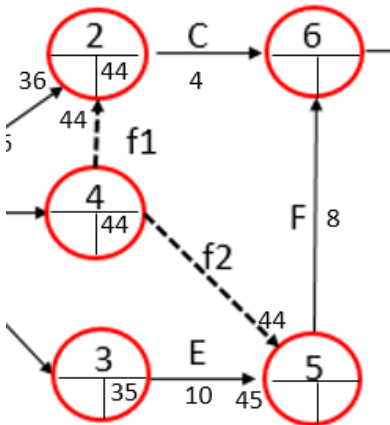
Para G: $30 + 14 = 44$

Para D: $30 + 5 = 35$

Con estos datos completamos las siguientes actividades y llegamos a un punto donde claramente vemos que no podemos continuar directamente a partir del nodo 2 porque a ese nodo llegan dos arcos: el de la tarea B y el de la tarea figurada f1. Si bien el arco B está completo, falta completar el arco f1 y cuando lo hagamos vamos a llegar al nodo 2 con dos tiempos candidatos a entrar en ese nodo. Por este motivo, dejamos el nodo 2 momentáneamente en suspenso.



En cambio, el nodo 3 sí puede calcularse, pues “todos” los arcos entrantes han sido calculados (todos, porque solo es el arco D).



Por tanto, para la actividad E, $T_i + T_e = T_f = 35 + 10 = 45$.

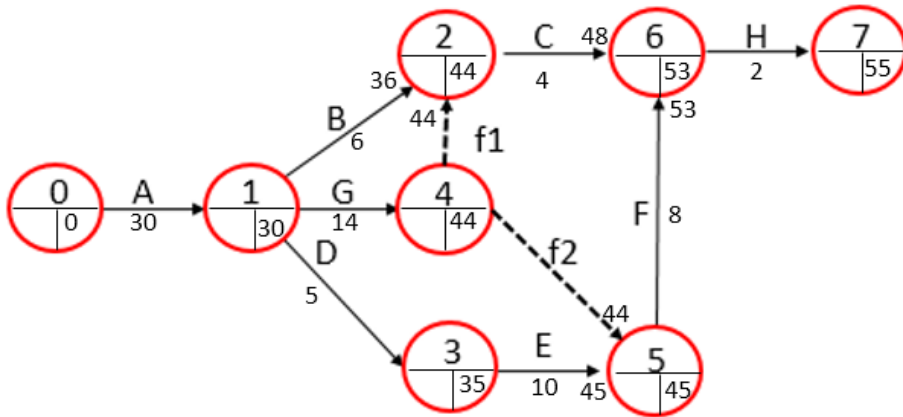
Lo mismo podemos hacer en el nodo 4. Todos sus arcos entrantes están completos, por lo tanto, para la actividad f1 y para la actividad f2 se pueden calcular sus T_f :

f1: $44 + 0 = 44$
 f2: $44 + 0 = 44$

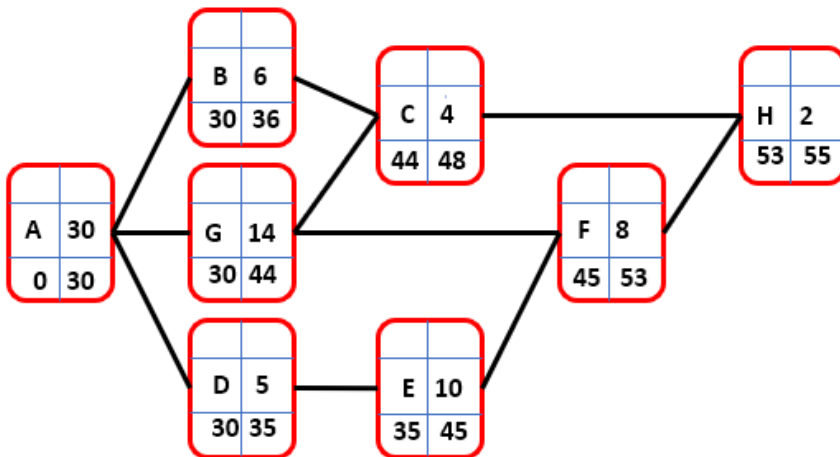
Para resolver el nodo 5, aplicaremos una regla intuitiva simple que consiste en elegir — como momento inicial (T_i) de las actividades que comienzan en ese nodo — al máximo de los tiempos de finalización, T_f correspondientes a los arcos entrantes (en este caso, solo la F). Esto lleva a elegir 45, lo que sumado a 8 da 53 como T_f de la actividad F. En términos concretos significa: como no es posible iniciar la actividad F antes que se terminen las dos (ambas) actividades: E y f2 hay que esperar el tiempo máximo, que es 44.

Volvemos al nodo 2, que habíamos dejado en espera. Allí ocurre algo similar. Podremos elegir entre 36 y 44, por lo cual definimos el inicio de la actividad C en 44 y su finalización en $44 + 4 = 48$. En el nodo 6 nuevamente vamos a elegir el valor máximo, 53, que

sumado a la duración de la actividad H arroja 55. **Este último valor es el tiempo de duración del proyecto.**



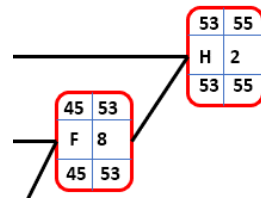
que en con un diagrama nodal será:



Este, en sí mismo ya es un resultado. Podremos informar que el proyecto durará 55 semanas.

Resta hacernos algunas preguntas. Por ejemplo, sobre la actividad G, que suponemos que es una tarea que depende de muchos factores externos y, por lo tanto, su duración puede cambiar. En ese caso, ¿puede afectar la duración del proyecto? Es de difícil respuesta, pues es una actividad que quedó en el medio de la red a diferencia de

actividades como la A o la H que están en extremos y donde se ve claramente que si se alargan o acortan se alarga o acorta la duración de todo el proyecto. Para responder esta u otras preguntas debemos definir el concepto de **actividad crítica**.



Actividades críticas

Si en vez de analizar la tarea G analizáramos la H, notaríamos que cualquier retraso o adelanto en ésta retrasaría o adelantaría todo el proyecto. De esta manera, definimos que la actividad H es una **tarea crítica**.

Para determinar cuáles son tareas críticas en una red vamos a retroceder en el diagrama desde el final de la red hasta el inicio, calculando para cada una de ellas, lo siguiente:

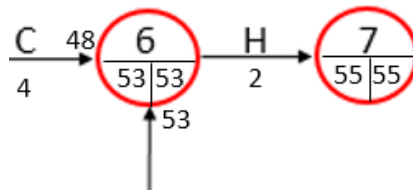
Lo más tarde que puede terminar una tarea siempre y cuando el proyecto se complete lo más pronto posible: **T_t último tiempo de terminación**.

El último tiempo de inicio **T_{ui}** que es lo más tarde a iniciar una tarea para que termine en su **Último tiempo de terminación T_t** .

$$T_{ui} = T_t - T_e$$

Ultimo tiempo de inicio = Tiempo de terminación — tiempo de la tarea

Así iremos recorriendo la red en sentido inverso, colocando en la punta de la flecha el último tiempo de terminación T_t y en la base el último tiempo de inicio:



El arco H tenía en 55 su T_t , con lo que su T_{ui} queda en 53 ($T_{ui} = T_t - T_e = 55 - 2 = 53$)

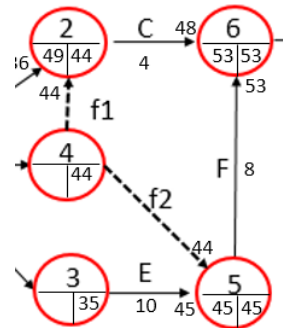
En este momento estamos en condiciones de trabajar sobre el nodo 6, pues están completos todos los caminos de llegada en retroceso (que son, en realidad, los arcos que salen), por los cuales hemos arribado al recorrerlos en sentido inverso (en este caso, solo hay un camino: el H)

Para la tarea C, vamos a calcular:

Último tiempo de terminación – tiempo de tarea = T_{ui}
 $53 - 4 = 49$, T_{ui} : **último tiempo de inicio**

Para la tarea F, $53 - 8 = 45$, último tiempo de inicio

No es posible seleccionar el nodo 4, pues los arcos salientes no están completos, (no hemos llegado al nodo 4 por todos los caminos posibles) pero podemos trabajar sobre el nodo 2 y también sobre el nodo 5.

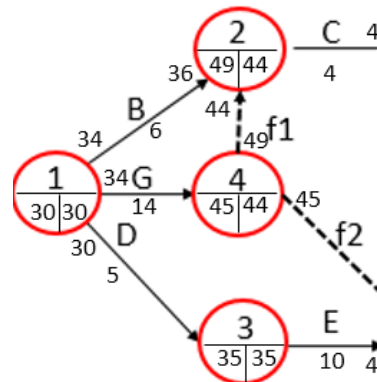


A continuación, vamos a procesar las tareas que unen el nodo 2 con el 4 (tarea f1) y el 1 (tarea B)

Para la tarea B: $49 - 6 = 43$
 Para la tarea f1: $49 - 0 = 49$.

Y luego las que corresponde al nodo 5 con el 4 y el 3:

Para la tarea f2: $45 - 0 = 45$
 Para la tarea E: $45 - 10 = 35$



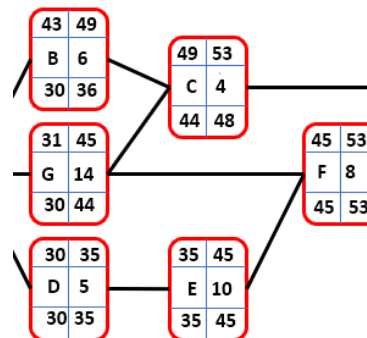
Luego podremos seleccionar los nodos 4 y 3, pues ambos tienen todos sus arcos salientes completos.

En el nodo 4, el último tiempo de terminación será el mínimo de los últimos tiempos de inicio de los arcos que salen o sea el mínimo entre las actividades f1 y f2 = $\min_{(49,45)} = 45$

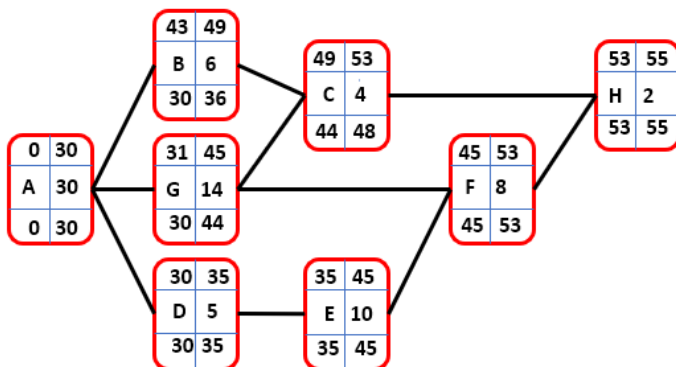
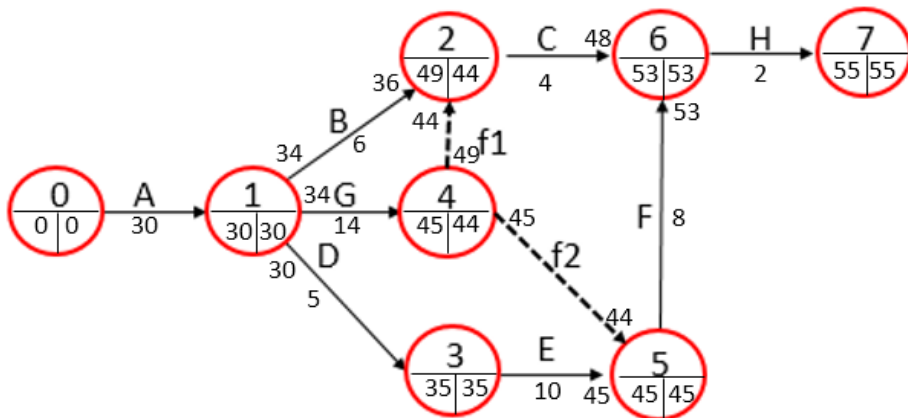
La tarea G, tendrá entonces

$$T_{ui} = T_t - T_e = 45 - 14 = 31$$

En el nodo 3 calculamos la tarea D: $35 - 5 = 30$



Una vez más tomamos el mínimo de los tiempos en el nodo 1, que es 30 y, así, podemos arribar, por único camino (Tarea A) al nodo 0 con 0.

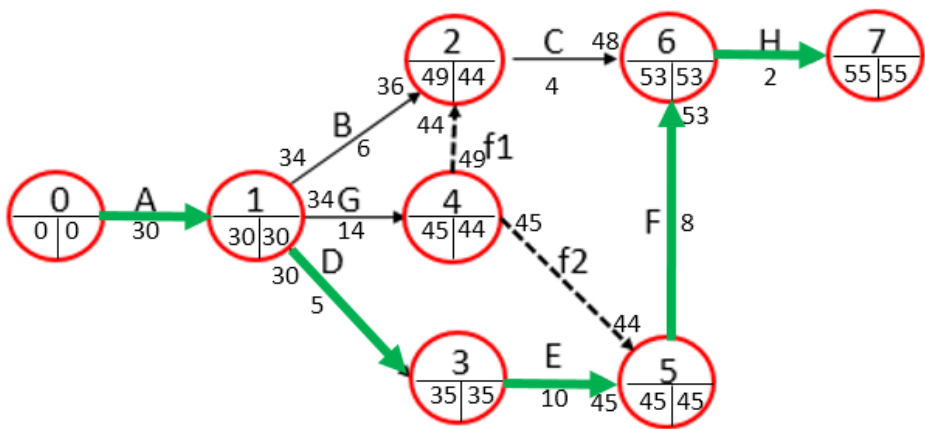


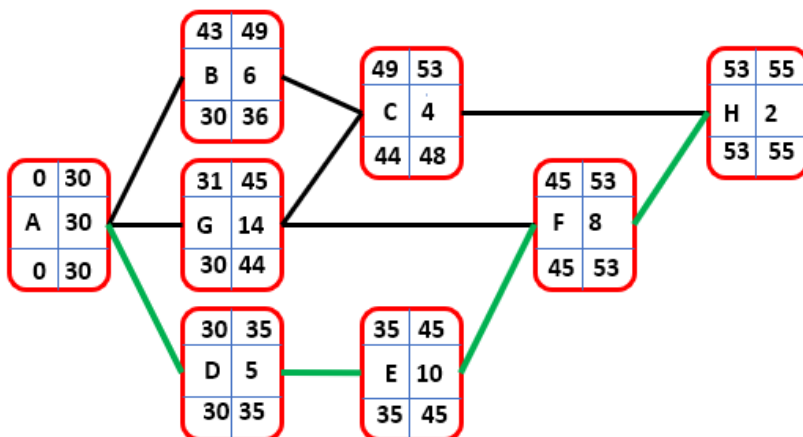
Con estos datos podremos construir la versión definitiva de la **tabla de actividades y de camino crítico**. Vamos a encontrar el **camino crítico** seleccionando aquellas tareas que son críticas. ¿Cómo sabemos si una tarea es crítica? cuando no hay diferencias entre los tiempos de inicio y de finalización más tempranos o más tardíos, es decir, si no hay sobrantes (*slacks*), de tiempo entonces la tarea será crítica.

Por ejemplo, la tarea D se inicia en un nodo 30-30 y finaliza en un nodo 35-35, por lo tanto, **es crítica**. La tarea B inicia en un nodo 30-30 y finaliza en uno 49-44, **no es crítica**.

TAREA	Tiempo Inicio temprano T_i	Tiempo de terminación más rápido T_f	Ultimo tiempo de inicio T_{ui}	Ultimo tiempo de terminación T_t	Retraso $T_{ui} - T_i$
A	0	30	0	30	0
B	30	36	43	49	13
C	44	48	49	53	5
D	30	35	30	35	0
E	35	45	35	45	0
F	45	53	45	53	0
G	30	44	31	45	1
H	53	55	53	55	0
f1	44	44	49	49	5
f2	44	44	45	45	1

De esta manera, el conjunto de las tareas críticas (marcadas en verde en la tabla anterior) constituye el **camino crítico del proyecto**. (señalado con verde en los diagramas correspondientes que siguen)





Resolución empleando WinQSB

En las figuras siguientes vemos imágenes de las pantallas sucesivas que se obtienen en WinQSB para este mismo ejemplo usando el módulo **PERT/CPM**. En el menú inicial elegimos **CPM determinístico**, con la opción **tiempos normales**, y a continuación completamos la pantalla inicial, para hacer eso es importante haber diseñado la red y tener claro cuáles son los nodos precedentes y consecuentes de cada actividad.

La pantalla inicial es, simplemente, la tabla de predecesoras. (El nombre de las actividades puede editarse y, de esa manera, cambiarse).

Problem Specification

Problem Title: _____

Number of Activities: 10

Time Unit: semanas

Problem Type

Deterministic CPM

Probabilistic PERT

Data Entry Format

Spreadsheet

Graphic Model

Activity Number	Activity Name	Immediate Predecessor (list number/name, separated by ',')	Normal Time
1	A		30
2	B	A	6
3	C	B,G	4
4	D	A	5
5	E	D	10
6	F	E,G	8
7	G	A	14
8	H	C,F	2

Select CP

Non

Cras

Non

Cras

Actu

Perc

Activity Time Distribution:

Choose Activity Time Distribution

OK Cancel Help

Luego de esa carga, seleccionando el menú **"Solve and analyze"**, **"Solve Critical Path"**, podremos encontrar la solución de la red, como vemos en las figuras siguientes.

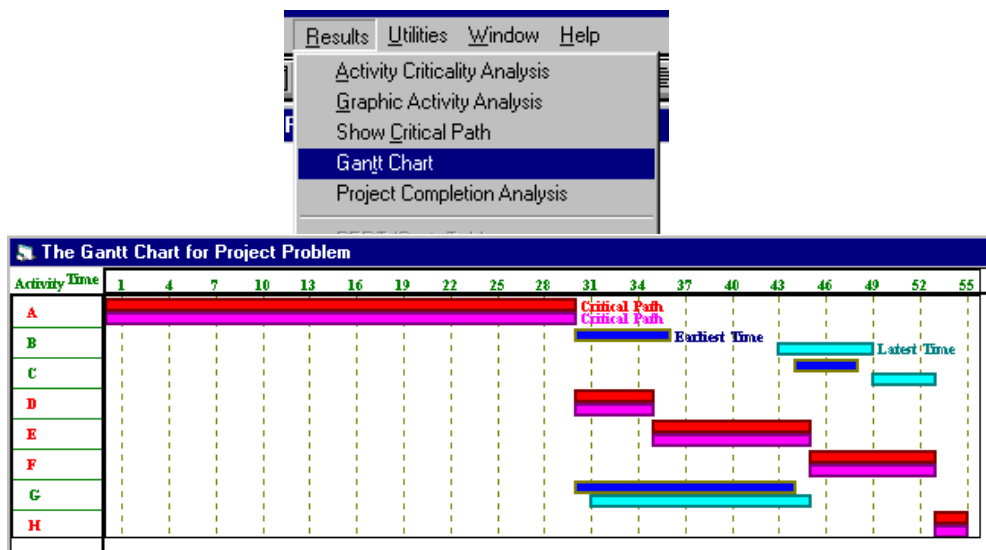
PERT/CPM								
File Edit Format Solve and Analyze Results Utilities Window								
Solve Critical Path								
Solve Critical Path Using Crash Time								
07-15-2002 16:33:45	Activity Name	On Critical Path	Activity Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)
1	A	Yes	30	0	30	0	30	0
2	B	no	6	30	36	43	49	13
3	C	no	4	44	48	49	53	5
4	D	Yes	5	30	35	30	35	0
5	E	Yes	10	35	45	35	45	0
6	F	Yes	8	45	53	45	53	0
7	G	no	14	30	44	31	45	1
8	H	Yes	2	53	55	53	55	0
	Project	Completion	Time	=	55	weeks		
	Number of	Critical	Path(s)	=	1			

Si bien esta es la solución, podemos obtener más datos si utilizamos las opciones que están en el menú **"results"**, y que vemos en las figuras que siguen.

