

# Prácticas para estimación de reservas de contingencia en CapEx de proyectos: una revisión literaria

## *Practices for Estimating Contingency Reserves in Project CapEx: A Literature Review*

Gabriel Jaime Correa-Henao<sup>1</sup>

**Tipo de Artículo:** Revisión.

**Recibido:** 1/06/22 **Aprobado:** 14/08/22 **Publicado:** 18/12/2022

**Resumen:** El propósito del presente artículo está relacionado con la verificación de las mejores prácticas para considerar la incorporación de reservas de contingencia en la elaboración de los presupuestos de inversión (Capital Expenditure - CAPEX) en la etapa de formulación de proyectos, dada la necesidad de considerar la existencia de riesgos y oportunidades que van más allá de la denominación determinística de los presupuestos y que constituyen un motivo de preocupación para los patrocinadores y para los clientes de los proyectos. A tal efecto, se proporciona una revisión literaria alineada con el estado del arte en las mejores prácticas de formulación de proyectos y se proporciona el entendimiento de las metodologías más apropiadas para incorporación en equipos de trabajo interesados en estas prácticas.

**Palabras clave:** Dirección de proyectos, reservas de contingencia, plan de gestión de costos, presupuestos CAPEX.

**Abstract:** This paper has the goal to present a corroboration of best practices that consider incorporation of contingency reserves into investment budgets (Capital Expenditure - CAPEX) during project formulation stages. This objective arises due to the consideration of risks and opportunities, which go beyond the deterministic denomination of the budgets, and therefore, they constitute a cause concerning both sponsors and clients of the projects. For this purpose, a literary review is provided, which is aligned with the state of the art in the best practices of project formulation, and the understanding of the most appropriate methodologies for incorporation into work teams interested in these practices is provided.

<sup>1</sup> Ingeniero Electricista, PhD en Ingeniería Eléctrica. Unidad Ingeniería de Proyectos 1, Empresas Publicas de Medellín, Colombia, Medellín. Gabriel.Jaime.Correa@epm.com.co

**Keywords:** Project management, management reserves, contingency reserves, project formulation, cost management plan, CAPEX budgets.

## I. Introducción

Históricamente, las organizaciones y empresas están sujetas a la creación, planificación, desarrollo y transferencia de proyectos, toda vez que, de esta manera, se garantiza su sostenibilidad y rentabilidad. En la actualidad, los cambios continuos e imparables debidos a la globalización obligan a la adaptación de todas las entidades a los constantes cambios internos, en un entorno de crecimiento gradual y sostenible.

En las últimas décadas, se ha hecho evidente la incorporación de metodologías estructuradas y universales para facilitar la gestión de cada una de las etapas que componen un proyecto. Actualmente, estas metodologías tienen alta aceptación y se difunden con éxito a nivel internacional, debido al interés de las empresas y de los Gobiernos en generar valor en la ejecución de cualquiera de los proyectos que se emprenden y, de esta manera, garantizar el óptimo resultado en el desarrollo de todas sus etapas [1], [2]

En términos generales, las metodologías de gestión de proyectos hacen parte de las culturas organizacionales gracias al evidente éxito en el logro de la visión estratégica de las empresas y de los planes de gobierno.

En este artículo se aborda el tema de la gestión de proyectos, con especial énfasis en la etapa de planificación de costos, es decir, la construcción de los presupuestos, dado el notable interés de los patrocinadores de proyectos en que los recursos que se presupuesten correspondan con la realidad de las inversiones económicas, al tiempo que se minimizan las incertidumbres asociadas con los planes de costo de los proyectos.

A tal efecto, se proporciona una revisión literaria de las mejores prácticas que se realizan en el proceso de construcción de presupuestos. Adicionalmente, se presenta un resumen de las metodologías más adecuadas para la estimación semicuantitativa

de las contingencias (que hacen parte de las actividades identificadas en las estructuras de desglose de trabajo de los proyectos).

Para facilitar la lectura del artículo, se inicia con el marco teórico, donde se explican las propuestas de elaboración de presupuestos para los proyectos en una organización. Seguidamente, el artículo presenta el resultado de la revisión literaria y prácticas fundamentadas en el estado del arte para la construcción de los planes de costos en los proyectos. Luego se referencia el procedimiento recomendado para la estimación análoga de las reservas de contingencia en los planes de costos de los proyectos, fundamentados en el rastreo de la revisión bibliográfica. La última parte contiene las conclusiones y recomendaciones asociadas con el propósito de este artículo de revisión de literatura.

## II. Marco teórico

Un proyecto se define como un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único [3] y tiene las siguientes características:

- Tiene un propósito específico.
- Se crea para un específico resultado, producto o servicio.
- Tiene un comienzo y un final definidos.
- Es temporal.
- Puede ser progresivamente elaborado, dependiendo del aprendizaje alrededor de los detalles.

En ese contexto, la dirección de proyectos surge como una disciplina que tiene como objetivo la mejora de los procesos y su entorno para alcanzar los resultados esperados. Por lo tanto, es una disciplina que incluye el planeamiento, la organización, la estrategia y el control de los recursos [4].

### Prácticas reconocidas en la gestión de proyectos

Un aspecto que siempre debe tenerse en cuenta son las limitaciones; es decir, todo proyecto tendrá siempre restricciones tales como el tiempo, la

calidad y el presupuesto, por lo que un director de proyectos deberá costear dichos límites para lograr el éxito del proyecto [5].

### Fundamentación de las prácticas de PMI

La filosofía del Project Management Institute (PMI) busca incentivar las mejores prácticas de dirección de proyectos dentro de un esquema de procesos (iniciación, planificación, ejecución, seguimiento y control, cierre) combinado con áreas de conocimiento (integración, alcance, tiempo, costos, calidad, recursos humanos, comunicaciones, riesgos, adquisiciones, interesados) [2].

Dentro del propósito de este artículo, se valida la necesidad de enfocar las condiciones para incorporar la incertidumbre dentro de los costos de las actividades de los proyectos.

En este sentido, toman relevancia las siguientes definiciones, para facilitar el entendimiento de la incorporación de la incertidumbre en el presupuesto de un proyecto [3], [6], [7]:

- **Línea base:** Corresponde a la versión aprobada del presupuesto del proyecto por etapas temporales, con exclusión de las reservas de gestión. Se utiliza como base para la comparación de la ejecución presupuestal con los resultados reales.
- **Reserva de contingencia:** Corresponde a las holguras que involucran la incertidumbre en forma de cantidad económica, las cuales se añaden a la línea base de costos de las actividades de un proyecto para obtener el presupuesto.
- **Reserva de gestión:** Aunque forma parte del presupuesto total y de los requisitos de financiamiento del proyecto, esta reserva no se incluye en la línea base de costos. Se utiliza una cantidad determinada de las reservas de gestión del proyecto para financiar un trabajo no previsto.
- **Riesgo:** Corresponde a la proximidad o posibilidad de que suceda un daño o perjuicio y sus posibles consecuencias. Este daño puede afectar varias actividades y paquetes del trabajo del proyecto. El PMI también considera la

posibilidad de existencia de riesgos positivos (oportunidades) que generan sinergias dentro de los proyectos.

### Importancia de la EDT

En primer lugar, la revisión literaria es clara en cuanto a la importancia de adoptar las recomendaciones del PMI para la planificación de proyectos. En este sentido, la construcción de los presupuestos guarda correspondencia con el plan de gestión de costos del proyecto [8].

Es necesario generar una estructura de desglose de trabajo (EDT) para permitir la posterior elaboración de los planes de gestión de costos y de tiempo. La EDT es la información fundamental para elaborar los estimativos de tiempos y de costos de las actividades del proyecto.

