

# Formulación y Evaluación de Proyectos de Ingeniería

# **Formulación y Evaluación de Proyectos de Ingeniería**

Daniel Mateo Garzón Agudelo  
Jorge Andrés Sarmiento Rojas  
Óscar Javier Gutiérrez-Junco



Formulación y Evaluación de Proyectos de Ingeniería /Garzón Agudelo, Daniel Mateo; Sarmiento Rojas, Jorge Andrés; Gutiérrez-Junco, Óscar Javier. Tunja: Editorial UPTC, 2019. 162 p.

ISBN 978-958-660-355-3

1. Proyecto. 2. Ingeniería. 3. Evaluación.  
4. Metodología. 5. Formulación.

(Dewey 620/21).



**Primera Edición, 2019**

200 ejemplares (impresos)

Formulación y Evaluación de  
Proyectos de Ingeniería

ISBN 978-958-660-355-3

Colección académica UPTC No. 16

© Daniel Mateo Garzón Agudelo, 2019

© Jorge Andrés Sarmiento Rojas, 2019

© Óscar Javier Gutiérrez-Junco, 2019

© Universidad Pedagógica y  
Tecnológica de Colombia, 2019

**Rector, UPTC**

Óscar Hernán Ramírez

**Comité Editorial**

Manuel Humberto Restrepo Domínguez, Ph. D.

Enrique Vera López, Ph. D.

Yolima Bolívar Suárez, Mg.

Sandra Gabriela Numpaque Piracoca, Mg.

Olga Yaneth Acuña Rodríguez, Ph. D.

María Eugenia Morales Puentes, Ph. D.

Edgar Nelson López López, M. g.

Zaida Zarely Ojeda Pérez, Ph. D.

Carlos Mauricio Moreno Téllez, Ph. D.

**Editora en Jefe:**

Lida Esperanza Riscanevo Espitia, Ph. D.

**Coordinadora Editorial:**

Andrea María Numpaque Acosta, Mg.

**Corrección de Estilo**

Liliana Muñoz

**Imprenta**

Búhos Editores Ltda.

Libro financiado por la Dirección de Investigaciones de la UPTC. Se permite la reproducción parcial o total, con la autorización expresa de los titulares del derecho de autor. Este libro es registrado en Depósito Legal, según lo establecido en la Ley 44 de 1993, el Decreto 460 de 16 de marzo de 1995, el Decreto 2150 de 1995 y el Decreto 358 de 2000.

Libro resultado del Proyecto de investigación UPTC con SGI número 2234.

Citación: Garzón Agudelo, D., Sarmiento Rojas, J. & Gutiérrez-Junco, O. (2019). *Formulación y Evaluación de Proyectos de Ingeniería*. Tunja: Editorial UPTC.

# Contenido



<b>Introducción.....</b>	<b>5</b>
<b>1. Conceptos básicos.....</b>	<b>7</b>
1.1 Proyecto.....	7
1.2 Gerencia de proyectos.....	9
1.3 Etapas o fases de un proyecto.....	11
1.4 Taller de aplicación.....	15
<b>2. Formulación de proyectos.....</b>	<b>21</b>
2.1 Caso de negocio .....	21
2.2 Fase de Iniciación.....	24
2.3 Fase de Pre-Inversión .....	28
2.4 Taller de aplicación .....	81
<b>3. Evaluación de proyectos .....</b>	<b>93</b>
3.1 Evaluación financiera.....	93
3.2 Evaluación económica y social .....	97
3.3 Taller de aplicación .....	101

<b>4. Metodologías aplicadas a proyectos de ingeniería.....</b>	<b>107</b>
4.1 Metodología Front-end-loading (FEL) .....	107
4.2 Modelo Canvas.....	111
4.3 Metodología de Marco Lógico .....	112
4.4 Taller de aplicación .....	144
<b>5. Respuestas talleres de aplicación.....</b>	<b>151</b>
<b>6. Glosario.....</b>	<b>153</b>

## Introducción



Nos encontramos en una sociedad proyectizada, donde muchas de las actividades que se desarrollan a diario están incluidas en algo que se define como proyecto. Algunas de estas actividades se realizan de forma coordinada y se conoce claramente qué se está buscando en otras; por el contrario, simplemente se avanza de forma continua y reiterativa de manera que se obtenga un mismo resultado, convirtiéndose en un proceso más. Por tanto, es una necesidad la de conocer y diferenciar proyectos de operaciones, del mismo modo, que la gestión o gerencia juega un papel importante a la hora de desarrollarlos.