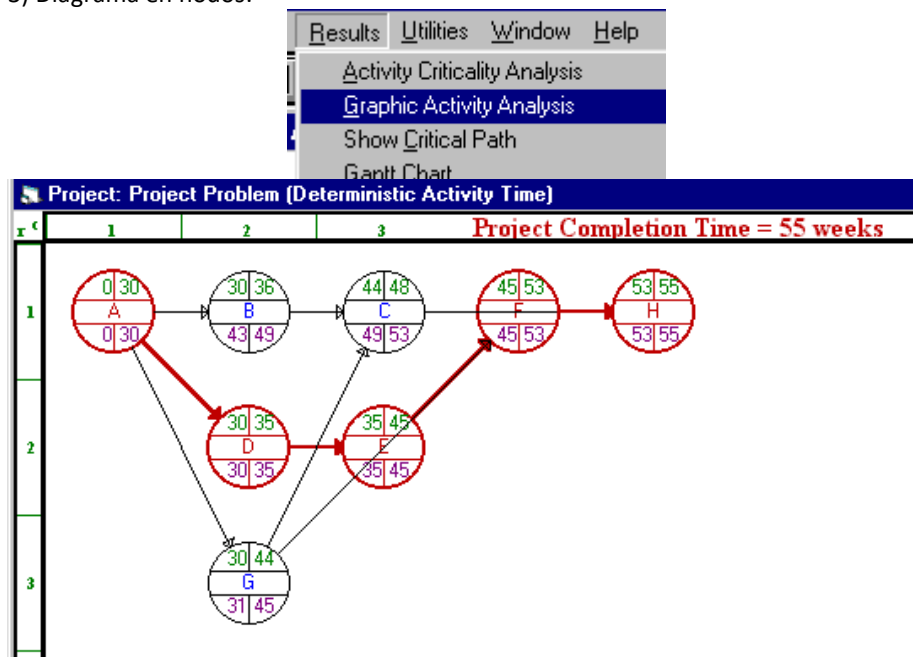
1) Camino crítico:

07-15-2002		Critical Path 1
1	A	
2	D	
3	E	
4	F	
5	H	
Completion Time		55

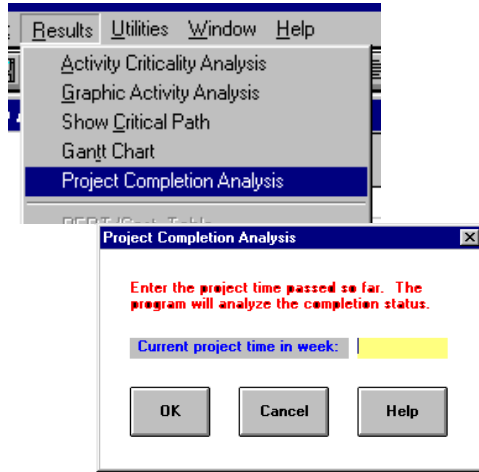
2) Diagrama de Gantt:



3) Diagrama en nodos:



4) y, por último, tenemos la posibilidad de analizar cuanto se debería haber realizado del proyecto en una determinada fecha. Por ejemplo, si seleccionamos un análisis de avance para saber cómo debería estar a las 47 semanas, tendremos:



Completion Analysis at week 47 for Project Problem							
07-15-2002 16:44:36	Activity Name	On Critical Path	Activity Time	Latest Start	Latest Finish	Planned % Completion	
1	A	Yes	30	0	30	100	
2	B	no	6	43	49	66,6667	
3	C	no	4	49	53	0	
4	D	Yes	5	30	35	100	
5	E	Yes	10	35	45	100	
6	F	Yes	8	45	53	25	
7	G	no	14	31	45	100	
8	H	Yes	2	53	55	0	
	Overall	Project:		0	55	85,4545	

La información obtenida es el porcentaje, a la fecha solicitada, de ejecución total y de avance de cada tarea, según fue planteado el proyecto.

Proyectos con técnicas de choque

Podría darse el caso de que el tiempo de finalización que hallamos con los procedimientos anteriores no sea el que deseamos, por ejemplo, porque es más largo que lo que desearíamos. Mediante programación lineal podemos buscar una alternativa de menor tiempo agilizando algunas tareas y sabiendo el costo de tal

agilización. ¿Por qué necesitamos programación lineal? Porque hay una relación compleja entre tareas: algunas pueden acortarse directamente (las críticas) y si acortamos las no críticas, no tendrán efecto sobre el tiempo total, hasta cierto momento, en que pueden pasar a ser críticas y sí tendrán efecto. Por otra parte, acortar una tarea suele tener costos diferentes según el tipo de tarea y deberíamos poder optimizarlos.

Continuando con el mismo ejemplo anterior, supongamos ahora que la solución encontrada (55 semanas) no es aceptada y nos piden que el proyecto esté terminado en 47 semanas (2 meses menos).

Acortar tareas seguramente requiere recursos adicionales: horas extra, más personal, otra tecnología, etc. Por tanto, en la tabla del proyecto vamos a agregar a cada tarea lo siguiente:

- a) **Tiempo de choque:** tiempo mínimo posible en que la tarea se puede realizar usando recursos adicionales.
- b) **Costo de los recursos adicionales** necesarios para reducir el tiempo desde normal al de choque.

En este caso, si tomamos como ejemplo la tarea B, que originalmente estaba estimada en 6 semanas, descubrimos que, usando horas extras, se puede realizar en 4 semanas. Estas 4 semanas son el tiempo de choque: menos es imposible. Falta determinar el incremento del costo de esas dos semanas de ahorro de tiempo. Si suponemos que el costo inicial de la tarea B en 6 semanas es de \$ 6000, se puede suponer también que el nuevo costo, en 4 semanas pasa a ser \$ 9000. Significa que, con el incremento de costo adecuado, entre \$ 6000 y \$ 9000 la tarea se podrá finalizar en cualquier momento entre 4 y 6 semanas.

Hay que tener presente que calcular el costo asociado con cada alternativa no es simple. Generalmente se utiliza la suposición de que el costo varía linealmente entre los extremos citados, por lo que el costo por unidad de tiempo para el ejemplo sería:

$$\begin{aligned} & \text{costo por unidad de tiempo} = \\ & = \text{diferencia entre costo al tiempo de choque y costo al tiempo normal} \\ & \quad \text{dividido entre} \\ & \text{diferencia entre tiempo normal y tiempo de choque.} \end{aligned}$$

En el caso del ejemplo con la tarea B:

$$\text{Costo por unidad de tiempo} = \frac{9000 - 6000}{6 - 4} = 1500 \$/\text{sem}$$

lo que significa que, por cada semana de acortamiento de la tarea B se aumenta en \$ 1500 el costo de la tarea.

Con estas hipótesis se plantea una **tabla de costos de choque** para el problema:

TAREA	TIEMPO NORMAL	COSTO NORMAL	TIEMPO DE CHOQUE	COSTO DE CHOQUE	REDUCCIÓN MÁXIMA	COSTO POR SEMANA
A	30	5000	26	9000	4	1000
B	6	6000	4	9000	2	1500
C	4	10000	3	10500	1	500
D	5	5000	3	6500	2	750
E	10	4500	7	6300	3	600
F	8	20000	6	22500	2	1250
G	14	10000	12	15000	2	2500
H	2	25000	2	25000	0	-

Nota: la tarea H no puede acortarse.

Desarrollo del modelo de choque

Identificación de variables de decisión

Para establecer cuáles son las variables de decisión, habremos de preguntarnos qué se puede controlar o necesitamos saber, siguiendo las técnicas de modelizado vistas anteriormente. En este caso será el número de semanas a reducir en cada actividad. Así podemos identificar las siguientes variables:

Y_A = Número de semanas a acortar la actividad A

Y_B = Número de semanas a acortar la actividad B

...

Y_H = Ídem en la actividad H

Función objetivo

El objetivo será minimizar el gasto adicional total requerido para satisfacer el tiempo de ejecución solicitado para el proyecto:

Minimizar:

$$\Omega = 1000Y_A + 1500Y_B + 500Y_C + 750Y_D + 600Y_E + 1250Y_F + 2500Y_G + 0Y_H$$

Restricciones

Identificamos tres grupos de restricciones:

1. Cantidad máxima que puede acortarse cada tarea
2. Tiempo de conclusión establecido al proyecto (47 semanas)
3. Respetar la tabla de precedencia

1. El **primer grupo** de restricciones es simple: son los límites de variabilidad de los Y_j siendo $j = A \dots H$. Cada variable podrá adquirir valores entre cero (significa que esa tarea no se acorta) al máximo acortamiento posible.

Para la primera tarea, sería así:

$$0 \leq Y_A \leq 4$$

Pero como la condición $Y_j \geq 0$ es la condición lógica de no negatividad, podremos no considerarla individualmente para cada variable, sino, como hicimos hasta ahora en todos los casos. Así nos quedaría:

$$\begin{array}{cccc} Y_A \leq 4 & Y_B \leq 2 & Y_C \leq 1 & Y_D \leq 2 \\ Y_E \leq 3 & Y_F \leq 2 & Y_G \leq 2 & Y_H = 0 \end{array}$$

2. El **segundo grupo** requiere establecer los tiempos de inicio de las tareas que salen de un nodo. Por ejemplo, el tiempo de inicio de todas las tareas que salen del nodo 0 será X_0 , y el de inicio de las tareas que salen del nodo 1 será X_1 . La restricción del grupo 2 será entonces, que se inicie el proyecto en el momento 0 y que se termine en no más de 47 semanas:

$$\begin{array}{l} X_0 = 0 \\ X_7 \leq 47 \end{array}$$

3. El **tercer grupo**, se establece con el diagrama en red, y con la siguiente sintaxis:

**El tiempo de inicio de
todas las tareas que salen del nodo 1 \geq tiempo de terminación de
todas las tareas que entran al nodo 1.**

Específicamente:

Tiempo de inicio de B, G y D \geq tiempo de terminación de A + tiempo acortado para la tarea A

Simbólicamente:

$$X_1 \geq X_0 + (30 - Y_A)$$

Para el nodo 2 hay dos restricciones, ya que entran 2 tareas: la B y la f1

$$X_2 \geq X_1 + (6 - Y_B)$$

$$X_2 \geq X_4 + 0$$

Se procede igual para cada nodo, quedando el modelo terminado

Modelo de choque terminado

Minimizar:

$$\Omega = 1000Y_A + 1500Y_B + 500Y_C + 750Y_D + 600Y_E + 1250Y_F + 2500Y_G + 0Y_H$$

Sujeto a:

Restricciones de límite (debe tenerse en cuenta que el lado izquierdo de estas restricciones se elimina con la restricción de no negatividad)

$$Y_A \leq 4$$

$$Y_B \leq 2$$

$$Y_C \leq 1$$

$$Y_D \leq 2$$

$$Y_E \leq 3$$

$$Y_F \leq 2$$

$$Y_G \leq 2$$

$$Y_H = 0$$

Restricciones de inicio y final:

$$X_0 = 0$$

$$X_7 \leq 47$$

Restricciones de la red

$$X_1 \geq X_0 + (30 - Y_A)$$

$$X_2 \geq X_1 + (6 - Y_B)$$

$$X_2 \geq X_4 + 0$$

$$X_3 \geq X_1 + (5 - Y_D)$$

$$X_4 \geq X_1 + (14 - Y_G)$$

$$X_5 \geq X_4 + 0$$

$$X_5 \geq X_3 + (10 - Y_E)$$

$$X_6 \geq X_2 + (4 - Y_C)$$

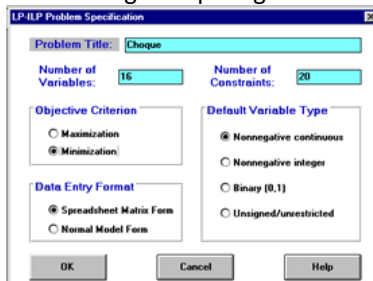
$$X_6 \geq X_5 + (8 - Y_F)$$

$$X_7 \geq X_6 + (2 - Y_H)$$

Restricciones lógicas

$$X_j \geq 0 \quad \forall j \rightarrow j = 0, 1, \dots, 7$$

Podemos resolver el problema con WinQSB, usando el módulo *LP-ILP*, y encontrar la tabla de solución que vemos en las figuras que siguen.



Varia	ya	yb	yc	yd	ye	yf	yg	yh	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	irectio	R.
Minim	1000	1500	500	750	600	1250	2500	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
C1	1																<=	4
C2		1															<=	2
C3			1														<=	1
C4				1													<=	2
C5					1												<=	3
C6						1											<=	2
C7							1										<=	2
C8								1									<=	0
C9									1								=	0
C10															1		<=	47
C11	1								-1	1							>=	30
C12		1								-1	1						>=	6
C13											1		-1				>=	0
C14				1						-1		1					>=	5
C15							1			-1			1				>=	14
C16													-1	1			>=	0
C17					1							-1		1			>=	10
C18			1									-1			1		>=	4
C19						1								-1	1		>=	8
C20								1							-1	1	>=	2

	17:17:43		15/07/2002	15/07/2002	15/07/2002	15/07/2002		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	ya	4,0000	1.000,0000	4.000,0000	0	basic	-M	3.100,0000
2	yb	0	1.500,0000	0	1.500,0000	at bound	0	M
3	yc	0	500,0000	0	500,0000	at bound	0	M
4	yd	0	750,0000	0	150,0000	at bound	600,0000	M
5	ye	2,0000	600,0000	1.200,0000	0	basic	0	750,0000
6	yf	2,0000	1.250,0000	2.500,0000	0	basic	-M	3.100,0000
7	yg	1,0000	2.500,0000	2.500,0000	0	basic	650,0000	M
8	yh	0	0	0	0	basic	-M	3.100,0000
9	x0	0	0	0	0	basic	-M	M
10	x1	26,0000	0	0	0	basic	-2.100,0000	M
11	x2	41,0000	0	0	0	basic	-500,0000	0
12	x3	31,0000	0	0	0	basic	-600,0000	150,0000
13	x4	39,0000	0	0	0	basic	-M	1.850,0000
14	x5	39,0000	0	0	0	basic	-M	1.850,0000
15	x6	45,0000	0	0	0	basic	-M	3.100,0000
16	x7	47,0000	0	0	0	basic	-M	3.100,0000
	Objective	Function	(Min.) =	10.200,0000	(Note:	Alternate	Solution	Exists!!)

Por tanto, es posible finalizar el proyecto en 47 semanas con un costo total de \$ 10200. ¿Se puede mejorar este tiempo? ¿Es posible terminar en menos semanas? ¿a qué costo?

Utilizando las técnicas de análisis de sensibilidad podremos responder esas preguntas.

Técnica de choque con WinQSB

También podemos resolver este problema si usamos el módulo **PERT-CPM** de WinQSB. Recordemos que en la ventana de inicio de ese módulo había una opción **tiempos y costos de choque** que no utilizamos antes y si lo haremos ahora:

Como hicimos hasta ahora, completaremos una planilla similar a las anteriores, pero que ahora incluye la información de choque:

Activity Number	Activity Name	Immediate Predecessor (list number/name, separated by ',')	Normal Time	Crash Time	Normal Cost	Crash Cost
1	A		30	26	5000	9000
2	B	A	6	4	6000	9000
3	C	B,G	4	3	10000	10500
4	D	A	5	3	5000	6500
5	E	D	10	7	4500	6300
6	F	E,G	8	6	20000	22500
7	G	A	14	12	10000	15000
8	H	C,F	2	2	25000	25000

La solución al problema presenta, en el menú **Solve and Analyze**, dos opciones: la primera, encontrar la solución con el costo y tiempos normales, lo cual presentará la solución hallada anteriormente, pero con el agregado del **costo total del proyecto**, que es la suma de los costos de todas las actividades:

for choque (Using Normal Time)								
07-17-2002 12:12:05	Activity Name	On Critical Path	Activity Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)
1	A	Yes	30	0	30	0	30	0
2	B	no	6	30	36	43	49	13
3	C	no	4	44	48	49	53	5
4	D	Yes	5	30	35	30	35	0
5	E	Yes	10	35	45	35	45	0
6	F	Yes	8	45	53	45	53	0
7	G	no	14	30	44	31	45	1
8	H	Yes	2	53	55	53	55	0
	Project	Completion	Time	=	55	weeks		
	Total	Cost of	Project	=	\$85.500	(Cost on	CP =	\$59.500)
	Number of	Critical	Path(s)	=	1			

La segunda alternativa es encontrar el camino crítico usando el tiempo de choque en todo el proyecto, lo que nos dará un límite porque está llevado al extremo de todas las actividades reducidas al máximo, que es el tiempo de choque, como vemos en la figura siguiente:

for choque (Using Crash Time)								
07-17-2002 12:16:21	Activity Name	On Critical Path	Activity Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)
1	A	Yes	26	0	26	0	26	0
2	B	no	4	26	30	37	41	11
3	C	no	3	38	41	41	44	3
4	D	no	3	26	29	28	31	2
5	E	no	7	29	36	31	38	2
6	F	Yes	6	38	44	38	44	0
7	G	Yes	12	26	38	26	38	0
8	H	Yes	2	44	46	44	46	0
	Project	Completion	Time	=	46	weeks		
	Total	Cost of	Project	=	\$103.800	(Cost on	CP =	\$71.500)
	Number of	Critical	Path(s)	=	1			

Para realizar un análisis de choque como el ya visto, seleccionamos la opción *Perform crashing Analysis* del menú *Solve y Analyze*, lo que nos lleva a un resultado semejante al obtenido por programación lineal. Veremos tres costos: el de la reducción a 47 semanas, el original y el nuevo costo. En las siguientes figuras vemos la selección de la opción y la carga de la pantalla inicial:

		Predecessor (list separated by ',')	Normal Time
1	A		30
2	B	A	6
3	C	B,G	4

Crashing Analysis

Crashing Option

Meeting the desired completion time

Meeting the desired budget cost

Finding the minimum cost schedule

Project completion time and cost based on normal time: **55 weeks**
\$85.500

Project completion time and cost based on crash time: **46 weeks**
\$103.800

Desired completion time:

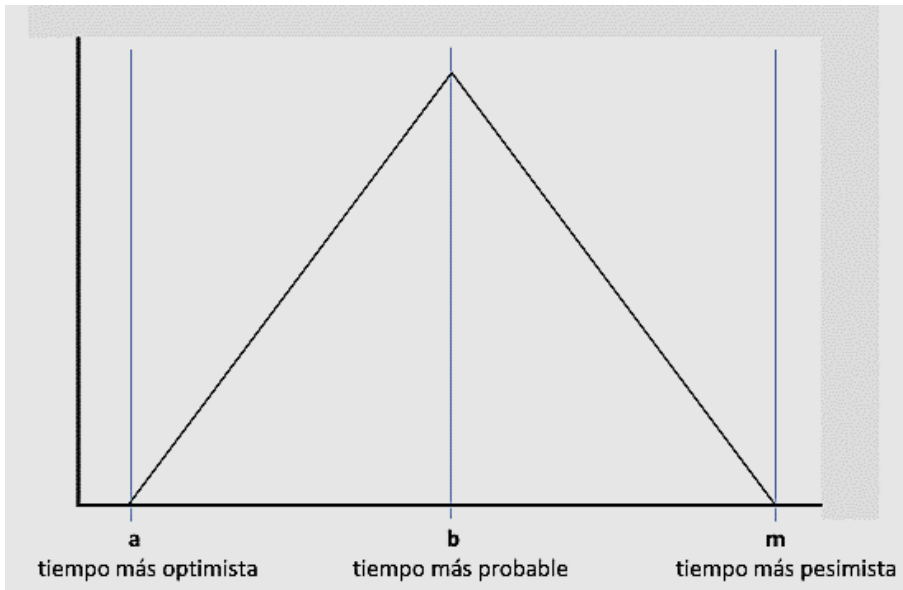
Late penalty per week:

Early reward per week:

En la pantalla de opciones de choque, lo único que haremos será seleccionar el tiempo deseado, 47, pero ahí mismo ya disponemos información sobre el tiempo y costo normal y sobre el choque máximo y su costo. Una vez que aceptamos, veremos el informe de la aceleración que estamos deseando (figura siguiente).

