

## RESUMEN

El estudio busca dar respuesta a la pregunta ¿Cómo optimizar tiempos, recursos y costos en la gestión de proyectos empresariales con una visión integral e integrada de las actividades, favoreciendo su administración y control? Se aplica método PERT – CPM de Investigación de Operaciones a un caso particular en el ámbito del marketing, esto es, la implementación de la campaña comunicacional para la organización objeto de estudio –Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda.- con el fin de fortalecer la imagen institucional. Se identifica la ruta crítica para el cumplimiento de las actividades del proyecto que optimiza el tiempo de ejecución, los costos y el control.

La investigación evidencia la flexibilidad del método PERT-CPM para realizar simulaciones probabilísticas que se ajustan a posibles decisiones administrativas del proyecto, en cuanto a aceleración en los tiempos de cumplimiento o niveles de confianza del programa estipulado. Además, la aplicación de los modelos cuantitativos de Investigación de Operaciones, como es el caso del método PERT-CPM, con el apoyo de herramientas informáticas, contribuyen con información procesada técnicamente para la toma de decisiones en las organizaciones, confirmando su utilidad en proyectos empresariales -más aún en el caso de proyectos complejos y a gran escala.

**Palabras Clave:** investigación de operaciones, método pert-cpm, administración de empresas, marketing, cooperativa.

## APLICACIÓN DEL MODELO PERT-CPM A LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE MARKETING EMPRESARIAL

Carlos Ernesto Flores Tapia<sub>1</sub> / Karla Lissette Flores Cevallos<sub>2</sub>

**Fecha de recepción:** 23 de diciembre de 2020

**Fecha de aceptación:** 15 de julio de 2021

1 Escuela de Administración de Empresas, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ambato, Ecuador.  
cflores@pucesa.edu.ec

2 Escuela de Doctorado de la Universidad de Cádiz, Universidad de Cádiz, Cádiz, España.  
karla.floresceva@alum.uca.es

## APPLICATION OF THE PERT-CPM MODEL TO THE MANAGEMENT OF BUSINESS MARKETING PROJECTS

### ABSTRACT:

The study seeks to answer the question how to optimize time, resources and costs in the management of business projects with a comprehensive and integrated view of activities, favoring their administration and control? PERT method - Operations Research CPM is applied to a particular case in the field of marketing, that is, the implementation of the communication campaign for the organization under study –Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda.- in order to strengthen the institutional image. The critical path for the fulfillment of project activities is identified that optimizes execution time, costs and control.

The research shows the flexibility of the PERT-CPM method to carry out probabilistic simulations that adjust to possible administrative decisions of the project, in terms of acceleration in compliance times or levels of confidence of the stipulated program. In addition, the application of quantitative Operations Research models, such as the PERT-CPM method, with the support of computer tools, contribute technically processed information for decision-making in organizations, confirming its usefulness in business projects. - even more so in the case of complex and large-scale projects.

**Keywords:** operations research, pert-cpm method, business administration, marketing, cooperative.

## INTRODUCCIÓN

La Investigación de Operaciones consiste en un conjunto de técnicas que contribuyen a la solución de problemas de una amplia gama de actividades, mediante la aplicación de diversos métodos sustentados en modelos matemáticos. Es el caso de los métodos PERT –*Technique Program Evaluation and Review*- y CPM –*Critical Path Method*-, cuya traducción al español es, para el primero, Técnicas de Programación, Evaluación y Control y, para el segundo, Método del Camino Crítico (Hillier & Lieberman, 2015a). No obstante, los dos métodos están integrados y se los aplica como uno sólo en la solución a problemas que requieren el cálculo de óptimos en la asignación recursos y costos en un horizonte de planificación determinado, lo que implica programar, revisar y modificar las variables que intervienen en un proyecto favoreciendo su ejecución en las condiciones lo más favorables posibles.

El método PERT-CPM puede aplicarse a cualquier disciplina en la cual se fije un objetivo, se lleven a cabo un conjunto de actividades y se necesite la distribución maximizada de los recursos disponibles. Es el caso de los proyectos que se pueden llevar a cabo en el sector empresarial, aplicados por ejemplo al ámbito de la producción, las finanzas, el marketing, la gestión del talento humano, entre otras (Anderson et al., 2016).

Ahora bien, entre las ventajas de la aplicación de PERT-CPM con respecto a otros métodos de planificación y control de las actividades de los proyectos empresariales, tales como Gantt, Kanban, Ágil, *Waterfall*, entre otros, se destacan: la visión conjunta del desarrollo a lo largo del tiempo de las diferentes actividades, haciéndose visible la interrelación entre ellas y facilitando su control, así como el enfoque sistémico y flexible de dichas actividades, la identificación de los puntos críticos del proyecto, la selección de alternativas de planificación, la reducción de tiempos, la observación de requisitos técnicos, la asignación adecuada de recursos para cada etapa del proyecto; la revisión y ajustes de las variables del proyecto, el cálculo de la duración total del proyecto con sus actividades críticas y no críticas y la reducción de contingencias (Hillier & Lieberman, 2015a; Winston, 2004).

Ahora bien, el presente artículo, aplicando el método PERT-CPM a un caso particular, la gestión de marketing de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda., contribuye con una metodología para la gestión de proyectos empresariales que, principalmente, minimiza costos, reduce los tiempos de ejecución e identifica actividades críticas para su cumplimiento.

La empresa objeto de estudio es una organización del sector de la Economía Social, está ubicada en la provincia de Tungurahua, Ecuador (Cooperativa Ambato, 2020). Esta entidad viene atravesando un deterioro en su imagen institucional a partir de la entrada en vigencia de la Ley Orgánica de Economía Popular y solidaria en el año 2011, la cual establece un nuevo contexto normativo, obligando a las entidades del sector social a implementar estrategias que favorezcan su crecimiento y

sostenibilidad. Esta situación produjo el cierre de muchas entidades cooperativas, generándose una imagen de inestabilidad y desconfianza por parte de los usuarios y de la ciudadanía, en general (Asamblea Nacional del Ecuador, 2011).

Con el antecedente antes señalado, la Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda., llevó adelante en el año 2020 un estudio con el objetivo de analizar la situación interna y del entorno económico local y nacional, determinándose, entre otras conclusiones, la necesidad de la implementación de un plan de marketing sustentado, entre otras estrategias, en una campaña comunicacional que permita fortalecer la imagen institucional y así favorecer un ambiente de confianza, primero, para sus actuales clientes y, luego para los potenciales usuarios de sus servicios.