### Plan de gestión de costos

En el grupo de procesos de planeación del proyecto y, específicamente, en lo referente al área de conocimiento de costos, PMI recomienda la realización del plan de dirección de costos, con especial énfasis en la estimación del presupuesto a partir de la valoración de las actividades descritas en la EDT. La realización de estimaciones presupuestales para encontrar el valor de las inversiones de CAPEX en un proyecto se efectúa mediante:

- **Estimación análoga:** valoración de la duración o del costo de una actividad mediante la utilización de datos históricos o conocimiento técnico del mismo. Se utilizan cuantificaciones tales como duración, presupuesto, tamaño, carga y complejidad como base para estimar los mismos parámetros o medidas para un proyecto futuro.
- **Estimación paramétrica:** cuantificación de valores del tiempo o del costo de actividades del proyecto, fundamentadas en procesamiento de información con algoritmos computacionales aplicados a datos históricos, funciones estadísticas de probabilidad, metaheurísticas e inteligencia artificial para predecir los valores de los costos en cada actividad del proyecto. [9]

## Recomendaciones para la elaboración del plan de gestión de costos

Según las recomendaciones del PMI, para la construcción de los presupuestos del proyecto deben tenerse en cuenta las siguientes prácticas:

- Los estimados de costos deben estar basados en la EDT para mejorar la precisión de los estimados.
- La información histórica es pieza clave para mejorar los estimados.
- Una línea de base de costos (tiempo, alcance, calidad y recursos) debe mantenerse sin modificaciones, con excepción de los cambios aprobados para propósitos de comparación.
- Todos los planes deben ser verificados durante la ejecución del trabajo.
- Las acciones correctivas deben implementarse cuando ocurren problemas de costos, calidad, tiempo, alcance o recursos.
- Debe desarrollarse una aproximación de los recursos monetarios necesarios para completar las actividades del proyecto.
- Deben tomarse en cuenta las concesiones entre costos y riesgos, lo que se conoce como análisis de alternativas (manufacturar vs. comprar, comprar vs. alquilar, manufacturar vs. tercerizar).

- Los costos del proyecto también deben estimarse a partir de la conveniencia de procesar la información de la organización y de las lecciones aprendidas de otros proyectos para estimar los costos de actividades y el presupuesto (información histórica de proyectos similares, información financiera de la organización, información de proveedores, información del resultado de la licitación, etc.).

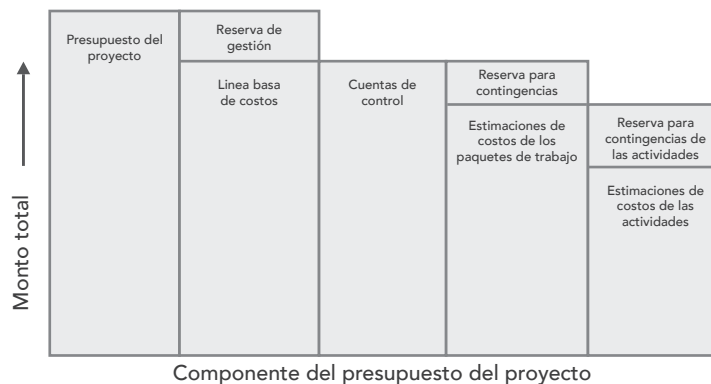
Un gerente de proyectos nunca debe aceptar requisitos de tiempos o costos de la gerencia de la organización, sino que debe analizar las necesidades del proyecto y estimarlos para luego compararlos y después conciliar las diferencias [10].

### Determinación de la línea base del presupuesto

Una recomendación importante del PMI consiste en la aplicación de la técnica de la estimación análoga ascendente para obtener una primera versión del presupuesto del proyecto.

La Figura 1 ilustra el procedimiento de aplicación de la estimación análoga ascendente, donde se valida la inclusión de las reservas de contingencia y la reserva de gestión para la construcción del presupuesto del proyecto.

**Figura 1.** Estimación análoga ascendente del presupuesto de un proyecto.



Fuente: [3]

Dependiendo del nivel de maduración del proyecto, la incorporación de incertidumbre en los costos de la EDT sugiere que el nivel de exactitud de los estimados de las contingencias sea coherente con la Tabla 1, con el propósito de establecer la línea de base de costos.

**Tabla 1.** Estimativo de las contingencias para costos en la EDT.

Maduración del proyecto	Incertidumbre menor (O)	Incertidumbre mayor (P)
<b>Iniciación</b>	-25%	75%
<b>Formulación</b>	-10%	25%
<b>Definitivo</b>	-5%	10%

Fuente: [3], [5]

Las metodologías del PMI también proponen representar la incertidumbre alrededor de un número con la aproximación de las funciones PERT (Program Evaluation and Review Technique) [11], [12].

La ecuación que se emplea para determinar el tiempo esperado es

$$E = \left( \frac{O + 4M + P}{6} \right)$$

con desviación estándar

$$\sigma = \left( \frac{P - O}{6} \right)$$

De esta manera puede calcularse el presupuesto con contingencias de manera más eficiente.

### Técnicas y buenas prácticas en la estimación de contingencias de costos

A partir de la información determinada en esta sección de marco teórico, se identifican algunas combinaciones de técnicas y metodologías que, en opinión de los autores, reflejan las mejores prácticas para la estimación análoga y paramétrica de los costos de los proyectos.

Dentro de las técnicas que se relacionan en el estudio del estado del arte, se identifican al menos las siguientes, o una combinación entre varias de ellas [13]:

- Estado del arte
- Estudio de caso
- Funciones de probabilidad
- Herramientas de inteligencia artificial (IA) y heurísticas
- Juicio de expertos
- Valor monetario esperado
- Ponderación semicuantitativa del riesgo.

Otros autores pueden relacionar algunas técnicas adicionales (o combinación de ellas) en las evaluaciones análogas o paramétricas para la evaluación de reservas de contingencia en los costos de proyectos y en la valoración del CAPEX [7], [14].

### III. Revisión literaria y estado del arte

Una revisión literaria de las mejores prácticas para la estimación de las reservas de gestión y las reservas de contingencia en la formulación de los presupuestos en los proyectos parte de las metodologías más aceptadas actualmente, las cuales están resumidas en [3] y [14], consideradas las mejores referencias de metodologías para la dirección de proyectos. Específicamente, en el área de conocimientos de costos de [3] se presenta una metodología de estimación análoga ascendente, donde se explican los siguientes pasos:

1. Para cada paquete de trabajo de la estructura de desglose de trabajo (EDT), en la etapa de planeación del proyecto, se estima una reserva de contingencia que oscila entre -5% y 10% del costo estimado.
2. Se suma el valor de todos los costos en el mismo nivel de la EDT.
3. En los entregables también se recomienda asignar un valor de contingencia.
4. Al final, una vez obtenida la línea base de presupuesto, se asigna una reserva de gestión del proyecto, que depende de la propensión al riesgo (aproximadamente un 20% adicional al presupuesto de la línea base).

## Aproximaciones a la estimación análoga de contingencias

En el planteamiento de la norma [8] se presenta una metodología de estimación análoga y paramétrica para la estimación del presupuesto y se estandarizan las recomendaciones de [3] y sus actualizaciones, según lo mencionado en las actividades del plan de gestión de costos en proyectos. La metodología se promueve en diferentes foros, como [1], donde se enfatiza la estimación análoga ascendente para la línea base del presupuesto, y también se estima una holgura que considere la incertidumbre en los gastos del proyecto. Esto facilita su posterior monitoreo y control.

Como dato de interés, vale la pena mencionar la pertinencia de las normativas ISO 31000 [15] e ISO 10007 [16], que recomiendan la incorporación de directrices para la identificación, valoración y gestión de riesgos en las organizaciones y en los proyectos. La evaluación semicuantitativa puede relacionarse directamente con los costos de las actividades en las empresas.

### Revisiones del estado del arte

A continuación se presentan, dentro de la revisión literaria, las técnicas más usuales para considerar la incertidumbre de contingencias en la determinación del CAPEX de los presupuestos de proyectos [8], [17]:

- Método de porcentaje tradicional (utilizado en todos los tipos de proyectos)
- Método de momento (usado con poca frecuencia)
- Riesgo individual - valor esperado (utilizado en todos los tipos de proyectos)
- Simulación Monte Carlo (usada en importantes proyectos de inversión capital)
- Calificación de factores (usada en proyectos de inversión capital)
- Estimación de rango (usada en proyectos de construcción de carreteras)
- Regresión (usada en todos los proyectos de construcción, en su mayoría edificios)
- Redes neuronales artificiales (usadas en proyectos de carreteras y proyectos de petróleo y gas)
- Conjuntos borrosos o fuzzy (usados significativamente en proyectos de construcción y en algunos proyectos de carreteras)
- Memoria de intervalos controlados (poca utilización)
- Diagramas de influencia (usados en proyectos de construcción multifacéticos)
- Teoría de las restricciones (usada en proyectos de construcción multifacéticos).