En la ingeniería, la mayoría de los productos que se crean, se enmarcan en aquello que se denomina proyecto, las buenas prácticas han establecido que para lograr el éxito o resultados esperados por todos los interesados es necesario desarrollar los proyectos bajo unos lineamientos y etapas claramente definidas. El campo de acción de los proyectos de ingeniería, va desde la realización de estudios donde el entregable es un informe o documento, hasta la consecución de mega proyectos como el desarrollo de una máquina que transforma la vida de los seres humanos o la construcción de grandes obras de infraestructura.

Este libro tiene como objetivo dar a conocer los principales términos, técnicas y herramientas utilizados en proyectos aplicados en ingeniería, partiendo de la idea, pasando por la formulación hasta las evaluaciones finales, brindando de esta forma al profesional una guía que le permita tener las pautas para desarrollar los proyecto de manera exitosa.

# 1. Conceptos básicos



Existen una serie de conceptos básicos en ingeniería o en cualquier disciplina, que es necesario comprender antes de entrar de lleno con la aplicación de los distintos procesos que conllevan desarrollar un proyecto.

## 1.1 Proyecto

A continuación, se muestra la definición de proyecto de varios estándares de gerencia de proyectos, todos basados en buenas prácticas y años de experiencia:

**Tabla 1.** Definición de proyecto según diferentes estándares.

ESTANDAR	DEFINICIÓN DE PROYECTO
<b>PMI</b>	Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único (PMI, 2017, p. 4).
<b>PRINCE 2</b>	Es una organización temporal que se crea con el propósito de entregar uno más productos comerciales según un caso de negocio convenido (OGC, 2009, p. 10).

<b>APM</b>	Un proyecto es un esfuerzo único y transitorio, llevado a cabo para alcanzar los objetivos planificados, que se podría definir en términos de productos, resultados o beneficios (APM, 2018a, p. 3).
<b>P2M</b>	Actividades caracterizadas por tareas no repetitivas (Individualidad) y cronogramas de finalización (término fijo) (PMAJ, 2016, p. 3).

Fuente: (Sarmiento Rojas, Gutiérrez-Junco, & Medina Suárez, 2018)

Al revisar detalladamente cada una de las definiciones, se pueden encontrar varios aspectos en común, estos son:

1. Se parte del hecho que se tiene un objetivo claro, una razón del porqué se ejecuta.
2. Obtiene un apartado generalmente entregable, este es único y diferente a los demás.
3. Es delimitado en el tiempo, tiene un inicio y un fin.
4. Posee recursos limitados para el logro del objetivo.

Algunos ejemplos de proyectos son: construcción del túnel de la línea (Caicedo Ferrer, 2016), modernización del aeropuerto Matecaña de Pereira (AIM, 2017), ampliación del aeropuerto internacional El Dorado en Bogotá (Revista Dinero, 2018), construcción del proyecto hidroeléctrico Ituango (Hidroeléctrica Ituango, 2018), construcción de la Ruta del Sol (Pino, 2018), Construcción del Viaducto de la Virgen en Cartagena (Redacción Economía - El Espectador, 2018), desarrollo y ejecución de un conjunto residencial cualquiera, remodelación de un apartamento, elaboración de estudios de impacto ambiental, diseño de software, diseño y desarrollo de máquinas y equipos con funciones específicas, etc.

Como se puede observar, en la ingeniería existen infinidad de proyectos, no todos son mega obras, pero se evidencian

las características típicas de lo que es un proyecto, únicas y temporales, con un objetivo claro y definido.

Con lo expuesto anteriormente, surge la necesidad de aclarar qué son las operaciones, que corresponden a todo aquello que nace después de haber culminado el proyecto, procesos repetitivos que generan el mismo resultado, un ejemplo es el mantenimiento preventivo y correctivo de la vía que se construye, el proyecto termina con la ejecución de la vía y las operaciones inician en el momento en el que se inicia el tránsito de los vehículos y es necesario mantenerla en buen estado para que cumpla sus funciones, como se evidencia, son actividades repetitivas cuya administración es muy diferente a la aplicada a los proyectos.