Señalado lo anterior, la pregunta que guía la investigación es ¿cómo optimizar tiempos, recursos y costos en la implementación de la campaña publicitaria para la Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda., con una visión integral e integrada de las actividades, favoreciendo su administración y control? Siendo la hipótesis planteada la siguiente: la aplicación del método PERT-CPM permite optimizar, entre varias alternativas factibles de solución, el tiempo de ejecución, la ruta crítica y los costos de los proyectos empresariales, como es el caso particular del proyecto de marketing llevado adelante por la empresa social objeto de estudio.

A continuación, se revisa la literatura y estado del arte, luego se detalla la metodología, se presentan los resultados de la aplicación del método PERT-CPM, las conclusiones y la recomendación para investigaciones futuras.

## REVISIÓN DE LA LITERATURA Y ESTADO DEL ARTE

El origen de los trabajos de la técnica PERT inicia en enero de 1957 en la Oficina de Proyectos Especiales de la Armada de los EEUU, como una propuesta de solución de planificación integrada y un sistema de control fiable para el programa de misiles balísticos Polaris, denominados PERT -*Program Evaluation Research Task*-. Participan también en su diseño la división de Sistemas de Misiles Lockheed y la consultora Booz, Allen & Hamilton, quienes con este nuevo método optimizan el tiempo de ejecución del proyecto, de cinco a tres años, coordinando la ejecución de actividades que involucran a más de 250 empresas, 9000 subcontratistas y numerosas agencias gubernamentales (Prawda, 2004).

Por su parte, el origen del CPM -*Critical Path Method*-, se sitúa entre diciembre de 1956 y febrero de 1959. Algunas empresas industriales, entre ellas DuPont contribuyen a la aplicación del método PERT incorporando innovaciones tales como el uso de ordenadores comerciales y optimización de costos. En este trabajo son pionero Morgan Walker, de la *Engineering Services Division* de Du Pont y el matemático James E. Kelley, Jr, investigador de la Remington Rad, quienes perfeccionan el método y su uso en proyectos de plantas químicas de DuPont (Eppen et al., 2000).

Hoy en día, estos dos métodos están integrado en uno sólo, denominado Redes PERT-CPM, una técnica de Investigación de Operaciones que permite programar, ejecutar, monitorear, evaluar y hacer mejoras continuas a un determinado proyecto en las condiciones más favorables posibles, optimizando la asignación de tiempos, recursos y costos a las actividades previstas (Flores-Tapia & Flores-Cevallos, 2017b).

El método PERT, inicialmente, se basaban en estimaciones probabilísticas de la duración de las actividades, dando como resultado una ruta probabilística, a través de una red de actividades y un tiempo probabilístico de terminación del proyecto. El método CPM, por su parte, suponen tiempos de actividades constantes o deterministas. No obstante, la conceptualización del sistema de actividades como una red vino a constituir un paso importante en el análisis de los sistemas de producción en gran escala en ámbitos tales como la industria de la construcción, desarrollo de sistemas informáticos, controles y auditorías financieras, instalación de plantas industriales, entre otros. Pues, el concepto del flujo a través de la red se centra en factores importantes de la programación, como son la interacción entre la duración respectiva de las actividades, sus fechas de iniciación más próxima y más distante y la secuencia que se requiere en la producción, permitiendo optimizar el tiempo de un determinado proyecto con la utilización adecuada de recursos y determinar la ruta crítica que permita establecer la duración del proyecto (Taha, 2017).

En este sentido, la cantidad de actividades consideradas en el camino crítico del proyecto es importante para determinar si el supuesto de distribución normal es pertinente. Cuando son menos de 30 -algunos autores menos de 50-, puede aplicarse el Teorema de Bienayme-Tchebycheff, del cual puede deducirse que, la probabilidad de que una observación  $x$  de una variable aleatoria  $X$  se encuentre dentro del rango de variación de más o menos  $K$  veces el desvío estándar ( $K \sigma$ ) en torno a su valor medio esperado es superior a una constante que vale  $1 - 1/k^2$ .

La expresión formal es:  $P(m - K \sigma < x < m + K \sigma) > 1 - 1/k^2$ , donde  $m$  es la media de la distribución y equivale a  $E(X)$ . Lo anterior quiere decir que en cualquier conjunto de observaciones -muestra o población-, la proporción de valores que se encuentra a  $k$  desviaciones estándar de la media es de por lo menos  $1 - 1/k^2$ , siendo  $K$  cualquier constante mayor que 1. Lo anterior quiere decir que, por ejemplo, por lo menos tres de cuatro valores, esto es al menos el 75%, deben encontrarse entre la media más dos desviaciones estándares y la media menos dos desviaciones estándares, cumpliéndose esta relación independientemente de la forma de la distribución (Flores-Tapia & Flores-Cevallos, 2017a; Lind, 2012).

Para obtener los mejores resultados el PERT-CPM debe aplicarse a los proyectos que posean las siguientes características:

- a) Sea único, no repetitivo, en algunas partes o en su totalidad.
- b) Debe ejecutarse todo el proyecto o parte de él, en un tiempo mínimo, sin

variaciones, es decir, en tiempo crítico.

- c) El costo de operación sea el más bajo posible dentro de un tiempo disponible.
- d) Se conozcan los componentes fundamentales del proyecto, las reglas de interacción entre objetivos globales y parciales del proyecto y se dispongan de los recursos necesarios para su cumplimiento.
- e) Se excluyen los proyectos con una secuencia lineal u horizontal, así como los que tengan un número reducido de actividades.

### Planteamiento del modelo matemático PERT-CPM

El modelo PERT-CPM es en la práctica un tipo especial del método de Programación Lineal de Investigación de Operaciones. En el caso de la ruta crítica –CPM- se busca la ruta más larga entre los nodos de inicio y de terminación de la red del proyecto (Taha, 2017). Por tanto, su función objetivo de PL es de maximización, planteada así:

$$\text{Maximizar } z = \sum_{\substack{\text{todas las actividades} \\ \text{definidas (i,j)}}} D_{ij}x_{ij} \quad (1)$$

Donde:

$x_{ij}$ : Cantidad de flujo de la actividad (i,j) para toda i y j definidas

$D_{ij}$ : Duración de la actividad (i,j) para toda i y j definidas

Para cada nodo hay una restricción que representa la conservación del flujo:

Flujo de entrada total = Flujo de salida total y, todas las variables,  $x_{ij}$ , son no negativas.

