

2010-12-01

La administración de proyectos desde la teoría general de redes

José Gregorio Medina Cepeda

Universidad de La Salle, Bogotá, jomedina@lasalle.edu.co

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/gs>

Citación recomendada

Medina Cepeda, José Gregorio (2010) "La administración de proyectos desde la teoría general de redes," *Gestión y Sociedad*: No. 2 , Article 12.

Disponible en:

This Artículo de investigación is brought to you for free and open access by Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in *Gestión y Sociedad* by an authorized editor of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

La administración de proyectos desde la teoría general de redes¹

José Gregorio Medina Cepeda*

Recibido: 9 de marzo de 2010 – **Aprobado:** 16 de julio de 2010

Resumen

La planeación, la programación, el control y la ejecución de proyectos son elementos claves para el éxito empresarial. En un entorno global y con los elevados niveles de competencia actual, es necesario que los profesionales de todas las áreas del saber conozcan y manejen técnicas y herramientas que apoyen estos procesos. Desde la Investigación de Operaciones, la Teoría General de Redes, específicamente desde las técnicas de Planeación de Proyectos, se aportan una serie de modelos para este fin. Así, los métodos CPM, PERT y el método PERT/COST se han utilizado desde la década de los cincuenta en Administración en una gran variedad de proyectos. En este artículo se quiere presentar una revisión de los tres modelos mencionados desde la óptica de la Administración y Gestión de Proyectos.

Palabras clave

Investigación de Operaciones, Teoría General de Redes, Planeación de Proyectos, métodos.

¹ Este artículo corresponde al informe final de una investigación financiada por la Vicerrectoría de Investigación y Transferencia y la Facultad de Ciencias Administrativas y Contables de la Universidad de La Salle.

* Investigador principal; Ingeniero Industrial y Especialista en Ingeniería Producción, Universidad Distrital; Maestría Ingeniería Énfasis en Sistemas de Calidad y Productividad, Instituto Tecnológico de Monterrey. Profesor Tiempo Completo Facultad de Ciencias Administrativas y Contable, Universidad de La Salle. Correo electrónico: jomedina@lasalle.edu.co

Project Management from Network General Theory

Abstract

Planning, programming, control and execution of projects, is a key element for managerial success. Currently in this global environment besides higher competition levels, it is necessary that professionals of every knowledge areas, to identify and manage modus operandi and tools supporting these processes. From Operations Research, the General Network Analysis, specifically from Project Planning techniques, contributes with a series of models for this purpose. Thus, Critical Path Method, Program Evaluation and Review Technique, and PERT/COST Management System (also known as CPM time/cost), have been used from the 50s by Management in a great variety of projects. In this paper we want to show a review of the above-mentioned models, from the standpoint of the Project Administration and Management.

Keywords

Operations Research, General Network Analysis, Project Planning, methods.

Introducción

Dentro de la Investigación de Operaciones y la Administración de Operaciones, la Teoría General de Redes y particularmente los modelos de Redes de Actividad, constituyen herramientas claves en los procesos de planificación de proyectos complejos que involucren muchas actividades. Los modelos de redes son aplicables a una extensa variedad de problemas de decisión, los cuales pueden ser modelados como problemas de optimización de redes que pueden ser eficaz y efectivamente resueltos. Algunos de estos problemas de decisión son realmente de carácter físico, tales como el transporte o flujo de bienes materiales. Sin embargo, muchos problemas de redes son más que una representación abstracta de procesos o actividades, como el

camino crítico en las actividades entre las redes de un proyecto gerencial.

Para la elaboración de un diagrama de red se ha de tener en cuenta que existen dos enfoques; el primero de ellos, Red de Actividades en Arcos (AOA, por su sigla original) y la Red de Actividad en Nodos (AON, por su sigla original). Al usar AOA los arcos representan las actividades y los nodos representan los eventos (Heizer & Render, 2004).

Para esta investigación y por algunas de las características fundamentales de la Facultad de Administración de Empresas como la función de planeación dentro de las Organizaciones, el enfoque se hará específicamente en las redes de Proyecto, las cuales cumplen esta función dentro de la Investigación de Operaciones.

Los modelos CPM, PERT y PERT/COST serán la referencia teórica para el análisis de las teorías actuales en cuanto a planeación, programación, control y ejecución de proyectos.

