
Planificación y programación de operaciones

Operations planning and programming

Rafael Terrazas Pastor*

tersil@supernet.com.bo

Resumen

Una de las actividades más importantes y más estereotipadas en las organizaciones, es la que se refiere a la planificación. Esta actividad tiene muchas connotaciones y alcances, desde lo que significa la planificación lógica de actividades hasta lo que es la planificación estratégica y la planificación financiera. En este pequeño ensayo, intentaremos plantear las bases eficientes y procedimentales de la planificación y programación de operaciones, esto a través de las herramientas clásicas de los diagramas de Gantt y los grafos reticulares expresados en la teoría PERT - CPM. Es verdad que existe bastante literatura al respecto, sin embargo a pesar de la extensión de estudios realizados, hay tópicos que no necesariamente se han resuelto en toda su magnitud, como ser la planificación de actividades con recursos y el desarrollo de redes aleatorias. En este entendido existe todavía un vasto campo de investigación y de aplicación de estas herramientas y su contexto de utilización se da en las áreas de producción y operaciones, proyectos, en los ámbitos sociales, políticos, económicos, etc.

Palabras clave: Operaciones, proyectos, diagramas Gantt, redes de actividades, PERT, CPM, recursos, histograma de carga.

Abstract

One of the most important and most stereotyped activities in organizations is referred to the planning. This activity has many connotations and scope, from the logical planning of activities to the strategic and financial planning. In this brief essay, we'll try to set efficient and procedural basis for planning and operations scheduling, through the classic tools of Gantt charts and graphs lattice expressed in PERT – CPM theory. It is true that there is considerable literature on the subject, however, despite the length of studies, there are topics that have not necessarily been resolved in all their magnitude, such as business planning and development resources of random networks. Thus, there is still a vast field of research and application of these tools and their context of use are given in the production and operation areas, in projects, and in social, political, economical scopes, etc.

Keywords: operations, projects, Gantt charts, activity networks, PERT, CPM, resources, load histogram

* Doctor en Administración de Empresas, Master en Ciencias Aplicadas, Ingeniero Industrial, Diplomado en Educación Superior. Programador en Lenguajes de Computación. Experiencia docente hace 28 años en pregrado y posgrado. Tutor y asesor en más de 250 tesis y proyectos de grado. Experiencia en cargos jerárquicos en varias organizaciones. Autor de libros en las áreas de optimización, investigación, proyectos, poesía, liderazgo. Asesor y consultor organizacional. Especialista en gestión de proyectos, modelos de investigación operativa y optimización, simulación de sistemas, metodología de investigación, análisis e investigación de mercados, enseñanza de la educación superior. Formador en áreas de liderazgo.

Introducción

Cuando se intenta analizar el desarrollo de operaciones y proyectos en una organización, se trata también de planificar el desarrollo de nuevos emprendimientos. En este entendido, se hace necesario conceptualizar, en primera instancia, una etapa de planificación *ex - ante* o *a - priori*; etapa que permitirá planear y definir las actividades que conlleven a todo el programa esperado hacia la consecución de sus objetivos y metas. En este escenario, la única manera de poder ordenar, sistematizar, estructurar la posible realización y ejecución de un programa o proyecto, es a través de la utilización de herramientas y elementos planificadores que a través de reglas sencillas y claras, permitan determinar los supuestos base para aminorar el riesgo de fracaso de la posterior ejecución efectiva de tareas.

En un contexto de aproximación amplio, el ser humano en general, no puede prescindir del proceso de planificación y programación; se planifica un viaje, se planifica un estudio, se programa una boda, etc.; las actividades relacionadas a este concepto son múltiples y cotidianas y están asociadas al quehacer de toda organización. El éxito de muchos emprendimientos depende mucho del grado y esfuerzo de planificación y programación que hacen los actores involucrados; esto no quiere decir que la planificación y programación sean herramientas mágicas, visionarias y proféticas para garantizar y asegurar el éxito de un programa; la planificación, como todo proceso humano lleva de manera subyacente un grado de error, puesto que está relacionado con el futuro.

Existen numerosas herramientas asociadas a este quehacer, en este pequeño ensayo, recordaremos y sistematizaremos los conceptos clásicos de los diagramas de Gantt y la teoría de grafos reticulares, dando aplicaciones sencillas de su metodología a algunas expectativas de la vida empresarial. Se aportará con el análisis y desarrollo de un aspecto poco atendido como es aquél que concierne a los criterios de programación de barras y redes con el uso de recursos, planteando a través de un ejemplo pequeño, como se puede razonar heurísticamente en esta problemática.

Los diagramas de Gantt son ayudas gráficas y visuales, útiles en aspectos de planificación y programación de carga de trabajo y de operaciones que se manifiestan en cualquier tipo de organización, sea productiva o social. Su nombre se deriva de Henry Gantt, quién desarrolló esta técnica a finales del siglo XIX. Este diagrama contiene algunas limitaciones importantes, entre

las cuales se puede considerar aquella que no toma en consideración la variación de operaciones y los trastornos que pueden suceder debido a descomposturas y fallas de equipos, este diagrama debe ser actualizado de manera permanente para lograr una utilización efectiva. Los diagramas de redes, basados en la teoría de grafos, se constituyen en una representación gráfica reticular de todo el desarrollo de un programa y basan su conceptualización en una relación de precedente y subsecuente que debe ser respetada, permitiendo de esta manera realizar actividades paralelas que puedan significar importantes ahorros. Es en esta temática que nos enfocaremos de aquí en adelante.

1. Conceptos de planificación y programación

1.1 Planificación

La planificación es una actividad genérica que tiende a la asignación y distribución de recursos, en procura de alcanzar un objetivo. La planificación es una actividad de análisis que tiende a ir de lo general a lo particular; en este sentido se convierte en principio, en un proceso fundamentalmente analítico.

La naturaleza de la planificación nos permite entender que esta es una actividad a - priori que se debe desarrollar antes de ejecutar cualquier tarea; sin el concurso de ella sería más fácil equivocarnos y aumentar los riesgos de no conseguir los objetivos que se pretenden. La planificación se convierte en una actividad necesaria, puesto que precede a la definición de presupuestos, entendiendo un presupuesto como la materialización económica de las actividades programadas.

1.2 Programación

La programación de actividades, es aquél proceso subsecuente a la planificación y que tiende a concretar las operaciones, definiendo dónde y cuándo se van a realizar. La programación es un proceso que se convierte en la materialización de la planificación, por tanto es la herramienta ejecutora de la planificación.