Además, el modelo PERT-CPM puede asumir tiempos de duración probabilísticos o estocásticos basados en estimaciones de tipo optimista, probable y pesimista, dependiendo si la ejecución de la actividad ocurre extremadamente bien, en condiciones normales o es muy deficiente, respectivamente (Taha, 2017). La formulación para el cálculo del tiempo de duración promedio es la siguiente:

$$\bar{D} = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (2)$$

Donde:

$\bar{D}$  : tiempo de duración promedio.

a: tiempo optimista

m: tiempo probable

b: tiempo pesimista

Basada en las estimaciones de tiempo optimista y pesimista, la varianza –v- se aproximan como:

$$v = \left( \frac{b - a}{6} \right)^2 \quad (3)$$

Siguiendo a Taha (2012), la variable aleatoria  $e_j$  que representa el tiempo de ocurrencia más temprano del nodo, la probabilidad de que  $j$  ocurrirá en un tiempo programado,  $S_j$ , puede estimarse de la siguiente manera si se supone que todas las actividades en la red son estadísticamente independientes. Primero se calcula la media  $E\{e_j\}$  y la varianza,  $\text{var}\{e_j\}$ . En el caso de que se tenga una única ruta del nodo de inicio al nodo  $j$ , entonces la media es la suma de las duraciones esperadas,  $D$ , de todas las actividades a lo largo de esta ruta y la varianza es la suma de las varianzas,  $v$ , de las mismas actividades. Si hay más de una ruta al nodo  $j$ , se determina la distribución estadística de la duración de la ruta más larga. No obstante, se puede simplificar el cálculo si se selecciona la ruta al nodo  $j$  que tenga la duración promedio más larga.

La probabilidad de que el nodo  $j$  ocurra en el tiempo  $S_j$  se representa de forma aproximada utilizando la distribución estandarizada  $Z$ , si se ha calculado la media y la varianza de la ruta al nodo  $j$ ,  $E\{e_j\}$  y  $\text{var}\{e_j\}$  y su uso se justifica porque  $e_j$  es la suma de variables aleatorias independientes –pues, según el teorema del límite central,  $e_j$  está distribuida normalmente de una manera aproximada, tal como se expone en la ecuación (4).

$$P\{e_j \leq S_j\} = P\left\{ \frac{e_j - E\{e_j\}}{\sqrt{\text{var}\{e_j\}}} \leq \frac{S_j - E\{e_j\}}{\sqrt{\text{var}\{e_j\}}} \right\} = P\{z \leq K_j\} \quad (4)$$

Por otra parte, complementando lo anterior, hoy en día se dispone de herramientas informáticas que contribuyen de manera significativa a la búsqueda de soluciones matemáticas de los distintos métodos de Investigación de Operaciones, particularmente los relacionados con el método PERT-CPM, tales como *Project*, *KPlato*, *OpenProj*, *NavalPlan*, *Tora* y *Lingo*, entre otros. En la presente investigación se utiliza Microsoft Project, un software desarrollado y distribuido por Microsoft que permite, principalmente, planificar las actividades, asignar recursos a tareas, monitorear el avances, gestionar el presupuesto y analizar cargas de trabajo de proyectos (Microsoft, 2020).

Entre los estudios relacionados con la aplicación del método PERT-CPM, se destaca

Soroush (1994), quien estudia el problema de la “ruta más crítica” y lo formula como un problema de ruta óptima en una red determinista con una función objetivo fraccional de dos atributos, demostrando que el algoritmo propuesto proporciona estimaciones para las probabilidades de tiempo de finalización que son mucho más precisas que las del enfoque clásico. Así también, Contador y Senne (2007), presentan un estudio sobre los principales métodos para identificar las rutas más largas en las redes PERT y proponen un nuevo procedimiento, llamado algoritmo de brecha mínima, verificándose su aplicación mediante simulación. Otro autor, Bots (2006), aplica las técnicas CPM y PERT para la estimación de costos y presupuestos en los negocios en proyectos a gran escala, ajustándose a la comportamiento estratégico de los interesados. De allí que la gestión de proyectos presentado en este documento proporciona un contexto para el aprendizaje experimental sobre el comportamiento del contratista estratégico, teniendo en cuenta los límites de las técnicas analíticas en este tipo de proyectos a gran escala.

Por su parte, Shing-Ko, Kuo-Lung y Chu (2004), construyen un modelo de programación multiobjetivo difuso a partir de la técnica de CPM, enfatizando la flexibilidad seleccionable entre los proyectos factibles y describiendo el problema de decisión derivado de la incertidumbre y el complejo en el proyecto; aplican un número difuso para calcular el tiempo estimado y el costo y la solución se basa en el método de Lee y Li, utilizando el software LINGO. Mientras, Conant (2018), estudia los efectos de los estados cambiantes de la naturaleza en la emergencia de la ruta crítica, así como comparar el impacto de las distribuciones triangulares beta y PERT en los tiempos de finalización del proyecto, utiliza una simulación de Monte Carlo y una nueva función de Excel, calculando los tiempos de finalización del proyecto aplicando la distribución triangular y la distribución PERT beta, identificando que tres de los cinco caminos posibles se volvieron críticos tanto en la distribución beta PERT como en la triangular. Finalmente, se destaca el trabajo de Bowman (2007), quien, utilizando un modelo de red de la Técnica de Evaluación y Revisión del Programa de un cronograma del proyecto, presenta un método para estimar los efectos de los cambios en la distribución de probabilidad para cualquier tiempo de actividad en varias medidas del cronograma del proyecto, destacándose su flexibilidad para modelar cambios en los tiempos de actividad, incluidos cambios independientes en los parámetros e incluso cambios en la forma de distribución.

No obstante, en los estudios antes referidos no se aplica un procedimiento metodológico de la Investigación de Operaciones PERT-CPM en el ámbito del marketing estratégico ni se realizan simulaciones de probabilidades de cumplimiento del proyecto con respecto a una determinada fecha de vencimiento especificada o a un nivel estadístico de confianza, tal como se realizan en la presente investigación.