Igualmente, [18] y [19] presentan la revisión bibliográfica de experiencias para la estimación de contingencias, incluyendo la revisión del estado del arte de metodologías para planificación y monitoreo de la línea base de costos. Se consideran técnicas como:

- Juicio de expertos
- Teoría de restricciones
- Metodología AHP
- Evaluación de riesgos con simulación Monte Carlo
- Configuración de funciones de probabilidad para estimar riesgos cuantitativos.

En [20] se efectúa una revisión literaria de elementos para incorporar en la incertidumbre de costos de proyectos. Se recomienda incluir elementos de incertidumbre en costos tales como:

- Riesgo y contingencia en la construcción
- Estimación de costos en la etapa de diseño y su riesgo inherente
- Precisión en la estimación de costos de la etapa de diseño
- Complejidad de diseño y construcción
- Escala y alcance de la construcción
- Método de construcción
- Período de licitación y condiciones del mercado
- Restricciones del sitio
- Posición financiera del cliente
- Edificabilidad
- Localización del proyecto.

Por su parte, [21] efectúa una revisión bibliográfica sobre la trascendencia del PMI para la construcción de planes de costos y, de esta manera, se justifica la conveniencia del PMI en la elaboración de planes de gestión de costos.

Finalmente, vale la pena mencionar el estudio [22], que presenta estimaciones de costos de construcción y cronogramas realizados para un grupo de proyectos de generación de energía aprobados para financiamiento por el Banco Mundial entre 1965 y 1986. Dicho estudio contiene resultados de la desviación entre el costo real y el presupuesto estimado en proyectos de diseño, construcción y puesta en funcionamiento de centrales hidroeléctricas en diferentes países del mundo, lo cual es de utilidad para validar la importancia de acertar en el valor de las contingencias en la formulación del presupuesto de un proyecto.

### Recomendaciones metodológicas

En el caso de [23], se presenta una metodología tipo análoga, consistente en la identificación de riesgos por parte de interesados en los proyectos y su ponderación en las respectivas actividades.

En [11] y [24] se presenta una metodología de cálculo de desviación estándar con números difusos triangulares, consistente en la aplicación de la estimación de duración de actividades, pero escalable a los costos. En resumen, la estimación de incertidumbre se efectúa en forma de números difusos.

En [25] se propone una metodología tipo análoga para involucrar las expectativas y requerimientos de los interesados en el proyecto, consistente en la realización de entrevistas estructuradas entre ellos para considerar las holguras en costos. Al final, se asigna una función de probabilidad para la variación de costos en cada actividad y la ponderación de cada actividad en el presupuesto.

El trabajo de [26] consiste en el desglose de criterios para presupuestar la adquisición de un servicio a partir de la recopilación de todos los requisitos, en este caso aplicado a un software, validando los

posibles costos asociados con las funcionalidades, por parte de un grupo de expertos. A su vez, en [27] se retoma dicha propuesta metodológica, pero de manera parametrizada. Se efectúa la estimación de desviación estándar acumulada para el costo de cada actividad en la EDT de proyectos de software; en este caso se asigna la de probabilidad para la variación de costos en cada actividad y ponderación de cada actividad en el presupuesto.

En [28] y [14] se presenta una metodología tipo análoga, consistente en la estimación de holguras con funciones de probabilidad en los costos de la EDT. En la misma se asigna la curva de probabilidad para la variación de costos en cada actividad y la suma final de todas las actividades y sus variaciones.

En [29] se facilita la metodología de construcción de línea base con estimación ascendente y representación con curva S. De acuerdo con la propensión al riesgo de los patrocinadores del proyecto, pueden incorporarse holguras en las reservas de contingencia y de gestión, las cuales son susceptibles de ser monitoreadas en la medida en que avanza la ejecución del proyecto, a través de la curva S de costos.

Por su parte, en [30] se presenta una revisión bibliográfica en términos de incertidumbre, riesgos y varianza, teniendo en cuenta la determinación conceptual de la reserva de gestión para el proyecto (compuesta por el estimativo del proyecto más el margen de administración más la reserva y contingencia).

En la aproximación metodológica, [31] se aplica al monitoreo de la curva S de costos y ajuste de los costos estimados hasta la conclusión del proyecto, fundamentado en la curva S de costos e involucrando componentes de riesgo con factores de comportamiento ( $\omega$ ) de los ejecutores de gasto.

Por su parte, la metodología de [32] aplica los indicadores de monitoreo y control de costos, a partir de la sugerencia para tomar los indicadores propuestos en el PMI con la finalidad de efectuar el monitoreo y control de la curva S de costos.

El caso de [33] presenta la gestión de reservas de contingencias por empresas constructoras durante la ejecución de un proyecto, aplicable de la siguiente manera: construcción de las líneas base de costo fundamentada en las recomendaciones del PMI e incorporación del tratamiento del riesgo para controlar las incertidumbres durante la ejecución del proyecto.

Un trabajo similar, por parte de [2], propone la elaboración del plan de gestión de costos con incorporación de incertidumbre y construcción de curva S para costos, aplicable de la siguiente manera: aplicación de las recomendaciones del PMI en el plan de gestión de costos para una empresa del sector eléctrico. Se recomienda construir curva S con la estimación ascendente análoga, para los proyectos que identifican los patrocinadores.

### Holguras para estimativos análogos ascendentes

Existen varias propuestas para considerar la asignación de holguras en las contingencias de actividades de la EDT. Las propuestas más importantes, que complementan las recomendaciones del PMI (presentadas al inicio de esta sección), son descritas a continuación.

En primer lugar, vale la pena citar la propuesta de [34], consistente en el mapeo de las fases y etapas de la estimación de costos del proyecto junto con una matriz genérica de madurez y calidad de la definición del alcance del proyecto, aplicable a una amplia variedad de industrias de procesos. Para tal efecto, se eligen los rangos de las contingencias en actividades, de acuerdo con los índices proporcionados por la AACE en la maduración del proyecto:

- Clase 5 (Inicio proyecto) = -50% a +100%
- Clase 4 (Factibilidad) = -15% a +50%
- Clase 3 (Presupuesto) = -10% a +30%
- Clase 2 (Licitación) = -5% a +20%
- Clase 1 (Construcción) = -3% a +15%.

Por su parte, [35] propone el análisis de desviaciones estándar de las líneas base de diferentes proyectos del sector eléctrico en Australia. Para el caso se reportan las desviaciones aplicables a las líneas base de las actividades que componen los presupuestos de diferentes proyectos, después de ejecutarlos. En dicha propuesta se aplican incertidumbres en las diferentes fases de los proyectos:

- Conceptualización ( $\pm 20\%$ )
- Planeación ( $\pm 10\%$ )
- Diseño de detalle ( $\pm 8\%$ )
- Construcción ( $\pm 5\%$ ).

Asimismo, la propuesta de [14], [36] y [37] permite realizar estimación análoga ascendente, con incorporación del riesgo, como lo recomienda el PMI, aplicable de la siguiente manera:

- De acuerdo con el proceso ejecutado para los riesgos identificados y dentro de la estructura de desglose de trabajo para el proyecto, se calcula y se dispone de una reserva de contingencia del 12,01%.
- La reserva de gestión se asocia a costos administrativos y tiene una equivalencia del 23%.
- La propuesta de [38] corresponde a una metodología de inclusión de la propensión al riesgo dentro de la contingencia con valor monetario esperado con el siguiente procedimiento:
  - » Comprender el nivel de tolerancia al riesgo en la organización.
  - » Calcular presupuesto de contingencia de riesgo. Por ejemplo: si un riesgo tiene un impacto de \$1.000 para el proyecto y una probabilidad del 20% de ocurrir, se recomienda incluir \$200 en las primeras reservas de contingencias por el riesgo en actividades EDT.
  - » Los miembros del equipo y otros interesados deben ayudar a identificar los riesgos.
  - » Se debe ponderar el costo del plan de riesgo contra el impacto del riesgo.



El trabajo de [6] y [37] propone la aplicación de los conceptos de [3], la ISO 31000 [15] y la ISO 10006 [16], en cuanto a la incorporación de los riesgos de proyectos en la estimación de la incertidumbre para proyectos de construcción de viviendas, aplicable de la siguiente manera: una profunda descripción de los criterios de gestión de riesgos que se aplican a proyectos de construcción de vivienda. Se determinan las siguientes fuentes de riesgo e incertidumbre en los costos de actividades: diseño (19%), gestión de compras (5%), construcción (10%), instalación (10%), pruebas y puesta en marcha (35%).

