

**PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PRÁCTICA AACE  
44R-08 “ANÁLISIS DE RIESGO Y DETERMINACION DE  
CONTINGENCIA USANDO VALOR ESPERADO” PARA  
PROYECTOS DE OBRA PUBLICA DEL MUNICIPIO DE  
SANTA BARBARA - SANTANDER**

**PEDRO LUIS ARAQUE MURILLO  
SERGIO ANDRÉS NITOLA MARTINEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS DE  
CONSTRUCCIÓN  
BUCARAMANGA  
2022**

PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PRÁCTICA AACE  
44R-08 “ANÁLISIS DE RIESGO Y DETERMINACION DE  
CONTINGENCIA USANDO VALOR ESPERADO” PARA  
PROYECTOS DE OBRA PUBLICA DEL MUNICIPIO DE  
SANTA BARBARA - SANTANDER

PEDRO LUIS ARAQUE MURILLO  
SERGIO ANDRÉS NITOLA MARTINEZ

*Trabajo de grado para optar al título de  
Especialista en Gerencia de Proyectos de construcción*

Director  
GUILLERMO MEJIA AGUILAR  
Doctor en Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS DE  
CONSTRUCCIÓN  
BUCARAMANGA

2022

*Dedicado a*

*A mi madre, de quien cada día me enseña algo nuevo, algo sobre la familia, el amor incondicional, el valor de los seres queridos, y que sin importar las adversidades siempre saldremos adelante porque nuestras ganas de salir adelante son más grandes que cualquier problema.*

*A mi padre, de quien aprendí que nunca nos podemos rendir de luchar por nuestros sueños, y que siempre debemos trabajar por un noble propósito, y siempre tener presente que no trabajamos para engrandecer el ego, sino para ayudar a que el mundo sea un poco mejor para todos.*

*A mis hermanos, quienes sin importar la distancia han demostrado que ante cualquier problema están conmigo y que siempre seremos esa familia que no está cerca físicamente pero siempre está unida.*

*A todo el personal que trabaja y trabajó conmigo, especial agradecimiento por toda la colaboración que me brindaron en todos los proyectos que emprendimos y las enseñanzas que me han dejado.*

**Sergio Andrés Nitola Martínez**

*Dedicado*

*A mi padre, por siempre estar presente en los momentos más importantes de mi vida, por enseñarme el mundo y todo lo que representa, por inculcarme ser siempre una persona trabajadora y responsable.*

*A mi madre, por darme la vida, por ser esa persona que haría lo que fuera por mi bienestar, por sacarme adelante a pesar de las adversidades e inconvenientes, por darme tanto amor y cariño.*

*A mis hermanos y hermanas, que me inspiran cada día para ser una persona, por ser esas personas que desde su existencia me hicieron ser una persona mejor gracias a su afecto.*

*A Lorena y Luciana, por estar en mi vida en este momento tan importante profesionalmente, por alegrar mi vida desde que se hicieron parte de ella, por que gracias a su amor siento fuerzas cada día para seguir adelante en la búsqueda de su bienestar.*

*A todas y cada una de las personas que me rodean en mi vida profesional y personal me han brindado su amistad, que han visto como he progresado a lo largo de los años y que me desean el mejor de los futuros para mi vida.*

**Pedro Luis Araque Murillo**

# Índice general

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
<b>1 OBJETIVOS</b>	<b>14</b>
1.1 OBJETIVO GENERAL . . . . .	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS . . . . .	14
<b>2 ALCANCE</b>	<b>15</b>
<b>3 MARCO TEÓRICO</b>	<b>16</b>
3.1 ¿Que es el valor esperado (EV)? . . . . .	16
3.2 Contingencia . . . . .	17
3.3 Reserva de administración . . . . .	18
3.4 Simulación de Montecarlo . . . . .	18
3.5 Naturaleza estocástica . . . . .	19
3.6 Estimaciones de clase 5 . . . . .	19
3.7 Tipos de riesgo . . . . .	19
3.7.1 Riesgo sistémico: . . . . .	19
3.7.2 Riesgo específico: . . . . .	20
3.7.3 Escalada: . . . . .	20
3.8 Distribución de Pert . . . . .	20
<b>4 METODOLOGÍA</b>	<b>22</b>
4.1 Estimación de probabilidad de ocurrencia y dependencia/correlación . . . . .	22
4.2 Evaluación de respuesta al riesgo y estimación de impacto si el riesgo se materializa . . . . .	24
4.3 Evaluación del costo de impacto . . . . .	25
4.4 Coordinación de contingencia estimada para riesgos sistémicos . . . . .	27
4.5 Evaluación integral de resultados utilizando simulación de Montecarlo . . . . .	28