1.3 Niveles de decisión en la planificación

Todo lo concerniente a la planificación y programación, tiene que ver con realizar actividades y tareas que se constituyan en elementos

estructuralmente informativos para que puedan orientar hacia el proceso de toma de decisiones. Las decisiones, como procesos estructurados y sistémicamente razonados, no pueden prescindir de toda la metodología inmanente en la planificación y programación. Desde esta perspectiva existen tres niveles de decisión asociados a la planificación y programación:

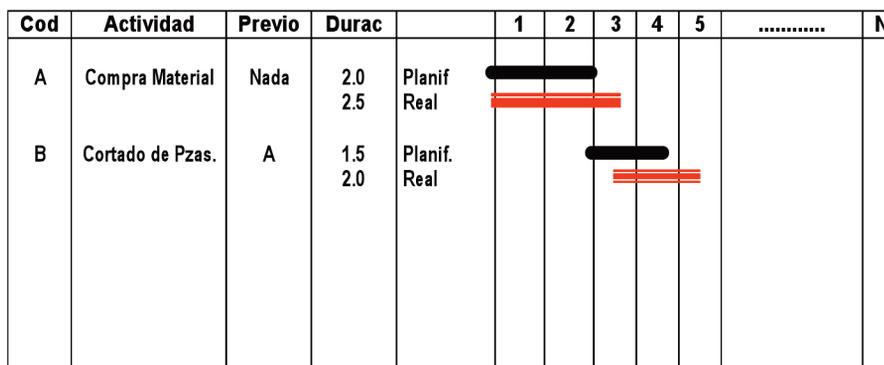
- A. El NIVEL ESTRATÉGICO, que tiene que ver con la planificación a largo plazo, con la definición de objetivos a largo plazo y de políticas generales asociadas a la visión natural de la organización. Usualmente este nivel, está asociado a los estratos gerenciales y de juntas directivas de la organización. Ejemplos de esta forma de planificación son: la definición de políticas comerciales, políticas de ventas, de posicionamiento y de políticas financieras.
- B. El NIVEL TÁCTICO, que se asocia a la definición de lineamientos a mediano plazo; este nivel está asociado generalmente a los mandos medios. Ejemplos de decisiones en este nivel tenemos: el desarrollo de planes de operaciones, gestión de materiales y de stocks, programación maestra de las operaciones, etc.
- C. El NIVEL OPERATIVO, que tiene que ver con las actividades del día a día, es decir a corto plazo, y que está asociado al personal de ejecución de tareas en una organización. Las actividades asociadas a este nivel son aquellas que tienen que ver con el proceso de operaciones.

2. Los diagramas de gantt

Los diagramas de Gantt, son un sistema gráfico que se ejecuta en dos dimensiones; en el eje de abscisas se coloca el tiempo y en el eje de ordenadas se colocan las actividades a desarrollar. Este diagrama es muy útil para mostrar la secuencia de ejecución de operaciones de todo un paquete de trabajo y tiene la virtud de que puede utilizarse tanto como una herramienta de planificación así como una herramienta de seguimiento y control, tal cual se muestra en la figura.

Figura 1. Diagrama Gantt de Seguimiento y Control de Operaciones

**CONTROL DE OPERACIONES
DIAGRAMA DE GANTT**



Fuente: Elaboración propia.

Los diagramas de Gantt, pueden ser utilizados muy apropiadamente en la planificación de la ejecución de actividades previas para el desarrollo de proyectos. En este sentido, se debe hacer primero, una lista de todas las actividades a considerar para el proyecto; calcular los tiempos de ejecución y secuencia, luego estimar los costos asociados y los tiempos totales hasta la puesta en marcha. Todas estas actividades se plantean en un calendario o cronograma de ejecución usando los diagramas de barras.

Para un proyecto en cuestión (cfr. 8), definiremos las siguientes actividades previas:

- Gestiones de financiamiento: consiste en las tratativas que se deben hacer con las agencias financieras, a fin de obtener el financiamiento del proyecto.
- Garantías y contratos de crédito: se refiere a los tiempos destinados para la presentación de garantías y las firmas respectivas una vez analizado el estudio y aprobado el crédito.
- Cotizaciones: donde se hace la evaluación de las propuestas, tanto para la construcción de obras civiles como para la provisión de equipos, materiales e insumos de procedencia nacional o importada.

- Orden de compra y contrato de construcción: una vez evaluadas las propuestas sobre las cotizaciones, se deben colocar los pedidos, hacer los pagos de anticipos a los proveedores de equipos y construcciones civiles.
- Obras civiles: la elaboración de planos, cálculos y construcción de las obras civiles (fundaciones, estructuras, oficinas, almacenes, conexiones, etc.). Esta es una fase muy importante y el tiempo dedicado a ello debe ser bien planificado.
- Entrega de equipos: que se refiere a los tiempos destinados a la entrega de equipos de procedencia nacional e importada.
- Montaje y pruebas: una vez llegados los equipos, se debe considerar un tiempo y costo necesario para realizar el montaje de los equipos y las pruebas del mismo.
- Entrenamiento de personal: la capacitación del personal es importante para verificar que personal será contratado y garantizar el buen funcionamiento del proceso. El entrenamiento del equipo debe ser realizado por personal capacitado cuyos servicios traen aparejados costos de contratación.
- Puesta en marcha: una vez cumplidas las anteriores actividades, se inicia la fase operacional o puesta en marcha, que requiere un periodo corto para su adecuación al funcionamiento del proyecto.

El diagrama de barras ilustrativo a estas actividades se muestra en la figura.

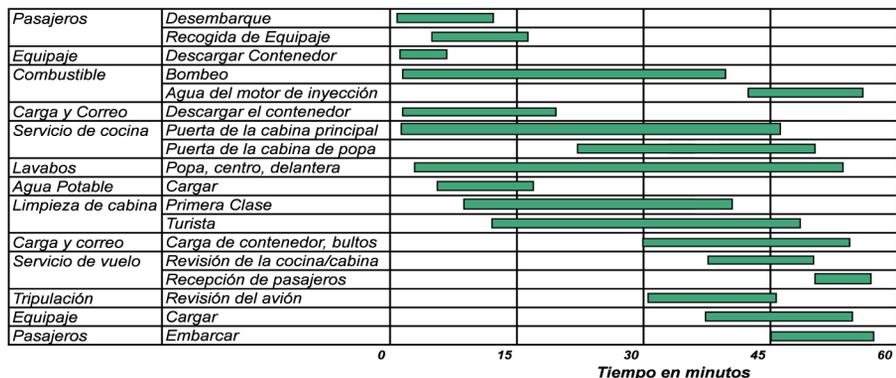
Figura 2. Planificación de la ejecución de un proyecto

Actividad \ Tiempo	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂
Gestiones financiamiento	█											
Garantías y contratos			█									
Cotizaciones			█									
Orden de compra			█									
Obras civiles			█									
Entrega de equipos										█		
Montaje y pruebas											█	
Entrenamiento del personal											█	
Puesta en marcha												█

Fuente: Elaboración propia.