## 1.2 Gerencia de proyectos

Es común ver en nuestro entorno noticias de todos los proyectos que no son exitosos, ya sea porque se entregaron de forma tardía (Construcción doble calzada Bogotá–Tunja (Clavijo, 2018)), porque su costo fue más elevado de lo presupuestado (Refinería de Cartagena o Reficar (Hernández Bonilla, 2016), o simplemente porque no se cumplió con el objetivo por el cual se desarrolló el proyecto (Puente de Chirajara (Delgado Gómez, 2018)). Al detallar estos aspectos se evidencia la dificultad al controlar y asegurar el éxito de los proyectos cumpliendo con las restricciones de la gerencia de proyectos (comúnmente conocida como la restricción ampliada (PMI, 2017): alcance, tiempo, costo, calidad, satisfacción del cliente, riesgos y recursos; pero existen herramientas, procesos y habilidades que ayudan a mejorar los resultados obtenidos. A continuación, se enuncian diferentes definiciones de Gerencia de Proyectos según algunos estándares:

**Tabla 2.** Definiciones de Gerencia de Proyectos.

ESTÁNDAR	GERENCIA DE PROYECTOS
<b>PMI</b>	Es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo. Se logra mediante la aplicación e integración adecuadas de los procesos de dirección de proyectos identificados para el proyecto. La dirección de proyectos permite a las organizaciones ejecutar proyectos de manera eficaz y eficiente (PMI, 2017, p. 10)
<b>PRINCE 2</b>	La realización del proyecto mediante la planificación, delegación, seguimiento y control de todas las partes del proyecto, en cuanto a los objetivos del proyecto, creando así el Plan del Proyecto y ejecutarlo de acuerdo con este plan. Se incluye la gestión de los recursos humanos, y no humanos, dentro de los límites de coste, calidad y rendimiento (Office of Government Commerce, 2009)
<b>APM</b>	Dirección de proyectos es la aplicación de procesos, métodos, conocimientos, habilidades y experiencia para alcanzar los objetivos del proyecto (APM Knowledge, 2012, p. 3)
<b>P2M</b>	Es la capacidad profesional para ofrecer, con la debida diligencia un producto del proyecto que cumple con una misión determinada, mediante la organización de un equipo dedicado al proyecto, la combinación efectiva de los métodos y técnicas de gestión y técnicos más adecuados, y la elaboración de la división del trabajo y los medios de ejecución más eficiente y eficaz (PMAJ, 2016, p. 7).

Fuente: (Sarmiento Rojas, Gutiérrez-Junco, & Medina Suárez, 2018).

Revisando las diferentes definiciones de Dirección de Proyectos se puede afirmar:

Es un conjunto de procesos que se realizan en cada una de las fases que componen el proyecto.

Abarca áreas de conocimiento similares como son la gestión de: interesados, riesgos, calidad, comunicación, tiempo, costo, alcance, adquisiciones e integración.

Tienen un enfoque de competencias y habilidades mínimas necesarias del gerente de proyecto y el equipo de trabajo para el desarrollo efectivo de la gerencia de proyectos.

### **1.3 Etapas o fases de un proyecto**

La gerencia de proyectos requiere de un conjunto de experiencias y habilidades por parte de los profesionales encargados para ello en cualquier ámbito, dentro de la ingeniería, se encuentra que ningún proyecto es igual a otro, debido a que siempre cambian las condiciones en que estos se desarrollan, por tanto, es importante comprender en primera medida, que las fases que aquí se presentan no son de obligatorio cumplimiento en cada proyecto, sino que deben ajustarse de acuerdo a lo que el proyecto requiere, es decir, ciertas fases o componentes de las mismas pueden obviarse.

En la Ilustración 1, se exponen las 6 fases que componen al proyecto, las cuales son: el caso de negocio, la Fase de iniciación la cual incluye el acta de constitución del proyecto y la gestión de los interesados; en la fase de pre inversión se hace una identificación de la idea, y los estudios de pre factibilidad (aquí se incluyen los estudios de mercado, técnico, legal, ambiental, institucional y organizacional, de riesgos, comunicativo y financiero) y factibilidad (incluye la evaluación financiera, económica y social); en la fase de inversión se realiza la ejecución y el seguimiento; seguido de las fases de operación y evaluación ex post.