4.6	Estimación de contingencia y administración de reservas . . . . .	29
4.7	Administración de reservas para riesgos de alto impacto y baja probabilidad	30
4.8	Resumen de metodología . . . . .	31
<b>5</b>	<b>CASO DE ESTUDIO</b>	<b>33</b>
5.1	Estimación de probabilidad de ocurrencia y dependencia/correlación . . . .	33
5.2	Evaluación de respuesta al riesgo y estimación de impacto si el riesgo se materializa . . . . .	36
5.3	Evaluación del costo de impacto . . . . .	38
5.4	Coordinación de contingencia estimada para riesgos sistémicos . . . . .	40
5.5	Evaluación integral de resultados utilizando simulación de Montecarlo . . .	41
5.6	Estimación de contingencia y administración de reservas . . . . .	42
5.7	Administración de reservas para riesgos de alto impacto y baja probabilidad	43
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>44</b>
	<b>APENDICE A</b>	<b>45</b>
	<b>APENDICE B</b>	<b>49</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>66</b>

## Índice de figuras

Figura 1	Matriz de riesgos . . . . .	23
Figura 2	Matriz de riesgos 2 . . . . .	25
Figura 3	Matriz de riesgos 3 . . . . .	26
Figura 4	Matriz de riesgos 4 . . . . .	28
Figura 5	Matriz de riesgos 5 . . . . .	29
Figura 6	Matriz de riesgos 6 . . . . .	30
Figura 7	Caso de estudio: Matriz de riesgos 5.1 . . . . .	35
Figura 8	Caso de estudio: Matriz de riesgos 5.2 . . . . .	37
Figura 9	Caso de estudio: Matriz de riesgos 5.3 . . . . .	39
Figura 10	Caso de estudio: Riesgos sistemicos . . . . .	40
Figura 11	Caso de estudio: Matriz de riesgos 5.4 . . . . .	41
Figura 12	Caso de estudio: Matriz de riesgos 5.5 . . . . .	42
Figura 13	Caso de estudio: Matriz de riesgos 5.6 . . . . .	42
Figura 14	Números aleatorios . . . . .	46
Figura 15	Cálculo de valores esperados aleatorios . . . . .	47
Figura 16	Cálculo de costo de impacto por simulación de Montecarlo . . . . .	48

## Índice de tablas

Tabla 1	Clases de estimado [2] . . . . .	19
Tabla 2	Porcentaje de confianza Pert . . . . .	38
Tabla 3	Entradas para simulación de Montecarlo . . . . .	41

# RESUMEN

**Título:** Plan de implementación de la práctica AACE 44R-08 “Análisis de riesgo y determinación de contingencia usando valor esperado” para proyectos de obra pública del municipio de Santa Barbara - Santander <sup>1</sup>.

**Autores:** Araque Murillo Pedro Luis<sup>2</sup>, Nitola Martinez Sergio Andres<sup>2</sup>

**Palabras Clave:** Contingencia, reserva de administración, análisis de riesgo, asociación americana de ingeniería de costos (AACE).

## DESCRIPCIÓN:

En el desarrollo del presente trabajo, se muestra una forma para implementar el análisis de riesgo y determinación de contingencia usando el valor esperado en la supervisión, seguimiento y control de los contratos de obra pública por parte de la Secretaría de Planeación e Infraestructura del municipio de Santa Barbara, Santander, de acuerdo a la práctica 44R-08 "RISK ANALYSIS AND CONTINGENCY DETERMINATION USING EXPECTED VALUE" de la Association for the Advancement of Cost Engineering (AACE).

El plan de implementación detalla la manera en la que se debe analizar el riesgo y determinar la contingencia usando el valor esperado y a partir de ésta obtener reportes que son necesarios para la gestión técnica, administrativa, legal ambiental y financiera de la supervisión por parte de la Secretaría de Planeación e Infraestructura Municipal.