07-17-2002 12:28:18	Activity Name	Critical Path	Normal Time	Crash Time	Suggested Time	Additional Cost	Normal Cost	Suggested Cost
1	A	Yes	30	26	26	\$4.000	\$5.000	\$9.000
2	B	no	6	4	6	0	\$6.000	\$6.000
3	C	no	4	3	4	0	\$10.000	\$10.000
4	D	Yes	5	3	5	0	\$5.000	\$5.000
5	E	Yes	10	7	8	\$1.200	\$4.500	\$5.700
6	F	Yes	8	6	6	\$2.500	\$20.000	\$22.500
7	G	Yes	14	12	13	\$2.500	\$10.000	\$12.500
8	H	Yes	2	2	2	0	\$25.000	\$25.000
	Overall Project:				47	\$10.200	\$85.500	\$95.700

es esa distribución puede ser un dato difícil (o imposible) de obtener, e implicaría conocer muchos antecedentes o asumir algún tipo, por ejemplo, normal, o alguna similar, y así y todo habría que conocer la media y la varianza que la caracterizan. Para simplificar el tema, en los casos en que no se disponen estos datos suele usarse una distribución conocida que razonablemente se ajusta a la realidad y que no requiere tanta precisión, como la distribución beta, o, más comúnmente una distribución de tres tiempos:



Se deben obtener tres estimaciones de tiempo para cada tarea:

- tiempo más optimista (**a**), o el tiempo más corto en que la tarea puede hacerse
- tiempo más pesimista (**b**), dentro de un lapso razonable, lo más que se puede tardar en hacer una tarea
- tiempo más probable (**m**), es el tiempo en que con más frecuencia se sabe que se realiza la tarea.

Con estos datos podremos fácilmente calcular el Tiempo esperado: t_e y desviación estándar s para cada tarea, de la siguiente manera:

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

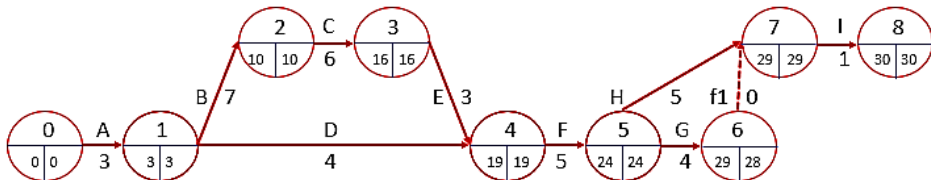
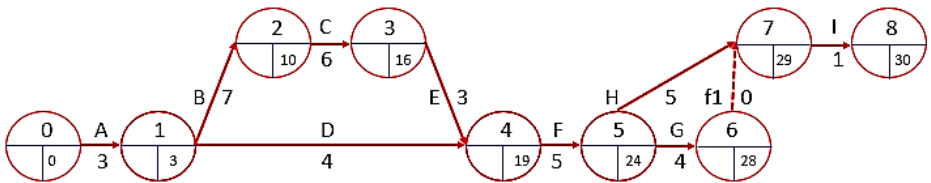
$$s = \frac{b - a}{6}$$

De esta manera, y sabiendo los datos necesarios (el **a**, **b** y **m** de cada tarea), la tabla anterior se convierte en:

TAREA	DESCRIPCIÓN	PREDECESORAS	a	m	b	te	s
A	CIMIENTOS	NINGUNA	2	3	4	3	0,333
B	ESTRUCTURA H° A°	A	4	7,5	8	7	0,667
C	TECHOS	B	3	5,5	11	6	1,333
D	PLOMERÍA	A	2,5	4	5,5	4	0,500
E	INSTALACIÓN ELECTRICA	C	2	3	4	3	0,333
F	CARPINTERÍA	D,E	3	5	7	5	0,667
G	REVOQUES INTERIORES	F	3	3,5	7	4	0,667
H	REVOQUES Y REVESTIM EXTERNOS	F	2	5	8	5	1,000
I	INSPECCIÓN	G,H	1	1	1	1	0,000

Cálculo de tiempo de terminación usando t_e

De la misma manera que lo calculamos con CPM, vamos a calcular ahora la duración del proyecto, pero usando el **te**. Consideramos, solamente para esto, al tiempo esperado como un tiempo determinístico.



Utilizando WinQSB vemos que coincide con nuestro diagrama en que el tiempo de terminación del proyecto es de 30 semanas, con una desviación estándar **s** de 1,972 y,

con excepción de las tareas D, G y f1, todas las demás son críticas, quedando la posibilidad de atrasar 12 semanas la D y 1 la G.

Para usar WinQSB es necesario cargar el problema con la opción *PERT* y la distribución de probabilidad por defecto “estimación por tres tiempos”, como vemos en las siguientes figuras:

Activity Number	Activity Name	Immediate Predecessor (list number/name, separated by ',')	Optimistic time (a)	Most likely time (m)	Pessimistic time (b)
1	A		2	3	4
2	B	a	4	7.5	8
3	C	b	3	5.5	11
4	D	a	2.5	4	5.5
5	E	c	2	3	4
6	F	d,e	3	5	7
7	G	f	3	3.5	7
8	H	f	2	5	8
9	I	h,g	1	1	1

Seleccionamos “*Solve and analyze*” y “*Solve the problem*” y obtendremos el siguiente reporte

07-16-2002 17:11:42	Activity Name	On Critical Path	Activity Mean Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)	Activity Time Distribution	Standard Deviation
1	A	Yes	3	0	3	0	3	0	3-Time estimate	0,3333
2	B	Yes	7	3	10	3	10	0	3-Time estimate	0,6667
3	C	Yes	6	10	16	10	16	0	3-Time estimate	1,3333
4	D	no	4	3	7	15	19	12	3-Time estimate	0,5
5	E	Yes	3	16	19	16	19	0	3-Time estimate	0,3333
6	F	Yes	5	19	24	19	24	0	3-Time estimate	0,6667
7	G	no	4	24	28	25	29	1	3-Time estimate	0,6667
8	H	Yes	5	24	29	24	29	0	3-Time estimate	1
9	I	Yes	1	29	30	29	30	0	3-Time estimate	0
	Project	Completion	Time	=	30	weeks				
	Number of	Critical	Path(s)	=	1					

Si accedemos al menú *resultados* y seleccionamos que muestre el camino crítico, podremos ver que en la última línea aparece el valor de la desviación estándar del proyecto.

07-16-2002	Critical Path 1
1	A
2	B
3	C
4	E
5	F
6	H
7	I
Completion Time	30
Std. Dev.	1,97

Probabilidad del tiempo de terminación

El tiempo que acabamos de calcular es el tiempo esperado, pero sabemos que el tiempo de terminación general del proyecto puede variar porque los tiempos de las tareas son efectivamente probables y no determinísticos. Podríamos querer conocer la probabilidad de que la obra se finalice en otro momento.

Para eso deberíamos saber qué tipo de distribución de probabilidades tiene el tiempo de terminación del proyecto, lo que es, nuevamente, muy difícil, por lo que vamos a aproximarlos a una distribución normal, suponiendo que:

1. Las tareas que resultaron críticas utilizando los **te** siguen siendo críticas, aunque varíen los tiempos de terminación reales de esas tareas.
Esta suposición puede ser aplicable o no. Por ejemplo, en el caso anterior, si los tiempos reales de todas las tareas son los tiempos esperados pero la

actividad G en lugar de 4 semanas requirió 6, entonces la actividad G ahora es crítica y la actividad H ya no lo es. Lo que ocurre es que cambió el camino crítico.

2. El tiempo de finalización de cualquier tarea es independiente de los demás tiempos de terminación aplicados a las diferentes tareas.

Entonces:

t_e del proyecto = suma de todos los t_e de cada tarea crítica

varianza s^2 del tiempo de terminación del proyecto = suma de las varianzas de los t_e de las tareas críticas

aplicando esto a lo que estamos desarrollando en el ejemplo, tendremos:

$$t_e = t_{eA} + t_{eB} + t_{eC} + t_{eE} + t_{eF} + t_{eH} + t_{eI} = 3 + 7 + 6 + 3 + 5 + 5 + 1 = 30$$

$$s^2 = s_A^2 + s_B^2 + s_C^2 + s_E^2 + s_F^2 + s_H^2 + s_I^2 =$$

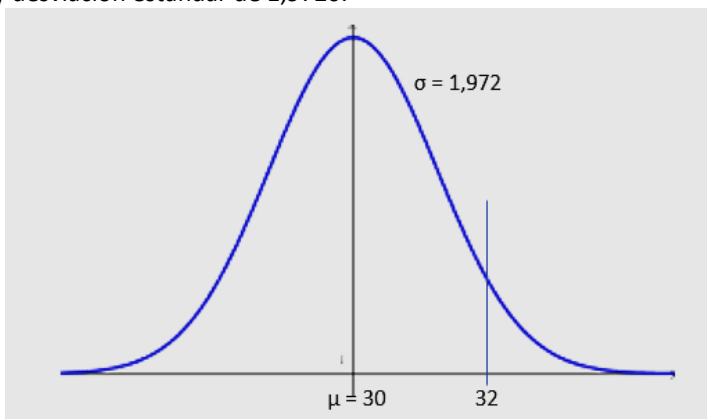
$$s^2 = 0,333^2 + 0,667^2 + 1,333^2 + 0,333^2 + 0,667^2 + 1,000^2 + 0^2 = 3,889$$

$$s^2 = 3,889 \text{ y desviación estándar } s = s^{1/2} = (3,889)^{1/2} = 1,9720$$

En el caso que el proyecto tenga más de un camino crítico debe elegirse aquel que tiene la varianza mayor.

3. El tiempo de finalización tiene una distribución normal con media y desviación estándar según lo calculado en la suposición anterior.

Por tanto, el proyecto que se desarrolla tiene una distribución normal con media en 30 semanas y desviación estándar de 1,9720.



Supongamos, para ver la utilidad del método, que nos soliciten que informemos:

- a) La probabilidad de finalizar la obra en 32 semanas;

b) El tiempo de finalización de la obra con un 95 % de confianza.

Para responder estos requerimientos, podremos hacer lo siguiente:

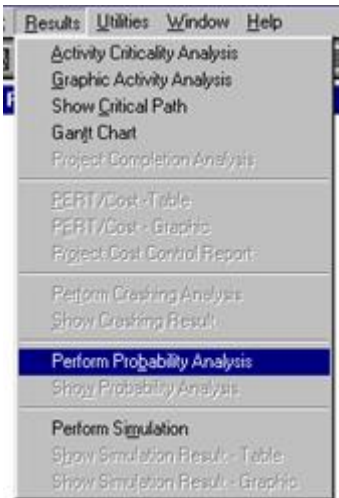
Para el pedido a): encontraremos el área a la izquierda de 32 en una curva de distribución normal con media 30 y desviación estándar de 1,972. (Por razones de claridad usaremos como desviación estándar el símbolo σ – poblacional – en lugar de s)

$$z = \frac{32 - \mu}{\sigma} = \frac{32 - 30}{1,972} = 1,014$$

Si acudimos a una **tabla de distribución normal**, encontraremos:

Z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,0000	0,0040	0,0080	0,0120	0,0160	0,0200	0,0239	0,0279	0,0319	0,0359
0,1	0,0447	0,0487	0,0526	0,0564	0,0603	0,0641	0,0679	0,0716	0,0753	0,0790
0,2	0,0779	0,0815	0,0851	0,0887	0,0922	0,0957	0,0991	0,1025	0,1059	0,1093
0,3	0,1159	0,1193	0,1227	0,1261	0,1295	0,1328	0,1361	0,1394	0,1427	0,1459
0,4	0,1554	0,1587	0,1620	0,1652	0,1684	0,1715	0,1746	0,1776	0,1807	0,1837
0,5	0,1943	0,1971	0,1999	0,2026	0,2053	0,2079	0,2106	0,2132	0,2158	0,2183
0,6	0,2278	0,2304	0,2329	0,2354	0,2379	0,2403	0,2427	0,2451	0,2475	0,2499
0,7	0,2619	0,2643	0,2667	0,2690	0,2713	0,2735	0,2757	0,2778	0,2799	0,2819
0,8	0,2939	0,2959	0,2978	0,2997	0,3015	0,3033	0,3051	0,3068	0,3085	0,3102
0,9	0,3159	0,3186	0,3212	0,3238	0,3264	0,3289	0,3315	0,3340	0,3365	0,3389
1,0	0,3413	0,3438	0,3461	0,3485	0,3508	0,3531	0,3554	0,3577	0,3599	0,3621

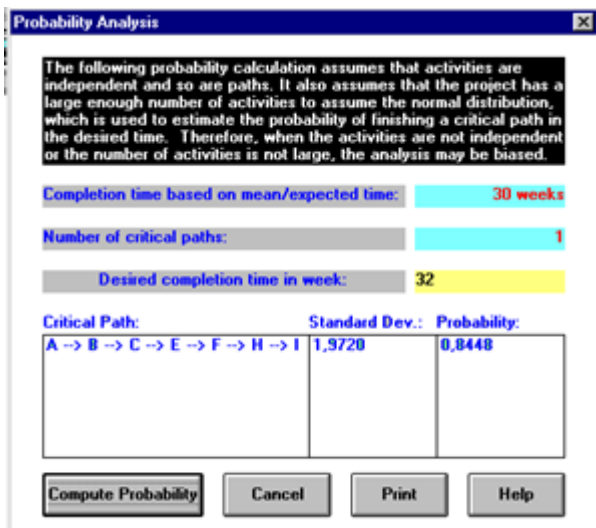
Allí obtendremos, interpolando, el valor 0,3447, que representa el área bajo la curva en el tramo (z — media), por lo que corresponde que sumemos el correspondiente al área a la izquierda de la media, que no es otra cosa que la probabilidad de la media (30 días). En concreto: 0,5 + 0,3447 = 0,8447. Por tanto, la probabilidad de construir en 32 semanas es del 84,47%.



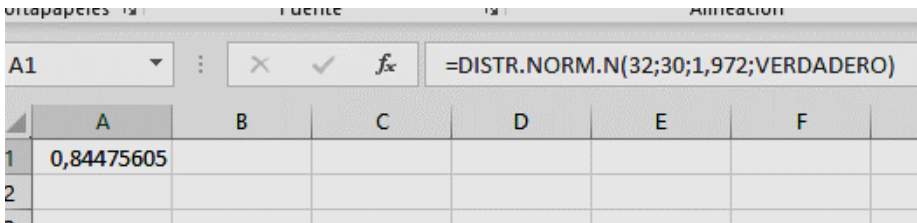
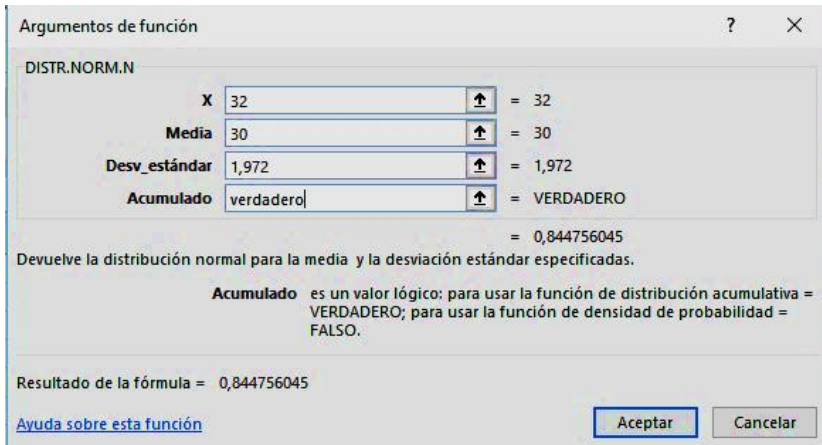
Este análisis lo podemos hacer en nuestra computadora, ya sea con WinQSB o con una hoja de cálculo.

En WinQSB usamos el menú *resultados* y seleccionamos *análisis probabilístico*.

Una vez hecho esto, aparecerá un cuadro de diálogo, en el cual vemos datos como el camino crítico, la desviación estándar y la probabilidad de terminar en 32 semanas. Para ver estos datos lo único que se necesita es ingresar el valor deseado (32, en este caso) en el campo señalado como “Desired completion time in (unidad de tiempo)” y haciendo luego clic en el botón “Compute Probability”:

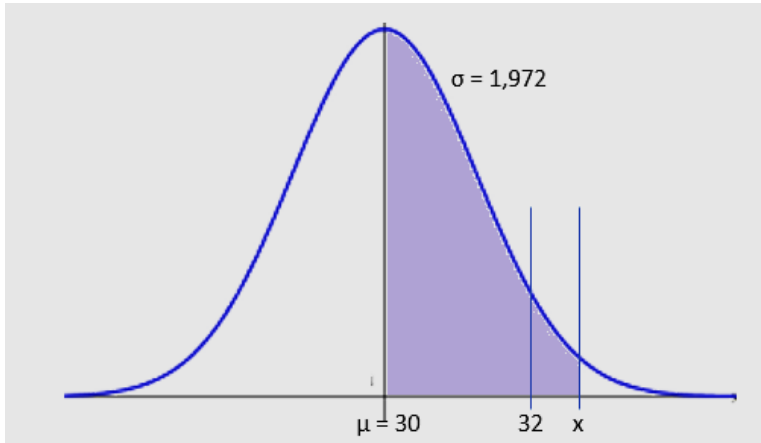


Si optamos por hoja de cálculo, usaremos la función DISTR.NORM.N (DISTR.NORM)



donde el primer parámetro es el tiempo buscado (32), el segundo es la media (30), el tercero es la desviación estándar (1,972) y un parámetro lógico que permite obtener la probabilidad acumulada.

Para el pedido b) deberemos determinar el punto x donde el área bajo la curva de distribución normal a la izquierda es de 0,95. Para eso, en una tabla de distribución normal buscaremos el valor que corresponde a 95%, 0,95. Como la tabla se maneja con el intervalo por encima de la media, debemos buscar, en realidad $0,95 - 0,5 = 0,45$. El valor que corresponde a 0,45 será $z = 1,645$.



$$z = 1,645 = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{x - 30}{1,972}$$

$$x = 1,972 \times 1,645 + 30 = 33,24$$

significa que podemos informar con 95% de confianza que la obra finaliza en 33,24 semanas.