### **Aproximaciones a la estimación paramétrica de contingencias**

En general, la literatura especializada trata de efectuar la aproximación a la estimación de contingencias en proyectos, de manera alineada con las explicaciones teóricas de la sección anterior. Esto suele ratificarse en diversos referentes bibliográficos de amplio conocimiento entre las organizaciones. Por ejemplo, en [5] se presenta una metodología de estimación paramétrica fundamentada en datos históricos o juicios de expertos, a partir de las recomendaciones de [3]. Lo anterior se resume en el procesamiento de información histórica y predicción del costo de cada actividad en la EDT según análisis estadístico o metaheurísticas. Esta recomendación también se presenta en [39].

### **Relacionamiento del riesgo en las contingencias de costos**

Un denominador común en la estimación de las contingencias según parámetros consiste en la incorporación de las técnicas de evaluación de riesgos y su relacionamiento con los costos en el presupuesto del proyecto. La directriz de [40] recomienda estimar los tiempos del cronograma del proyecto mediante la carga de recursos y el costo de las actividades de la EDT. También se especifica la probabilidad y el impacto de los riesgos para usar técnicas de Monte Carlo que permitan simular el impacto en el tiempo y en el costo.

En esta directriz se recomienda la evaluación de riesgos del proyecto mediante técnicas Monte Carlo, teniendo en cuenta los parámetros de valores

esperados, variables aleatorias en elementos del presupuesto, varianzas, funciones de probabilidad e incertidumbre propia de la curva S de costos [40], [41].

Resulta interesante la presentación de la metodología de estimación de costos realizada por [4] y [40], donde se presenta una metodología de estimación paramétrica con funciones de probabilidad para cada actividad aplicable en la EDT, mediante análisis de riesgos y simulación Monte Carlo @Risk para evaluación cuantitativa.

En [12] se presenta una metodología tipo paramétrica, consistente en el cálculo de la desviación estándar, con apoyo en funciones de probabilidad tipo PERT cuya aproximación se realiza con números difusos triangulares, de manera que la incertidumbre en la estimación de costos está contenida dentro de la constitución de dichos números [24].

En [42] los autores aplican un modelo Monte Carlo y el juicio de expertos para definir límites de las contingencias y, de esta manera, construir el presupuesto de un proyecto. Se asignan funciones de probabilidad tipo triangular a los costos de cada actividad y se realiza la sumatoria acumulada. Los límites de la incertidumbre en contingencia son baja (-25% a +75%), media (-10% a +25%) y alta (-5% a +10%).

Una forma interesante de incorporar la incertidumbre en las contingencias de costos es la propuesta de [43], dado que se usa lógica difusa. A cada actividad de costo se le asocia una función de pertenencia, se realizan sumatorias de las funciones de pertenencia y se defuzzifica el resultado del número concreto. El resultado ya tiene incorporada la incertidumbre del costo.

En [44] se presenta una metodología tipo paramétrica, correspondiente a la estimación de la incertidumbre de costos a través de funciones de probabilidad, con valoración bajo simulación Monte Carlo. Dicha metodología permite valorar el seguimiento de los indicadores de costos de los proyectos. Los autores también presentan una descripción literaria de diferentes métodos de cálculo de contingencias y proponen el

cálculo de la incertidumbre en costos mediante parametrización con funciones de probabilidad en la varianza del costo y su procesamiento con simulación Monte Carlo.

En [45] se efectúa estimación paramétrica ascendente de los costos de proyectos mediante la propuesta de incorporar la evaluación semicuantitativa del riesgo y su posterior evaluación estocástica de la reserva de gestión para el presupuesto de un proyecto.

El trabajo de [46] consiste en una metodología para estimación de variables aleatorias sobre los elementos de la estructura de desglose de trabajo y no sobre las fuentes de incertidumbre. A tal efecto se determina un valor específico, dependiendo del nivel de cobertura ante el riesgo deseado por la organización o los patrocinadores del proyecto, y se distribuye dicho valor entre los capítulos de la estructura de desglose de trabajo, dependiendo de su contribución a la dispersión del costo del proyecto, mediante modelación con funciones de probabilidad beta.

El trabajo de [47] presenta un análisis probabilístico integrado de riesgos, aplicado a través del método de simulación de Monte Carlo. Para ello se determinan el tiempo y el costo usando el criterio determinístico tradicional y el software especializado Primavera Project Planner; la duración del proyecto se calcula con el método de la ruta crítica, y el costo del proyecto, con base en la cantidad total de recursos por actividad. Los resultados del análisis determinístico sirven como criterio de comparación para los resultados del análisis probabilístico.

Por su parte, [48] efectúa el cálculo de niveles de contingencia a partir de la estimación del riesgo en las actividades de la EDT. En tal caso, se valoran los riesgos de manera cuantitativa mediante simulación Monte Carlo y se distribuyen los valores económicos del riesgo de manera proporcional entre las actividades de la EDT.

En [49] se presenta una metodología de valoración del riesgo con técnicas semicuantitativas y

aplicación de la teoría de grafos. En tal caso, se elaboran diagramas que interrelacionan diferentes elementos de riesgos en sistemas de infraestructura y se efectúa valoración semicuantitativa de los mismos, sobre la determinación de la severidad y la probabilidad de materialización de los riesgos, a partir de escalas propuestas por juicio de expertos.

### Recomendaciones estandarizadas

En primer lugar, es importante citar las directrices [9] y [34] para aplicar correctamente la estimación de rango y el análisis de Monte Carlo con el fin de determinar probabilidades y contingencias de manera confiable. Se sugiere la aplicación, para los ítems críticos, de la línea base con simulación Monte Carlo, haciendo énfasis en los siguientes aspectos:

- Valor estimado
- La probabilidad de que el valor actual no supere el valor estimado
- Los valores máximos y mínimos probables
- Varianzas utilidad =  $\pm 0,5\%$
- Varianzas costos =  $\pm 5\%$
- Funciones de probabilidad = triangular.

Igualmente, [9] recomienda las técnicas de cuantificación del riesgo para incorporar los resultados de su impacto en los costos de los proyectos: Se establecen las prácticas recomendadas para cuantificar la probabilidad de ocurrencia y el impacto del riesgo, cuyo resultado se incorpora en las variables que conforman el costo del proyecto. Dentro de las técnicas de métodos de contingencia y consideraciones de principios generales, se incluyen:

- Juicios de expertos
- Directrices predeterminadas en matrices de riesgos
- Simulación analítica (incluyendo metodologías de estimación de rango y valor esperado)
- Modelado paramétrico. [50]

Finalmente, [40] contiene las recomendaciones de integración entre costos y tiempos del cronograma del proyecto mediante la carga de recursos y el costo de las actividades del cronograma. Se especifica la probabilidad y el impacto de los riesgos para usar técnicas de Monte Carlo que permitan simular su impacto en términos de tiempo y costos. Se sugiere efectuar la evaluación de riesgos de actividades críticas del proyecto mediante técnicas Monte Carlo, de acuerdo con los procedimientos usuales de los parámetros de valores esperados, variables aleatorias en elementos del presupuesto, varianzas y funciones de probabilidad en la evaluación cuantitativa de riesgos. Con esta directriz, pueden estimarse las proyecciones de costos al finalizar el proyecto, considerando la incertidumbre en la curva S de costos [41].

#### IV. Análisis de la información y aplicación de las metodologías para estimación de reservas de contingencia

La revisión bibliográfica presentada en el anterior numeral, consistente en el análisis de 50 publicaciones, permite efectuar una validación analítica de la información, en la que, básicamente, se observan las metodologías y recomendaciones preferidas por los autores previamente estudiados.

##### Análisis de la revisión literaria

En primer lugar, conviene validar la pertinencia y actualidad de las publicaciones que se citan en este artículo. La Tabla 2 presenta el compendio actualizado de las referencias bibliográficas sobre el cual se realiza el diagnóstico del estado del arte. En términos generales, se observa que la documentación está debidamente actualizada y vigente, teniendo en cuenta que las referencias bibliográficas son recientes.