Finalmente, se realiza una simulación con un proyecto ejecutado, con el fin de mostrar la manera de cómo se implantará la práctica 44R-08 de la AACE en los contratos de obra pública. El contrato estatal de obra pública No. LP-001-2020 cuyo objeto fue: “PAVIMENTACION Y MEJORAMIENTO PARA LA VIALIDAD URBANA DEL MUNICIPIO DE SANTA BARBARA – SANTANDER”. El proyecto fue ejecutado en el año 2020 y 2021.

---

<sup>1</sup>Trabajo de Grado

<sup>2</sup>Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería civil. Director: Guillermo Mejia Aguilar. Doctor en Ingeniería Civil

# ABSTRACT

**Title:** Implementation plan of the practice AACE 44R-08 “Risk analysis and determination of contingency using expected value” for public works projects in the municipality of Santa Barbara - Santander. <sup>1</sup>.

**Authors:** Araque Murillo Pedro Luis<sup>2</sup>, Nitola Martinez Sergio Andres<sup>2</sup>

**Key Words:** Contingency, management reserve, risk analysis, expected value, American Association of Cost Engineering (AACE).

## DESCRIPTION:

In the development of the present work, a way to implement the risk analysis and contingency determination using the expected value in the supervision, monitoring and control of public works contracts by the Secretariat of Planning and Infrastructure of the municipality of Santa Barbara, Santander, according to the practice 44R-08 RISK ANALYSIS AND CONTINGENCY DETERMINATION USING EXPECTED VALUE. of the Association for the Advancement of Cost Engineering (AACE) is shown.

The implementation plan details how to analyze the risk and determine the contingency using the expected value and from this to obtain reports that are necessary for the technical, administrative, legal, environmental and financial management of the supervision by the Secretariat of Planning and Municipal Infrastructure.

Finally, a simulation is made with an executed project, in order to show how AACE practice 44R-08 will be implemented in public works contracts. The state public works contract No. LP-001-2020 whose object was: "PAVEMENT AND IMPROVEMENT OF URBAN ROADWAYS IN THE MUNICIPALITY OF SANTA BARBARA - SANTANDER". The project was executed in 2020 and 2021.

---

<sup>1</sup>Bachelor Thesis

<sup>2</sup>Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería civil. Director: Guillermo Mejia Aguilar. Doctor en Ingeniería Civil

## *INTRODUCCIÓN*

La administración municipal del Santa Bárbara - Santander, en ejecución de su plan de desarrollo municipal ha diseñado una serie de estrategias, objetivos y metas tendientes al cumplimiento de los planes y programas definidos en cada uno de los sectores de inversión y en el mismo funcionamiento de la entidad ha diseñado objetivos que le permitan optimizar los recursos y generar el impacto social vislumbrado en la misión del Municipio durante el cuatrienio.

El artículo 2° de la Constitución Política de Colombia, establece que son fines esenciales del Estado: servir a la comunidad, promover la prosperidad general y garantizar la efectividad de los principios, derechos y deberes consagrados en la Constitución (entre otros).

El artículo 113, de La Constitución Política de Colombia, establece que los diferentes órganos del estado tienen funciones separadas, pero colaboran armónicamente para la realización de sus fines.

El artículo 311, de la Constitución Política, establece que, “Al Municipio como entidad fundamental de la división político administrativa del Estado le corresponde prestar los servicios públicos que determine la ley, construir las obras que demande el progreso local, ordenar el desarrollo de su territorio, promover la participación comunitaria, el mejoramiento social y cultural de sus habitantes”.

El artículo 366 de la Constitución Política, establece que, “El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable.

Las vías urbanas permite el acceso a la cabecera Municipal; de las cuales, en la actualidad

existen varias en concreto en mal estado, es por esto que para la actual administración dentro de sus compromisos está la de continuar con la pavimentación o mejoramiento de las vías del sector urbano, con el propósito de brindar un malla vial óptima que traiga desarrollo y calidad de vida a la población en general; teniendo dentro de los proyectos priorizados para el presente año, la pavimentación en concreto rígido en el tramo Calle 3 entre Carrera 3 y el Cementerio, Tramo Calle 4 entre las Carreras 3 y Carrera 2, vías necesarias del Municipio de Santa Bárbara, Santander, el cual permite avanzar en la pavimentación de estas vías y dar solución a esta necesidad.