Si acudimos a una hoja de cálculo, empleando la función DISTR.NORM.INV (INV.NORM), deberíamos ingresar el valor de la media, de la desviación estándar y de la probabilidad deseada:

:nes Formas SmartArt Captura Columna Line	
ñadas	
Ilustraciones	
f_x	=INV.NORM(0,95;30;1,972)
D	E F G H I J

Podríamos aprovechar la hoja de cálculo para construir una planilla como la que vemos en la siguiente figura:

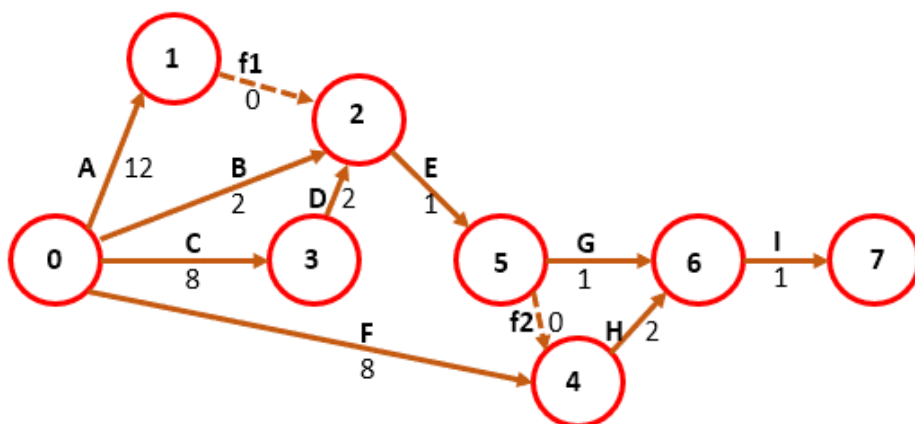
= =DISTR.NORM.INV(B14;30;1,972)			
B	C	D	
Probabilidad	Tiempo en semanas		
0,5	30		
0,55	30,2478044		
0,6	30,4995994		
0,65	30,7598532		
0,7	31,0341188		
0,75	31,330095		
0,8	31,6596774		
0,85	32,0438456		
0,9	32,5272182		
0,95	33,2436501		

Ejemplo integrador

Se firma un contrato para realizar un clip con dibujos animados que contiene una secuencia inicial con imágenes de los artistas. Las tareas que hay que llevar a cabo son:

TAREA	DESCRIPCIÓN	PREDECESORES	TIEMPO (s)
A	Hacer la animación	-	12
B	Preparar títulos	-	2
C	Instrumentar la música	-	8
D	Grabar la música	C	2
E	Mezclar música y animación	A,B,D	1
F	Preparar la secuencia inicial	-	8
G	preparar un corto publicitario	E	1
H	Editar	E,F	2
I	Hacer las copias	G,H	1

Dibujamos el modelo de red y con WinQSB obtenemos la solución:



or integrador (Using Normal Time)

07-17-2002 12:46:05	Activity Name	On Critical Path	Activity Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)
1	A	Yes	12	0	12	0	12	0
2	B	no	2	0	2	10	12	10
3	C	no	8	0	8	2	10	2
4	D	no	2	8	10	10	12	2
5	E	Yes	1	12	13	12	13	0
6	F	no	8	0	8	5	13	5
7	G	no	1	13	14	14	15	1
8	H	Yes	2	13	15	13	15	0
9	I	Yes	1	15	16	15	16	0
	Project	Completion	Time	=	16	weeks		
	Total	Cost of	Project	=	0	(Cost on CP =	0)	
	Number of	Critical	Path(s)	=	1			

Análisis administrativo

Se supone que la empresa decide invertir \$ 7500 adicionales para acortar el tiempo de realización del clip, entonces necesitamos recolectar nuevos datos para poder hacer un análisis de choque⁴.

⁴ Problema extractado de "Investigación de Operaciones", Daniel Solow, McGrawHill.

TAREA	DESCRIPCIÓN	Tiempo Normal	Tiempo de Choque	Costo de choque (\$/s)
A	Hacer la animación	12	10	5000
B	Preparar títulos	2	1	1000
C	Instrumentar la música	8	6	1500
D	Grabar la música	2	1	1000
E	Mezclar música y animación	1	1	-
F	Preparar la secuencia inicial	8	4	2000
G	preparar un corto publicitario	1	1	-
H	Editar	2	1	500
I	Hacer las copias	1	1	-

Con lo que hemos aprendido hasta ahora podemos saber el costo de adelantar, que es diferente a saber cuánto adelantar dentro de un presupuesto dado. Para resolver esto disponemos de dos técnicas.

Técnica 1. Choque con análisis paramétrico

Para comenzar, formularemos el modelo de choque habitual con un tiempo de terminación en 16 semanas, usando el modelo lineal siguiente:

$$\text{Minimizar: } 5000 Y_A + 1000 Y_B + 1500 Y_C + 1000 Y_D + 0 Y_E + 2000 Y_F + 0 Y_G + 500 Y_H + 0 Y_I$$

Sujeto a restricciones de:

límite:

$$Y_j \geq 0, \text{ para todo } j=A, B, \dots, I$$

$$Y_A \leq 2$$

$$Y_B \leq 1$$

$$Y_C \leq 2$$

$$Y_D \leq 1$$

$$Y_E \leq 0$$

$$Y_F \leq 4$$

$$Y_G \leq 0$$

$$Y_H \leq 1$$

$$Y_I \leq 0$$

de inicio y final

$$X_0 = 0$$

$$X_7 \leq 16$$

de nodos:

$$X_1 \geq X_0 + (12 - Y_A)$$

$$X_2 \geq X_0 + (2 - Y_B)$$

$$X_2 \geq X_3 + (2 - Y_D)$$

$$X_2 \geq X_1 + 0$$

$$X_3 \geq X_0 + (8 - Y_C)$$

$$X_4 \geq X_5 + 0$$

$$X_4 \geq X_0 + (8 - Y_F)$$

$$X_5 \geq X_2 + (1 - Y_E)$$

$$X_6 \geq X_5 + (1 - Y_G)$$

$$X_6 \geq X_4 + (2 - Y_H)$$

$$X_7 \geq X_6 + (1 - Y_I)$$

lógicas

$$X_i \geq 0 \text{ para todo } i=0,1,\dots,7$$

El siguiente paso será resolver el modelo, que en este caso encontramos que, con 16 semanas, ninguna tarea necesita acortarse

Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Bas
YA	0	5.000,0000	0	5.000,0000	at b
YB	0	1.000,0000	0	1.000,0000	at b
YC	0	1.500,0000	0	1.500,0000	at b
YD	0	1.000,0000	0	1.000,0000	at b
YE	0	0	0	0	ba
YF	0	2.000,0000	0	2.000,0000	at b
YG	0	0	0	0	at b
YH	0	500,0000	0	500,0000	at b
YI	0	0	0	0	ba
X0	0	0	0	0	ba
X1	12,0000	0	0	0	ba
X2	12,0000	0	0	0	ba
X3	8,0000	0	0	0	ba
X4	13,0000	0	0	0	ba
X5	13,0000	0	0	0	ba
X6	15,0000	0	0	0	ba
X7	16,0000	0	0	0	ba
Objective	Function	(Min.) =	0	(Note:	Alte

Luego buscamos el informe de análisis paramétrico sobre la restricción “Tiempo de Terminación” (restricción 22 en nuestro ejemplo)

Parametric Analysis for LP Sample Problem -- Right-Hand-Side							
Range	From RHS of C22	To RHS of C22	From OBJ Value	To OBJ Value	Slope	Leaving Variable	Entering Variable
1	16,0000	M	0	0	0		
2	16,0000	16,0000	0	0	0	Slack_C22	YH
3	16,0000	15,0000	0	500,0000	-5,000,0000	Slack_C8	YA
4	15,0000	13,0000	500,0000	10,500,0000	-5,000,0000	Slack_C1	
5	13,0000	-Infinity	Infeasible				

Con el informe creamos un diagrama de equilibrio costo — tiempo. Para encontrar el tiempo de terminación t que se logra con \$ 7500, revisamos el informe y comprobamos que 13 semanas cuestan \$ 10.500 adicionales mientras que 15 semanas cuestan \$ 5.000. Como el t deseado está entre esos dos valores, usaremos el precio sombra del intervalo 13 — 15 que es de —5000.

El costo adicional por cualquier tiempo t de ese intervalo será

$$\text{Costo adicional} = 10500 + (t - 13) * (-5000)$$

De donde despejamos $t = 13,6$

lo que significa que, con \$ 7500 extra se puede realizar el proyecto en 13,6 semanas, pero no sabemos cuáles son las tareas que debemos acortar. Una forma de averiguarlo es cambiar la restricción de finalización (C_{22} en la figura), y resolver de nuevo.

Comprobamos así que la tarea A y la tarea H deben ser acortadas en 1,4 y 1 semana, respectivamente.

Combined Report for LP Sample Problem					
13:35:51		17/07/2002 13:35:51 p.m.	17/07/2002 13:35:51 p.m.	17/07/2002 13:35:51 p.m.	17/07/2002
Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	B. St
YA	1,4000	5,000,0000	6,999,9980	0	bi
YB	0	1,000,0000	0	1,000,0000	at b
YC	0	1,500,0000	0	1,500,0000	at b
YD	0	1,000,0000	0	1,000,0000	at b
YE	0	0	0	0	bi
YF	0	2,000,0000	0	2,000,0000	at b
YG	0	0	0	0	bi
YH	1,0000	500,0000	500,0000	0	bi
YI	0	0	0	0	bi
X0	0	0	0	0	bi
X1	10,6000	0	0	0	bi
X2	10,6000	0	0	0	bi
X3	8,0000	0	0	0	bi
X4	11,6000	0	0	0	bi
X5	11,6000	0	0	0	bi
X6	12,6000	0	0	0	bi
X7	13,6000	0	0	0	bi
Objective	Function	(Min.) =	7,499,9980	(Note:	Alte

Técnica 2. modificar el modelo

Para esta técnica comenzamos por plantear un modelo nuevo donde el objetivo sea minimizar el tiempo de terminación del proyecto, X_7 y le agregamos una nueva restricción que asegure que los costos totales de choque no superen los \$ 7500.

De esta manera el problema se replantea así:

Minimizar: X_7

Sujeto a restricciones de:

Presupuesto

$$5000 Y_A + 1000 Y_B + 1500 Y_C + 1000 Y_D + 0 Y_E + 2000 Y_F + 0 Y_G + 500 Y_H + 0 Y_I \leq 7500$$

límite:

$Y_j \geq 0$ para todo $j=A, B, \dots, I$	$Y_A \leq 2$
$Y_B \leq 1$	$Y_C \leq 2$
$Y_D \leq 1$	$Y_E \leq 0$
$Y_F \leq 4$	$Y_G \leq 0$
$Y_H \leq 1$	$Y_I \leq 0$

de inicio

$$X_0 = 0$$

de nodos:

$X_1 \geq X_0 + (12 - Y_A)$	$X_2 \geq X_0 + (2 - Y_B)$
$X_2 \geq X_3 + (2 - Y_D)$	$X_2 \geq X_1 + 0$
$X_3 \geq X_0 + (8 - Y_C)$	$X_4 \geq X_5 + 0$
$X_4 \geq X_0 + (8 - Y_F)$	$X_5 \geq X_2 + (1 - Y_E)$
$X_6 \geq X_5 + (1 - Y_G)$	$X_6 \geq X_4 + (2 - Y_H)$
$X_7 \geq X_6 + (1 - Y_I)$	

lógicas

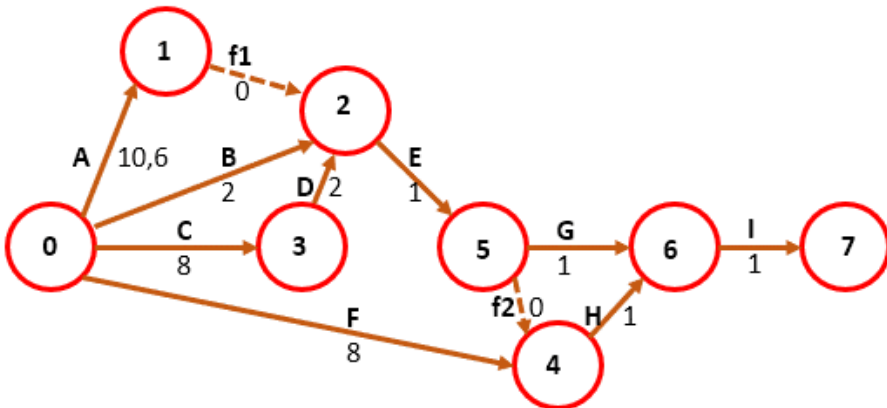
$$X_i \geq 0, \text{ para todo } i=0, 1, \dots, 7$$

La solución que se obtiene es:

Combined Report for LP Sample Problem					
	13:40:51	17/07/2002 13:40:51 p.m.	17/07/2002 13:40:51 p.m.	17/07/2002 13:40:51 p.m.	17/07/2002 13:40:51 p.m.
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost
1	YA	1,4000	0	0	0
2	YB	0	0	0	0,2000
3	YC	0	0	0	0,3000
4	YD	0	0	0	0,2000
5	YE	0	0	0	0
6	YF	0	0	0	0,4000
7	YG	0	0	0	0
8	YH	1,0000	0	0	0
9	YI	0	0	0	0
10	X0	0	0	0	0
11	X1	10,6000	0	0	0
12	X2	10,6000	0	0	0
13	X3	8,0000	0	0	0
14	X4	11,6000	0	0	0
15	X5	11,6000	0	0	0
16	X6	12,6000	0	0	0
17	X7	13,6000	1,0000	13,6000	0
	Objective Function		(Min.) =	13,6000	(Note:

Podemos observar que esta solución es coincidente con la del método anterior: tanto la tarea A como la H son óptimas para acortar el proyecto con un costo de \$ 7500.

Nueva red y camino crítico



Al tener un tiempo de terminación fijado ahora en 13,6 semanas resultado del acortamiento de las actividades A y H, modificaremos la red primitiva usando esos nuevos tiempos y habrá que resolverla nuevamente.

Podemos hacerlo sabiendo el valor que hemos obtenido para las variables X . Por ejemplo, en el listado, X_4 tiene un valor de 11,6 semanas, que indica el momento en que puede comenzar H. También puede obtenerse un resultado mediante la utilidad PERT-CPM, cuya salida nos dice que las actividades A, E, G, H, I son críticas.

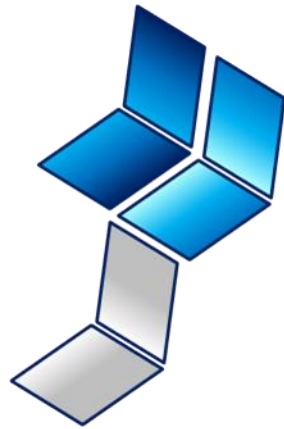
Grado de avance de un proyecto

Cuando el proyecto ya está en marcha, disponemos de herramientas que nos sirven para monitorear el avance y cambios necesarios que se producen en los proyectos.

A medida que el proyecto se desarrolla, obtendremos indicadores de avance. Con ellos podremos abordar nuevos diagramas de red, en los que asignaremos tiempo cero a las tareas realizadas completamente y tiempos equivalentes a los estimados para finalizar aquellas aún inconclusas. Con PERT/CPM obtendremos el tiempo restante para finalizar el proyecto y cuáles son las tareas críticas.

Los resultados darán no solo el tiempo restante, sino que sumando este al original, se obtiene el tiempo total del proyecto y una idea de costos extraordinarios por demoras.





Capítulo 15.

Uso de software en Administración de Proyectos

Más allá del muy útil y clásico (aunque, desde el punto de vista de la computación, antiguo) WinQSB, existen alternativas disponibles de software especializado en administración de proyectos. Al fin del capítulo se mencionan otras opciones, pero la discusión se centrará en dos alternativas: el clásico MS Project y el más nuevo, en versión de software libre, OpenProj. De todas maneras, WinQSB, más allá de lo señalado en cuanto a la actualización a los nuevos paradigmas, sigue siendo una de las herramientas más completas aplicables a la disciplina en general.

Microsoft Project

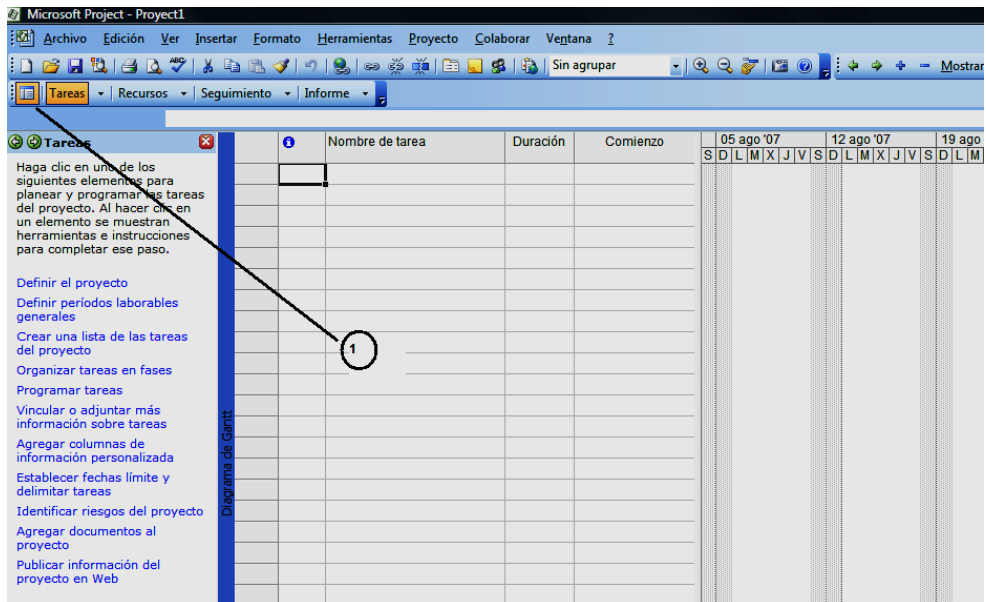
Principios generales

Project es un software dedicado a la Administración de Proyectos y forma parte de la familia MS *Office*, a pesar de lo cual debe adquirirse por separado, ya que ninguna

modalidad de office la incluye. En 2018⁵ se ofrecían dos versiones: “*Project Profesional*” y “*Project Standard*” a un precio que significa entre 10 y 20 veces el costo de la suite de los otros cuatro programas juntos de *Office*.

En general, presenta la estructura de la figura siguiente: una barra vertical, a la derecha, que puede ocultarse o no, accionando sobre el botón “1”. Esa barra se denomina “Guía de proyectos”. Los Botones que se encuentran a la derecha (“*Tareas*”, “*Recursos*”, “*Seguimiento*” e “*Informe*”), permiten ver en la Guía información pertinente.

Por otra parte, en el menú *Ver* se indican las vistas disponibles. En el caso que vemos, está seleccionada la vista *Diagrama de Gantt*, la que, generalmente, es la que se ve por defecto en el programa.

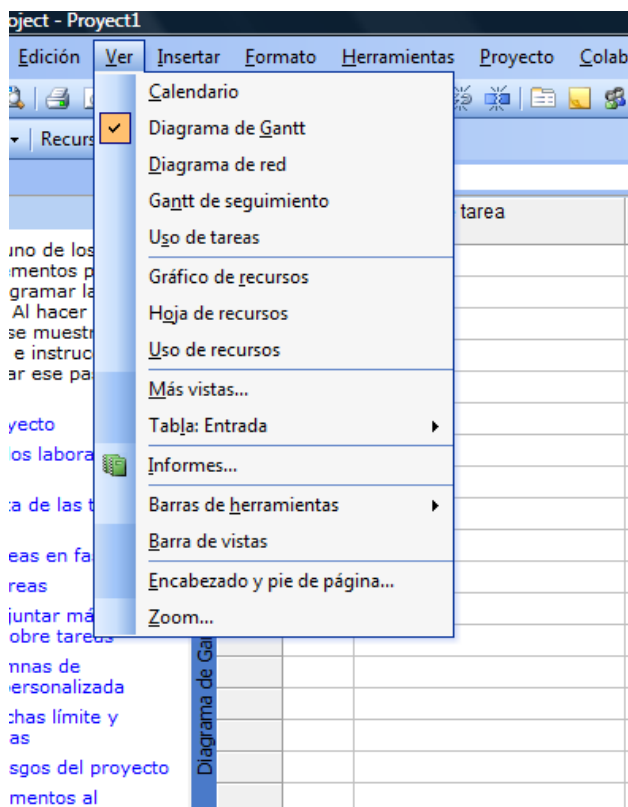


El sector izquierdo de la pantalla presenta una planilla del tipo de las que acostumbramos a usar en las hojas de cálculo, con una columna donde automáticamente *Project* asignará los números de nodo (debe tener presente que *Project* adopta la nomenclatura nodal, no en arcos), mientras nosotros ingresamos el nombre de tarea, la duración (por defecto en días, pero si ingresáramos, por ejemplo, **30s**, tomará 30 semanas), la fecha de comienzo y terminación, (generalmente estos campos no se llenan pues lo calcula el programa automáticamente), la tabla de

⁵ Fecha de redacción de este texto.