Modelos de redes

En la actualidad, se han resuelto con éxito diversos problemas industriales y administrativos con ayuda de los modelos de redes. La planeación, la programación y el control de las actividades son elementos claves en el desarrollo de cualquier proyecto (Davis & McKeown, 1984).

Los modelos de redes son aplicables a una extensa variedad de problemas de decisión, los cuales pueden ser modelados como problemas de optimización de redes que pueden ser eficaces y efectivamente resueltos. Algunos de estos problemas de decisión son realmente físicos, como el transporte o flujo de bienes materiales. Sin embargo, muchos problemas de redes son más que una representación abstracta de procesos o actividades, tales como el camino crítico en las actividades entre las redes de un proyecto gerencial (Prawda, 2000).

La familia de redes de los problemas de optimización incluye los siguientes prototipos de modelos: problemas de asignación, camino crítico, flujo máximo, camino más corto, transporte y costo mínimo de flujos. Los problemas son establecidos fácilmente mediante el uso de arcos de redes y de los nodos. De igual manera, uno utilizado actualmente es el *método de diagramas de precedencia* (PDM), el cual representa sobre los nodos, las utilidades y no sobre las flechas como los métodos tradicionales, así como las flechas representan las relaciones de precedencia entre las actividades. Esta nueva presentación invierte el método convencional (Schroeder, 2005).

Métodos de planificación de proyectos

Según Miranda *et ál.* (2005), un proyecto se define como una serie de tareas relacionadas, parcialmente ordenadas y dirigidas por lo general a la obtención de un resultado importante, por lo que requiere un periodo prolongado para su finalización; habitualmente tiene una justificación específica y se realiza de una sola vez, contando con presupuesto, inicio y fines concretos. En la mayoría de las ocasiones se asocian con productos únicos o no repetitivos, pero esto no siempre es así, ya que muchos proyectos se pueden repetir. Algunos ejemplos pueden ser el desarrollo de un nuevo producto, la construcción de un edificio, la construcción de un portaviones, escribir un libro o la construcción de una urbanización puede convertirse en la repetición de proyectos individuales con idénticas o, al menos, similares características.

Un proyecto también puede definirse como el conjunto de medidas económicas, organizacionales y técnicas dirigidas a la elaboración de un nuevo objeto, construcción de sistemas, elaboración de temas de investigación científica o de ejecución de tareas específicas (Kalenatic, 1993) o como un conjunto de actividades interrelacionadas y orientadas a cumplir con un objetivo específico (Medina, 2004). Según Anderson, Sweeney y Williams (1999), a menudo, estos proyectos son tan grandes y complejos que los administradores requieren técnicas de apoyo para su adecuada planeación, control y ejecución. Cada proyecto se puede representar mediante la aplicación de las técnicas de planeación de redes, que se compone de flechas orientadas (actividades), las cuales están en cierta forma relacionadas recíprocamente (Kalenatic y Blanco, 1993). Se debe tener en cuenta además que estas actividades

se encuentran parametrizadas en función del tiempo $[f(t)]$, y que deben existir relaciones de dependencia claras entre éstas, de tal manera que permitan un desarrollo lógico y secuencial que posibilite el objetivo propuesto, así como la determinación de los recursos necesarios para cada actividad.

De igual manera, Krajewski y Ritzman (2000) presentan los métodos de planificación de redes como herramienta para los gerentes que permite vigilar y controlar los proyectos. Esto requiere una identificación de los datos requeridos, organizar e identificar las relaciones recíprocas entre las actividades; permiten estimar el tiempo y costo de ejecución y determinar los eventos claves de control, y a la vez evaluar las consecuencias de los trueques de unos recursos por otros sobre tiempos y costos.

Según Schroeder (2005), la planeación de un proyecto se refiere a aquellas decisiones necesarias al comenzar un proyecto que establecen los lineamientos generales, los objetivos fundamentales, los recursos requeridos, el tipo de organización y las personas claves que lo administrarán. La fase de programación se produce cuando el equipo de desarrollo identifica en mayor detalle el plan del proyecto. El control está a cargo del equipo de dirección, el cual supervisa cada actividad a medida que se va desarrollando y monitorea tiempo, costo y desempeño de acuerdo con el plan del proyecto.