## METODOLOGÍA

La presente investigación es de tipo cuantitativo, caracterizado según Robbins (2005, p. 32) por el uso de “... *herramientas estadísticas, modelos de optimización, modelos de información y simulaciones por computadora a las diferentes actividades de la administración para la toma de decisiones*”. El alcance de la investigación es explicativa porque el estudio analiza las causas, condiciones y resultados del caso de estudio aplicando el método PERT-CPM (Hernández-Sampieri et al., 2014) y se ajusta a la metodología de la investigación de operaciones, la cual contempla, de acuerdo con los autores Flores Tapia et al. (2017); Hillier & Lieberman (2015a); Taha (2017), las siguientes etapas o fases:

- a) Planeación, asignación y programación de recursos: determinándose la problemática, el enfoque, objetivo y actividades necesarias para la ejecución del proyecto y sus interrelaciones; así como la distribución y combinación ordenada de los elementos inherentes al proyecto tales como recursos, tiempos y costos.

Esto implica que para la aplicación de PERT-CPM se requiere identificar la lista de actividades incluidas en el proyecto, sabiendo que éste concluye cuando las actividades han sido completadas. Las actividades precedentes son las tareas que definen el principio y el final de una o más actividades, siendo útil, procedimentalmente, enumerar las actividades en una tabla con la respectiva información sobre secuencia y duración.

- b) Construcción de la red PERT – CPM: se trata de diagramar la secuencia de las actividades del proyecto y los tiempos de los eventos, así como la identificación de la ruta crítica CPM, las probabilidades de cumplimiento del programa PERT, las holguras, los costos y la optimización de las decisiones vinculadas a la relación tiempo-costos.

En esta fase se construye una malla o red del proyecto para graficar las relaciones de precedencia entre las actividades, en la cual las distintas actividades del proyecto son representadas como vectores y cada nodo visualiza el inicio y finalización de una o más actividades -usualmente el evento antecesor o predecesor tiene una numeración inferior al evento posterior o sucesor-. Se distinguen dos tipos de tiempos que expresan las posibilidades del suceso, el uno, en términos de conclusión de las actividades lo más pronto posible y, el otro, lo más tarde permitido, siendo las holguras el margen adicional de tiempo disponible para completar un evento.

- c) Ejecución, administración y control del proyecto: una vez establecido el diseño óptimo de red PERT-CPM se fijan las normas y criterios para la puesta en marcha y evaluación del proyecto, de tal manera que se armonicen las variables intervinientes, se asegure la distribución de los recursos, se monitoree el avance, se controle y corrija oportunamente algún desequilibrio o variación con respecto a las normas, términos y especificaciones previstas.

Cabe señalar que, una vez determinada la fecha de terminación del proyecto éste puede acelerarse, incorporando recursos -materiales, financieros, humanos, entre otros-, disminuyendo así los tiempos para la trayectoria de la ruta crítica.

A continuación, siguiendo la metodología antes indicada, se muestran los resultados de la aplicación de PERT- CPM para la implementación de la campaña comunicacional de marketing prevista por la empresa objeto de estudio.

RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO PERT-CPM

a) Planeación, asignación y programación de recursos

Una vez identificada la necesidad de la implementación de un plan de marketing que incluye la implementación de una campaña comunicacional como una de las estrategias clave que contribuye a la sostenibilidad de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda. y al fortalecimiento de la institucional y así favorecer, como ya se indicó en el apartado introductorio, un ambiente de confianza, primero, para sus actuales clientes y, luego para los potenciales usuarios de sus servicios (Cooperativa Ambato, 2020), el equipo del proyecto determinó las actividades, la secuencia y el tiempo probable -calculado a partir de los tiempos optimista, probable y pesimista- que permiten el cumplimiento exitoso de este proyecto (Tabla 1).

Tabla 1. Actividades y tiempos del proyecto

		TIEMPO EN DÍAS			TIEMPO ESPERADO	
Actividad	Descripción	Secuencia	Duración Optimista (a)	Duración más Probable (m)	Duración Pesimista (b)	
A	Diseño de la estrategia para la campaña publicitaria con la nueva imagen corporativa.	B	3	5	7	5
B	Cotización y selección de proformas para la realización de las actividades previstas para la campaña en medios de comunicación.	C	2	4	6	4
C	Elaboración del presupuesto y cronograma de gastos.	D, E, F, G, H, I	2	3	4	3
D	Elaboración y entrega del material publicitario para los vehículos de la institución.	P	1	2	3	2

Actividad	Descripción	Secuencia	Duración Optimista (a)	Duración más Probable (m)	Duración Pesimista (b)	
E	Realización del curso de capacitación a directivos y colaboradores de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda. -comunicación corporativa interna y externa-.	J, K	2	3	4	3
F	Fabricación de Camisetas y otros objetos con el logotipo de Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda.	J, K	2	3	4	3
G	Elaboración de tarjetas de presentación para los empleados -asesores de crédito y gerente- de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda., de <i>flyers</i> y otros impresos menores.	J, K	3	4	7	4
H	Contratación de espacios publicitarios en radio y prensa escrita-.	L, M, N	1	1	1	1
I	Realización del curso de capacitación a directivos y colaboradores de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda. -atención al cliente-.	L, M, N	2	2	2	2
J	Identificación de lugares estratégicos para difundir la publicidad en la provincia de Tungurahua.	P	1	2	3	2
K	Organización del personal para difundir la publicidad.	p	1	1	1	1
L	Elaboración de <i>spots</i> publicitarios para los medios de comunicación.	R	7	7	7	7
M	Emisión de publicidad por radio.	O	5	5	5	5
N	Publicaciones en la prensa escrita	R	3	3	3	3
O	Ruedas de prensa del gerente de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda.	R	1	1	1	1
P	Evento de presentación de la nueva imagen corporativa de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda. a la ciudadanía.	Q	2	2	2	2
Q	Activación de avisos en vallas publicitarias, entrega de <i>flyers</i> y otros materiales de marketing.	R	7	7	7	7
R	Evaluación y entrega del informe de resultados.	-	1	2	3	2

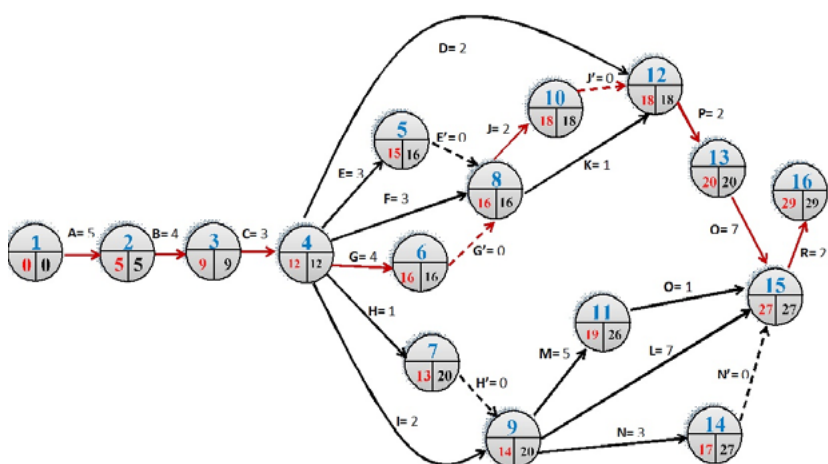
Fuente. Elaboración propia.