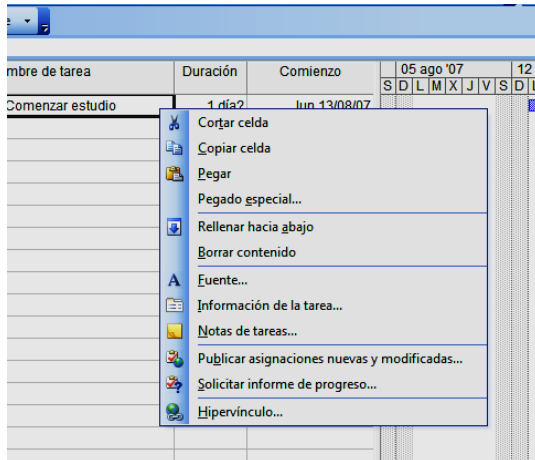
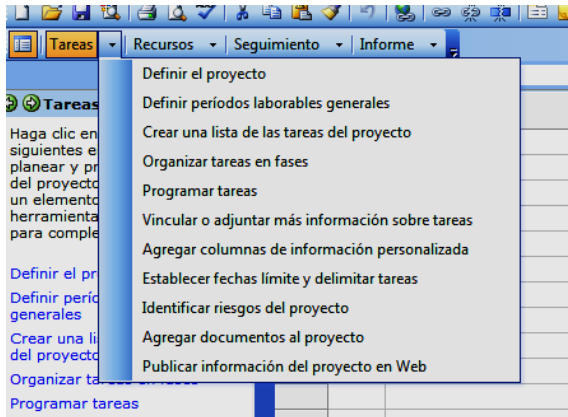
precedencia (números de nodo: si son más de uno, se los separa con comas, si no hay precedentes no se llena).

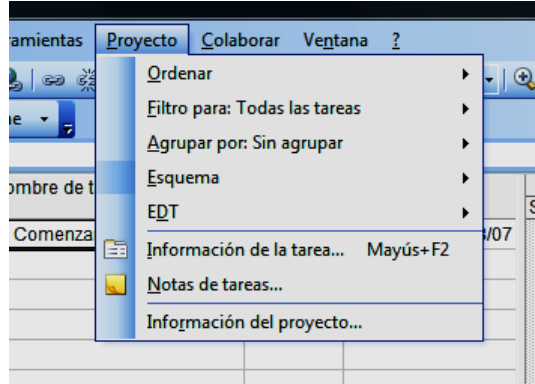
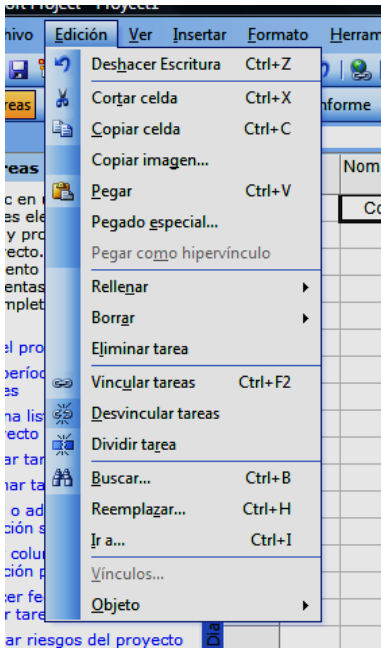
El último sector, el derecho, presentará en tiempo real un diagrama Gantt. (Generalmente, además de estar habilitada la vista “*Diagrama Gantt*”, está habilitada la tabla “*Entrada*”, por defecto).



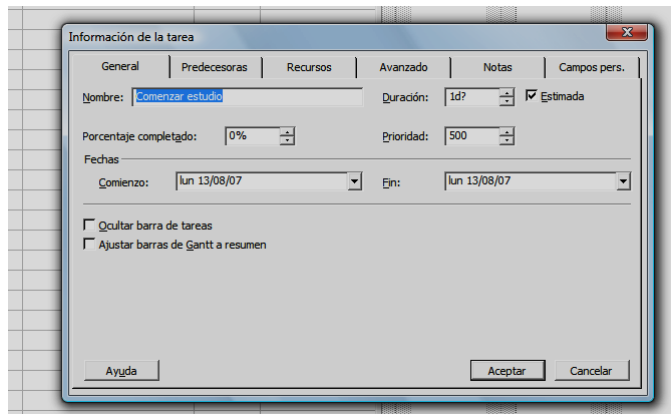
En las figuras siguientes mostramos que se puede trabajar sobre las tareas de diferente manera:

- usando el Botón “*Tareas*”,
- haciendo clic derecho sobre una tarea
- haciendo clic sobre diferentes botones,





La última opción de acceso de las figuras anteriores (menú *Proyecto*, opción *Información de la tarea*) nos permite editar varios datos sobre cada una de las tareas. Para usar esta opción nos situaremos en cualquier campo de la tarea que queremos editar, y vamos al menú. Nos aparecerá un cuadro con varias solapas. En la primera de ellas, (como vemos en la figura) está la información general y permite ir modificando el grado de avance en una posterior administración. La segunda brinda la lista de predecesoras inmediatas.



Información de la tarea

General Predecesoras Recursos Avanzado Notas

Nombre: Duración:

Predecesoras:

Id	Nombre de tarea	Tipo	Pos
1	Prep.Planos y Doc.Técnica	Fin a comienzo (FC)	0d

Escala temporal

Escala temporal Periodo no laborable

Principal

Unidades: Intervalo:

Etiqueta:

Alineación: Separadores

Secundaria

Unidades: Intervalo:

Etiqueta:

Alineación: Separadores

'01	21 ene '01	28 ene '01	04 feb '01	11 feb '01	18 feb '01	25 feb '01	04 mar '01	11 mar '01	18 mar '01	25 mar '01
1	21/01	28/01	04/02	11/02	18/02	25/02	04/03	11/03	18/03	25/03

Ampliar: % Separador de escalas

Escala de tiempo

Pulsando en el menú Formato se puede acceder al cuadro de *Escala temporal de diagrama de Gantt*, estableciendo las escalas primarias (en este caso semanas) y secundarias. En el ejemplo, vimos en las primeras figuras que el diagrama está dividido en semanas y las semanas en días. La imagen siguiente muestra el aspecto que tendría si cambiáramos a semanas divididas en semanas (se marca solo la semana).

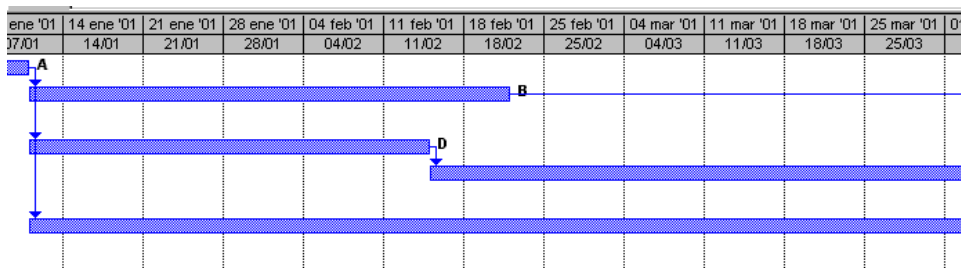
Completando la carga de datos

	1	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Nor	21 e
	1	Prep.Planos y Doc.Técnicos	30 sems	ju 15/06/00	mi 10/01/01		A	21
	2	Diseño materiales propaga	6 sems	ju 11/01/01	mi 21/02/01	1	B	21
	3	Producción Publicidad	4 sems	ju 19/04/01	mi 16/05/01	2,7		
	4	Revisión Planos y Docume	5 sems	ju 11/01/01	mi 14/02/01	1		
	5	Obra Base	10 sems	ju 15/02/01	mi 25/04/01	4		
	6	Instalación del equipo y pr	8 sems	ju 26/04/01	mi 20/06/01	5,7		
	7	Permisos y reg legales	14 sems	ju 11/01/01	mi 18/04/01	1		
	8	Cap. Operarios y vendido	2 sems	ju 17/05/01	mi 30/05/01	3,7		

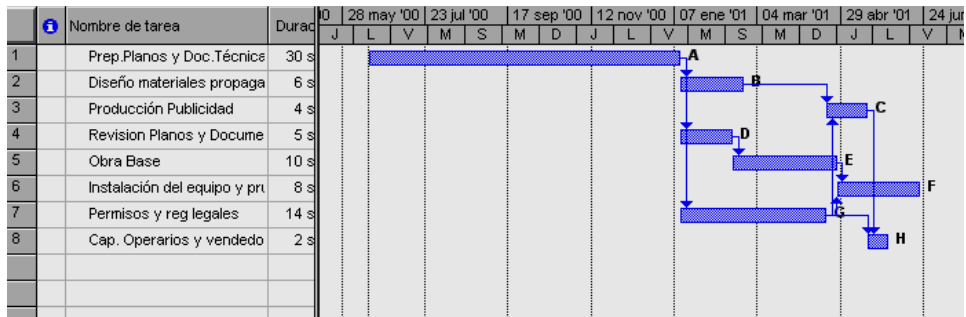
En las figuras, vemos el aspecto que presenta la tabla de carga de datos cuando esté nuestro ejemplo completo. La columna Nombre de los Recursos a la derecha se ha utilizado para asignar letras A, B, a fin de usar la misma terminología en este diagrama que en los que ya hicimos. Esta columna es útil para identificar responsables, equipos u otros recursos. Cuando se accede a este campo aparece la posibilidad de desplegar que nos permite ver la lista de todos los recursos existentes. (Flecha roja en la figura)

Predecesoras	Nombres de los recursos
1	A
1 1	B
1 2,7	C
1 1	D
1 4	E
1 5,7	F
1 1	G
1 3,7	H

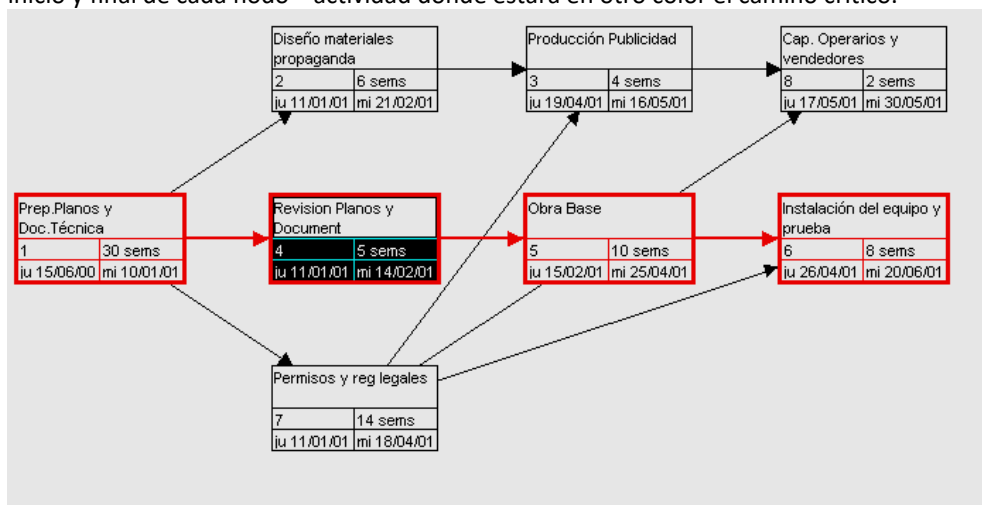
Diagrama de Gantt



Como ya lo hemos señalado, a la derecha y en forma sincrónica, va apareciendo el Diagrama de Gantt. Como generalmente no es posible ver todo el proyecto simultáneamente, dispondremos la herramienta *zoom* que está en el menú *Ver*. Si seleccionamos *Todo el Proyecto*, podremos disponer de una vista en conjunto:



Finalmente, si seleccionamos la Vista *Pert*, podremos ver un diagrama con fechas de inicio y final de cada nodo—actividad donde estará en otro color el camino crítico.

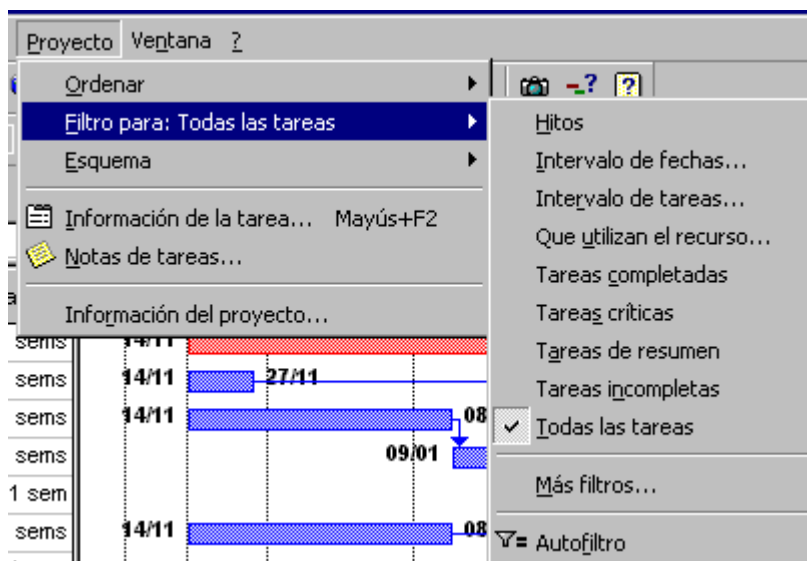


Cuando estamos en el modo “diagrama de Gantt” dispondremos, al menos, de tres alternativas más para ver el camino crítico de un proyecto, de la siguiente manera:



- 1) seleccionando el botón “Asistente para diagramas Gantt” en la barra de herramientas o en el menú “Formato”. El Paso 2 del asistente ofrece opciones para el diagrama, entre las cuales está “Ruta crítica”

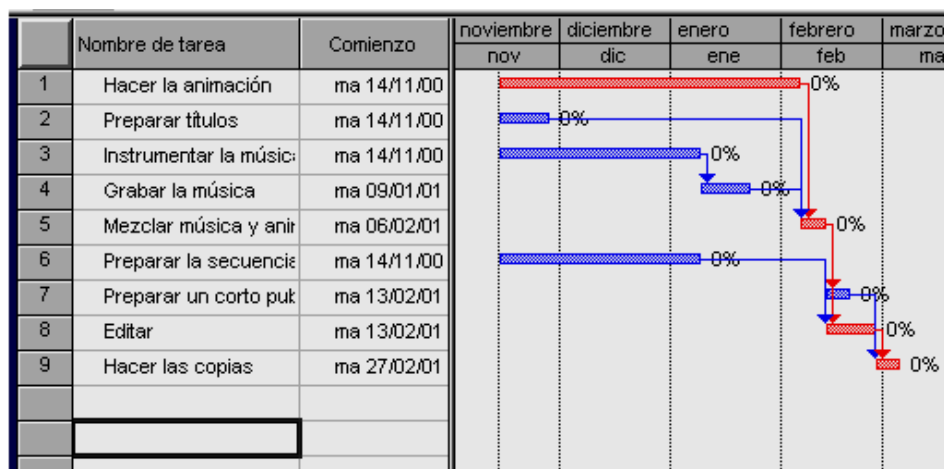


- 2) Utilizando un filtro de tareas, en el menú *Proyecto* y eligiendo *Tareas Críticas*. (Luego se puede volver a ver el esquema original siguiendo el mismo método y seleccionando *Todas Las Tareas*)



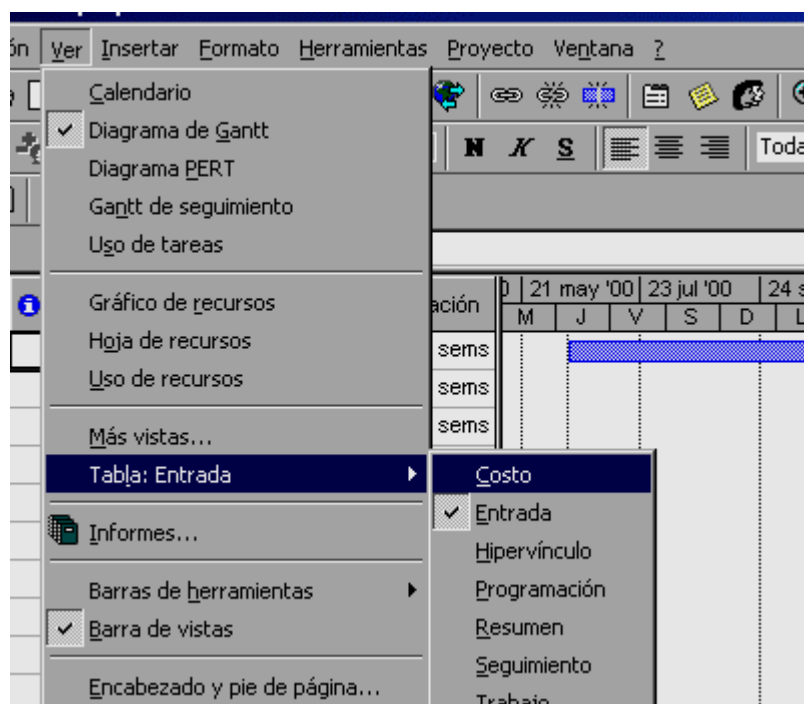
- 3) Eligiendo la modalidad "*Gantt de Seguimiento*", que nos mostrará el camino crítico y los porcentajes de avance del proyecto

Diagrama de Gantt  Diagrama PERT  Gantt de seguimiento	5	Mezclar música y anir	ma 06/02/01
	6	Preparar la secuencia	ma 14/11/00
	7	Preparar un corto puk	ma 13/02/01
	8	Editar	ma 13/02/01
	9	Hacer las copias	ma 27/02/01

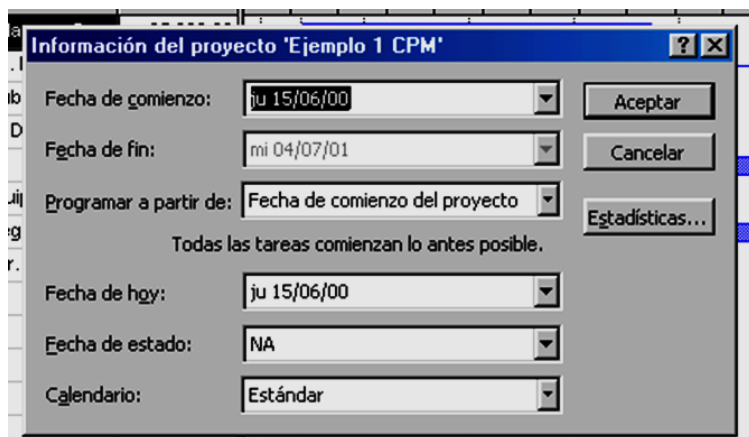


Información del proyecto y costos.

Podremos asignar un costo a cada tarea, seleccionando el menú *Ver*, la Opción *Tablas* y en ella la *tabla de Costos*.



Con todos los datos ya ingresados podremos acceder a la opción *Información del Proyecto*, que se encuentra en el menú *Proyecto*. Como puede observarse en la siguiente figura, hay un botón marcado *Estadísticas* con el cual podemos ver el costo del proyecto y datos de avance.