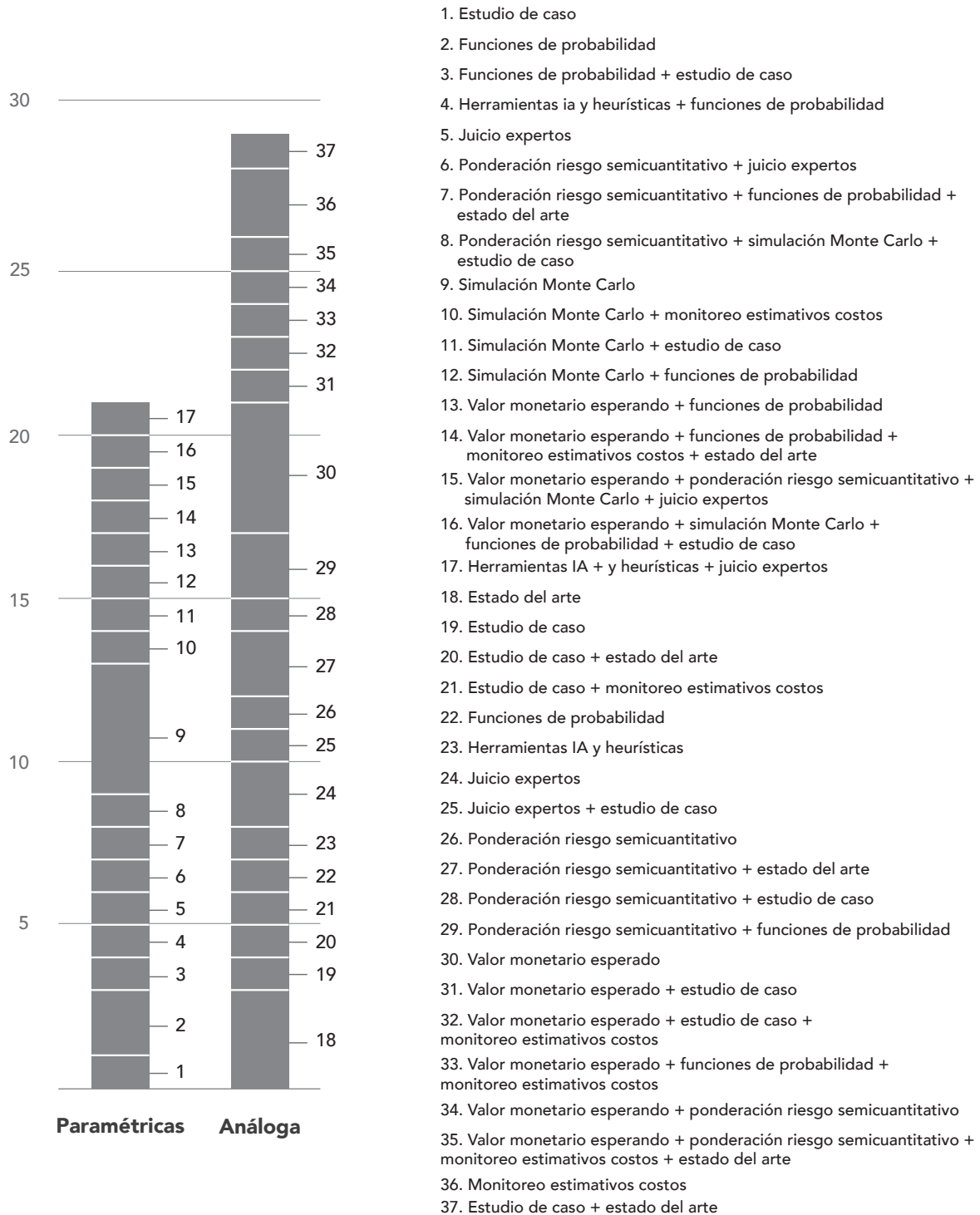
**Tabla 2.** Actualidad de las referencias bibliográficas del artículo.

Año de publicación	Cantidad	Porcentaje
1992	1	2%
1996	1	2%
2002	1	2%
2005	2	4%
2007	3	6%
2008	2	4%
2010	2	4%
2011	3	6%
2012	3	6%
2013	3	6%
2014	3	6%
2015	5	10%
2016	3	6%
2017	4	8%
2018	7	14%
2019	2	4%
2020	2	4%
2021	2	4%
2022	1	2%
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>100%</b>

Fuente: *Elaboración propia*

La Figura 2 constituye el resumen analítico del compendio de metodologías estudiadas en la revisión literaria. Básicamente, las recomendaciones metodológicas involucran la clasificación de procesamiento de datos de manera análoga y de manera paramétrica.

**Figura 2.** Resumen de metodologías para la estimación de reservas de contingencias en proyectos.



Fuente: Elaboración propia

Obsérvese que la combinación de varias técnicas de estimación de costos de contingencias guarda relación con el asunto notificado en la sección del marco teórico, según el consolidado presentado en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Combinación de técnicas para la estimación de contingencias en proyectos según revisión literaria.

Combinación de técnicas (cantidad)	Estimación análoga	Estimación paramétrica	Total
1	16	10	26
2	11	7	18
3	1	3	4
4	1	1	2
<b>Total publicaciones</b>	<b>29</b>	<b>21</b>	<b>50</b>

Fuente: Elaboración propia

Como dato de interés, es conveniente consultar la Tabla 4 para verificar las recomendaciones de la revisión literaria en cuanto a la combinación de técnicas para estimación de contingencias, tanto análoga como paramétricamente.

**Tabla 4.** Conteo de combinación de técnicas para estimación de contingencias.

Combinación de técnicas	Cantidad
Estado del arte	3
Estudio de caso	2
Estudio de caso + estado del arte	1
Estudio de caso + monitoreo estimativos costos	1
Funciones de probabilidad	3
Funciones de probabilidad + estudio de caso	1
Herramientas IA y heurísticas	1
Herramientas IA y heurísticas + funciones de probabilidad	1
Juicio de expertos	3

Combinación de técnicas	Cantidad
Juicio de expertos + estudio de caso	1
Ponderación de riesgo semicuantitativo	1
Ponderación de riesgo semicuantitativo + juicio de expertos	1
Ponderación de riesgo semicuantitativo + estado del arte	2
Ponderación de riesgo semicuantitativo + estudio de caso	1
Ponderación de riesgo semicuantitativo + funciones de probabilidad	2
Ponderación de riesgo semicuantitativo + funciones de probabilidad + estado del arte	1
Ponderación de riesgo semicuantitativo + simulación Monte Carlo + estudio de caso	1
Simulación Monte Carlo	4
Simulación Monte Carlo + monitoreo estimativos costos	1
Simulación Monte Carlo + estudio de caso	1
Simulación Monte Carlo + funciones de probabilidad	1
Valor monetario esperado	4
Valor monetario esperado + estudio de caso	1
Valor monetario esperado + estudio de caso + monitoreo estimativos costos	1
Valor monetario esperado + funciones de probabilidad	1
Valor monetario esperado + funciones de probabilidad + monitoreo estimativos costos	1
Valor monetario esperado + funciones de probabilidad + monitoreo estimativos costos + estado del arte	1
Valor monetario esperado + ponderación de riesgo semicuantitativo	1
Valor monetario esperado + ponderación de riesgo semicuantitativo + monitoreo estimativos costos + estado del arte	1

Combinación de técnicas	Cantidad
Valor monetario esperado + ponderación de riesgo semicuantitativo + simulación Monte Carlo + juicio de expertos	1
Valor monetario esperado + simulación Monte Carlo + funciones de probabilidad + estudio de caso	1
Monitoreo estimativos costos	2
Estudio de caso + estado del arte	1
Herramientas IA y heurísticas + juicio de expertos	1
<b>Total publicaciones analizadas</b>	<b>50</b>

Fuente: *Elaboración propia*

### Aplicación de técnicas de estimación análoga ascendente

Para validar la aplicación del estudio de la revisión literaria y estado del arte, es conveniente retomar algunas de las técnicas recomendadas. Dada la necesidad de adoptar una estrategia de valoración rápida y de fácil divulgación, en esta sección los autores recomiendan la aplicación de técnicas de estimación análoga ascendente (como lo sugiere el PMI).

Para el propósito planteado en la estimación de presupuesto CAPEX, incluyendo las reservas de contingencia y la reserva de gestión, se propone aplicar la siguiente combinación de técnicas:

Valor monetario esperado + ponderación de riesgo semicuantitativo + monitoreo estimativos costos + estado del arte.

A continuación se presenta un ejercicio ilustrativo para la estimación análoga ascendente de un presupuesto CAPEX de un proyecto, utilizando algunas de las técnicas previamente citadas en la revisión literaria. En todos los casos, se evidencia la importancia de efectuar la estimación de la línea base de costos usando la EDT del proyecto.