Con esta obra la administración municipal comenzó la pavimentación de las vías urbanas proyectadas en el Plan de Desarrollo, la cual contó con las obras requeridas técnicamente y permitió mejorar las condiciones de la misma, teniendo en cuenta que los tramos intervenido estaban en concreto deteriorado, mejorando la transitabilidad por la misma. La solución a esta necesidad es que la administración municipal actual, realice el proyecto denominado “PAVIMENTACIÓN Y MEJORAMIENTO PARA LA VIALIDAD URBANA DEL MUNICIPIO DE SANTA BÁRBARA - SANTANDER”. Con este proyecto realizado en esta municipalidad se pretende implementar la práctica recomendada AACE 44R-08

El proyecto se encuentre direccionado a el fortalecimiento de la malla vial urbana del municipio de Santa Bárbara, Departamento de Santander, se direcciono única y exclusivamente a vías de carácter urbano, en vista que aun algunas de las vías internas del municipio se encontraban en material de suelo sin ningún tipo de intervención de obra civil en su capa de rodadura, con este proyecto se favoreció a la comunidad en general de los diferentes sectores del municipio, quienes son los principales usuarios.

El municipio de Santa Bárbara (Stder), en la búsqueda de lograr una mayor calidad de vida para sus habitantes y una mayor expectativa en desarrollo político económico y social, realice la inversión en infraestructura vial urbana con la la intervención de dos vías ubicadas en su perímetro de desarrollo urbano que son la Calle 3 entre Carrera 3 y el Cementerio, Tramo Calle 4 entre las Carreras 3 y Carrera 2, vías necesarias y prioritarias orientadas a la continuación del desarrollo urbano del municipio.

Los trabajos beneficiaron directamente a los habitantes del área urbana y rural, toda vez que con este proyecto se atrajo una mayor cantidad de población flotante lo que relativamente afecto positiva- mente la economía a nivel municipal.

Actualmente la Secretaría de Planeación e Infraestructura dependencia gestora de los pro-

yectos de obra pública de la Administración Municipal del Municipio de Santa Barbara – Santander presenta dificultades en el 25 % de los contratos de obra pública en cuanto a la cuantificación de riesgos de proyectos específicos, es decir, eventos y condiciones o riesgos dependientes lo que conlleva a sobre costos y retrasos en la ejecución de los proyectos.

Teniendo en cuenta las continuas dificultades que se presentan en el desarrollo de la labor de supervisión de los Contratos de Obras Publicas por parte de los funcionarios de la entidad pública, se pretende desarrollar una herramienta de trabajo que apoye la supervisión y seguimiento de la ejecución contractual. Por ello, el propósito central del presente trabajo de grado es brindar lineamientos para la elaboración y desarrollo de prácticas y consideraciones para el análisis de riesgo y determinación de contingencia usando el valor esperado para cada contrato de obra pública.

Este trabajo de grado describe las prácticas y consideraciones para análisis de riesgos y estimación de costos de contingencias usando método del valor esperado para la supervisión de los proyectos que se ejecutan en la Secretaría de Planeación e Infraestructura del municipio de Santa Barbara, Santander. Finalmente, el documento contiene un ejemplo de un proyecto terminado y aplicando los conceptos de la Practica recomendada de la AACE Internacional (AACE) No. 44R-08.

# *Capítulo 1*

## **OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Definir las prácticas y consideraciones correspondientes para el análisis de riesgos y estimación de costos de contingencias usando método del valor esperado de los contratos de obra pública que desarrolla el municipio de Santa Barbara - Santander, de manera que se eviten sobrecostos y retrasos en los avances de los proyectos de construcción típicos que desarrolle la Entidad.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Describir las consideraciones requeridas para el análisis de riesgos y estimación de costos de contingencias usando el método del valor esperado para la supervisión de los proyectos que se ejecutan en la Secretaría de Planeación e Infraestructura del municipio de Santa Barbara, Santander con base en la práctica recomendada AACE No. 44R - 08.
2. Aplicar la práctica recomendada de la AACE Internacional No. 44R - 08 a un caso específico del contexto colombiano.

## *Capítulo 2*

### *ALCANCE*

Para el presente trabajo de aplicación, se tomará como referencia la práctica recomendada AACE 44R -08 de la Asociación Internacional para el Desarrollo de la Ingeniería de costos (AACE). Esta práctica recomendada será adaptada a las condiciones y necesidades de planificación y control de la Secretaría de Planeación e Infraestructura del Municipio de Santa Barbara - Santander.