En los últimos años se han empezado a utilizar con mayor frecuencia los métodos que posibilitan una mejor planeación y control de proyectos y un aprovechamiento de los recursos, lo que ha mejorado la gestión y toma de decisiones; las actuales organizaciones requieren el apoyo de técnicas de gestión, planeación y control en el desarrollo de sus proyectos cada vez más

complejos. La determinación de la estructura de tiempo del proyecto, se convierte en el punto de partida que permitirán posteriormente su operabilidad (Kalenatic, 1993).

Es muy frecuente que los proyectos crucen las líneas divisorias de la organización porque en ellos se requieren las diferentes habilidades de muchas profesiones y organizaciones; además, cada proyecto es único aunque se trate de una actividad aparentemente habitual. Los factores de incertidumbre, el desarrollo de nuevas tecnologías o el desarrollo de acontecimientos sociales, políticos o económicos pueden modificar las condiciones del proyecto (Krajewski y Ritzman, 2000).

Es así como el beneficio definitivo de poner en práctica técnicas de administración de proyectos es tener un enfoque orientado a la *satisfacción del cliente*, tanto para clientes internos del proyecto (ejecutores), como para externos (beneficiarios). Ejecutar un proyecto con calidad dentro de los parámetros de tiempo y costo proyectados, proporciona un factor de competencia (Gido y Clements, 2003).

Los dos métodos más utilizados en la planificación de redes son PERT (por su sigla original) que consiste en una *técnica de evaluación y revisión de programas* y el CPM (por su sigla original) que corresponde a *método de la ruta crítica*. En un principio, las dos técnicas eran diferentes, pero en la actualidad se usan conjuntamente por lo cual hoy en día se habla del método PERT/CPM (Anderson, Sweeney y Williams, 1999).

La gerencia exitosa de un proyecto ambicioso, bien sea de construcción, transporte o financiero, se apoyan en una coordinación y planificación minuciosa de varias tareas. El Método de Camino (o trayectoria) Crítico (CPM) intenta

analizar la planificación de proyectos. Esto posibilita mejor control y evaluación del proyecto. Por ejemplo, si se desea saber: ¿Cuánto tiempo durará el proyecto? ¿Cuándo se estará listo para comenzar una tarea en particular? Si la tarea no es completada a tiempo, ¿el resto del proyecto se retrasará? ¿Qué tareas deben ser aceleradas (efectivas) de forma tal de terminar el proyecto antes? (Gido y Clements, 2003).

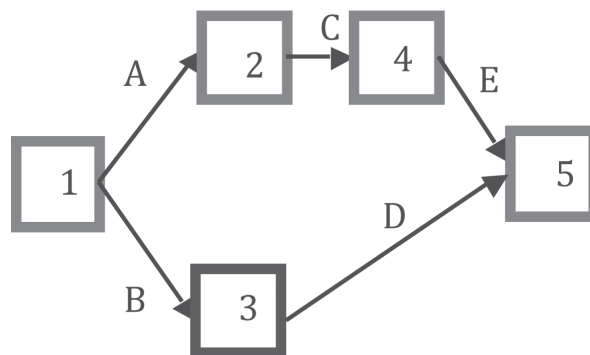
Al igual, Anderson, Sweeney y Williams (2004) proponen que se debe partir del hecho que la administración de un proyecto es totalmente diferente de la que se aplica a una operación, ya sea continua o en marcha. Así, para emprender la administración de un proyecto dentro del diseño detallado, el primer paso se compone de dos tareas: definición y organización. Una vez determinado quién será el gerente del proyecto y el personal que estará a cargo del mismo, se deben tener en cuenta dos pasos: la planeación y el control, teniendo en cuenta que tanto los esfuerzos como el tiempo y los recursos empleados en cada uno de estos pasos estarán en función del tamaño del proyecto y del costo en el que se incurre al desarrollar el diseño detallado de éste. De igual manera, Gido y Clements (2003) proponen que la responsabilidad del gerente de proyectos es asegurarse de que se logre el objetivo del proyecto y que se termine el alcance del trabajo con calidad, dentro del presupuesto, a tiempo y a satisfacción del cliente (Evans y Lindsay, 2005).