Los cálculos se efectúan bajo la consideración de que el proyecto se encuentra en fase de

maduración de planificación, aplicando las condiciones de valores de incertidumbre optimista y pesimista de la Tabla 1.

### Ejercicio ilustrativo con técnicas de valor esperado del PMI

La Tabla 5 corresponde a un ejercicio con EDT y valores definidos de costos. En este caso, la recomendación del PMI consisten en el uso de la formulación de PERT y consideración de las incertidumbres definidas en la Tabla 1. El ejemplo se presenta para un proyecto en nivel de maduración de planificación.

**Tabla 5.** Ejemplo ilustrativo según criterios de incertidumbre PERT del PMI.

EDT	Estimación análoga ascendente	Incertidumbre PERT (PMI)	Desviación estándar
<b>Presupuesto</b>	\$ 4.962	\$ 5.086	289,5
<b>Reserva de gestión</b>	20%		
<b>Línea base</b>	<b>\$ 4.135</b>	<b>\$ 4.238</b>	<b>241,2</b>
1.	\$ 3.030	\$ 3.106	176,8
1.1	\$ 950	\$ 974	55,4
1.1.1	\$ 200	\$ 205	11,7
1.1.2	\$ 250	\$ 256	14,6
1.1.3	\$ 350	\$ 359	20,4
1.1.4	\$ 150	\$ 154	8,8
1.2	\$ 210	\$ 215	12,3
1.2.1	\$ 100	\$ 103	5,8
1.2.2	\$ 50	\$ 51	2,9
1.2.3	\$ 25	\$ 26	1,5
1.2.4	\$ 35	\$ 36	2,0
1.3	\$ 1.870	\$ 1.917	109,1
1.3.1	\$ 550	\$ 564	32,1
1.3.2	\$ 750	\$ 769	43,8
1.3.3	\$ 280	\$ 287	16,3
1.3.4	\$ 290	\$ 297	16,9

EDT	Estimación análoga ascendente	Incertidumbre PERT (PMI)	Desviación estándar
2.	\$ 1.105	\$ 1.133	64,5
2.1	\$ 1.060	\$ 1.087	61,8
2.1.1	\$ 300	\$ 308	17,5
2.1.2	\$ 490	\$ 502	28,6
2.1.3	\$ 270	\$ 277	15,8
2.2	\$ 45	\$ 46	2,6
2.2.1	\$ 30	\$ 31	1,8
2.2.2	\$ 15	\$ 15	0,9

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5 puede verificarse que la línea base elaborada con formulación PERT representa un costo 2,5% mayor que la estimación análoga tradicional (sin incertidumbre).

### Ejercicio ilustrativo con técnicas de aritmética difusa

A partir de las propuestas de [11] y [12], se efectúa la incorporación de la incertidumbre en la forma de un número difuso triangular  $\{a,m,b\}$  [24].

La sumatoria de números difusos se representa de la forma

$$\{a,m,b\}+\{c,n,d\} = \{a+c,m+n,b+d\}$$

El número concreto que se deduce del número difuso se efectúa a través de la función de defuzzificación:

$$\frac{(a+c)+2(m+n)+(b+d)}{4}$$

La Tabla 6 corresponde a un ejercicio con EDT y valores definidos de costos. En este caso, se recomienda incorporar la incertidumbre en forma de números difusos triangulares, tomando en consideración los valores optimistas y pesimistas definidos en la Tabla 1. El ejemplo se presenta para un proyecto en nivel de maduración de planificación.

**Tabla 6.** Ejemplo ilustrativo según técnicas de incorporación de incertidumbre en números difusos.

EDT	Número difuso	Concreción número fuzzy
<b>Presupuesto</b>	[4465,8; 4962; 6202,5]	\$ 5.148
<b>Reserva de gestión</b>	20%	
<b>Línea base</b>	[3721,5; 4135; 5168,75]	\$ 4.290
1.	[2727; 3030; 3787,5]	\$ 3.144
1.1	[855; 950; 1187,5]	\$ 986
1.1.1	[180; 200; 250]	\$ 208
1.1.2	[225; 250; 312,5]	\$ 259
1.1.3	[315; 350; 437,5]	\$ 363
1.1.4	[135; 150; 187,5]	\$ 156
1.2	[189; 210; 262,5]	\$ 218
1.2.1	[90; 100; 125]	\$ 104
1.2.2	[45; 50; 62,5]	\$ 52
1.2.3	[22,5; 25; 31,25]	\$ 26
1.2.4	[31,5; 35; 43,75]	\$ 36
1.3	[1683; 1870; 2337,5]	\$ 1.940
1.3.1	[495; 550; 687,5]	\$ 571
1.3.2	[675; 750; 937,5]	\$ 778
1.3.3	[252; 280; 350]	\$ 291
1.3.4	[261; 290; 362,5]	\$ 301
2.	[994,5; 1105; 1381,25]	\$ 1.146
2.1	[954; 1060; 1325]	\$ 1.100
2.1.1	[270; 300; 375]	\$ 311
2.1.2	[441; 490; 612,5]	\$ 508
2.1.3	[243; 270; 337,5]	\$ 280
2.2	[40,5; 45; 56,25]	\$ 47
2.2.1	[27; 30; 37,5]	\$ 31
2.2.2	[13,5; 15; 18,75]	\$ 16

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6 puede verificarse que la línea base elaborada con formulación de números difusos triangulares representa un costo 3,75% mayor que la estimación análoga tradicional (sin incertidumbre).

### Ejercicio ilustrativo con incorporación de estimación semicuantitativa de riesgos

Diversas publicaciones recomiendan relacionar directamente el costo del riesgo dentro del estimativo de las actividades que componen la EDT y consolidar el efecto en cada uno de los entregables del proyecto [6], [38], [44].

En la Tabla 7 se presenta una escala de valoración semicuantitativa de riesgos, la cual toma el concepto de un juicio de expertos para asignar las escalas que se aplicarán en el ejemplo ilustrativo. Recuérdese que el PMI también sugiere considerar la evaluación de riesgos positivos (oportunidades).

**Tabla 7.** Tabla para valoración semicuantitativa de riesgos.

Probabilidad	Impacto	Escala (juicio de expertos)
Improbable	Ligero	10%
Poco probable	Serio	30%
posible	Mayor	50%
Probable	Catastrófico	70%
Muy probable	Multicatastrófico	90%
	Oportunidad	-30%

Fuente: *Elaboración propia*

**Tabla 8.** Ejemplo ilustrativo con incorporación de evaluación semicuantitativa de riesgos.

EDT	Estimación	Probabilidad	\$ Impacto	Reserva contingencia (riesgo)	Costo EDT
<b>Presupuesto</b>	\$ 4.962				\$ 4.991
<b>Reserva de gestión</b>	20%				
<b>Línea base</b>	\$ 4.135				\$ 4.159
1.	\$ 3.030				\$ 3.048
1.1	\$ 950	0,1	29	\$ 3	\$ 953
1.1.1	\$ 200	0,3	2	\$ 1	\$ 201
1.1.2	\$ 250	0,7	13	\$ 9	\$ 259
1.1.3	\$ 350	0,7	11	\$ 7	\$ 357
1.1.4	\$ 150	0,1	5	\$ 0	\$ 150

Adicionalmente, es posible valorar el impacto del riesgo mediante la siguiente formulación [6], [47], [49]:

$$\text{\$ Impacto} = \text{Costo actividad} \times \text{Escala (juicio expertos)} \times \text{Maduración proyecto}$$

(El dato de la maduración del proyecto se toma a partir del porcentaje de contingencia recomendado en la Tabla 1.)

$$\begin{aligned} \text{Reserva contingencia (riesgo)} \\ = \text{\$ Impacto} \times \text{probabilidad} \end{aligned}$$

La Tabla 8 presenta el resultado de la estimación de costos de la EDT y su correspondiente valoración semicuantitativa de riesgos. El ejemplo se presenta para un proyecto en nivel de maduración de planificación (Tabla 1).

A diferencia de los ejemplos presentados en las Tablas 5 y 6, solo es necesario computar la incertidumbre asociada a la evaluación semicuantitativa de riesgos en las actividades y paquetes de trabajo de la EDT (cuando se estima la línea base, esta ya contiene el valor de la incertidumbre por la reserva de contingencia asociada a los riesgos).