Este trabajo de grado en primera instancia tiene aplicación al contrato estatal de obra publica No. LP-002-2022 cuyo objeto es: “PAVIMENTACIÓN Y MEJORAMIENTO PARA LA VIABILIDAD URBANA DEL MUNICIPIO DE SANTA BARBARA – SANTANDER” que estuvo a cargo de la entidad pública Territorial.

## *Capítulo 3*

# *MARCO TEÓRICO*

AACE International (Association for the Advancement of Cost Engineering International) es una asociación profesional sin fines de lucro que provee a sus miembros los principios y conceptos de Gestión e Ingeniería de Costos en todo el ciclo de vida de cualquier empresa, programa, instalaciones, proyecto, producto o servicio. (AACE, 2019).

En el desempeño de su labor, AACE International ofrece a sus miembros Practicas Recomendadas (RPS) que contienen información y procedimientos que pueden ser implementados en casi todas las áreas de la gestión de proyectos.

La práctica recomendada por AACE a implementar en el presente proyecto es la No 44R-08 – Análisis de riesgo y determinación de contingencia usando valor esperado.

### **3.1. ¿Que es el valor esperado (EV)?**

“El valor esperado requiere un conocimiento y una competencia significativos para analizar la naturaleza de los riesgos, la probabilidad de que ocurran y sus impactos potenciales. También requiere competencia en la estimación de costos (particularmente la estimación conceptual) para definir y estimar explícitamente los impactos del riesgo en los costos generales para las estimaciones tempranas o para los elementos de la WBS de estimación de costos particulares para enfoques más definitivos.

Además de estar impulsado por el riesgo, el valor esperado tiene otras dos ventajas; no requiere que el equipo cambie su método de análisis de riesgo conceptual (P x I) entre el análisis de decisiones, el cribado de riesgos y los pasos de control (es decir, los hallazgos de P e I

son los mismos en el cribado que para la cuantificación del riesgo), y puede proporcionar una estimación de contingencia en el nivel de confianza medio sin utilizar SCV (sin embargo, se recomienda el uso de SCV). Una desventaja es que el método, usado solo para el costo, no cuantifica explícitamente los impactos del cronograma y los usuarios pueden subestimar los impactos del costo que dependen del tiempo. Sin embargo, como se describe en el RP 65R-11, el valor esperado puede y debe usarse de manera que integre el costo y el cronograma. Otra desventaja es que el método, usado solo, depende de la opinión subjetiva del equipo para cuantificar los riesgos sistémicos (o inherentes); es decir, es muy susceptible al sesgo de optimismo y debe usarse junto con el método paramétrico más objetivo y empírico según RP 113R-20. [3].

## 3.2. Contingencia

En cada proyecto que se va a emprender se realiza un presupuesto, el cual es un supuesto del posible costo final que tendrá la ejecución de dicho proyecto. En cada presupuesto se encuentran capítulos compuestos de actividades, y éstas a su vez se subdividen en centros de costo tales como materiales, equipos, mano de obra, transporte y otros. Sin embargo, hay que mantener la premisa inicial que el valor del proyecto es un supuesto y que el valor final puede ser mayor o inferior; y es allí donde actualmente los estimadores o presupuestadores de los proyectos definieron la contingencia.

La contingencia es ese valor adicional que se agrega a una actividad con el objetivo de cubrir futuras condiciones o elementos que puedan afectar el valor del supuesto inicial, usualmente este valor adicional se tiene en cuenta en las actividades debido a que de experiencias pasadas se presupone que van a suceder. En ejemplo de lo expuesto, existen actividades de excavación mecánica en donde su valor se presupuesta teniendo en cuenta condiciones de clima que favorezcan el correcto transcurrir de las obras, sin embargo, se conoce de experiencias adquiridas que en el sector donde se ejecuta la actividad se presentan al menos 5 días lluviosos en el mes, por lo cual, en el valor del presupuesto de la actividad de excavación se deberá adicionar el costo de no poder laborar debido a las condiciones climáticas adversas.

Así mismo, dado que la contingencia contempla únicamente factores para los cuales su ocurrencia o efecto es incierto, pero se tiene alguna experiencia sobre la posible incidencia en el proyecto, se determinaron algunos ámbitos que deben ser excluidos en el cálculo de la contingencia [3]:

1. Cambios importantes en el alcance del proyecto
2. Eventos extraordinarios como desastres naturales o situaciones sociales que afecten las actividades
3. Escaladas de precios de materiales y efectos de variación en tasas de cambio de insumos exportados

### **3.3. Reserva de administración**

Dada la naturaleza de incertidumbre que tienen los presupuestos, se suele incluir una reserva de administración, en donde dichos recursos se emplean con el objetivo de suplir imprevistos administrativos que deban cubrirse durante el transcurso del proyecto, así mismo, esta reserva se encuentra apartada de las contingencias, esto es debido a que la reserva de administración es únicamente para causar obligaciones de tipo administrativo u organizacional, mientras que las contingencias son empleadas para cubrir situaciones que afecten el correcto seguir de las actividades.