Construcción del diagrama de red

Para la elaboración de un diagrama de red se ha de tener en cuenta que existen dos enfoques. El primero de ellos es *Red de Actividades en Arcos* (AOA, por su sigla original) y *Red de Actividad en Nodos* (AON, por su sigla original). Al usar AOA los arcos representan las actividades y los

nodos representan los eventos. Estos últimos no consumen tiempo ni recursos. Este enfoque es orientado a los eventos (Heizer and Render, 2004)

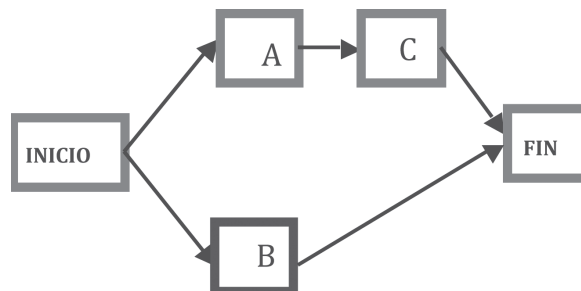
Figura 1. Red de Actividades en Arcos (AOA)



Fuente: Prawda (2000).

En el segundo enfoque, AON, los nodos representan las actividades y los arcos indican las relaciones de precedencia entre ellas. Este enfoque está orientado a las actividades.

Figura 2. Red de Actividad en Nodos (AON)



Fuente: Hillier y Lieberman (2006).

De igual manera, se ha de aclarar que el tamaño de los arcos o flechas no determina el tiempo de la duración de la actividad en este tipo de gráficos, a diferencia de los diagramas de Gantt (Miranda *et ál.*, 2005). Las versiones originales del PERT y CPM usaban redes de proyecto AOA; sin embargo, las redes AON tienen algunas

ventajas frente a las redes AOA:

- Es mucho más sencillo construir las redes de proyecto AON que las redes AOA.
- Es más fácil entender las redes de proyecto AON que las redes AOA.
- Es más sencillo revisar las redes de proyecto AON que las AOA cuando se hacen cambios en el proyecto (Hillier y Lieberman, 2006).

Método CPM

En un comienzo, el método CPM se enfocó únicamente en determinar el tiempo del proyecto con la identificación de la ruta crítica; posteriormente, involucró la variable costo como el otro elemento clave para el análisis de los proyectos. Es un proceso administrativo de planeación, programación, ejecución y control

de todas y cada una de las actividades componentes de un proyecto que debe desarrollarse dentro de un tiempo crítico y al costo óptimo. Fue diseñado en 1957 por los investigadores Nelly de Dupont y Walter de Remington Rand el cual originalmente fue denominado CPPSM (acrónimo que corresponde a *Critical Path Planning and Scheduling Method*); se usó para programación y control de la factoría química en Kentucky y demostró sus grandes ventajas respecto a los métodos clásicos por su aptitud de integrar modificaciones sin dificultad (Render, Stair & Hanna, 2006).

La revisión bibliográfica permite construir la siguiente tabla de resumen con algunos de los autores más significativos en el tema de la Investigación de Operaciones con relación al método CPM.

Tabla 1. Conceptos sobre el método CPM

Autor	Año	Concepto
Davis y McKeown	1984	Se refiere básicamente a los intercambios entre el costo de un proyecto y su fecha de terminación.
Kalenatic	1993	CPM, considera actividades con tiempo de ejecución determinístico y define a la ruta crítica como el conjunto de actividades claves dentro del proyecto.
Chase, Jacobs y Aquilano	2004	Se utiliza una única estimación de tiempo, debido a que se asume que los tiempos de las actividades son conocidos. Los pasos básicos son: identificar las actividades del proyecto, determinar la secuencia requerida, determinar la ruta crítica, y determinar los tiempos tempranos y tardíos de cada actividad.
Hillier y Lieberman	2006	Con el paso de los años, las mejores características de las técnicas PERT y CPM se han fusionado en el modelo PERT/CPM, que tiene como mayor aporte el método CPM (criterio determinístico) de trueque entre tiempo y costo

Fuente: Elaboración propia.

Según Render, Stair y Hanna (2006), existen seis pasos comunes para el desarrollo tanto de PERT como de CPM. Estos pasos son los siguientes:

- 1) Definir el proyecto y todas sus actividades o tareas componentes.
- 2) Desarrollar las relaciones entre las actividades; decidir la secuencia lógica de ejecución.
- 3) Trazar la red que conecta todas las actividades.
- 4) Asignar los tiempos (o las estimaciones de tiempo) o costo para cada actividad.
- 5) Calcular la línea de tiempo más larga a través de la red (ruta crítica del proyecto).