Una aplicación interesante de la utilización de este diagrama, es a la operación de escala de un avión (cfr. 3), donde se desarrollan las actividades y tiempos mostrados en la siguiente figura.

Figura 3. Diagrama de Gantt para las actividades de escala de un avión de pasajeros



Fuente: Elaboración propia.

3. La planificación por medio de redes

3.1 Conceptos

Según (7), una red de actividades, es un grafo que tiene dos características:

- 1) Una relación de precedencia Ω entre las actividades del programa que constituye la red. Esta relación debe ser:

Transitiva

Es transitiva si U, V, W son actividades de la red y estas actividades están relacionadas (W) de acuerdo al planteo:

$$\text{Si } U \Omega V \wedge V \Omega W \Rightarrow U \Omega W$$

No reflexiva

Es no reflexiva la relación si una actividad no puede estar relacionada (precedida) por sí misma.

$$U \sim \Omega U$$

No simétrica

Es no simétrica la relación:

$$\text{Si } U \Omega V \Rightarrow V \sim \Omega U$$

Lo que quiere decir que si una actividad precede a otra, esta última no puede preceder a la anterior.

2) Una duración en tiempo y un costo por cada actividad

3.2 Representación y terminología

Según (7), para representar y tipificar una red de actividades existen dos enfoques:

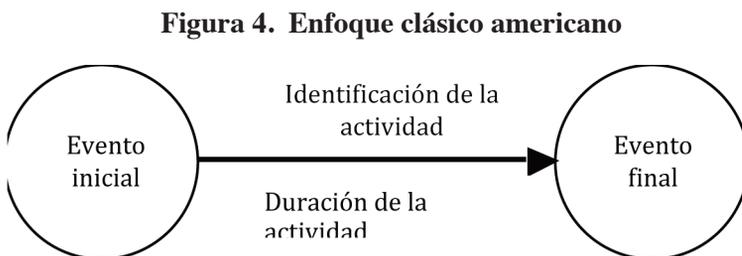
El enfoque clásico americano

En este enfoque los *NODOS* de la red representan *EVENTOS* o sucesos. Un evento constituye un hecho bien definido en el tiempo, por ejemplo, el fin de un estudio, la fecha de un matrimonio, la fecha de recepción de un cargamento, la fecha de inicio de una operación mecánica, etc. Los eventos indican el principio y fin de las actividades y no consumen tiempo ni recursos.

Los *ARCOS* o *RAMAS* de la red representan las *ACTIVIDADES* o tareas que se realizan y se definen como la ejecución efectiva de una operación consumiendo tiempo y recursos, por ejemplo, estudiar una profesión, distribuir mercancía, operar una máquina, etc.

Un *PROGRAMA* es una secuencia lógica de actividades, con sus interdependencias, ligadas para alcanzar un determinado objetivo. Una *RED DE PLANIFICACIÓN* es la representación gráfica o grafo de un programa.

Una actividad del programa puede ser representada de la siguiente manera:



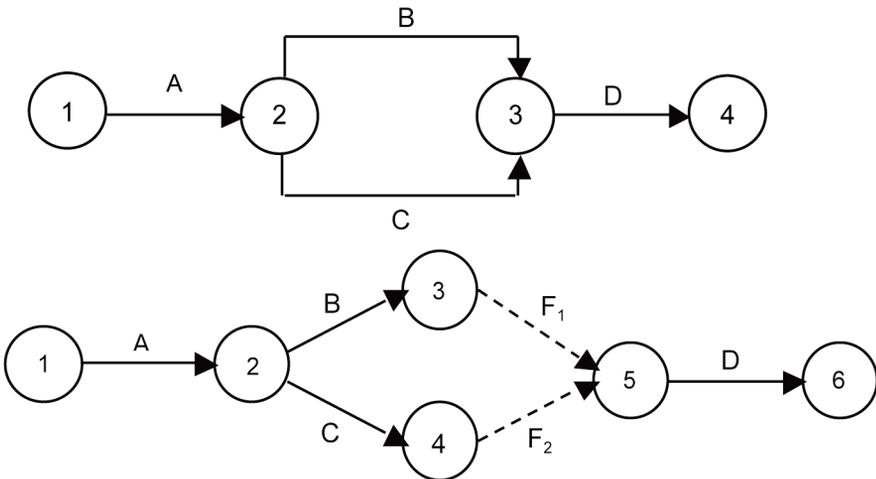
Fuente: *Elaboración propia.*

En esta notación tradicional podemos necesitar del concurso de ciertas actividades llamadas “ficticias y/o fantasmas”. Este tipo de actividades se usan de manera auxiliar para conexiones complejas y se representan por un trazo punteado con la característica de que tienen un tiempo y un consumo de cero.

Los casos en que se usan actividades ficticias pueden ser:

- En la figura siguiente, la actividad A esta caracterizada por los nodos (1,2); la B y C por los nodos (2,3); esto genera una confusión entre estas dos últimas actividades, que debe ser resuelta con actividades ficticias, como se muestra a continuación:

Figura 5. Actividad ficticia: caso 1

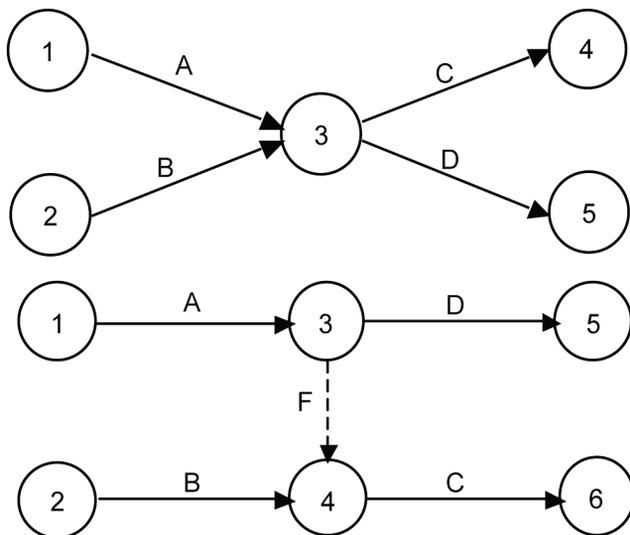


Fuente: Elaboración propia.