Ejemplo de lo expuesto, en proyectos viales se realizan levantamientos topográficos durante la etapa de consultoría, los cuales usualmente son repetidos durante la ejecución del proyecto, aunado a esto suelen presentarse situaciones en donde la topografía arroja como conclusión la revisión de ciertos tramos de vía, los cuales deben ser revisados por especialistas viales que deberán dar su concepto y solución a la problemática que se presente, y es allí cuando se emplea la reserva de administración, y se cubren los costos incurridos al momento de contratar o emplear algún recurso humano adicional respecto al que se encontraba planeado.

### **3.4. Simulación de Montecarlo**

La simulación de Montecarlo es una técnica que emplea números aleatorios para estimar un resultado de un proceso probabilístico, Es decir, se emplean entradas con valores probabilísticos (Para nuestro caso, % de impacto) y se obtiene como resultado una distribución de probabilidad de ocurrencia después de una corrida de simulación [4] [1].

### 3.5. Naturaleza estocástica

La naturaleza estocástica es una cualidad que poseen ciertos procesos, en donde la definición de un resultado depende de muchas variables las cuales en ciertas circunstancias son inciertas, y solo bajo ciertos parámetros exactos se conoce su valor o impacto.

### 3.6. Estimaciones de clase 5

Durante el ciclo de vida de un proyecto, el presupuesto del mismo se refina más y más a medida que se avanza en su nivel de madurez. Debido a lo anterior, se presenta una definición para las estimaciones que se realizan de acuerdo al porcentaje de madurez del proyecto:

Tabla 1: Clases de estimado [2]

Clase estimado	Nivel de madurez	Uso final	Metodología
Clase 5	0 % a 2 %	Evaluación conceptual	Juicio o analogía
Clase 4	1 % a 15 %	Estudio o factibilidad	Modelo paramétrico
Clase 3	10 % a 40 %	Autorización de presupuesto	Costo unitarios semidetallados
Clase 2	30 % a 75 %	Oferta	Costo unitarios detallados
Clase 1	65 % a 100 %	Presupuesto para construcción	Costo unitarios y cantidades detallada

### 3.7. Tipos de riesgo

De acuerdo a la práctica 44R-08 [3], se definen 3 tipos de riesgos teniendo en cuenta su cuantificación:

**3.7.1 Riesgo sistémico:** Este tipo de riesgo son aquellos que se encuentran ligados a una cualidad de un elemento del proyecto, y pueden ser de tipo cultural, político, estratégico empresarial, complejidad de procesos, tecnológico, entre otros. En ejemplo, el riesgo que

se tiene cuando se emplea maquinaria para realizar la cimentación de un edificio, dado a la complejidad de su sistema en cualquier momento esta máquina podrá salir de funcionamiento y afectar las actividades del proyecto.

Los riesgos sistémicos son en su esencia aquellas incertidumbres o riesgos inherentes cuando se implementa un sistema que da solución a alguna necesidad que surja en el proyecto. Sin embargo, este tipo de riesgo trae consigo que su probabilidad de ocurrencia es del 100 %, y por ende, su cuantificación en cuanto al impacto en el proyecto es difícil de estimar, sin embargo, esto también trae consigo un beneficio para la ejecución del proyecto, dado que si se tiene en cuenta el riesgo mencionado y este no se materializa durante la ejecución del proyecto, quiere decir que los recursos que se apartaron como respuesta al riesgo no se invirtieron y por lo contrario se mantienen en la caja contable del proyecto.

**3.7.2 Riesgo específico:** Estos riesgos son únicos para cada tipo de proyecto, no suelen repetirse de un proyecto a otro. Dado su naturaleza, estos riesgos son aquellos que se pueden identificar mediante una reunión en donde el juicio de expertos dan a consideración que debido al proyecto que se va a ejecutar se deben analizar este tipo de riesgos.