EDT	Estimación	Probabilidad	\$ Impacto	Reserva contingencia (riesgo)	Costo EDT
1.2	\$ 210				\$ 215
1.2.1	\$ 100	0,7	7	\$ 5	\$ 105
1.2.2	\$ 50	0,9	2	\$ 1	\$ 51
1.2.3	\$ 25	0,9	-2	-\$ 2	\$ 23
1.2.4	\$ 35	0,3	0	\$ 0	\$ 35
1.3	\$ 1.870				\$ 1.881
1.3.1	\$ 550	0,7	6	\$ 4	\$ 554
1.3.2	\$ 750	0,3	8	\$ 2	\$ 752
1.3.3	\$ 280	0,5	8	\$ 4	\$ 284
1.3.4	\$ 290	0,1	3	\$ 0	\$ 290
2.	\$ 1.105				\$ 1.111
2.1	\$ 1.060				\$ 1.064
2.1.1	\$ 300	0,1	-23	-\$ 2	\$ 298
2.1.2	\$ 490	0,9	5	\$ 4	\$ 494
2.1.3	\$ 270	0,1	14	\$ 1	\$ 271
2.2	\$ 45				\$ 47
2.2.1	\$ 30	0,9	3	\$ 2	\$ 32
2.2.2	\$ 15	0,3	0	\$ 0	\$ 15

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 8 puede verificarse que la línea base que tiene en cuenta la evaluación semicuantitativa de riesgos representa un costo 0,58% mayor que la estimación análoga tradicional (sin incertidumbre). En este caso, se evaluaron riesgos positivos, por cuanto se considera beneficioso para el CAPEX del proyecto (pues son oportunidades de ahorro).

## V. Conclusiones y recomendaciones

La recopilación de diferentes fuentes bibliográficas a partir de revistas especializadas, trabajos de tesis, libros y ponencias permite diagnosticar el estado del arte en torno a las mejores prácticas para minimizar el impacto de la incertidumbre durante la construcción de un presupuesto CAPEX en la etapa de formulación de proyectos.

En ese sentido, se considera que el artículo permite cumplir con el primer objetivo planteado desde la introducción, relacionado con el diagnóstico del estado del arte en el tema.

En este diagnóstico se destaca la implementación de recomendaciones en metodologías de amplia aceptación para la gestión de proyectos, especialmente aquellas relacionadas con el PMI, la normativa ISO y la AACE.

A manera de resumen, se destaca la recomendación para estimar las reservas de contingencia en cada una de las actividades identificadas en la EDT de los proyectos. Adicionalmente, es posible clasificar el procesamiento de información de costos mediante técnicas análogas y paramétricas. La incertidumbre en los costos se incorpora en cada paquete de trabajo o en los entregables de la EDT.

En el diagnóstico del estado de arte, se valida el interés de muchos autores por asumir la estrategia de estimación ascendente de costos. Adicionalmente, suele asociarse la valoración de riesgos y su impacto económico en cada actividad, lo cual incide en la estimación de la línea base del presupuesto.

En caso de optar por procesamiento paramétrico de datos, se destaca la incorporación de incertidumbre a través de simulaciones con funciones de probabilidad estadísticas y técnicas Monte Carlo.

No obstante, para fines prácticos, en este artículo se ha optado por presentar un ejemplo aplicativo con procesamiento análogo de datos. En ese caso, se incorpora la incertidumbre en las actividades definidas en la EDT y, además, se tiene en cuenta el estado de maduración del proyecto, para considerar el costo de cada entregable. Básicamente, se distinguen las siguientes técnicas de estimación análoga ascendente:

- Consideración de incertidumbre según recomendaciones del PMI, mediante el uso de funciones tipo PERT en paquetes de trabajo de la EDT
- Consideración de incertidumbre según valoraciones estimadas por el PMI, combinada con números difusos triangulares en paquetes de trabajo de la EDT
- Incorporación de valoración semicuantitativa de riesgos, valorando la consecuencia económica en el costo de cada actividad y su impacto en el costo total de cada entregable y de la línea base del presupuesto CAPEX.

En términos generales, se evidencia la recomendación de los autores de acoger las metodologías consideradas en el PMI, tanto la estimación análoga ascendente (explicada en este artículo) como la estimación paramétrica con técnicas Monte Carlo (notificada en la revisión literaria).

Téngase en cuenta la necesidad de generar el presupuesto definitivo CAPEX, conformado por la línea base más la reserva de gestión (que suele asociarse a las políticas administrativas de la organización promotora del proyecto).

Finalmente, es pertinente confirmar que estos procedimientos de estimación de contingencias también son aplicables a las reservas de tiempo en los cronogramas de proyectos.

De esta manera, la información proporcionada en este artículo también permite abrir futuras líneas de investigación en torno a la incorporación de incertidumbre en la formulación de proyectos usando técnicas análogas y paramétricas. Igualmente, se concluye que existe la oportunidad de plantear el monitoreo y control de restricciones en términos de costos, tiempos, alcance y riesgos durante la ejecución del proyecto.

## VI. Referencias

- [1] N. K. Shrivastava, "A model to develop and use risk contingency reserve", en PMI Global Congress 2014, North America, Phoenix, AZ. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2014 [En línea]. Disponible en: <https://www.pmi.org/learning/library/model-risk-contingency-reserve-9310#>
- [2] G. A. Guerrero Moreno, "Metodología para la gestión de proyectos bajo los lineamientos del Project Management Institute en una empresa del sector eléctrico", Tesis de maestría. Bogotá, D. C., 2013. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/20532>
- [3] Project Management Institute, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) and The Standard for Project Management*. PMI, 2021.
- [4] "Estimación de la Contingencia de un Presupuesto de Proyecto basado en Riesgos", *Quantitative Shop*. 13 de julio de 2018 [Video en línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=w7uVOA5LSUw>

- [5] P. Lledó y G. Rivarola, *Gestión de Proyectos*. Buenos Aires: Prentice Hall, 2007.
- [6] J. M. Garcés Vergara, "Estimación de Factores de Incertidumbre para el Cálculo de Contingencias en Proyectos de Construcción de Vivienda Estratos 5 y 6 de la ciudad de Cartagena", Tesis de maestría, Fac. Ing., Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias, 2018.
- [7] D. Curto, F. Acebes, J. M. González-Varona y D. Poza, "Impact of aleatoric, stochastic and epistemic uncertainties on project cost contingency reserves", *International Journal of Production Economics*, vol. 253, noviembre de 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108626>
- [8] Organización Internacional de Normalización, *Norma ISO 21500: Guías Gestión de Proyectos*. ISO, 2012.
- [9] J. K. Hollmann, *Contingency Estimating – General Principles*. AACE International, junio de 2008.
- [10] G. M. Winch, "A curated collection of essays on projects and their organization", *International Journal of Project Management*, vol. 40, no. 6, pp. 599-600, agosto de 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2022.07.002>
- [11] M. Mazlum y A. F. Güneri, "CPM, PERT and Project Management with Fuzzy Logic Technique and Implementation on a Business", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 210, pp. 348-357, diciembre de 2015 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.378>
- [12] F. Habibi, O. Taghipour Birgani, H. Koppelaar y S. Radenović, "Using fuzzy logic to improve the project time and cost estimation based on Project Evaluation and Review Technique (PERT)", *Journal of Project Management*, no. 3, pp. 183-196, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.5267/j.jpjm.2018.4.002>
- [13] R.E. Adurohere, I. Musonda y C. S. Okoro, "Construction Contingency Determination: A Review of Processes and Techniques", en *Collaboration and Integration in Construction, Engineering, Management and Technology. Advances in Science, Technology & Innovation*, S. M. Ahmed, P. Hampton, S. Azhar y A. D. Saul, Eds, pp. 271-277. Cham: Springer, 2021 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-48465-1\\_45](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48465-1_45)
- [14] M. Note, "Budgeting and Performance", en *Project Management for Information Professionals*, pp. 101-124. Elsevier Ltd., 2016 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100127-1.00005-X>
- [15] Organización Internacional de Normalización, *Norma ISO 31000: Directrices para la Gestión de Riesgos*. ISO, 2018.
- [16] Organización Internacional de Normalización, *Norma ISO 10006: Directrices para la gestión de la calidad en proyectos*. ISO, 2017.
- [17] A. Touran y J. Liu, "A Method for Estimating Contingency Based on Project Complexity", *Procedia Engineering*, vol. 123, pp. 574-580, 2015 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.110>
- [18] D. Baccarini, "Estimating Project Cost Contingency - Beyond the 10% syndrome", en Australian Institute of Project Management National Conference, 9 de noviembre de 2005. Victoria: Australian Institute of Project Management, 2005 [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11937/31110>
- [19] O. J. Montilla Galvis, C. A. Montes Salazar y E. Mejía Soto, "Análisis de la fundamentación del modelo estándar de control interno, MECI 1000:2005", *Estudios Gerenciales*, vol. 23, no. 104, pp. 47-75, julio-septiembre de 2007 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0123-5923\(07\)70017-7](https://doi.org/10.1016/S0123-5923(07)70017-7)
- [20] J. Adafin, S. Wilkinson, J. O. B. Rotimi y H. Odeyinka, "Accuracy in Design Stage Cost Estimating through Risk-contingency Analysis: A Theoretical Exploration", en Construction Research Congress 2014: Construction in a Global Network, Atlanta, Georgia, 19-21 de mayo de 2014 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1061/9780784413517.151>
- [21] M. A. Oliveros Villegas y H. C. Rincón de Parra, "Gestión de Costos en los Proyectos: un abordaje teórico desde las mejores prácticas del Project Management Institute", *Visión Gerencial*, no. 1, pp. 85-94, 2011.
- [22] R. W. Bacon, J. E. Besant-Jones y J. Heidarian, eds., *Estimating construction costs and schedules. Experience with power generation projects in developing countries*. World Bank Group, 1996.