## b) Construcción de la red PERT – CPM

Esta fase, a partir de la información consignada en la Tabla 1 se diagrama la red PERT-CPM, dibujando nodos o eventos -círculos que representan el inicio o terminación de las actividades- y vectores -flechas que representan el flujo de las actividades del proyecto-, obteniéndose una ilustración global y secuenciada de las operaciones del proyecto.

A continuación, en el Figura 1, se presenta el diagrama de las actividades del proyecto de la campaña en medios de comunicación de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda.

**Figura 1.** Diagrama PERT-CPM



**Fuente.** Elaboración propia.

Las principales reglas que se toman en cuenta para la construcción de la red PERT-CPM son las siguientes:

- Toda actividad debe empezar y terminar en dos eventos distintos con excepción del primero y el último evento.
- La representación de las actividades no tiene sentido vectorial ni orden de magnitud.
- Ninguna actividad puede comenzar hasta que el evento anterior se haya completado.
- En algunos casos es necesario implementar actividades ficticias representadas por líneas punteadas.
- La respectiva representa dos tipos de actividades las que dependen de las actividades de otros
- Ningún evento terminado puede originar un camino de actividades que conduzca a eventos anteriores

- g) Todo proyecto requiere un tiempo de preparación denominado pre inversión.
- h) Antes de construir la red se analiza la secuencia precisa de cada actividad y se definen las actividades precedentes, sucesivas y simultáneas.

El siguiente paso consiste en calcular los tiempos de los eventos (Tabla 2), una vez que se ha determinado el tiempo estimado –te- y una vez diagramada la red PERT-CPM, estos son:

- a) TE: tiempo esperado lo más pronto posible para terminar el evento. Se obtiene de la acumulación de los tiempos de las actividades, partiendo del primer evento o suceso hasta el último previsto en el proyecto.
- b) TL: tiempo lo más tarde permitido para completar el evento. Se determina restando desde el valor de TE obtenido para el último evento –tiempo total del proyecto- hacia los nodos precedentes hasta llegar al primero.
- c) TS: tiempo contractual o tiempo estipulado en el contrato para el cumplimiento del proyecto. Dato utilizado en el cálculo de la probabilidad de cumplimiento del proyecto en un tiempo especificado.
- d) TT: es el tiempo de duración del proyecto, en el caso del proyecto de implementación de la campaña comunicacional de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda. es de 29 días.

**Tabla 2.** Tiempos más próximo y más tardío de las actividades del proyecto

Actividad	Descripción	Tiempo más próximo TE	Tiempo más tardío TL
A	Diseño de la estrategia para la campaña publicitaria con la nueva imagen corporativa.	0	5
B	Cotización y selección de proformas para la realización de las actividades previstas para la campaña en medios de comunicación.	5	9
C	Elaboración del presupuesto y cronograma de gastos.	9	12
D	Elaboración y entrega del material publicitario para los vehículos de la institución.	12	18
E	Realización del curso de capacitación a directivos y colaboradores de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda. -comunicación corporativa interna y externa-.	12	16
E'	Ficticia.	15	16
F	Fabricación de Camisetas y otros objetos con el logotipo de Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda.	12	16

Actividad	Descripción	Tiempo más próximo TE	Tiempo más tardío TL
G	Elaboración de tarjetas de presentación para los empleados -asesores de crédito y gerente- de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda., de <i>flyers</i> y otros impresos menores.	12	16
G'	Ficticia.	16	16
H	Contratación de espacios publicitarios en radio y prensa escrita-.	12	20
H'	Ficticia.	13	20
I	Realización del curso de capacitación a directivos y colaboradores de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda. -atención al cliente-.	12	20
J	Identificación de lugares estratégicos para difundir la publicidad en la provincia de Tungurahua.	16	18
J'	Ficticia.	18	18
K	Organización del personal para difundir la publicidad	16	18
L	Elaboración de <i>spots</i> publicitarios para los medios de comunicación.	14	27
M	Emisión de publicidad por radio.	14	26
N	Publicaciones en la prensa escrita.	14	27
N'	Ficticia.	17	27
O	Ruedas de prensa del gerente de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda.	19	27
P	Evento de presentación de la nueva imagen corporativa de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda. a la ciudadanía.	18	20
Q	Activación de avisos en vallas publicitarias, entrega de <i>flyers</i> y otros materiales de marketing.	20	27
R	Evaluación y entrega del informe de resultados.	27	29

**Fuente.** Elaboración propia.

Ahora bien, en toda red PERT-CPM se tiene al menos una ruta crítica, esto es, un camino o trayectoria que pasa por todos los eventos en los cuales la holgura es cero tal como se muestra en el Gráfico 1. La ruta crítica es el camino de mayor duración del proyecto, tiempo debajo del cual resulta imposible la realización de todas las actividades del proyecto en las condiciones establecidas. La ruta crítica establecida para el proyecto de implementación de la campaña comunicacional para la Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda. sigue la trayectoria de actividades A, B, C, G, G', J, J', P, Q, R; siendo los tiempos correspondientes a cada actividad 5, 4 3, 4, 0, 2, 0, 2, 7 y 2, sumando un total de 29 días -tiempo total del proyecto-. Estas actividades críticas evidencian el riesgo total del proyecto, porque en conjunto representan la trayectoria de mayor duración del proyecto. En

consecuencia, la administración del proyecto necesita priorizarlas y garantizar su ejecución, sin descuidar, por supuesto, el cumplimiento de las otras actividades previstas.

Por su parte, el método PERT-CPM tiene como una de sus ventajas la posibilidad de estimar la probabilidad de cumplimiento del proyecto, de tal manera que se puede planificar la ejecución del proyecto en función de la ocurrencia probable, una vez calculada la desviación estándar con respecto al tiempo total del proyecto –sumatoria de la desviación estándar de cada una de las desviaciones de los eventos de la ruta crítica correspondiente-, utilizando la ecuación (5) del factor z, se encuentra el valor del porcentaje de probabilidad en el área bajo la curva de la distribución normal.