La forma en que estos riesgos son mitigados se obtiene de experiencias obtenidas, y la necesidad de los recursos que se deberán emplear depende de la persona que se encargue del análisis. Así mismo, es de tener presente que el análisis de estos riesgos puede resultar en que se evidencia la afectación de varias actividades, por lo cual es recomendable que existan al menos dos personas que analicen y estructuren la respuesta a los riesgos específicos.

**3.7.3 Escalada:** La escalada es una situación de mercado, en donde se produce un cambio desfavorable en los precios de los insumos y donde dicha modificación viene impulsada por temas económicos que son totalmente ajenas al proyecto. Este riesgo también se encuentra tipificado como una incertidumbre debido a su probabilidad de ocurrencia, sin embargo, en proyectos de corta duración, la escalada se suele mitigar con la contingencia, mas en proyectos de larga duración este riesgo se convierte en el principal para su análisis dado que se desconoce el impacto que puede tener en valor unitarios estimados en el comienzo del proyecto.

## 3.8. Distribución de Pert

La distribución de Pert es un método analítico para la estimación de valores sobre los cuales se desconoce su valor futuro, pero de ocasiones pasadas se conocieron los valores obtenidos

cuando se realizó su cuantificación [2].

La utilización de la distribución de Pert requiere de tener una base de datos, en donde de dicha base se deben obtener tres valores, el valor más alto, el valor más bajo y el valor más común (Moda). Pert emplea dichos valores con el objetivo de estimar el futuro valor que podrá tener la variable que se desee conocer.

$$Valor_{estimado} = \frac{a + 4b + c}{6} \quad (3.1)$$

En donde:

a, valor más bajo

b, valor más común

c, valor más alto

Dado que Pert es una estimación, este valor también cuenta con una varianza, la cual permite dar un rango sobre el cual se podrá encontrar el valor estimado con una mayor probabilidad.

$$\sigma^2 = \left(\frac{c - a}{6}\right)^2 \quad (3.2)$$

## *Capítulo 4*

# **METODOLOGÍA**

La práctica recomendada de la AACE Internacional 44R - 08, es una guía en donde se dan las pautas a tener en cuenta para el análisis de riesgos y la cuantificación de contingencias usando el método del valor esperado. Aunado a esto, la práctica menciona las buenas prácticas que se deben tener en cuenta al momento de cuantificar el costo de la respuesta al riesgo en proyectos de corto y largo plazo. Conjunto a lo anterior, se dan las definiciones de tipos de riesgo y conceptos previos que se deben tener presentes antes de implementar la práctica.

Así mismo, esta práctica funciona mejor cuando en el proyecto se cuentan con riesgos múltiples y que se encuentran relacionados, para los cuales mediante la fórmula más básica de valor esperado (4.1) se puede dar todo un análisis de los riesgos y cuantificar la contingencia [3].

$$Ev = P * I \tag{4.1}$$

### **4.1. Estimación de probabilidad de ocurrencia y dependencia/correlación**

En este paso inicial para el análisis de riesgos se debe contar la matriz de riesgos, es decir, previamente se han identificado los riesgos del proyecto. Es recomendable que para la identificación de los riesgos se tenga en cuenta que:

- ❖ Se deben incluir profesionales que trabajen en las diferentes áreas del proyecto (Programación, ejecución, compras, presupuestos, gerencias, diseño), entre más áreas sean tenidas en cuenta mejor será el análisis.
- ❖ Todos los participantes deben conocer el alcance, el costo y los estimados que se tienen para la ejecución del proyecto.

- ❖ Realizar con antelación talleres de identificación y gestión de riesgos.
- ❖ Conocer previamente que riesgos se van a aceptar, evitar, mitigar o transferir.

Toda vez que se cuente con una matriz de riesgos depurada, y que se hayan tenido en cuenta los anteriores literales, se deben asignar probabilidad de ocurrencia de los riesgos de acuerdo a las experiencias previas que se tengan, allí es donde se debe nombrar un mediador el cual tendrá la tarea de evitar que los porcentajes sean sesgados debido al juicio de cada profesional.

Toda vez que se cuente con la asignación de porcentajes, se deben revisar si existen relaciones entre los riesgos o si todos son independientes. En el hecho de que existan riesgos dependientes, se deberán revisar aquellos que se encuentren relacionados y así unirlos en uno solo de manera que el porcentaje de ocurrencia de ellos sea determinado nuevamente usando la experiencia de cada profesional que participa en el análisis de riesgos.