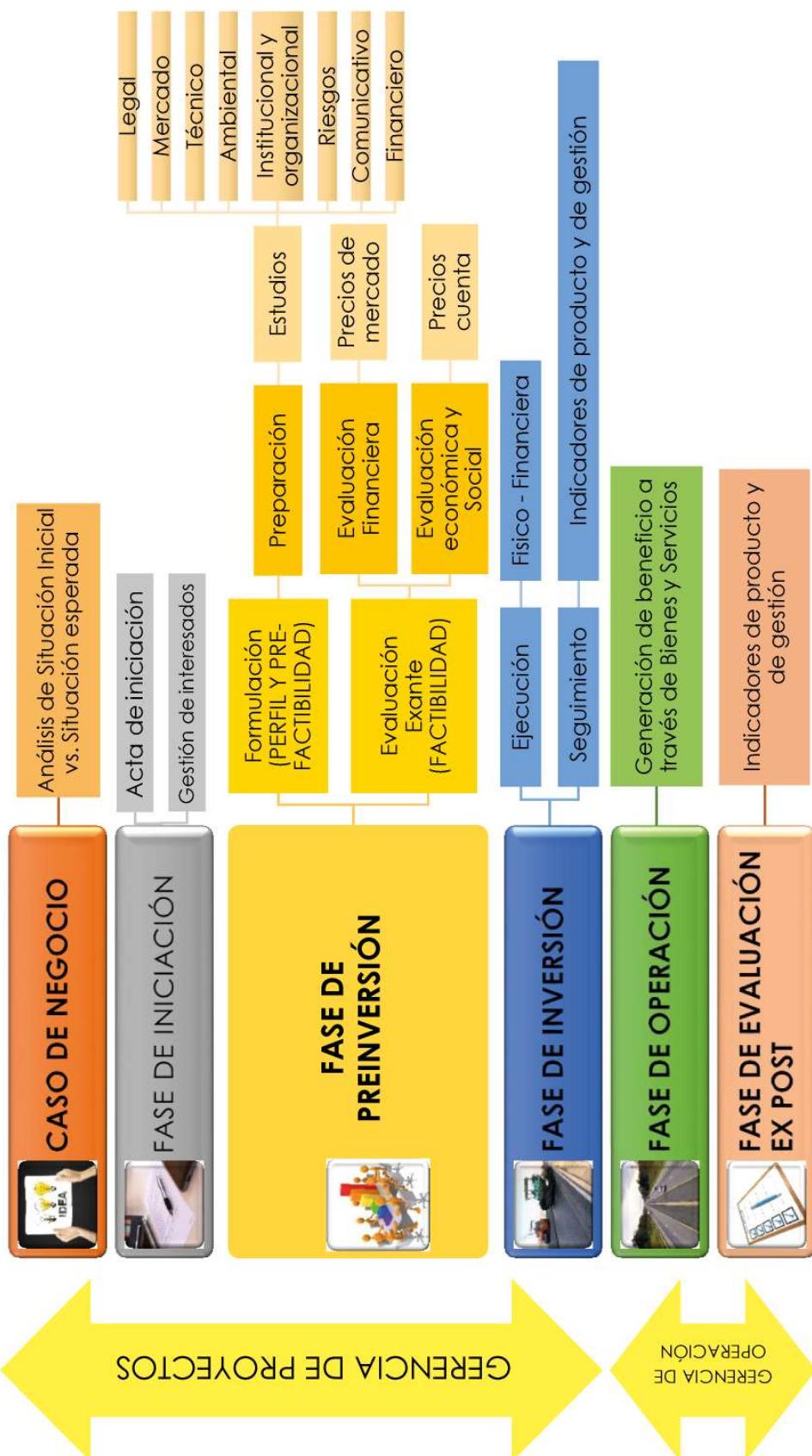
En primer lugar, se realiza un caso de negocio mediante el cual se analiza la situación inicial, las problemáticas presentadas, las posibles soluciones y la viabilidad de las mismas teniendo en cuenta la capacidad con la que cuenta la organización, que en

resumen, es un diagnóstico previo y la definición de lo esperado por el proyecto. Para lo anterior, es necesario que la dirección del proyecto tenga presente que la atención al proyecto deberá estar encaminada a alimentar la misión y visión de la organización a lo cual se le denomina alineación estratégica, la cual es fundamental para obtener el mayor provecho y beneficio del proyecto.

Seguido del caso de negocio, se cuenta con la fase de iniciación que representa el punto de partida de cualquier proyecto, surgiendo a partir de lo enunciado en este caso, por lo que la fase de iniciación deberá plantear los objetivos del proyecto, y la influencia e impacto que este tendrá dentro de los procesos de la organización y la población objetivo del mismo, lo cual quedará plasmado en el acta de constitución del proyecto.

En cuanto a la fase de pre – inversión, esta constituye todos los procesos de identificación y contextualización del proyecto con el fin de determinar la viabilidad de incurrir o accionar en el mismo. No obstante, lo consignado en la fase de iniciación constituye el insumo principal para desarrollar la fase de pre inversión, donde se realiza a fondo el proceso de planificación, el cual requiere de recursos, tiempo y sobre todo habilidades por parte de la dirección del proyecto, pues sin importar el método que esta emplee para realizar dicha labor siempre deberá responder a un fin, cumplir con el objeto del proyecto y adicionalmente representar beneficios para la organización.