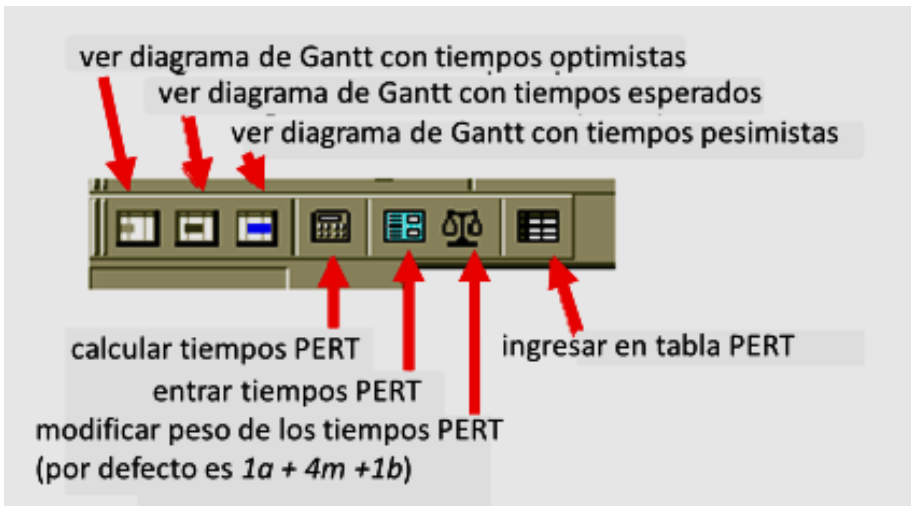
	Nombre de tarea	Costo fijo
1	Preparación Planos y Docu	\$5,000.00
2	Diseño de Mat. Propagand:	\$6,000.00
3	Producción Public	\$10,000.00
4	Rev. Planos y Docum	\$5,000.00
5	Obra base	\$4,500.00
6	Instalación Equipo y Prueb:	\$20,000.00
7	Permisos y Registros Lege	\$10,000.00
8	Capac. Operar. Y Vended	\$25,000.00

Estadísticas del proyecto "Ejemplo 1 CPM"			
	Comienzo		Fin
Actual	ju 15/06/00		mi 04/07/01
Previsto	ju 15/06/00		mi 04/07/01
Real	NA		NA
Variación	0d		0d
	Duración	Trabajo	Costo
Actual	275d	0h	\$85,500.00
Previsto	275d	0h	\$0.00
Real	0d	0h	\$0.00
Restante	275d	0h	\$85,500.00
Porcentaje completado:			
Duración: 0% Trabajo: 0%			
			Cerrar

PERT

Para utilizar el método *PERT* deberemos habilitar la *Barra de herramientas PERT*, lo que se logra buscando en el menú *Ver*, la opción *Barras de Herramientas, Análisis PERT*.

Cuando se habilita esta barra, se encuentra una colección de siete botones, mostrados en la figura,



Ingresar en tabla PERT.

Podemos comenzar cargando todos los datos, excepto el tiempo de duración, en la forma de Vista Gantt y Tabla Entrada como fue realizado hasta ahora. Una vez hecho esto, nos situamos en cada tarea y presionamos el botón “*Entrar tiempos PERT*”, con lo que aparece el cuadro de diálogo que sigue:

Entrada PERT

Nombre: Estructura HA

Duración: 0d

Duraciones

Optimista: 4

Esperada: 7,5

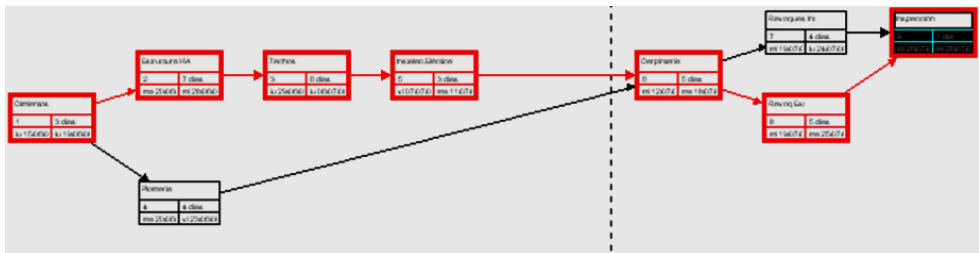
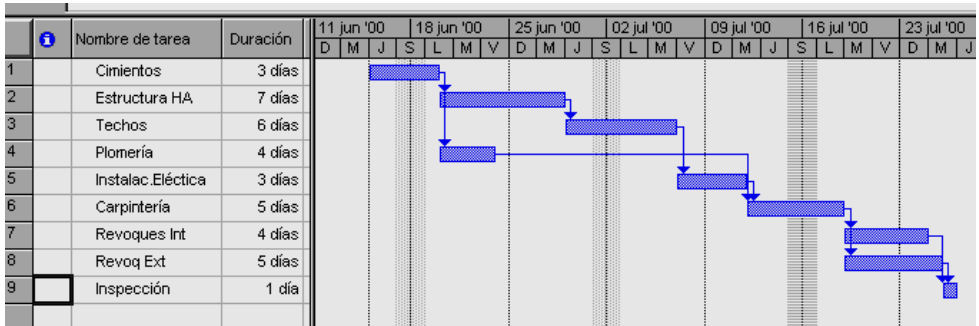
Pesimista: 8

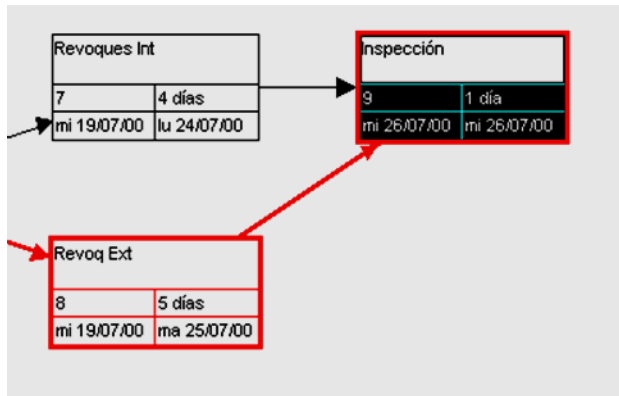
Aceptar Cancelar

Luego de aceptar la entrada usamos el botón “*Calcular PERT*”

Calcular PERT a HA	
	Nombre de tarea
1	Cimientos
2	Estructura HA

Y así para cada una de las tareas. Podemos ver que los tiempos pasan a ser los esperados para cada una de ellas y tendremos un diagrama Gantt calculado con esos tiempos. En las figuras siguientes, en el modo tabla, está seleccionada la tarea 9, Inspección, lo cual también aparece en el modo diagrama.





Duración esperada (campo de tareas)

El campo *Duración esperada* contiene el periodo de tiempo total de trabajo activo previsto para una tarea, es decir, el tiempo comprendido entre el comienzo y el final previstos de una tarea. Puede indicar la duración prevista como parte del cálculo del análisis PERT, que toma la media de las fechas y duraciones esperada, pesimista y optimista, o dejar que lo calcule Microsoft Project. Este campo sólo se encuentra disponible en la tabla *Caso esperado* o en la vista *Gantt esperada*.

Cuando se crea una tarea por primera vez, el campo *Duración esperada* no contiene valores. Cuando se indica una fecha de comienzo esperada y una fecha de fin esperada y se hace clic en *Calcular PERT* en la barra de herramientas *Análisis PERT*, se calcula una fecha de duración probable y se sitúa en el campo *Duración esperada*.

Se puede utilizar este campo en la tabla *Caso esperado* o la vista *Gantt esperada* para estimar las probabilidades de fechas de tareas. De manera predeterminada, el cálculo del análisis PERT proporciona el mayor peso (4) a la información esperada y el menor peso (1 a cada uno) a la información pesimista y optimista.

Si se diera el caso de que disponemos de varias tareas críticas para las que deseamos ver las duraciones mejores, peores y esperadas, deberemos escribir las fechas de comienzo y de fin esperadas de esas tareas, así como sus fechas de comienzo y de fin, optimistas y pesimistas y, a continuación, realizar el cálculo del análisis PERT.

Podemos cambiar la forma en que Microsoft Project calcula el promedio de las tres duraciones. Haciendo clic en *Pesos PERT* podremos poner nuevos valores para las tres duraciones estimadas, pero con la condición de que siempre esos valores (que originalmente son 1—4—1) sumen siempre seis. Debido a que los valores de peso

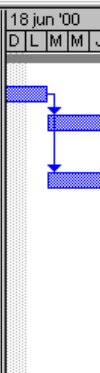
predeterminados representan desviaciones estándar de las probabilidades PERT, si se cambian los valores predeterminados es posible que las duraciones estimadas sean menos exactas. Para calcular duraciones nuevas, se hace clic en *Calcular PERT*.

Cuando Microsoft Project calcula las duraciones estimadas de las tareas, permite ver las duraciones optimistas, pesimistas y esperadas haciendo clic en *Gantt optimista*, *Gantt pesimista* y *Gantt esperado* en la barra de herramientas *Análisis PERT*.

Fechas del proyecto

Se accede rápidamente a las fechas de fin de las tres programaciones resultantes si se agrega una barra de tarea de *resumen del proyecto*. En el menú Herramientas, haciendo clic en Opciones, se elige la ficha *Vista* y, a continuación, se activa la casilla de verificación *Tarea de resumen del proyecto*.

	Nombre de tarea	Dur. esperada	Com. esperado	Fin esperado
0	Project7	30 días	ju 15/06/00	mi 26/07/00
1	Cimientos	3 días	ju 15/06/00	lu 19/06/00
2	Estructura HA	7.5 días	ma 20/06/00	ju 29/06/00
3	Techos	5.5 días	ju 29/06/00	ju 06/07/00
4	Plomería	4 días	ma 20/06/00	vi 23/06/00
5	Instalac.Eléctica	3 días	vi 07/07/00	ma 11/07/00
6	Carpintería	5 días	mi 12/07/00	ma 18/07/00
7	Revoques Int	3.5 días	mi 19/07/00	lu 24/07/00
8	Revoq Ext	5 días	mi 19/07/00	ma 25/07/00
9	Inspección	1 día	mi 26/07/00	mi 26/07/00



Project Libre (ex OpenProj)

Introducción

OpenProj era un software de código abierto desarrollado por *Serena*, cuya última versión liberada hasta 2018 fue la 1.4 y fue descargada desde <http://sourceforge.net/projects/openproj/> en 2013 y verificada en 2018. Como *Serena* posteriormente pasó a depender de *Micro Focus*, en la página openproject.org solo aparecen versiones actualizadas que funcionan en la nube o descargables, pero solamente aptas para sistemas operativos derivados de Linux (distribuciones Linux u OSX Apple). Sus precios van desde una versión gratuita a otra de alrededor de 10 Euros. Por ello se en este texto consideramos como válida la versión 1.4 mencionada, al ser la última gratuita e irrestricta.

No obstante, recientemente se liberó un producto denominado **PROJECT LIBRE**, aparentemente un derivado de OpenProj y que se puede descargar (o correr on line) desde <https://www.projectlibre.com>. Las instrucciones que siguen son para la versión 1.8.1. Este programa parece estar soportado también por *Micro Focus*, ya que se encuentra el logotipo *OpenProject* junto al de *LibreProject* en la barra superior del mismo.

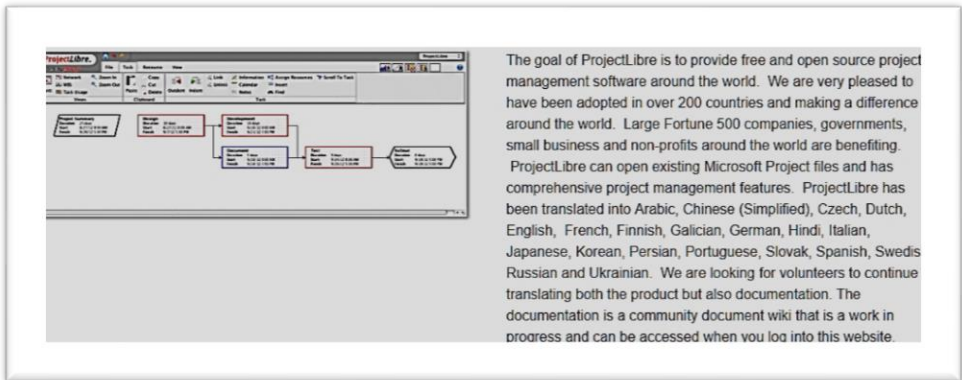
Los editores de *ProjectLibre* declaran que es compatible con *Microsoft Project 2000*. Brinda, básicamente, las mismas prestaciones y características generales.

Si bien no es objetivo de la asignatura efectuar comparaciones y mucho menos recomendaciones sobre el uso de uno u otro, consideramos recomendable que el lector acceda a opiniones externas antes de tomar la decisión de cuál va a utilizar. Un artículo encontrado en *Wikipedia* sobre *OpenProject* nos pareció valioso por su objetividad y grado de análisis, (y por la extraordinaria similitud con *Project Libre*) por lo cual transcribimos algunos pasajes:

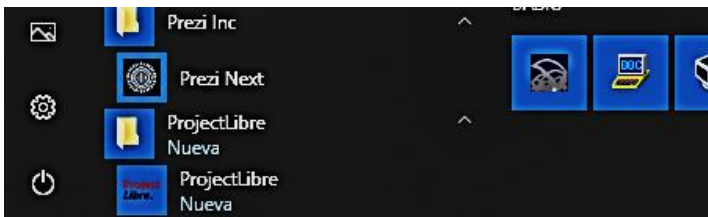
En comparación con MS Project, software al que imita, OpenProj tiene una interfaz de usuario similar y un enfoque parecido para la construcción de un plan de proyecto: crear una lista de tareas o estructura detallada con sangría (diagrama de Estructura de descomposición del trabajo, EDT), establecer las duraciones, crear vínculos (ya sea mediante (a) arrastre de ratón, (b) selección y botones, o (c) escritura manual en la columna 'predecesor'), asignar recursos. Las columnas (campos) son los mismos que para MS Project. Los usuarios de un programa deberían estar ampliamente cómodos utilizando el otro. Los costos son los mismos: trabajo, tiempo, uso de material y los costes fijos: todos éstos son proporcionados por OpenProj.

Sin embargo, existen pequeñas diferencias en la interfaz (observaciones que se aplican a la versión 1.4), que requieren alguna adaptación para quienes están familiarizados con MS Project, concretamente, (...) insertar tareas es más difícil que en MSProject y en OpenProj no se pueden crear recursos sobre la marcha (hay que crearlos en primer lugar en la hoja de recursos). También hay varias limitaciones más graves en OpenProj; la principal es la falta capacidad de MS Project de uso de informes y vistas más detalladas. Por ejemplo, aunque los campos de costo existen, no hay ninguna forma rápida para mostrarlos más que insertarlos manualmente. Esto requiere que el usuario sea relativamente avanzado: alguien que sabe lo que podrían llamarse los campos y cómo utilizarlos.

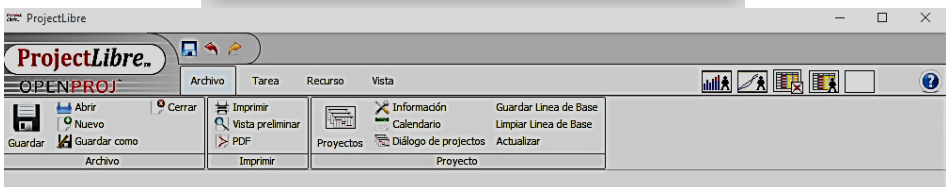
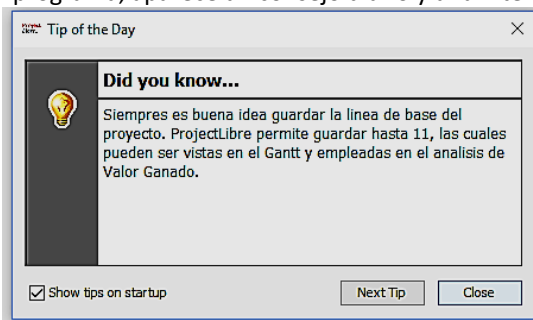
La descarga e instalación de ProjectLibre es muy sencilla y rápida. La figura siguiente corresponde a una imagen publicitaria de Project Libre en su sitio web



Abrir el programa



Cuando se inicia el programa, aparece un consejo diario y una interfaz sencilla: .

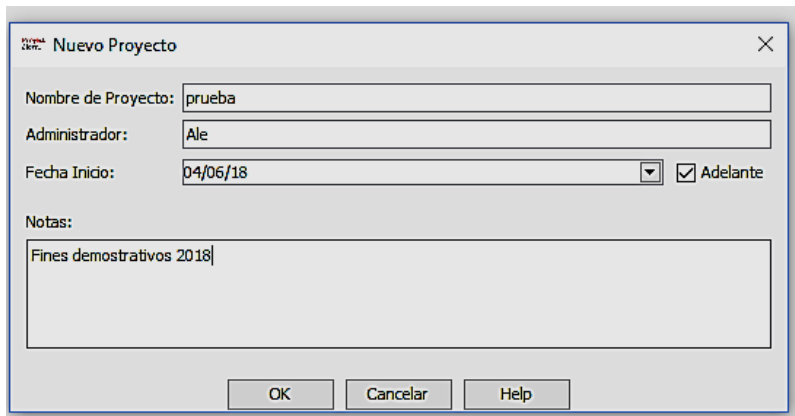


Cuando comenzamos a trabajar tendremos que optar por un nuevo proyecto o abrir desde un archivo uno existente. En la pantalla, arriba a la derecha aparecerá un listado de proyectos abiertos y cuatro accesos rápidos.



Nuevo proyecto

La carga de un nuevo proyecto es simple, solo hay que darle un nombre y una fecha de inicio, o dejar la que aparece por defecto, que es el día actual:

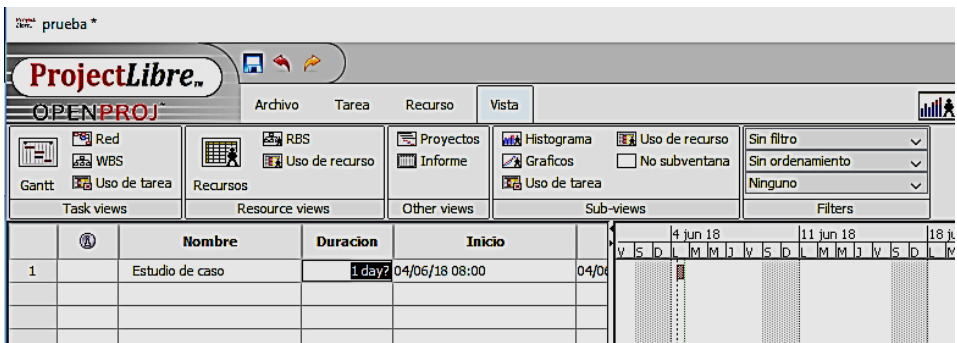


Una vez que comenzamos, generalmente aparece, por defecto, una vista “diagrama de Gantt”, a la que siempre se puede acceder fácilmente con el botón “Gantt” señalado en la figura siguiente.



Carga de tareas

En esta vista se puede comenzar a cargar cada una de las actividades del proyecto, para lo cual, simplemente escribimos el nombre de la tarea en el primer renglón de la planilla en la columna "Nombre". Veremos que aparece una duración propuesta con un signo de pregunta: *1 day?* Y una fecha de inicio que coincide con la que se colocó al definir el proyecto (por defecto, el día actual). Luego una fecha de finalización, mientras no se modifique la duración de 1 día propuesta por el programa.