- [23] D. Baccarini, "Understanding project cost contingency: A survey", en Proceedings of the Queensland University of Technology Research Week 2005, Brisbane, Australia, 4-5 de julio de 2005, A. C. Sidwell, ed. Queensland University of Technology, 2005 [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11937/9641>
- [24] A. Idrus, M. Fadhil Nuruddin y M. A. Rohman, "Development of project cost contingency estimation model using risk analysis and fuzzy expert system", *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 3, pp. 1501-1508, marzo de 2011 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.061>
- [25] H. K. Doloi, "Understanding stakeholders' perspective of cost estimation in project management", *International Journal of Project Management*, vol. 29, no. 5, pp. 622-636, julio de 2011 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.06.001>
- [26] F. J. Heemstra, "Software cost estimation", *Information and Software Technology*, vol. 34, no. 10, pp. 627-639, octubre de 1992 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0950-5849\(92\)90068-Z](https://doi.org/10.1016/0950-5849(92)90068-Z)
- [27] M. Uzzafer, "A contingency estimation model for software projects", *International Journal of Project Management*, vol. 31, no. 7, pp. 981-993, octubre de 2013 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.002>
- [28] G. A. Barraza y R. A. Bueno, "Cost Contingency Management", *Journal of Management in Engineering*, vol. 23, no. 3, julio de 2007 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(2007\)23:3\(140\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2007)23:3(140))
- [29] H. Kwon y C. Kang, "Contingency and Management Reserves Estimation Method for Project Budget", *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, vol. 39, no. 1, pp. 17-24, 2016 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.11627/jkise.2016.39.1.017>
- [30] C. Wilson, "Contingency Reserve and Uncertainty". Core Consulting Group, 25 de junio de 2012 [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/1821888/Contingency\\_Reserve\\_and\\_Uncertainty](https://www.academia.edu/1821888/Contingency_Reserve_and_Uncertainty)
- [31] C. Ramírez-Jiménez y R. Gómez-Narváez, "Aplicación de la teoría de Control Moderno a un Sistema Dinámico Aplicando El DSP-2101", Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 1997.
- [32] A. Elghandour, A. Fathi Eid y H. El Daly, "Improving Performance of Construction Projects by Integarating Risk into Earned Value Management: A Literature Review", *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, vol. 16, no. 60, pp. 833-850, julio de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.21608/aej.2021.187983>
- [33] J. I. Ortiz González, *La gestión de riesgos en la obra mediante reservas para contingencias desde la perspectiva de la empresa constructora*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València, 2015.
- [34] AACE International, *Cost Estimate Classification System – As Applied In Engineering, Procurement, and Construction for the Process Industries*. AACE International, marzo de 2016.
- [35] G. Jackson, "Contingency for Cost Control in Project Management: A Case Study", *Construction Economics and Building*, vol. 3, no. 1, pp. 1-12, 2003 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v3i1.2906>
- [36] N. L. Orozco Vega, O. A. Céspedes Rojas y J. E. Jaque Chaparro, "Modelo para la elaboración y control de costos y programación", Tesis de especialización. Bogotá, D.C., 2019. Repositorio Institucional Universidad Piloto de Colombia [En línea]. Disponible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/6225>
- [37] C. A. Núñez Viveros, G. J. Gallego Hidalgo y G. Buenaventura Vera, "Diseño metodológico de la evaluación de proyectos energéticos bajo incertidumbre en precios: caso de cogeneración de energía en una empresa en Cali", *Estudios Gerenciales*, vol. 29, no. 126, pp. 58-71, enero-marzo de 2013 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0123-5923\(13\)70020-2](https://doi.org/10.1016/S0123-5923(13)70020-2)
- [38] J. Valdés Garciatorres, "Cuatro técnicas prácticas para manejar el riesgo de tus proyectos", *Proyectum*, 29 de agosto de 2017 [En línea]. Disponible en: <https://www.proyectum.com/sistema/blog/cuatro-tecnicas-practicas-paramanejar-el-riesgo-de-tus-proyectos/>

- [39] L. F. Sánchez-Arias y L. Solarte-Pazos, "El cuerpo de conocimientos del Project Management Institute-PMBOK® Guide, y las especificidades de la gestión de proyectos: Una revisión crítica", *Innovar*, vol. 20, no. 37, pp. 89-100, 2010 [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/innovar/article/view/29236>
- [40] AACE Internacional, *Integrated Cost and Schedule Risk Analysis Using Risk Drivers and Monte Carlo Simulation of a CPM Model*. AACE Internacional, julio de 2019.
- [41] T. Modis, "Strengths and weaknesses of S-curves", *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 74, no. 6, pp. 866-872, julio de 2007 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2007.04.005>
- [42] L. Para-González, C. Mascaraque-Ramírez y A. E. Madrid, "Obtaining the Budget Contingency Reserve through the Monte Carlo Method: Study of a Ferry Construction Project", *Brodogradnja / Shipbuilding*, vol. 69, no. 3, pp. 79-95, 2018 [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.21278/brod69305>
- [43] S. H. Fatemina, V. Sumati y A. R. Fayek, "An Interval Type-2 Fuzzy Risk Analysis Model (IT2FRAM) for Determining Construction Project Contingency Reserve", *Algorithms*, vol. 13, no. 7, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/a13070163>
- [44] M. W. Hammad, A. Abbasi y M. J. Ryan, "Allocation and Management of Cost Contingency in Projects", *Journal of Management in Engineering*, vol. 32, no. 6, noviembre de 2016 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000447](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000447)
- [45] F. Allahi, L. Cassettari, M. Mosca y R. Mosca, "An Innovative DSS for the Contingency Reserve Estimation in Stochastic Regime", en *Transactions on Engineering Technologies. WCE 2017*, S. I. Ao, L. Gelman y H. Kim, eds., pp. 43-57. Singapore: Springer, 2019 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-0746-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0746-1_4)
- [46] J. S. Rojas Quintero, "Metodologías para el análisis cuantitativo de incertidumbre y determinación de contingencias. Diseño e implementación", Tesis de maestría. Bogotá, D.C., 2014. Repositorio Institucional Séneca [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/12512>
- [47] L. E. Morales Navarrete, "Análisis Probabilístico Integrado de Riesgos en Tiempo y Costo en Proyectos de Construcción-Edición Única", Tesis de maestría. Monterrey, 2002. Repositorio Institucional del Tecnológico de Monterrey [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11285/568064>
- [48] F. M. Lemoine-Soto, "Propuesta de cálculo de integración de reservas de contingencia en el presupuesto, mediante el análisis de riesgos del proyecto", Tesis de especialización, Fac. de Ciencias Económicas y Sociales, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, 2018.
- [49] G. J. Correa-Henao, J. M. Yusta y R. Lacal-Aránategui, "Using interconnected risk maps to assess the threats faced by electricity infrastructures", *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, vol. 6, no. 3-4, pp. 197-216, diciembre de 2013 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2013.10.002>
- [50] AACE Internacional, *Risk Analysis and Contingency Determination Using Parametric Estimating*. AACE Internacional, mayo de 2021.