- 6) Utilizar la red para planeación, programación, supervisión y control del proyecto.

El algoritmo CPM presenta, entonces, una serie de pasos necesarios para determinar el tiempo del proyecto (línea de tiempo), iniciando con la evaluación de los tiempos tempranos, los cuales se conciben como los tiempos de inicio mínimos para una actividad, mediante los cuales se da cumplimiento al plan propuesto. Luego, debe hacerse una evaluación de los tiempos tardíos, los cuales se asumen como los tiempos máximos de inicio o terminación que puede tener una actividad sin afectar el plan del proyecto. Por último, la diferencia entre estos dos permite evaluar las holguras de las actividades, las actividades críticas (aquellas cuya holgura sea igual a cero) y la(s) ruta(s) crítica(s). La ruta crítica es la más larga en duración del proyecto, la cual está compuesta por actividades críticas; es decir, primero se debe identificar éstas para poder determinar la(s) ruta(s) crítica(s) del proyecto.

Método PERT

PERT (acrónimo de *Program Evaluation and Review Technique*) es un instrumento diseñado especialmente para la dirección, que permite planificar, programar y controlar los recursos de que dispone con el fin de obtener resultados deseados. Se trata de una técnica que proporciona a la gerencia información sobre los problemas reales y potenciales que puedan presentarse en la terminación de un proyecto, la condición corriente de un proyecto en relación con el logro de sus objetivos, la fecha esperada de termi-

nación de éste y las posibilidades de lograrlo, y en dónde se encuentran las actividades más y menos críticas en el proyecto total. Éste fue diseñado en 1958, por la misma época en que se desarrolló el método CPM por *Naval Special Project Office*, con la colaboración de Lockheed Aircraft y de la firma Booz-Allen & Hamilton (Miranda, 2005).

Una de sus aplicaciones iniciales se dio en el proyecto de la construcción de los misiles Polaris para la Marina estadounidense (Davis, 1984). Esta técnica permitió programar a más de 3 000 contratistas, proveedores y dependencias, y se le reconoció el mérito de adelantar el proyecto en casi dos años (Schoeder, 2004). Lo extraordinario es que habiendo sido diseñados por grupos diferentes que buscaban resultados diferentes (uno para la minimización de costos, y el otro para la optimización de los tiempos), y que el primero fuera de tipo determinístico y el segundo probabilístico, las coincidencias gráficas fueran tan notables en ambos métodos. Puede decirse que a primera vista no existe ninguna diferencia desde el punto de vista gráfico.

De igual manera que con el método CPM, se desarrolla una revisión bibliográfica de los principales exponentes de Investigación de Operaciones con relación al método PERT; éstos permiten evidenciar que el concepto manejado es congruente, pues la estimación de los tiempos de ejecución de las actividades así como el análisis estadístico de la probabilidad de ejecutar el proyecto en un tiempo específico constituyen los factores más relevantes de este método.

Tabla 2. Conceptos sobre el método PERT

Autor	Año	Concepto
Davis y McKeown	1984	Técnica de planeación, programación y control de una gran cantidad de trabajos asociados a un proyecto. Puede manejar la incertidumbre en el pronóstico de los tiempos de ejecución de las tareas.
Kalenatic	1993	PERT considera incierto el tiempo de ejecución de las actividades, y encontró su aplicación en proyectos de investigación y desarrollo, donde las actividades se ejecutarían por primera vez y esto dificultaba la precisión en la estimación del tiempo de ejecución.
Heizer y Render	2004	El método PERT usa tres estimaciones de tiempo para cada actividad, las cuales se utilizan para calcular los valores esperados y las desviaciones estándar de cada actividad. A menudo se asume que las actividades tienen un comportamiento bajo una distribución beta.
Miranda, Rubio, Chamorro y Banegil	2005	El método PERT surge simultáneamente al análisis CPM con grandes semejanzas. Tal vez la única novedad es la estimación de las duraciones de las actividades donde se considera dicha duración como una variable aleatoria que debemos estimar: pesimista, normal o más probable y optimista. PERT supone que cada actividad sigue una distribución de probabilidad beta, lo que permite calcular su tiempo esperado y su varianza.
Hillier y Lieberman	2006	Con el paso de los años, las mejores características de las técnicas PERT y CPM se han fusionado en el modelo PERT/CPM, que tiene como mayor aporte el <i>método CPM</i> (criterio determinístico) <i>de trueque entre tiempo y costo</i> .