Para modificar la duración de la tarea podemos ingresar cualquier valor y la unidad correspondiente, sin embargo, el programa convertirá todo a horas o a días: así es posible ingresar 4h o 4 horas, 3 d o 3 días, 1 semana etc. En cada caso la presentación, al pulsar "enter", será convertida a días, lo que el programa señala usando la palabra "day":

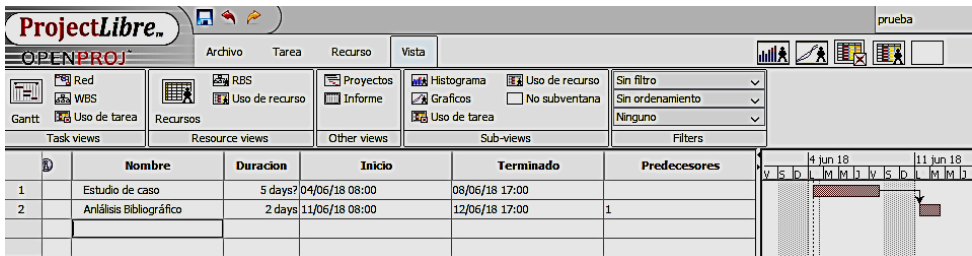
- 4 h → 0,5 day
- 8 horas → 1 day
- 3 d → 3 days

Sobre la tabla de conversión a días volveremos más adelante.

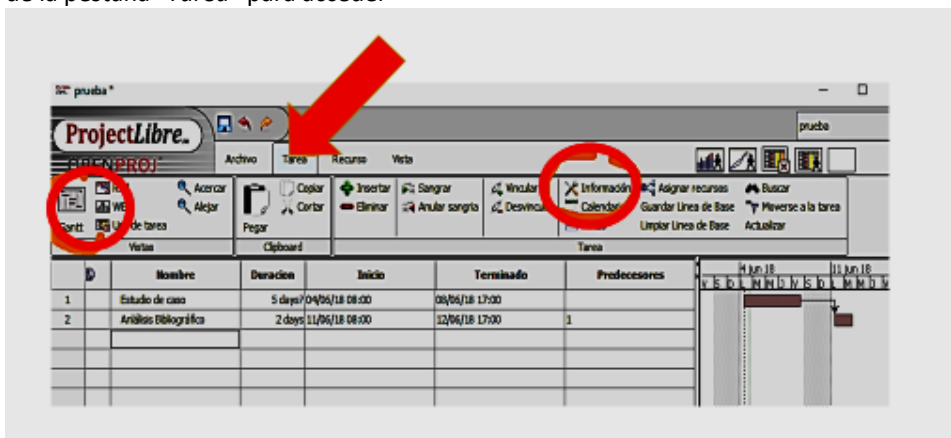
Paralelamente, a la derecha, en la ventana de diagrama Gantt comenzarán a dibujarse las barras de cada tarea cargada.

Luego ingresamos en la columna *Predecesores* el número de renglón de la o de las tareas predecesoras, separadas por punto y coma (;)





Con seleccionar cualquier celda correspondiente a una tarea, podremos hacer doble clic en ella, o – lo que nos dará el mismo resultado – hacer clic en el botón **Información** de la pestaña “Tarea” para acceder



a la información de la tarea, que podremos modificar en el mismo cuadro de diálogo. Hay varias pestañas: la primera, *información general*, nos permite ver fechas de inicio y de final, porcentaje completado, prioridad, etc. (primera figura de la página siguiente)

En la pestaña “Predecesoras” podemos ver y cambiar las predecesoras y que tipo de tarea son (por defecto todas son *Fin a Principio* – FS). (segunda figura de la página siguiente)

Dispondremos de otras pestañas que informan las tareas que siguen dependiendo de la actual, los recursos asignados y/o necesarios para esa tarea, editor de notas y comentarios. En la pestaña “Recursos” podremos asignar nuevos recursos a la tarea mediante el botón de la figura (Estos recursos deben estar declarados previamente, ver más adelante). (tercera figura de la página siguiente)

Información de Tarea - 2

General Predecesores Sucesores Recursos Adelantada Notas

Nombre: Análisis Bibliográfico

Duración: 2 days Estimada

Porcentaje completo: 0% Prioridad: 500

Costo: \$0,00 Trabajo: 16 horas

Fechas

Inicio: 11/06/18 08:00 Terminado: 12/06/18 17:00

Línea base Inicio: Línea base Final:

Cerrar Help

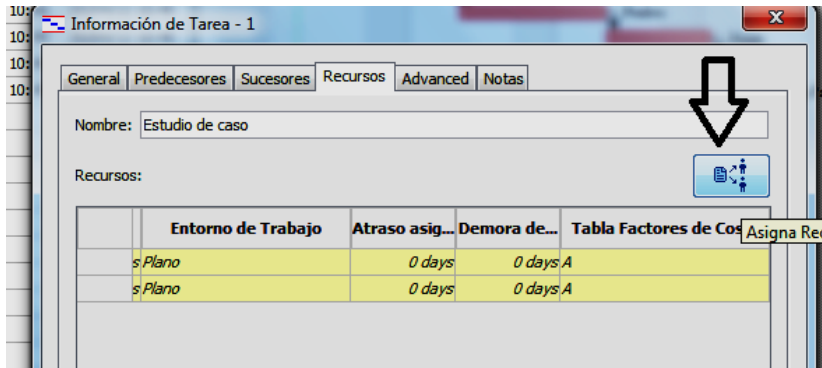
Información de Tarea - 2

General **Predecesores** Sucesores Recursos Adelantada Notas

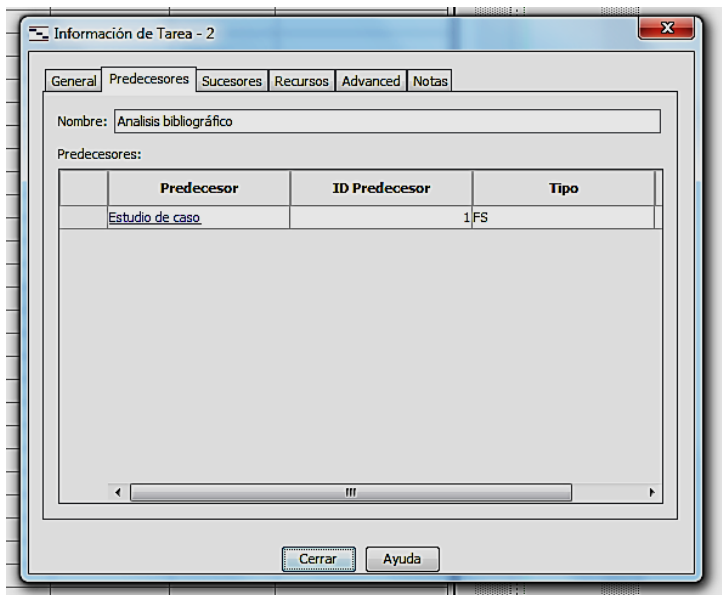
Nombre: Análisis Bibliográfico

Predecesores:

	Nombre predecesor	ID predecesor	Tipo de dependencia
	Estudio de caso		1 FS

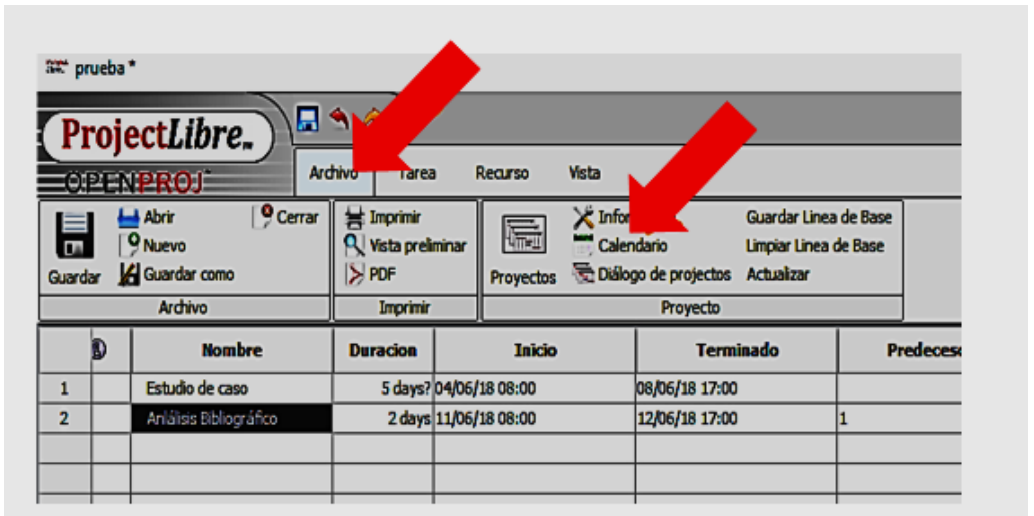


La pestaña “Advanced” nos permite ignorar el calendario (días corridos) forzar el terminado, cambiar a agotamiento de recursos, entre otras herramientas.

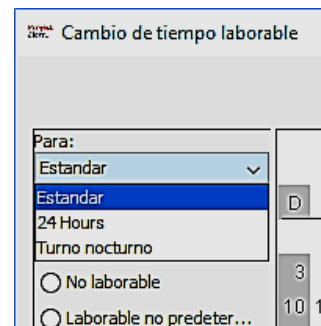
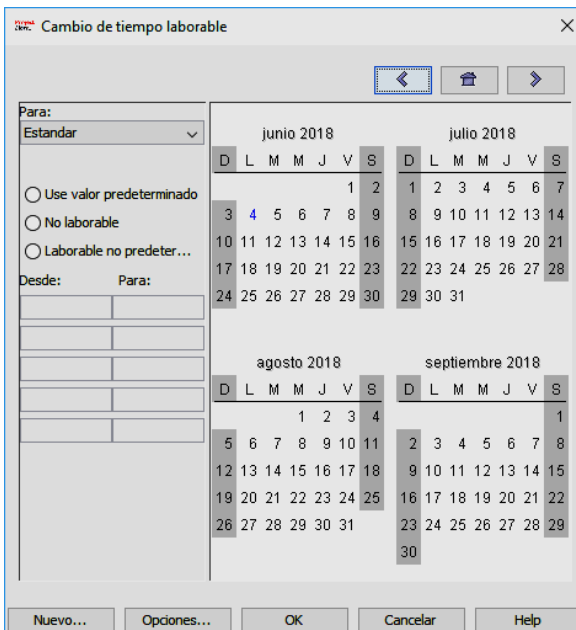


Conversión de unidades de tiempo de trabajo

Volvemos al calendario y a la conversión de horas, semanas o meses a días. Para acceder al manejo del tiempo, podemos utilizar el botón “Calendario” en la pestaña “Archivo”:



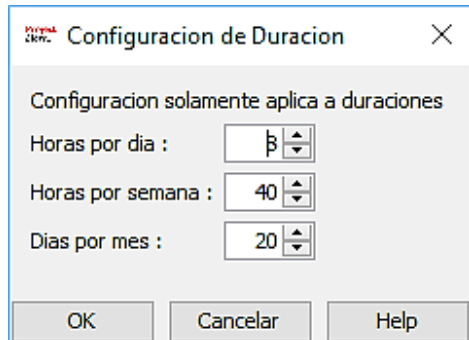
Dispondremos de un cuadro de diálogo con un calendario almanaque enfocado en el día de inicio y la posibilidad de seleccionar varios parámetros: El primero, “Para” (que por defecto se muestra en “Estandar”) puede seleccionarse en 24 horas o *Turno nocturno*



El botón “Nuevo...” nos permite editar un nuevo calendario y el botón “Opciones...” finalmente es el que permite establecer las conversiones de horas, semanas o meses a días.

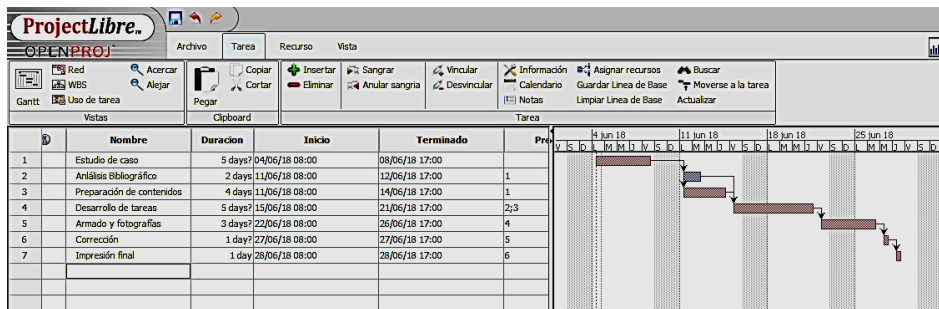
Así, si dejamos el valor por defecto, tendremos que

- 8 hs equivaldrán a 1 día,
- 12 hs equivaldrán a 1,5 días,
- 1 semana serán 5 días,
- 1,6 semanas se considerarán 8 días,
- 1 mes son 20 días
- un mes y medio son 30 días.



Recursos de las tareas

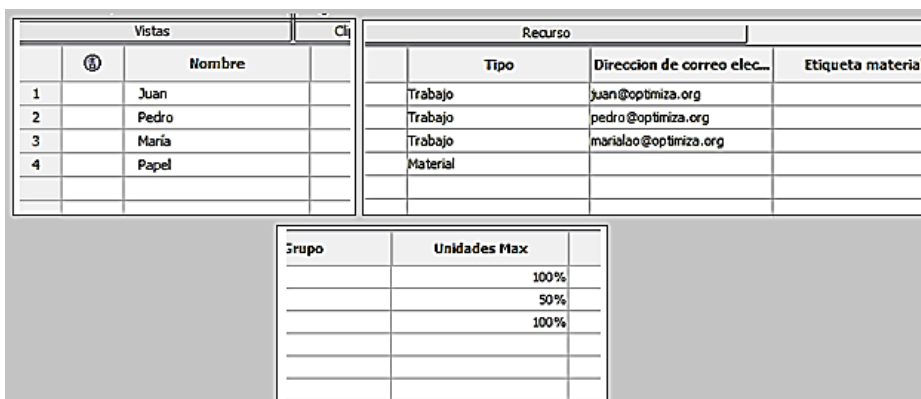
Una vez que hemos ingresado la información de todas las tareas, estaremos en condiciones de asignar responsables a cada una de ellas.



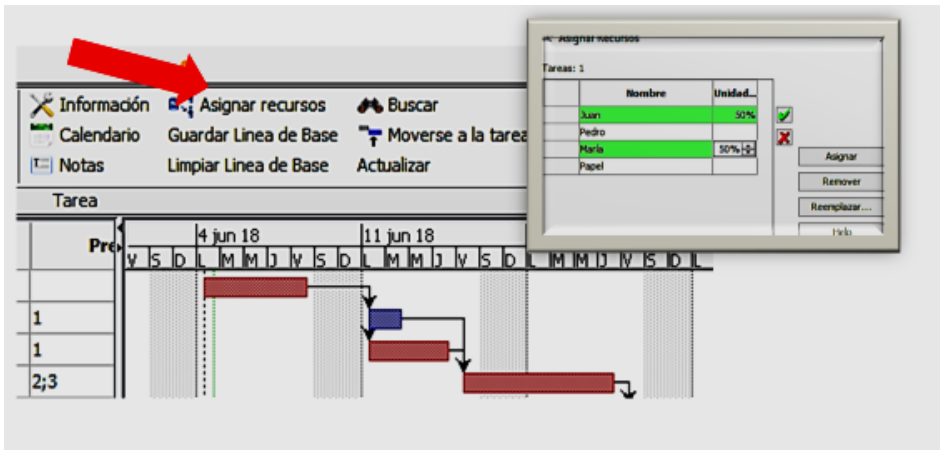
Para ello pulsamos el botón, indicado en la siguiente figura, que nos permite cambiar la vista a “Recursos”



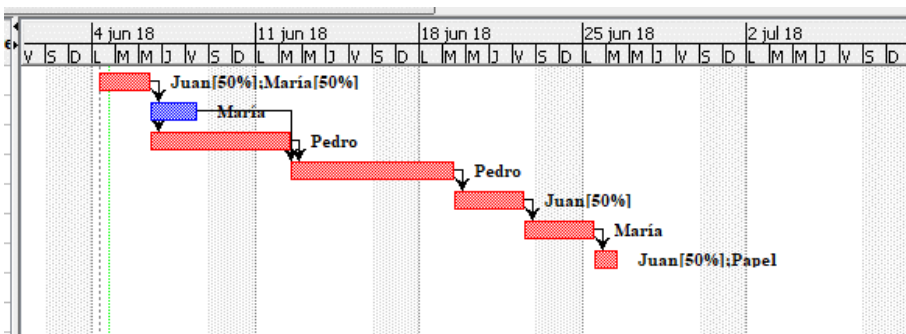
En la nueva planilla podremos cargar los nombres de cada recurso, datos y disponibilidad. En este caso se han colocado 3 personas y “papel”, asignando disponibilidad ilimitada a dos personas y de un 50% a la tercera. Esto nos permitiría evaluar la duración del proyecto si optáramos hacerlo por disponibilidad de recursos y no por uso de tiempo proyectado.



Volviendo a la vista “Gantt”, recién ahora podremos acceder a la asignación de recursos. Los recursos deben estar registrados en la vista anterior para que puedan ser escritos en esta. Si hay más de uno, se escriben separados por comas y puede agregarse una disponibilidad, por ejemplo: Juan y Pedro tienen a su cargo una tarea con un 50% de dedicación. Se agrega a uno de ellos el porcentaje entre corchetes.



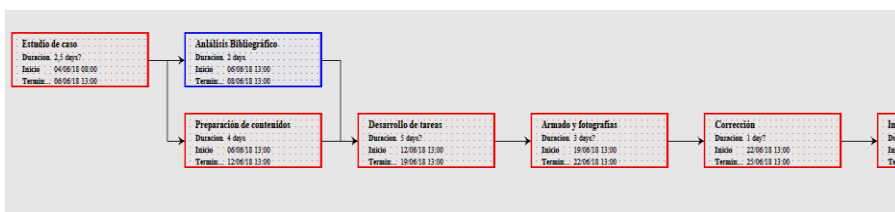
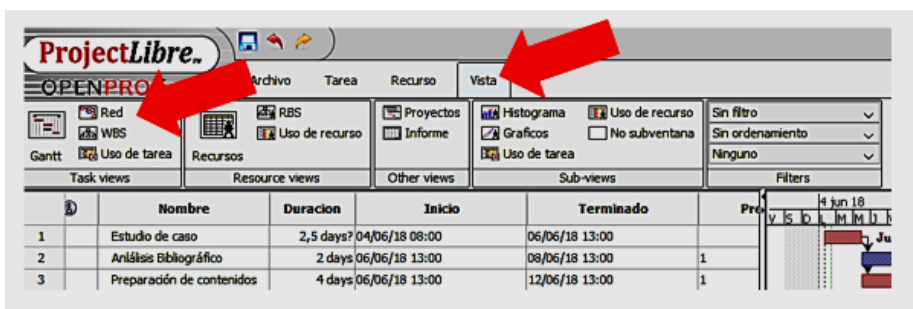
La vista Gantt resultante es la que vemos en la figura siguiente.



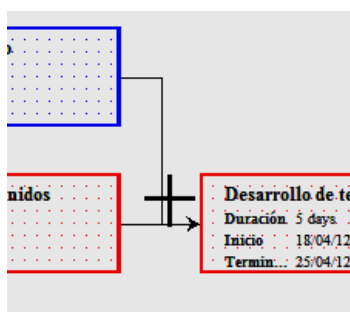
Otras vistas

Vista "RED"

En la pestaña "Vista" encontramos un botón "Red" con el que podremos acceder a la vista en red del proyecto, según vemos en las siguientes figuras.



Las actividades en rojo son las críticas (igual que en el Gantt). Si se pasa el cursor sobre la vista observaremos que éste cambia toma la forma de una cruz delgada negra sobre los conectores entre bloques. Si se hace clic allí veremos un cuadro con información detallada de las tareas vinculadas



Dependencia de la Tarea ✕

Desde: Análisis Bibliográfico

Para: Desarrollo de tareas

Tipo: FS ▼ retraso: 0 days

Remover
OK
Cancelar
Help

Por otra parte, haciendo clic en un cuadro de tareas se puede editar su contenido, por ejemplo, cambiar los días de duración de esa tarea.

Vista “RECURSOS”

Accedimos a esta vista al cargar los recursos que podrían ser usados. No pueden ser asignados recursos si previamente no figuran en esa lista. Es lógico que pueda haber recursos no utilizados.