Donde F_1 y F_2 son dos actividades ficticias.

- En la figura siguiente la actividad C debe ser posterior a A y B, pero la actividad D debe ser posterior solamente a A. La figura como tal no refleja estas relaciones; para ello se usa las actividades ficticias, como se muestra a continuación:

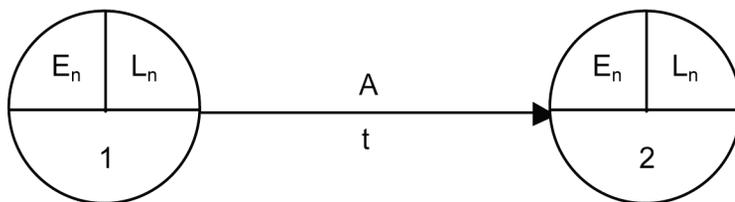
Figura 6. Actividad ficticia: caso 2



Fuente: Elaboración propia.

Para cálculos posteriores y manejo de la red de actividades, se tomará en cuenta la siguiente notación:

Figura 7. Notación utilizada en la red de actividades: enfoque clásico americano



Fuente: Elaboración propia.

donde:

E_0 = Tiempo de inicio más temprano (EARLY START), que es el tiempo necesario para que un evento comience considerando que no hubo atrasos e imprevistos en las actividades antecedentes.

L_0 = Tiempo de inicio más tardío (LATE START), que es el tiempo necesario para que un evento comience considerando atrasos e imprevistos en las actividades antecedentes.

E_f = Tiempo de terminación más temprano (EARLY END), que es el tiempo necesario para la conclusión de un evento considerando un recorrido normal, sin imprevistos.

L_f = Tiempo de terminación más tardío (LATE END), que es el tiempo límite de realización para un evento. Cualquier ejecución que pase de esta fecha, atrasará el programa planeado.

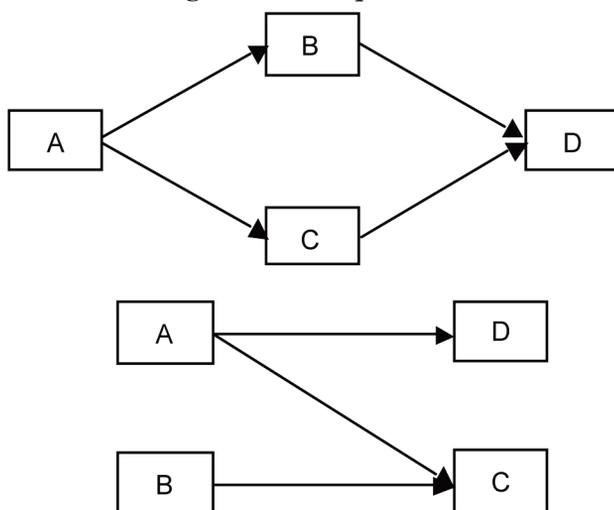
A = Es la identificación de la actividad.

t = Es la duración en tiempo de la actividad.

El enfoque francés

En este enfoque partimos de la premisa de que los nodos representan las actividades y las flechas sólo representan las relaciones de precedente y subsecuente entre las relaciones. En este enfoque no es necesario el uso de actividades ficticias ya que las relaciones pueden ser representadas de manera directa. La terminología usada es la misma que en el sistema americano. Como ejemplo graficaremos por este enfoque las dos redes utilizadas para explicar las actividades ficticias en el anterior punto. Usaremos rectángulos pequeños para representar a los nodos y/o actividades. Como se podrá notar el uso de actividades ficticias se hace innecesario.

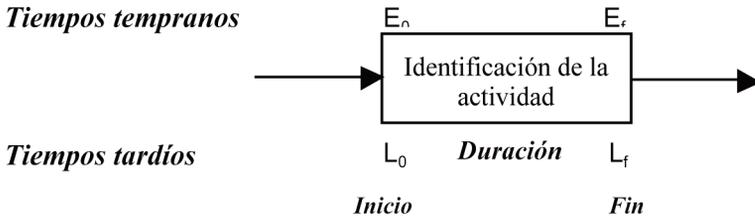
Figura 8. Enfoque francés



Fuente: Elaboración propia.

Para identificar los tiempos tempranos, tardíos, de inicio y fin se usa la siguiente forma de notación:

Figura 9. Notación utilizada en la red de actividades: enfoque francés
Ruta crítica



Fuente: Elaboración propia.

Según [7], uno de los problemas clave de las redes de actividades es hallar la *RUTA CRÍTICA* o sea el camino más desfavorable a lo largo de la red. Este camino señala en su recorrido a las actividades críticas. Cualquier atraso en alguna de estas actividades significará inevitablemente un atraso del programa total. El método de hallar la ruta crítica es conocido como CPM (Critical Path Method).

El método de cálculo de la ruta crítica se basa en dos procedimientos contrarios:

1. Hallar los tiempos tempranos procediendo el cálculo de izquierda a derecha. Para la selección entre dos o más alternativas, se debe tomar en cuenta el valor máximo. Por convención empezaremos en cero.
2. Hallar los tiempos más tardíos procediendo el cálculo de derecha a izquierda. Se debe tomar a la inversa las alternativas de camino mínimas. Se comienza con el último valor encontrado máximo, que corresponde a la duración total de programa.

Ejemplo: Se tiene el siguiente programa de actividades

Tabla 10. Datos de un programa de actividades

Actividad	Actividad	Duración
A	Ninguna	4
B	Ninguna	2
C	A	5
D	B	3
E	C	1
F	A,D	7

Fuente: Elaboración propia.

- Hallar la matriz de incidencia que refleje las relaciones de precedencia en las actividades.
- Hallar la ruta crítica por el sistema americano.
- Hallar la ruta crítica por el sistema francés.