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

(5)

Dónde:

Z= Valor estándar z –factor de probabilidad para una distribución normal-.

X= Tiempo que se desea encontrar –tiempo contractual especificado-.

μ = Tiempo estimado del proyecto –tiempo total del proyecto o el tiempo lo más tarde posible del proyecto o de una actividad especificada-.

σ = Desviación Estándar –raíz cuadra de la ecuación (3).

A continuación, en la Tabla 3, se presentan los resultados obtenidos del cálculo de probabilidades, simulando cuatro casos posibles de decisiones gerenciales relacionadas con el proyecto de implementación de la campaña comunicacional en la organización objeto de estudio.

**Tabla 3.** Probabilidades para varias alternativas de cumplimiento del proyecto

Alternativa	Datos	Planteamiento valor Z -ecuación 5-	Respuesta
El proyecto culmina después de 31 días de iniciado.	$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 1,29$ $X = 31$ días $\mu = 29$ días Z =	$z = \frac{31 - 29}{1,29}$	La probabilidad de que el proyecto culmine el día 31 es de 93,94%.

Alternativa	Datos	Planteamiento valor Z -ecuación 5-	Respuesta
La actividad G, “elaboración de tarjetas de presentación para los empleados-asesores de crédito y gerente- de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda., de flyers y otros impresos menores”, culmina a los 15 días o menos de iniciado el proyecto.	$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 1,20$ $\mu = 16$ días $X = 15$ días o menos $Z =$	$z = \frac{15 - 15}{1.20}$	La probabilidad de que la actividad G culmine el día 15 o menos es de 20.33%.
Si el nivel de confianza es del 95% se quiere saber el tiempo de duración del proyecto.	$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 1,29$ $\mu = 29$ días $Z = 1,64$ $X =$	$x = (1.645 * 1.29) + 29$	Con un nivel de confianza del 95% el proyecto termina luego de 31,1 días de iniciado.
Si el nivel de confianza es del 97% se quiere saber el tiempo de duración del proyecto.	$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 1,29$ $\mu = 29$ días $Z = 1,88$ $X =$	$x = (1.88 * 1.29) + 29$	Con un nivel de confianza del 97% el proyecto termina después de 31,4 días de iniciado.

Fuente. Elaboración propia.

Por otra parte, la planificación del proyecto de la organización objeto de estudio, requiere, no sólo la diagramación de las actividades, cálculo de tiempos, ruta crítica y probabilidades de cumplimiento, sino también la asignación de costos a las actividades programadas, cálculo del soto total del proyecto y de las posibilidades de adelantar o retrasar las actividades, esto es, la relación costo-tiempo.

En este sentido, cabe iniciar señalando que en el método PERT-CPM los costos se clasifican en directos –son los que se incurren específicamente en las actividades del proyecto-, indirectos –gastos ocasionados no vinculados con las actividades, pero indispensables para su cumplimiento y, otros costos –ocasionados por imprevistos o no clasificados en las categorías anteriores-. Siendo la identificación de costos la clave para determinar el presupuesto y la viabilidad económica y financiera del proyecto; además la programación adecuada minimiza riesgos y aproxima de mejor manera la distribución de recursos -físicos y humanos-



garantizando óptimos de costos mínimos y rentabilidad del proyecto. En el caso del proyecto de implementación de la campaña en medios de comunicación para posicionar la imagen institucional de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda. se procede con la elaboración de la matriz de asignación de recursos, tiempos y costos y se calcula el presupuesto para el proyecto.

Ahora bien, se procede a simular algunas alternativas para determinar los costos del personal contratado para la difusión de material publicitario para este proyecto, con el fin de obtener un indicador que facilite la toma de decisiones. Para el efecto, se suponen 10 colaboradores en turnos de 8 horas diarias con un costo total de USD. 100 por hora y un pago total por horas extra de USD. 150. La ecuación utilizada para este cálculo es la siguiente: Pendiente de costo = (costo acelerado – costo normal) / (tiempo normal – tiempo acelerado).

Los resultados de la simulación de los costos para algunas alternativas de costos del personal contratado para la difusión de material publicitario se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Costos de personal para varias alternativas de cumplimiento del proyecto

Alternativa	Número de días	Tiempo trabajado por turno –horas-	Tiempo de trabajo por turnos -horas-		Costo por turnos USD.		Costo total USD.
			Normal	Extra	Normal	Extra	
1	5	8	40	0	4000	0	4000
2	4	8	32	8	3200	1200	4400
3	3	8	24	16	2400	2400	4800
4	2	8	16	24	1600	3600	5200
5	1	8	8	32	800	4800	5600

**Fuente.** Elaboración propia.

La relación geométrica tiempo/costo se representa en el Figura 2 y la ecuación para el cálculo de la pendiente de costo se puede expresar así:

$$PC= (CU-CN)/(TN-TU) \tag{6}$$

Donde:

PC: pendiente de costo

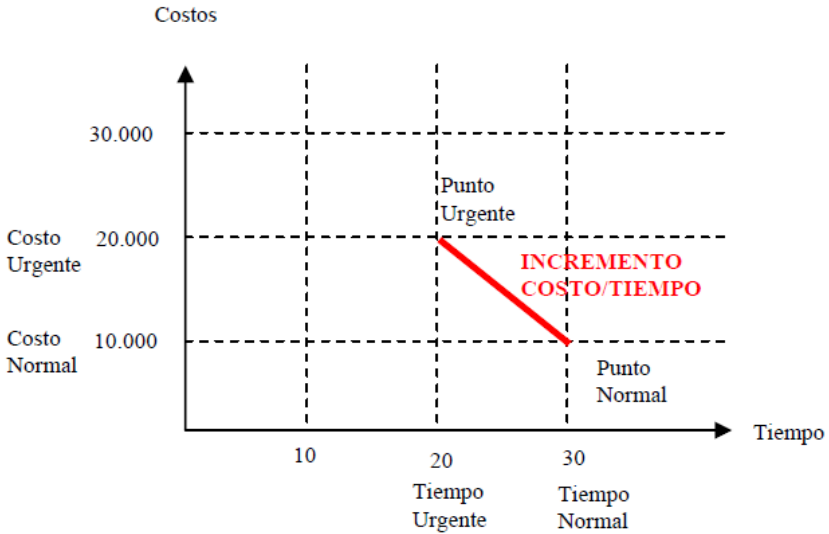
CU: costo urgente o acelerado.