Debe mencionarse, que fundamentalmente en los proyectos de ingeniería, el proceso de planificación se hace progresivo a lo largo del ciclo de vida del proyecto, debido a los recurrentes cambios que estos sufren por distintos factores, con lo cual no basta con realizar una primera aproximación a las condiciones del proyecto, luego es necesario contemplar que a medida que el proyecto avanza, se está adquiriendo nueva información como riesgos, cambios presupuestales y afectaciones climáticas que contribuyen y complementan el modelo de planificación planteado inicialmente.



**Ilustración 1. Fases de la gerencia de proyectos**  
Fuente: Elaboración propia.

Sarmiento Rojas, J. A. Garzón Agudelo, D. M. & Gutiérrez-Junco, Ó. J. (2019). *Formulación y evaluación de proyectos de ingeniería* (17 ed.). Editorial UPTC. <https://elibro.net/es/ereader/elibrounam/135291?page=1>

Posteriormente, en la etapa de inversión, al decidir continuar adelante con el proyecto por parte de la organización, se da inicio a las labores de ejecución que deberán corresponder a todo lo proyectado y planificado en la etapa anterior, para lo cual es necesario ser riguroso en cuanto al seguimiento que se realiza al proyecto con la intención de que todos aquellos factores de riesgo contemplados o no con anterioridad puedan ser resueltos a tiempo.

En cuanto a la fase de operación, esta corresponde a la puesta en marcha del proyecto tras la ejecución del mismo. Un ejemplo de lo anterior, es la puesta en servicio de la autopista longitudinal de occidente en Bogotá, en esta etapa se ha dado solución al problema, empero, se debe garantizar la integridad, seguridad, nivel de servicio y estabilidad de las obras o labores ejecutadas, para lo que la dirección de proyectos dispone de gran variedad de herramientas de monitoreo y control que nuevamente deben ser previstas desde los procesos de planificación.

Por último, en los proyectos se realiza una evaluación final conocida como “evaluación ex post”, en la cual se determina si este fue exitoso, tanto para la población objetivo como para la organización; adicionalmente, se hace el registro del nuevo conocimiento adquirido con la elaboración del proyecto y las mejores prácticas aprendidas.

Ahora bien, tras el breve recuento de las fases que componen al proyecto y las cuales serán explicadas en mayor detalle en el siguiente capítulo, vale la pena mencionar el que quizá es el aspecto más relevante al emplear estas fases como buenas prácticas para la formulación de un proyecto, el cual corresponde a la **adaptabilidad**. Partiendo de la premisa de que en ingeniería ningún proyecto es igual a otro, por lo tanto, y como se dijo anteriormente, un proyecto puede requerir o no la inclusión de todos los procesos y fases aquí mencionados.

Consecuentemente, el proceso de adaptabilidad recae sobre el equipo formulador del proyecto, que hace uso de sus

habilidades y experiencia a fin de identificar cada una de las restricciones que tiene el proyecto en cuanto a costos, tiempo, alcance, riesgos, calidad y las propias cuestiones organizativas, ya que con seguridad un mismo proyecto es desarrollado de forma distinta entre dos organizaciones diferentes.

Posteriormente, un equipo formulador apropiado y capacitado, junto con una dirección competente, serán los insumos fundamentales para llevar a cabo exitosamente el proceso de adaptabilidad del proyecto y por ende el proceso de formulación del mismo se realiza eficientemente, al conocer de primera mano las necesidades reales del proyecto, lo cual simplifica aquellas fases o procesos que en verdad contribuyen a la formulación.

#### 1.4 Taller de aplicación

Responda las siguientes preguntas de aplicación a los contenidos del presente capítulo:

1. De acuerdo a la definición de proyecto planteada por el *Project Management Institute (PMI)* “*esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único*” cuál de los siguientes enunciados representa un proyecto.
  - a. Diseño y construcción de centros comerciales en la ciudad de Bogotá.
  - b. Estudio permanente de caudales y niveles del Río Chicamocha.
  - c. Construcción del puente vial sobre el río la vega entre los barrios Pozo de Donato y Rosales de la ciudad de Tunja con un plazo de ejecución de 6 meses.
  - d. Elaboración de los planes de ordenamiento territorial de los municipios de Yacopí, Cáqueza y Chía, Cundinamarca.