Solución:

Para el inciso a)

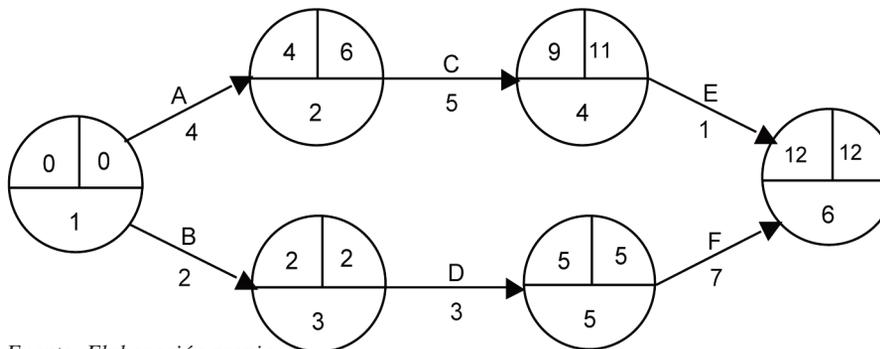
Tabla 11. Matriz de incidencia

A\De	A	B	C	D	E	F
A			X			X
B				X		
C					X	
D						X
E						
F						

Fuente: Elaboración propia.

Para el inciso b)

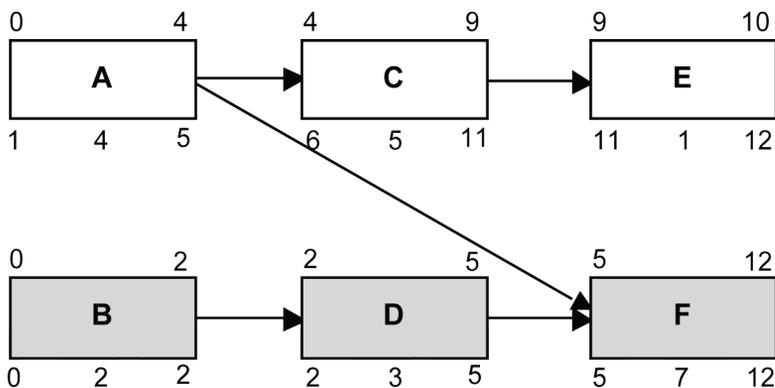
Figura 12. Red de actividades: sistema americano



Fuente: Elaboración propia.

Para el inciso c)

Figura 13. Red de actividades: enfoque francés



Fuente: Elaboración propia.

3.4 Holgas y márgenes

De acuerdo a [6], las holgas o márgenes (H) son definidas de una manera general como la diferencia entre los tiempos tardíos y tempranos:

$$H = T - E$$

Se reconocen los siguientes tipos de holgas:

1. *Holgura total*, que es el atraso máximo que una actividad puede tener sin alterar la fecha de su realización.

$$HT = L_f - E_0 - t$$

2. *Holgura libre* que es el atraso máximo que una actividad puede tener sin alterar la fecha fijada para E_f .

$$HL = E_f - E_0 - t$$

3. *Holgura no libre*:

$$HNL = HT - HL = L_f - E_0 - t - (E_f - E_0 - t)$$

$$HNL = L_f - E_f$$

La HNL corresponde a la *holgura disponible* para una actividad.

Como ejemplo construiremos el cuadro de holguras para el ejemplo, tomando los datos del sistema francés:

Tabla 14. Tiempos tempranos y tardíos, holgura

Actividad	Duración	E_0	L_0	E_f	L_f	HT	HL	HNL	Ruta crítica
A	4	0	1	4	5	1	0	1	
B	2	0	0	2	2	0	0	0	✓
C	5	4	6	9	11	2	0	2	
D	3	2	2	5	5	0	0	0	✓
E	1	9	11	10	12	2	0	2	
F	7	5	5	12	12	0	0	0	✓

Fuente: Elaboración propia.

Se puede notar que las actividades críticas corresponden a aquellas donde la HNL es cero. Para trasladar los valores del grafo que corresponden al sistema americano a la tabla de holguras, se debe hacer las siguientes correcciones:

$$L_0 = L_f - t$$

$$E_f = E_0 + t$$

3.5 Redes aleatorias

Tomando a (2), muchas veces los tiempos de duración tienen un comportamiento que depende de condiciones futuras, es decir, se comportan de manera aleatoria. En teoría podemos asumir que estas duraciones pueden seguir cualquier distribución teórica de probabilidades, conocida o empírica. Cuando se presenta esta característica el método se denomina PERT (Program Evaluation Review Technique).

La literatura y los casos más comunes asumen que en este tipo de problemas el comportamiento de los tiempos de duración siguen la distribución beta. Esta distribución tiene la característica de que maneja tres tiempos:

- 1) *Tiempo optimista* (t_a): Es el tiempo mínimo en el cual la tarea puede ser ejecutada. Para este tiempo nos imaginamos condiciones óptimas para su cumplimiento.
- 2) *Tiempo más probable* (t_m): Es el tiempo que usualmente llevaría ejecutar una actividad, si fuera repetida varias veces (la moda). Es el tiempo que se registra con más frecuencia cuando la tarea se repite en condiciones estrictamente idénticas. Corresponde a la cima de la distribución de probabilidad.
- 3) *Tiempo pesimista* (t_b): Es el tiempo máximo que puede tomar ejecutar una tarea cuando hay grandes demoras y/o atrasos en el trabajo, pero que no son debidos a factores extraordinarios.

Tiempo esperado (t_e): Es considerado el tiempo esperado o duración esperada. Es llamado también tiempo medio y corresponde al punto que divide a la curva beta en dos áreas correspondientes al 50%. Este tiempo se calcula:

$$t_e = \frac{t_a + 4t_m + t_b}{6}$$

Varianza (s^2): Expresa la incertidumbre e indica el riesgo de no acertar. Si t_a y t_b están muy distanciados, entonces esto indica que la incertidumbre es grande. Se usa la fórmula:

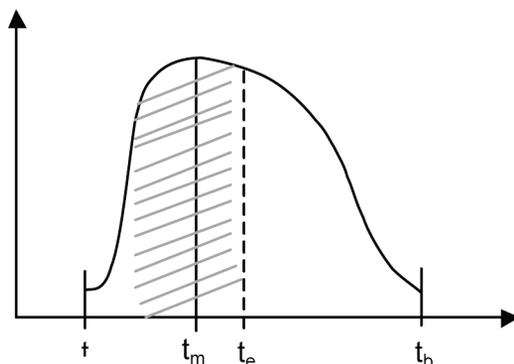
$$\sigma^2 = \frac{(t_b - t_a)^2}{36}$$

La distribución beta se puede graficar:

Figura 15. Comportamiento de la distribución beta

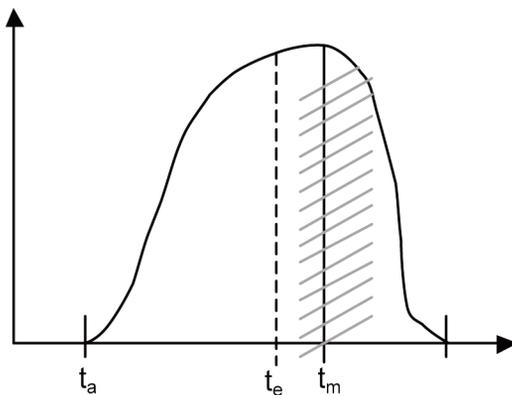
Caso 1

$$t_e - t_a > t_m - t_a$$



Caso 2

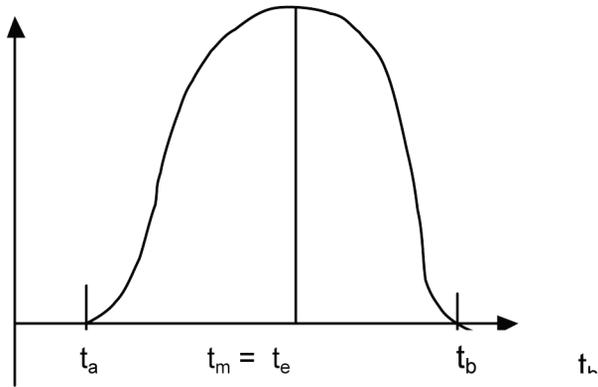
$$t_e - t_a < t_m - t_a$$



Fuente: Elaboración propia.

Caso 3

$$t_e - t_a = t_m - t_a$$



- La duración total del programa (T) es igual a:

$$T = \sum t_{ei}$$

donde:

t_{ei} = i-ésima duración esperada crítica

- La varianza del programa (s_T^2) es:

$$\sigma_T^2 = \sum \sigma_i^2$$

donde:

s_i^2 = i-ésima varianza crítica

- La probabilidad de realización se calcula:

$$K_* = \frac{T_1 - T}{\sigma_T}$$

donde:

s_T = Desviación estándar del programa

T_1 = Tiempo establecido o dado

T = Tiempo medio o duración media del programa

K_a = Factor de probabilidad normal

Ejemplo: Caso de Anderson – Touche [Cfr. 3]

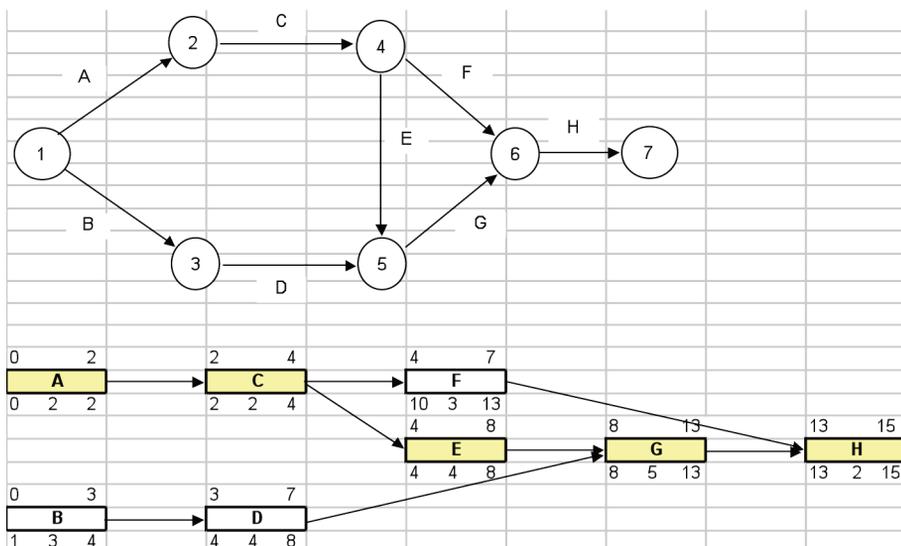
Tabla 16. Planificación de tareas para un proyecto informático

SERVICIOS DE ASESORÍA ANDERSON-TOUCHE					
ACTV	DESCRIPCIÓN	PREDEC.	a	m	b
A	Entrega del Hardware	-	1	2	3
B	Modificación del nuevo software	-	2	3	4
C	Instalación	A	1	2	3
D	Prueba software fuera fábrica	B	2	4	6
E	Prueba de la nueva red	C	1	4	7
F	Entrenamiento	C	1	2	9
G	Prueba del software en el hardware	D,E	3	4	11
H	Aplicación del nuevo sistema	F,G	1	2	3

ACTV	DESCRIPCIÓN	PREDEC.	T_e	σ^2
A	Entrega del Hardware	-	2	0,1111
B	Modificación del nuevo software	-	3	0,1111
C	Instalación	A	2	0,1111
D	Prueba software fuera fábrica	B	4	0,4444
E	Prueba de la nueva red	C	4	1,0000
F	Entrenamiento	C	3	1,7778
G	Prueba del software en el hardware	D,E	5	1,7778
H	Aplicación del nuevo sistema	F,G	2	0,1111

Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Red de actividades
Caso Anderson - Touche



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 18. Tiempos tempranos y tardíos Duración media y varianza
Caso Anderson - Touche**

ACTIV.	E_0	L_0	E_f	L_f	HNL	¿CRÍTICO?
A	0	0	2	2	0	@
B	0	1	3	4	1	
C	2	2	4	4	0	@
D	3	4	7	8	1	
E	4	4	8	8	0	@
F	4	10	7	13	6	
G	8	8	13	13	0	@
H	13	13	15	15	0	@

¿Cuál es la probabilidad de que este proyecto esté terminado antes de la semana 16?

$T_p =$	15	$Z =$	0,57
$\sigma^2_p =$	3,1111	$P\{T \leq 16\} =$	71,60%
$\sigma_p =$	1,7638		

Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo de las redes aleatorias, permite analizar situaciones donde está involucrado el riesgo y la incertidumbre, es por ello que se habla de valor esperado, varianza y probabilidades; parámetros que deben ser calculados para ver si un programa se atrasa, se adelanta o se encuentre enmarcado dentro de un tiempo mínimo y máximo de ocurrencia.