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presentan los puntos básicos del método PERT, los cuales son transversales para la revisión bibliográfica desarrollada.

- Análisis de las actividades en el cual se determinan las relaciones de dependencia (plan de actividades).
- Estimación de los tiempos de ejecución de las actividades:

$t(o)$: Tiempo optimista de ejecución de la actividad

$t(m)$: Tiempo más probable de ejecución de la actividad

$t(p)$: Tiempo pesimista de ejecución de la actividad

- Determinación del tiempo esperado y de la varianza de cada actividad.

En este punto, algunos de los autores hacen referencia a una variable aleatoria que sigue una distribución de probabilidad beta (Kalenatic,

1993; Chase, Jacobs y Aquilano, 2004; Hillier y Lieberman, 2006, entre otros). De igual manera, revisando los conceptos estadísticos de este tipo de distribuciones, Devore (2001) presenta la estructura de la distribución beta como una opción válida para evaluar el tiempo esperado de ejecución de las actividades probabilísticas dentro del modelo PERT, y define como elementos clave del análisis a:

$t(e)$: tiempo esperado de ejecución de la actividad,

$$t(e) = \frac{to + 4tm + tp}{6}$$

donde:

σ^2 : varianza de la actividad,

donde:

$$\sigma^2 = \left(\frac{p-o}{6} \right)^2$$

Método CPM tiempo/costo

Según Render, Stair & Hanna (2006), con este método se supone que la compresión en el tiempo de ejecución de una actividad puede obtenerse al incrementar el nivel de recursos de una actividad. Se requiere identificar un tiempo normal de ejecución y un tiempo comprimido (o mínimo de ejecución), así como un costo normal y un costo comprimido. Por consiguiente, el objetivo consiste en comprimir el proyecto al mínimo

costo adicional (relacionado directamente con el tiempo de ejecución normal y comprimido). Muchos autores lo denominan método PERT/CPM o método trueque tiempo/costo.

Al desarrollar la revisión bibliográfica, una de las principales conclusiones, la cual sirve de base para esta investigación, es que desde los inicios, PERT/COST es un método desarrollado para actividades tipo CPM, es decir para actividades con tiempo de ejecución determinístico.

Tabla 3. Conceptos sobre el método CPM tiempo/costo (PERT/COST)

Autor	Año	Concepto	Título
Kalenatic	1993	Busca la evaluación del costo de las actividades en función del tiempo de ejecución. Asume que las actividades son determinísticas, y que el incremento en el costo por acelerar una unidad de tiempo cualquier actividad tiene un comportamiento lineal.	PERT/COST
Chase, Jacobs y Aquilano	2004	Extensión del método básico de la ruta crítica (CPM) y se encarga de desarrollar un programa de costo mínimo para todo el proyecto, así de controlar los gastos durante éste. Por una parte, cuesta dinero apresurar una actividad; por otra, implica un gasto mantener (alargar) el proyecto.	Tiempo-Costo
Miranda, Rubio, Chamorro y Bañegil	2005	Se busca que el tiempo de realización del proyecto sea el mínimo posible, para un costo de ejecución dado (mínimo posible). Este método fue desarrollado por uno de los autores originales del método CPM, J. E. Kelley, quien elaboró un análisis funcional entre el tiempo y costo de ejecución de una actividad. Este método considera que para cada actividad existe un tiempo normal y uno récord (tiempo mínimo de ejecución), así como un costo normal y un costo récord. De esta forma, se define la pendiente de costo de la actividad como el incremento en el costo al reducir el tiempo de ejecución en una unidad.	Programación de proyectos a costo mínimo
Render, Stair y Hanna	2006	Este método asume que la compresión en el tiempo de ejecución de una actividad puede obtenerse al incrementar el nivel de recursos de una actividad. Se requiere identificar un tiempo normal de ejecución y un tiempo comprimido, así como un costo normal y un costo comprimido. Por consiguiente, el objetivo consiste en comprimir el proyecto al mínimo costo adicional. La compresión de proyectos mediante CPM considera los siguientes pasos: <ol style="list-style-type: none"> 1) Encontrar la ruta crítica normal del proyecto. 2) Calcular el costo de compresión de cada actividad por unidad de tiempo. 3) Seleccionar de la ruta crítica, la actividad con el menor costo de compresión por unidad de tiempo, y comprimirla hasta el punto máximo posible. 4) Comprobar que la ruta crítica que se comprimió siga siéndolo. La compresión del proyecto, en algunas ocasiones, genera la aparición de nuevas rutas críticas. Si la ruta crítica sigue siendo el trayecto más largo, regresar al paso 3; de lo contrario, buscar la nueva ruta crítica y regresar al paso 3. 	Compresión de proyectos con CPM

Fuente: Elaboración propia.