CN: costo normal del proyecto.

TN: tiempo normal.

TU: tiempo urgente o acelerado del proyecto.

**Figura 2.** Representación geométrica de la relación tiempo y costo –normal y acelerado–



**Fuente.** Elaboración propia.

Utilizando la ecuación (6) se calcula la pendiente de costo para las alternativas de simulación de la relación tiempo y costo para la organización objeto de estudio, obteniéndose como resultado en todos los casos un valor de USD. 400,00 en consecuencia, ese valor es el indicador del costo por día de aceleración en el cumplimiento del proyecto con respecto a la mano de obra.

### c) Ejecución, administración y control del proyecto

El proyecto resulta exitoso en la medida en que se aproxima el cumplimiento de las actividades ejecutadas con respecto a las planificadas, teniendo en cuenta el objetivo, especificaciones técnicas, presupuesto, responsabilidades y marco legal, entre otros aspectos. Así también, se necesita la coordinación y articulación del proyecto en cada una de sus actividades y en conjunto, de tal manera que se detecten oportunamente variaciones y se proceda con los ajustes pertinentes. Además, la administración del proyecto incluye el seguimiento, control, evaluación y el manejo de la interrelación con los demás involucrados o *stakeholders* del proyecto. Para el efecto, se recomienda la elaboración de un manual administrativo del proyecto, en el cual se establezcan las normas y criterios para la gestión del proyecto.

## CONCLUSIONES

El modelo matemático del método PERT-CPM se construye diagramando la red del proyecto, de acuerdo con las especificaciones de secuencia y tiempos especificados para las actividades, luego se calcula el tiempo de duración del proyecto y la ruta crítica, se asignan recursos y costos que permiten estructurar el presupuesto y el cronograma de ejecución, de tal manera que se optimice la relación tiempo-costos. La flexibilidad de este método permite realizar simulaciones probabilísticas que se ajustan a posibles decisiones administrativas del proyecto en cuanto a aceleración en los tiempos de cumplimiento o niveles de confianza del programa estipulado. No obstante, es necesario tomar en cuenta que, la reducción de tiempos en la finalización del proyecto generalmente implica incrementos en los costos. Estos cálculos se facilitan y automatizan con aplicaciones de software como *Project* de *Microsoft*, *Lingo*, *OpenProj*, entre otros.

Así también, el artículo verifica que el método PERT-CPM permite la obtención de un óptimo en cuanto a tiempos, recursos y costos en la gestión de proyectos empresariales con una visión integral e integrada de las actividades, favoreciendo su administración y control, alcanzándose a lo largo del desarrollo del estudio el objetivo inicialmente planteado, esto es, se ha optimizado, entre varias alternativas factibles de solución, el tiempo de ejecución, la ruta crítica y los costos de la implementación de la campaña comunicacional para la empresa objeto de estudio, Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda.

Además, se comprueba el cumplimiento de la hipótesis establecida inicialmente, esto es, la aplicación del método PERT-CPM permite optimizar, entre varias alternativas factibles de solución, el tiempo de ejecución, la ruta crítica y los costos de los proyectos empresariales, como es el caso particular del proyecto de marketing llevado adelante por la empresa social objeto de estudio, siendo la metodología propuesta y la combinación de herramientas poco aplicadas en el ámbito empresarial, particularmente en proyectos de marketing la contribución destacable de esta investigación, pudiéndose extrapolar y adaptar a otros contextos en condiciones similares al caso de estudio aquí desarrollado.

Por su parte, los resultados obtenidos con la aplicación del método PERT-CPM a la gestión de implementación de la campaña comunicacional para la Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda. –diagrama de la trayectoria, tiempos, costos y la asignación de recursos óptima para la gestión de proyectos, principalmente; así como simulaciones a las alternativas de decisión gerencial-, evidencian la potencialidad de esta herramienta para el cálculo de modelos de optimización de redes, permitiendo el cumplimiento del proyecto en una fecha especificada con el mínimo costo, facilitando la toma de decisiones para los administradores de proyectos y *stakeholders*. Además, los resultados corroboran la fundamentación teórica que sustenta esta investigación, principalmente lo señalado por los autores Flores-Tapia & Flores-Cevallos (2018); Hillier & Lieberman (2015b); Prawda (2004); Render et al. (2012); Taha (2017); Wayne (2004), entre otros.

Cabe destacar que la aplicación de los modelos cuantitativos de Investigación de Operaciones, como es el caso del método PERT-CPM, más aún con el apoyo de herramientas informáticas, contribuyen con información procesada técnicamente para la toma de decisiones en las organizaciones, confirmando su utilidad -más aún en el caso de proyectos complejos y a gran escala-. No obstante, es necesario recordar que este tipo de métodos también tienen limitaciones, por cuanto los modelos matemáticos no tienen la capacidad de incorporar todas las variables de una determinada realidad pues, son una representación o aproximación a esa realidad-; quedando las decisiones de los proyectos, en última instancia, a la discreción de las competencias del talento humano gerencial y a su habilidad para apoyarse en este tipo de herramientas cuantitativas.

Finalmente, se recomienda en investigaciones futuras complementar el uso del método PERT-CPM con otros métodos de la Investigación de Operaciones, como por ejemplo el simplex de programación lineal, el método de administración científica de inventarios y las cadenas de Markov, entre otros. De tal manera que los administradores de los proyectos y *stakeholders* cuenten con soluciones cada vez más técnicas que apoyen la toma de decisiones.