4. Planificación con recursos

Una de las aplicaciones más interesantes de la teoría de redes y los diagramas de Gantt, es hacer la extensión de estas herramientas a la planificación con recursos; es decir enfocarse en el hecho de intentar estimar la ruta crítica y la duración de un programa, respetando las relaciones de precedencia, con la definición adicional y consideración de recursos. Al respecto los investigadores han intentado proveer diferentes metodologías para encontrar el resultado óptimo. Sin embargo, la tarea no es sencilla, prueba de ello es que existen diferentes heurísticas, basados en la teoría de “ensayo y error”, que no necesariamente garantizan el mejor resultado o el óptimo, sino un “buen resultado”; uno de los algoritmos conocidos es el algoritmo de Brown que intenta encarar este problema.

Existen también software que de alguna manera encara esta problemática, los cuales a través de heurísticas incorporadas en su procedimiento analizan esta situación. En la parte siguiente intentaremos

encarar esta problemática, de una manera sencilla y en base a los conceptos de los diagramas de redes y Gantt, proyectando una “buena solución” a esta inquietud. Para este efecto analizaremos el siguiente ejemplo:

Ejemplo:

1. Dada la siguiente red de actividades, cuya notación se encuentra en el sistema americano en la forma de [a,b], donde a representa el inicio y b representa el fin o culminación de la tarea.

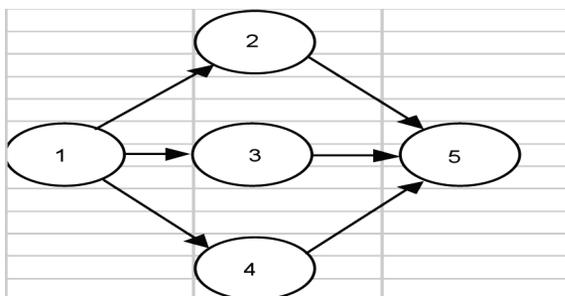
Tabla 19. Datos del ejemplo de planificación con recursos

ACTIVIDAD	DURACIÓN	RECURSOS
[1,2]	3	1
[1,3]	1	1
[1,4]	1	1
[2,5]	3	2
[3,5]	2	4
[4,5]	3	1

Fuente: Elaboración propia.

2. Planteamos la red en el sistema nodular, americano:

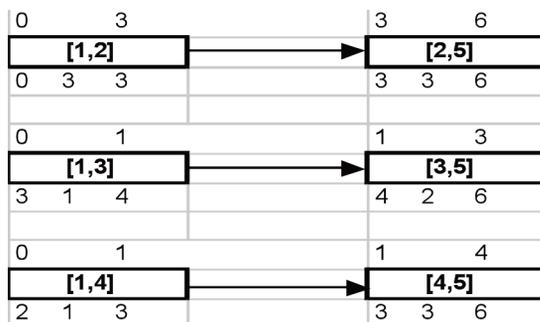
Figura 20. Red del ejemplo Sistema americano



Fuente: Elaboración propia.

3. Hacemos lo mismo en el sistema francés:

Figura 21. Red del ejemplo Sistema francés



Fuente: Elaboración propia.

- Realizamos los cálculos de los tiempos tempranos y tardíos, tanto a nivel de inicio como de terminación. Estimamos también las holguras y la capacidad de movimiento de cada actividad. Estas estimaciones se realizan sin la consideración de los recursos definidos.

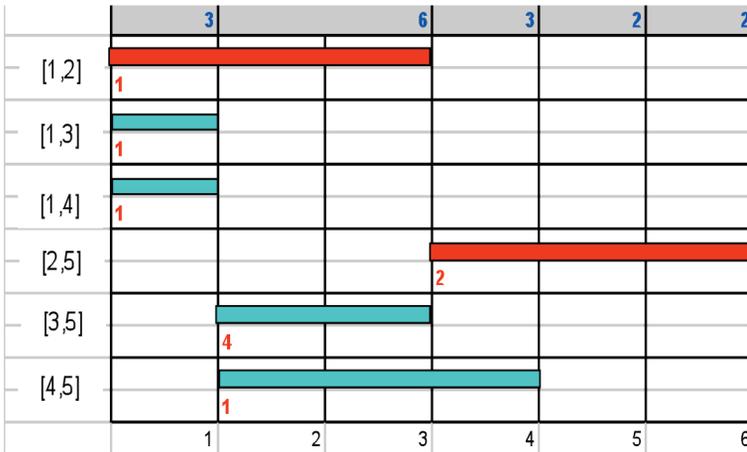
Tabla 22. Tiempos tempranos y tardíos Holguras no libres

ACTIVIDAD	E ₀	L ₀	E _F	L _F	HNL
[1,2]	0	0	3	3	0
[1,3]	0	3	1	4	3
[1,4]	0	2	1	3	2
[2,5]	3	3	6	6	0
[3,5]	1	4	3	6	3
[4,5]	1	3	4	6	2

Fuente: Elaboración propia.

- Construimos el diagrama de Gantt, a partir de los tiempos tempranos y precisamos los recursos utilizados para cada actividad (número en rojo). En base a este diagrama y por intervalos se estiman los recursos máximos para cada rango. Por ejemplo en el rango correspondiente a los tiempos 2 a 3, se ejecutan las actividades [1,2], [3,5] y [4,5], las cuales usan 1, 4 y 1 recurso respectivamente, dando un total de 6 recursos utilizados en este intervalo y que corresponde al máximo de todo el programa.

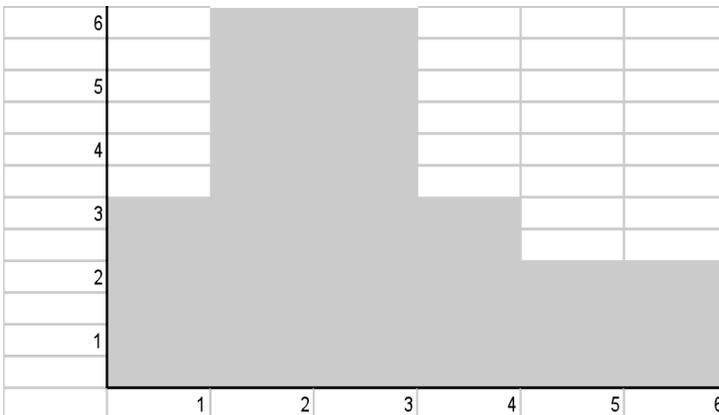
Tabla 23. Diagrama de Gantt situación actual



Fuente: Elaboración propia.