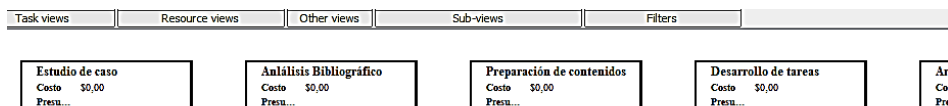


Task views		Resource views		Other views	Sub-views
	Ⓜ	Nombre	RBS	Tipo	Dirección
1	⚙️	Juan		Trabajo	juan@o
2	⚙️	Pedro		Trabajo	pedro@
3	⚙️	María		Trabajo	mariala
4	⚙️	Papel		Material	
Este recurso está en el equipo del proyecto					

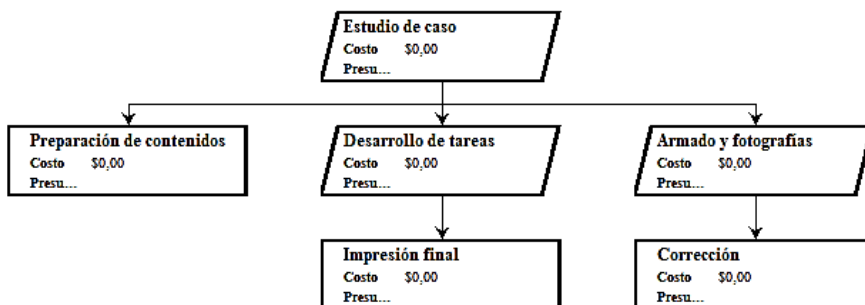
Como se ve en la figura anterior, la vista ahora aparece coloreada sobre los recursos utilizados, marcados con un símbolo en la columna “i”. Si se pasa el cursor sobre el recurso aparece una indicación de que el recurso se usa en el proyecto, como se ve en la figura.

Vista “WBS”

WBS son las siglas en inglés de “**Work Breakdown Structure**” cuyo equivalente en español es EDT o “**Estructura de Descomposición del Trabajo**” lo que permite analizar el proyecto en niveles de elementos de trabajo o niveles de tareas.

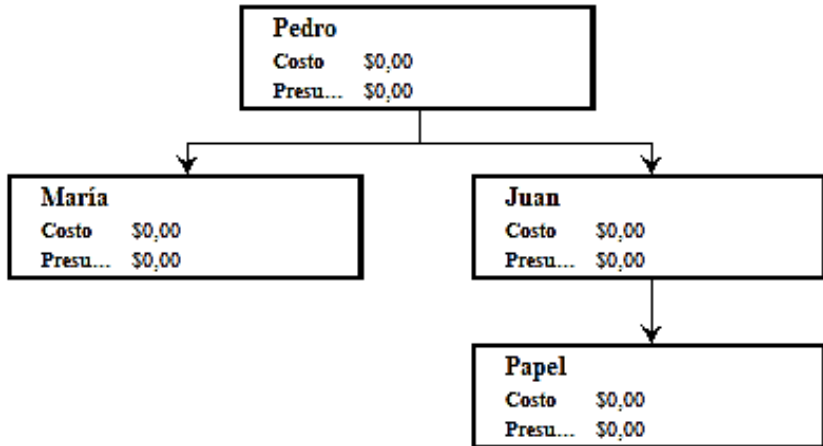
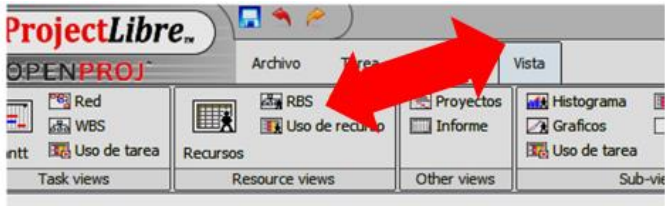


Una vez que accedemos a la vista podremos organizar las tareas en niveles, simplemente haciendo clic en el cuadro origen, por ejemplo, “Estudio de caso” y arrastrando la línea que se genera hasta el cuadro de nivel inferior, por ejemplo “Análisis Bibliográfico”, lo mismo se realizó entre “Estudio de caso” y “Desarrollo de Temas” y entre este e “Impresión Final”, para obtener la figura siguiente.



Vista “RBS”

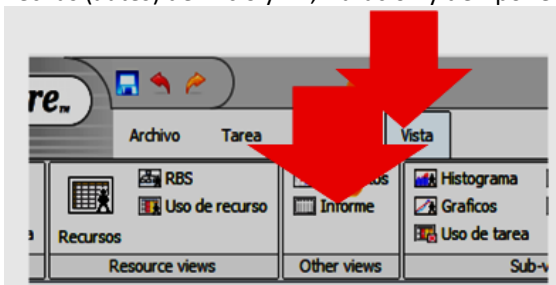
RBS son las siglas en inglés de **“Resource Breakdown Structure”** cuyo equivalente en español es EDR o **“Estructura de Descomposición de Recursos”** y que nos permite analizar el proyecto en niveles de dependencia de los recursos. Estos recursos pueden ser ordenados como se explicó en la vista anterior.

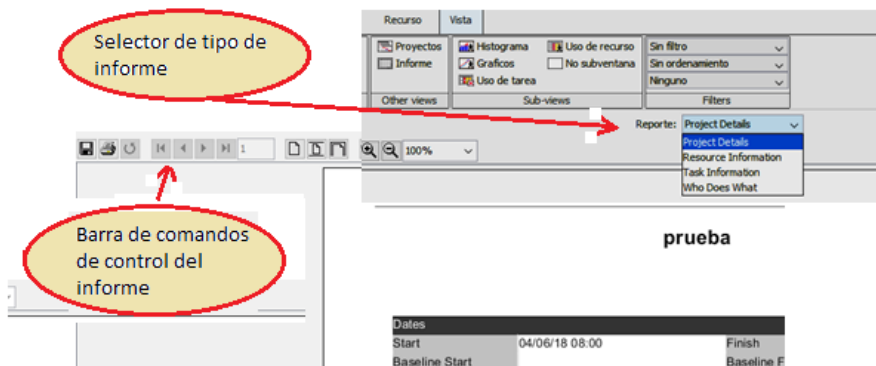


Vista “INFORMES”

Mediante esta vista podemos ver e imprimir un resumen de todo el proyecto, dividido en ítems:

Fechas (*dates*) de inicio y fin; Duración y tiempo remanente; horas de trabajo y costos.





Vista "DETALLE USO DE TAREAS"

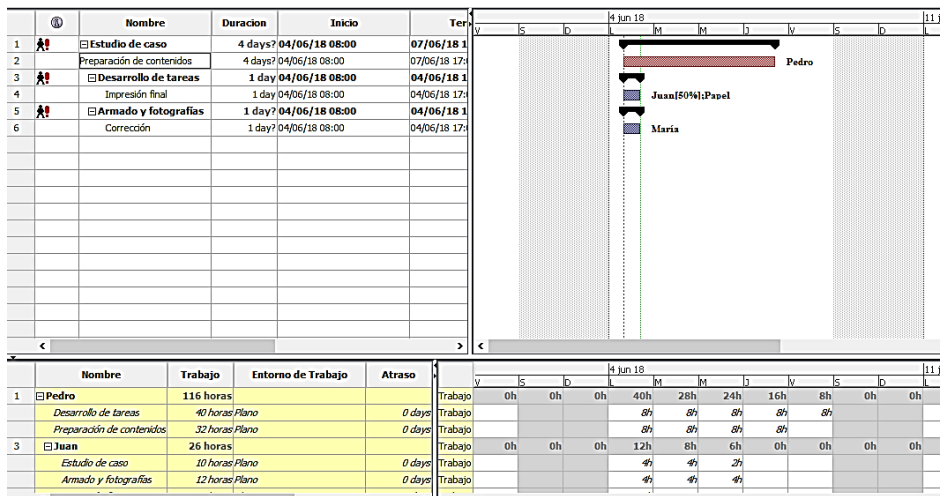


Task views	Resource views	Other views	Sub-views	Filters
1	Estudio de caso	4 days? 04/06/18 08:00	07/06/18 17:00	
2	Preparación de contenidos	4 days? 04/06/18 08:00	07/06/18 17:00	
3	Desarrollo de tareas	1 day? 04/06/18 08:00	04/06/18 17:00	
4	Impresión final	1 day? 04/06/18 08:00	04/06/18 17:00	
5	Armado y fotografías	1 day? 04/06/18 08:00	04/06/18 17:00	
6	Corrección	1 day? 04/06/18 08:00	04/06/18 17:00	

Nombre	Trabajo	Duración	Inicio	Trabajo
1	Estudio de caso	116 horas	4 days? 04/06/18 08:00	Trabajo
	Juan	10 horas	2,5 days? 04/06/18 08:00	Trabajo
	María	10 horas	2,5 days? 04/06/18 08:00	Trabajo
2	Preparación de contenidos	32 horas	4 days? 04/06/18 08:00	Trabajo
	Pedro	32 horas	4 days? 04/06/18 08:00	Trabajo

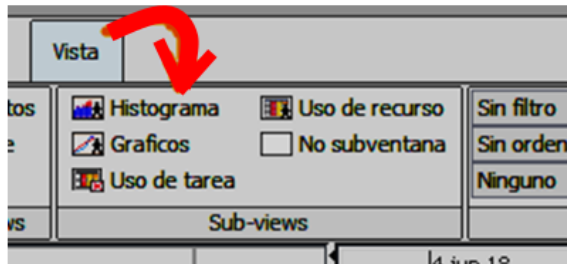
Nos permite ver un resumen de horas dedicadas por cada recurso en cada Tarea del proyecto y un calendario de ocupación.

Vista "DETALLE USO RECURSOS"

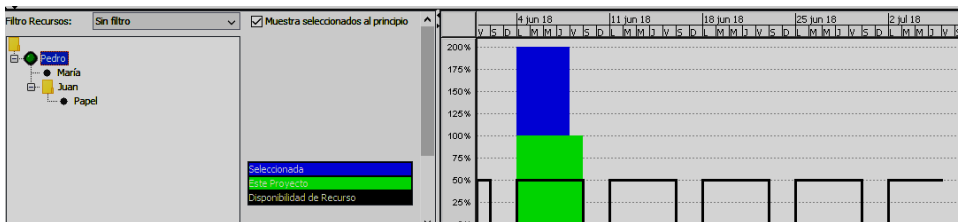


Con ella obtendremos un resumen de horas dedicadas en cada tarea por cada Recurso afectado al proyecto y un calendario de ocupación.

Vistas “HISTOGRAMA” y “USO DE RECURSOS”



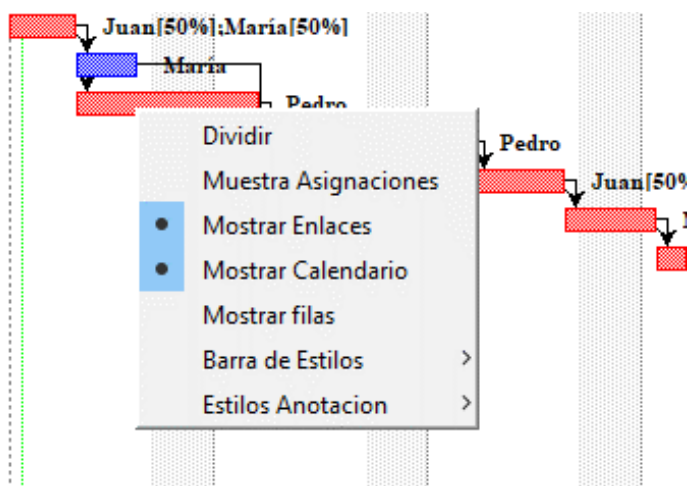
Accedemos a una ventana dividida en dos partes. La de la izquierda nos muestra un esquema en árbol de los recursos ordenados por niveles de dependencia. Si seleccionamos uno de ellos, en la de la derecha veremos un histograma del tiempo que ese recurso afecta al proyecto, en un color, comparado con el tiempo disponible del recurso, en otro color.



En el caso de uso de recursos puede obtenerse un histograma o grafico acumulado del tiempo afectado por cada uno de los recursos al proyecto, visible solamente cuando ya se está en desarrollo o iniciado el proyecto.

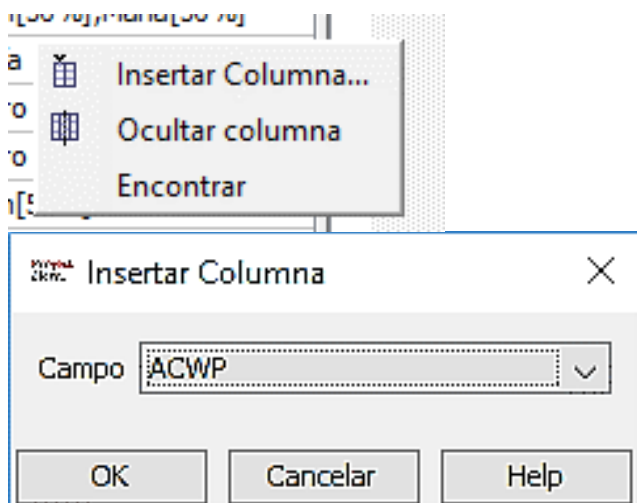
Administración del proyecto

Volviendo a la Vista Gantt podremos seleccionar cada tarea y pulsando el botón derecho es posible dividir las tareas para considerar, por ejemplo, los feriados.

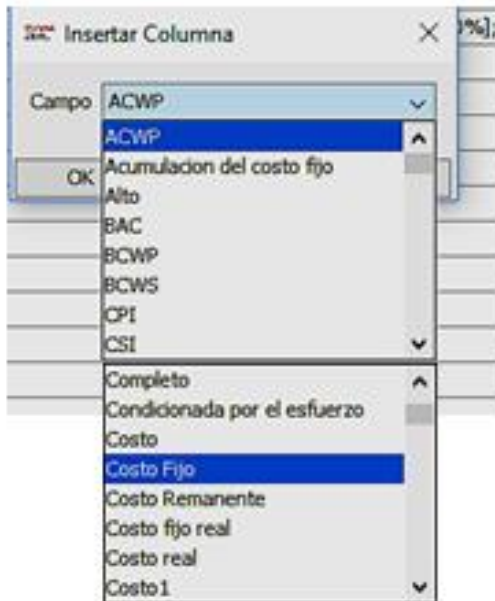


Incorporación de los costos

El proceso de incorporación de los costos se puede hacer eligiendo, en la Vista Gantt, una columna que estará a la derecha de la que se quiere insertar y sobre el encabezado pulsar el botón derecho, para elegir: *"Insertar Columna"*



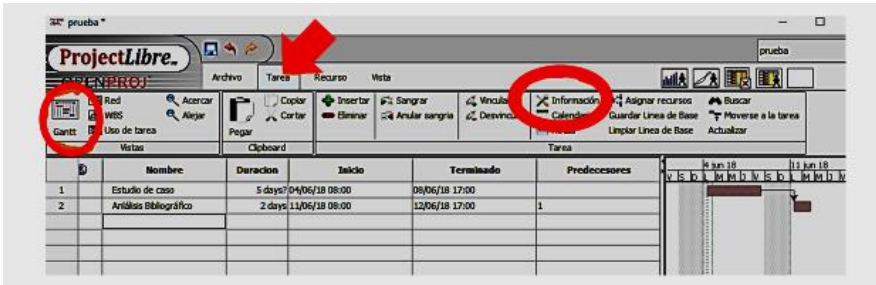
De esta manera será posible introducir el costo de cada tarea, como vemos en la figura siguiente.



	Costo Fijo	Nombres
	\$54,00	Juan[50%];M
	\$0,00	María
	\$0,00	Pedro
	\$0,00	Pedro
	\$0,00	Juan[50%]
	\$0,00	María
	\$0,00	Juan[50%];P

Información y avance del proyecto

Mientras administramos el proyecto, podremos tener acceso a todos sus parámetros, para eso trabajaremos en cada tarea, seleccionando la pestaña Tarea y con el botón "Información" acceder a las tarjetas vistas al comienzo. En la figura siguiente mostramos un ejemplo con la tarea 1:



Información de Tarea - 1

General | Predecesores | Sucesores | Recursos | Adelantada | Notas

Nombre:

Duración: Estimada

Porcentaje completo: Prioridad:

Costo: \$54,00 Trabajo:

Fechas

Inicio: Terminado:

Línea base Inicio: Línea base Final:

Supongamos que nos informan que tiene un avance del 60%. Incorporamos ese valor en la tarjeta, como vemos en la figura.

Información de Tarea - 1

General Predecesores Sucesores Recursos Adelantada Notas

Nombre: Estudio de caso

Duración: 2,5 days? Estimada

Porcentaje completo: 60% Prioridad:

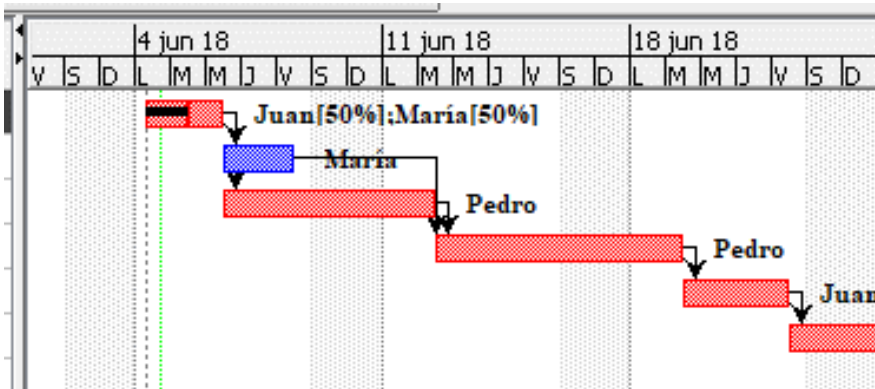
Costo: \$54,00 Trabajo: 20 horas

Fechas

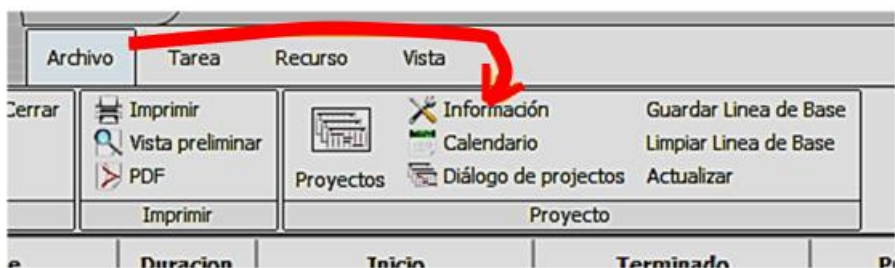
Inicio: 04/06/18 08:00 Terminado: 06/06/18

Línea base Inicio: Línea base Final:

y veremos que el diagrama de Gantt reflejará el avance, con una línea, dentro de la tarea, cuya longitud es proporcional al grado de avance informado.



Luego accedemos a la información del proyecto, en la pestaña "Archivo", botón "Información":



En estas pestañas se observa el avance y grado de costos, se pueden incluir notas y averiguar los costos remanentes.

Como podemos ver, no hay posibilidad directa de análisis probabilístico PERT. Si bien es cierto que podemos cargar los tiempos optimistas y pesimistas y, con cierto trabajo, hacer un esquema PERT, el resultado que obtendremos no tendrá ningún dato estadístico.

Otros programas disponibles

GanttProject

Es un programa simple de software libre multiplataforma (www.ganttproject.biz) que tiene una interfaz muy similar a *OpenProj*, aunque es mucho más simple. Se destaca porque puede importar proyectos MS *Project* y, por supuesto, *OpenProj*. Produce informes en formato HTML y PDF y diagramas de Gantt y diagramas PERT. Las siguientes imágenes corresponden a distintos aspectos de la interfaz de usuario. Es un programa completo y recomendable.