## REFERENCIAS

- ANDERSON, D., SWEENEY, D., & WILLIAMS, T. (2016). *Métodos cuantitativos para los negocios* (13th ed.). Cengage Learning.
- ASAMBLEA NACIONAL DEL ECUADOR. (2011). *Ley Orgánica de Economía Popular y Solidaria*. [https://www.seps.gob.ec/documents/20181/25522/LEY\\_ORGANICA\\_DE\\_ECONOMIA\\_POPULAR\\_Y\\_SOLIDARIA\\_actualizada\\_noviembre\\_2018.pdf/66b23eef-8b87-4e3a-b0ba-194c2017e69a](https://www.seps.gob.ec/documents/20181/25522/LEY_ORGANICA_DE_ECONOMIA_POPULAR_Y_SOLIDARIA_actualizada_noviembre_2018.pdf/66b23eef-8b87-4e3a-b0ba-194c2017e69a)
- BOTS, P. (2006). Experimental learning to see through strategic behaviour in large scale projects. *Production Planning & Control*, 17(6), 604–615. [https://www.tandfonline.com/doi/](https://www.tandfonline.com/doi/Anderson, D., Sweeney, D., & Williams, T. (2016). Métodos cuantitativos para los negocios (13th ed.). Cengage Learning.)
- ASAMBLEA NACIONAL DEL ECUADOR. (2011). *Ley Orgánica de Economía Popular y Solidaria*. [https://www.seps.gob.ec/documents/20181/25522/LEY\\_ORGANICA\\_DE\\_ECONOMIA\\_POPULAR\\_Y\\_SOLIDARIA\\_actualizada\\_noviembre\\_2018.pdf/66b23eef-8b87-4e3a-b0ba-194c2017e69a](https://www.seps.gob.ec/documents/20181/25522/LEY_ORGANICA_DE_ECONOMIA_POPULAR_Y_SOLIDARIA_actualizada_noviembre_2018.pdf/66b23eef-8b87-4e3a-b0ba-194c2017e69a)
- BOTS, P. (2006). Experimental learning to see through strategic behaviour in large scale projects. *Production Planning & Control*, 17(6), 604–615. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09537280600866793?scroll=top&needAccess=true>
- BOWMAN, R. (2007). Efficient sensitivity analysis of PERT network performance measures to significant changes in activity time parameters. *Journal of the Operational Research Society*, 58(10), 1354–1360.
- CONANT, D. (2018). Examining critical and near-critical paths: an Excel-based classroom exercise. *Journal of Education for Business*, 93(6), 285–291. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08832323.2018.1490685>
- CONTADOR, J., & SENNE, E. (2007). Determinação de caminhos k-críticos em redes PERT. *Gestão & Produção*, 14(3), 463–476. [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2007000300004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2007000300004&script=sci_arttext)
- COOPERATIVA AMBATO. (2020). *Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato Ltda*. <http://www.cooperativaambato.com/>
- EPPEL, G., GOULD, F., SCHMIDT, C., MOORE, J., & WEATHERFORD, L. (2000). *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa* (5th ed.). Prentice Hall Inc. <https://jrvargas.files.wordpress.com/2009/01/investigacion-de-operaciones-en-la-ciencia-administrativa-5ta-edicion.pdf>

- FLORES-TAPIA, C., FLORES-CEVALLOS, K., MENDOZA, A., & VALDIVIESO, A. (2017). Análisis del volumen de ventas de rosas en la empresa "High connection flowers" aplicando diseño de experimentos: caso particular. *Scientia et Technica*, 22(3), 281–287. <https://doi.org/10.22517/23447214.13891>
- FLORES-TAPIA, C., & FLORES-CEVALLOS, L. (2017a). *Estadística Inferencial*. Fundación Los Andes. [http://186.71.28.67/isbn\\_site/catalogo.php?mode=detalle&nt=58934](http://186.71.28.67/isbn_site/catalogo.php?mode=detalle&nt=58934)
- FLORES-TAPIA, C., & FLORES-CEVALLOS, L. (2017b). *Métodos cuantitativos para la toma de decisiones*. Fundación Los Andes. [http://186.71.28.67/isbn\\_site/catalogo.php?mode=detalle&nt=58249](http://186.71.28.67/isbn_site/catalogo.php?mode=detalle&nt=58249)
- FLORES-TAPIA, C., & FLORES-CEVALLOS, L. (2018). *Investigación Operativa*. Fundación Los Andes. [http://186.71.28.67/isbn\\_site/catalogo.php?mode=detalle&nt=63085](http://186.71.28.67/isbn_site/catalogo.php?mode=detalle&nt=63085)
- HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ, C., & BAPTISTA, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGraw Hill. <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- HILLIER, F., & LIEBERMAN, G. (2015a). *Introduction to Operations Research* (10th ed.). McGraw Hill. [https://www.academia.edu/36556707/Introduction\\_to\\_Operations\\_Research\\_by\\_Hillier\\_10th\\_Edition](https://www.academia.edu/36556707/Introduction_to_Operations_Research_by_Hillier_10th_Edition)
- HILLIER, F., & LIEBERMAN, G. (2015B). *Investigación de operaciones* (10th ed.). McGraw Hill. [https://uca.summon.serialssolutions.com/search?s.q=hillier+investigacion+de+operaciones#!/search/document?ho=t&l=es-ES&q=hillier+investigacion+de+operaciones&id=FETCHMERGED-uca\\_catalog\\_9108002](https://uca.summon.serialssolutions.com/search?s.q=hillier+investigacion+de+operaciones#!/search/document?ho=t&l=es-ES&q=hillier+investigacion+de+operaciones&id=FETCHMERGED-uca_catalog_9108002)
- LIND, D. (2012). *Statistical Techniques in Business and Economics* (15th ed.). McGraw Hill. <https://cruncheez.files.wordpress.com/2015/12/statistical-techniques-in-business-and-economics-lind-douglas-srg.pdf>
- MICROSOFT. (2020). *Microsoft Project*. <https://products.office.com/en-us/project/project-management-software>
- PRAWDA, J. (2004). *Métodos y modelos de Investigación de Operaciones*. Limusa. <http://www.bibvirtual.ucb.edu.bo:8000/opac/Record/41750/Details>
- RENDER, B., STAIR, R., & HANNA, M. (2012). *Métodos cuantitativos para los negocios* (11th ed.). Pearson.

- ROBBINS, S. (2015). *Administración* (12th ed.). Pearson Educación. <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWVpbnxmY3B5c3RhanVhcmV6fGd4OjI5NTM0NDQwNjE0ODI4MzE>
- SHING-KO, L., KUO-LUNG, Y., & CHU, P. (2004). Analysis of fuzzy multiobjective programming to CPM in project management. *Journal of Statistics and Management Systems*, 7(3), 597–609. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09720510.2004.10701140>
- SOROUGH, H. (1994). The Most Critical Path in a PERT Network. *Journal of the Operational Research Society*, 45(3), 287–300. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1057/jors.1994.42>
- TAHA, H. (2017). *Investigación de operaciones* (Vol. 10). Pearson Educación.
- WINSTON, W. (2004). *Investigación de operaciones: aplicaciones y algoritmos: Vol. 4ª*. Thomson. <https://es.calameo.com/read/00084000223a91248b4af>