La revisión teórica permite, entonces, evidenciar que no existe una propuesta actual que integre en el algoritmo de tiempo de proyecto ni en el algoritmo de optimización tiempo/costo, un modelo que integre actividades determinísticas (tipo CPM) y probabilísticas (tipo PERT), las cuales amplíen el espectro de los modelos matemáticos de las redes de proyecto (Medina, 2006).

Conclusiones

La Investigación de Operaciones, desde la Teoría General de Redes, ofrece métodos claves para el análisis de proyectos como PERT, CPM y CPM tiempo/costo. Por una parte, el método CPM se aplica para proyectos con actividades cuyo tiempo de ejecución se puede estimar con certeza (método determinístico). Por su lado, el método PERT se utiliza en proyectos de investigación y desarrollo donde los tiempos de

ejecución de las actividades son inciertos (método probabilístico). Mientras que el método CPM tiempo/costo aplica el análisis de reducción del tiempo de ejecución del proyecto con el mínimo incremento del costo, únicamente para proyectos tipo CPM, es decir, con actividades determinísticas.

Resulta apropiado observar que en la actualidad, la principal diferencia entre los modelos CPM y PERT es que CPM permite optimización tiempo/costo, mientras que PERT propone un análisis probabilístico del tiempo de ejecución del proyecto.

Finalmente, los métodos evaluados en el marco teórico de esta investigación evidencian la carencia de un modelo matemático que permita analizar proyectos, los cuales contengan actividades con tiempo de ejecución determinístico y probabilístico.

Referencias

Anderson, D.R.; Sweeney, D.J. & Williams, T.A. (1999). *Quantitative Methods for Business*. 7th Edition, USA: South-Western Educational Publishing.

Chase, R.; Jacobs, F.R. y Aquilano, N. (2004). *Administración de la Producción y Operaciones*. Décima Edición. USA: McGraw-Hill.

Davis, R. & McKeown, P. (1984). *Métodos Cuantitativos para Administración*. 2.^a Edición. México: Grupo Editorial Iberoamérica.

Devore, J.L. (2001). *Probabilidad y estadística para ingenierías y ciencias*. 5.^a Edición. México: Thomson Learning.

Evans, J.R. y Lindsay, W.M. (2005). *Administración y Control de la Calidad*. 6.^a Edición. USA: Thomson.

Gido, J. y Clements, J. (2003). *Administración exitosa de proyectos*. 2.^a Edición. USA: Thomson.

Heizer, J. & Render, B. (2004). *Principles of Operations Management*, 5th Edition. USA: Prentice Hall, Inc.

Kalenatic, D. (1993). *Técnicas de Planeación de Redes*. Bogotá: Fondo de Publicaciones Universidad Distrital.

- Kalenatic, D. y Blanco, L.E. (1993). *Aplicaciones Computacionales en Producción*. Bogotá: Fondo de Publicaciones Universidad Distrital.
- Krajewski, L.J. y Ritzman, L.P. (2000). *Administración de Operaciones, estrategia y análisis*. 5.ª Edición. USA: Pearson Educación.
- Medina, J.G. (2006). Design of an optimization model of the time and cost of execution for mixed projects. Ponencia presentada en el XIX International Symposium on Mathematical Programming. Julio, Rio de Janeiro.
- Miranda, F.J. et ál. (2005). *Manual de Dirección de Operaciones*. Madrid: Thomson.
- Prawda, J. (2000). *Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones*. Vol. 1. México: Limusa.
- Render, B.; Stair, R. & Hanna, M. (2006). *Quantitative Analysis for Management*. 9th Edition. USA: Pearson Education.
- Schroeder, R.G. (2005) *Administración de Operaciones: Casos y conceptos contemporáneos*. 2.ª Edición. USA: McGraw-Hill.