6. Gracias a la anterior estimación podemos graficar un histograma de carga de trabajo para los recursos definidos, el cual muestra una sobrecarga en el intervalo 2 a 3 y un nivel de utilización baja en el intervalo de 5 a 6. Evidentemente podemos notar que esta distribución de carga es bastante irregular en toda la escala de tiempo, lo que puede significar una utilización no necesariamente óptima de los recursos planificados.

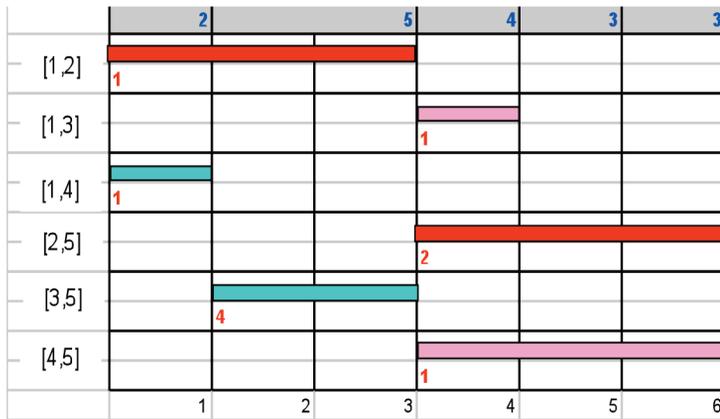
Figura 24. Histograma de carga situación actual



Fuente: Elaboración propia.

7. La pregunta que surge es, ¿se podrá mejorar la utilización de los recursos, sin modificar la duración del programa? Lo intentaremos a través de la modificación de aquellas actividades que no forman parte de la ruta crítica y que tienen una capacidad de movimiento expresada a través de la holgura no libre. Concretamente, moveremos en toda la capacidad de movimiento que tienen las actividades [1,3] y [4,5], recorriéndolas tal como muestra la figura siguiente.

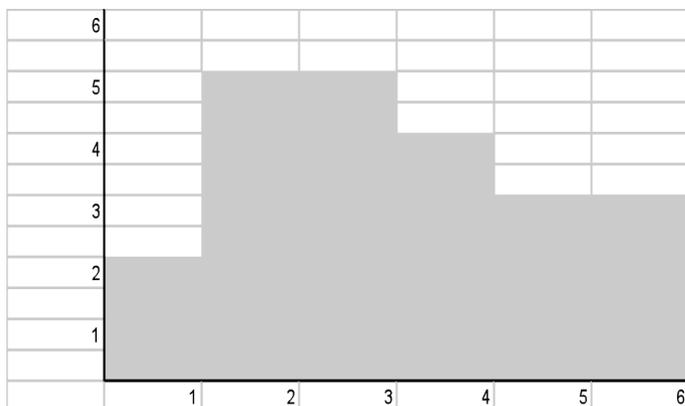
Tabla 25. Diagrama de Gantt situación mejorada



Fuente: Elaboración propia.

8. Finalmente, podemos realizar el histograma de carga de trabajo correspondiente y de esa manera verificar que gracias a este ensayo, hemos reducido el número de utilización máximo a 5 unidades de recurso; además hemos logrado establecer un histograma mucho más uniformemente distribuido y que seguramente apuntará hacia una utilización más racional de estos recursos. Si el lector, hace las pruebas y movimientos correspondientes, en relación al movimiento posible de las actividades no críticas, encontrará que para éste ejemplo esta es la mejor combinación. Evidentemente, el problema y el desafío se complica cuando se trata de programas más complejos y con un sinnúmero de actividades involucradas.

Figura 26. Histograma de carga situación mejorada



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

A partir del análisis y desglose realizado se pueden arribar a las siguientes conclusiones:

- La planificación y programación de actividades es una actividad a – priori, necesaria para encauzar un éxito futuro en las operaciones de una organización
- Las herramientas de los diagramas de barras y redes, a pesar de sus limitaciones, muestran su practicidad y utilidad en la planificación y programación de operaciones y es por ello que su uso es bastante generalizado, aunque no explotado en su verdadera dimensión.
- La planificación de actividades con recursos, no cuenta con un algoritmo generalizado, más bien su análisis y planteamiento de una solución, se hace en base a la teoría de “ensayo y error” con una base heurística.
- La planificación y programación de actividades, no tendría sentido si no se retroalimenta con el control y monitoreo; en este entendido, las herramientas estudiadas permiten ser utilizadas tanto como mecanismo ex - ante así como mecanismo evaluativo ex - post.

- Existen una amplia gama de programas que permiten el manejo de estas herramientas, cada una con sus virtudes, defectos, ventajas y desventajas. Entre los más conocidos tenemos: Quantitative for Management, Quantitative System for Businnes, Harvard Total Project Manager, Primavera, Project, MacProject, Pertmaster, VisiSchedule y Time Line.

Referencias bibliográficas

1. BENEDETTI, Claudio (2000). *Introduction a la Gestion des Opérations*. Éditions Études Vivantes, 3ª edición. Canadá.
2. COLLIER, David A.; EVANS, James R. (2009). *Administración de operaciones*: Editorial CENGAGE Learning. México.
3. HEIZER, Jay; RENDER, Barry (2006). *Dirección de la producción, decisiones tácticas*. Editorial Pearson, Prentice Hall, 6ª edición. España.
4. LOPEZ M., Hilario; MORAN T., Carlos (2010). *Programación PERT-CPM y control de proyectos*. Editorial CAPECO. Perú.
5. PARANHOS FILHO, Moacyr (2007). *Gestao da Produção Industrial*. Editorial IBPEX. Brasil.
6. SALOMAO CUKIERMAN, Zigmundo (2010); *O Modelo PERT/CPM, Aplicado a gerenciamento de Projetos*. Editora LAB, 8ª edição. Brasil
7. TERRAZAS, Rafael (2005). *Modelos lineales de optimización*. Editorial ETREUS, 3ª edición. Cochabamba.
8. TERRAZAS, Rafael (2006). *Preparación y evaluación de proyectos, un enfoque sistémico e integral*. Editorial ETREUS, Cochabamba.
9. TERRAZAS, Rafael (2011). *Módulo maestría en Dirección de Operaciones*. UNIVALLE, Cochabamba.