Figura 1: Matriz de riesgos

Descripción del riesgo	Consecuencia si el riesgo se materializa	Probabilidad de ocurrencia	Dependencia con otro riesgo
Riesgo 1	Consecuencia 1	Probabilidad 1	Dependencia 1
Riesgo 2	Consecuencia 2	Probabilidad 2	Dependencia 2
Riesgo 3	Consecuencia 3	Probabilidad 3	Dependencia 3
Riesgo 4	Consecuencia 4	Probabilidad 4	Dependencia 4
⋮	⋮	⋮	⋮
Riesgo n	Consecuencia n	Probabilidad n	Dependencia n

Una vez sea realizada esta etapa, se deberá obtener una matriz de riesgo con una característica similar a la mostrada en la figura 1, en donde se conocen las consecuencias si el riesgo se materializa, la probabilidad de ocurrencia y dependencia con otro riesgo.

## 4.2. Evaluación de respuesta al riesgo y estimación de impacto si el riesgo se materializa

En esta etapa del análisis de riesgo se cuenta previamente con los riesgos plenamente identificados, y todas las áreas que participaron en el comité de identificación de riesgos han dado sus aportes a las correlaciones presentadas entre los riesgos. Ahora es momento de dar una evaluación de como se puede afrontar el riesgo, de como se podrá enfrentar el riesgo si durante el proyecto se materializa.

Durante esta etapa es necesario resaltar que si se tuvieron dos o más riesgos correlacionados, y estos se compilaron en uno solo; al momento de estimar la respuesta a este único riesgo, se deben contemplar todos los antecedentes que tiene este riesgo y de ser necesario estimar varias respuestas dependiendo de cual de los riesgos iniciales se materializó.

Las respuestas que se estimen para los riesgos deben ser de acuerdo a su naturaleza, es decir, si este riesgo pertenece a la división de ejecución del proyecto, los involucrados en la ejecución deben dar una solución sobre como se podría subsanar el impacto de este riesgo, o si por contrario, el riesgo materializado pertenece al área administrativa del proyecto, las personas encargadas de la administración del proyecto deberán buscar la respuesta que se dará a ese riesgo. En esta etapa es importante evitar nuevamente el sesgo, no se debe tratar riesgos con mayor prioridad que otros, no se pueden planear respuestas contundentes a unos riesgos y otros riesgos dar respuestas más débiles, todas las respuestas al riesgo que se estimen deben buscar la eliminación del riesgo y por ende disminuir el impacto que este tendría en el proyecto.

Cada vez que se asigna una respuesta a los riesgos, estamos apartando cierta cantidad de presupuesto para la atención de estos. Esta cantidad de dinero se conoce como el costo del impacto que tendría el riesgo al ejecutar la respuesta planificada. Es importante mencionar que en ocasiones para riesgos específicos y que afectan en gran magnitud el presupuesto del proyecto, es probable que se termine modificando el alcance del proyecto dado que parte del presupuesto se tuvo que invertir dando respuesta a ese riesgo de gran magnitud.

El impacto que tendrán los riesgos deberá planificarse con el objetivo de que se mitigue las consecuencias del riesgo, y en ocasiones cuando se pueda, este se elimine. Sin embargo, para riesgos de gran magnitud, como se mencionó se puede necesitar un cambio en el alcance del mismo para las actividades puedan continuar. En este tipo de riesgos es necesario mantener a todas las áreas informadas sobre como evitar la ocurrencia este, y desde una etapa previa a

la ejecución del proyecto, se tomen todas las medidas de mitigación posibles.

Figura 2: Matriz de riesgos 2

Descripción del riesgo	Consecuencia si el riesgo se materializa	Probabilidad de ocurrencia	Respuesta al riesgo	Impacto
Riesgo 1	Consecuencia 1	Probabilidad 1	Respuesta 1	Impacto 1
Riesgo 2	Consecuencia 2	Probabilidad 2	Respuesta 2	Impacto 2
Riesgo 3	Consecuencia 3	Probabilidad 3	Respuesta 3	Impacto 3
Riesgo 4	Consecuencia 4	Probabilidad 4	Respuesta 4	Impacto 4
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Riesgo n	Consecuencia n	Probabilidad n	Respuesta n	Impacto n

El resultado de la aplicación de esta sección debe proveer al equipo del proyecto una matriz de riesgos como la mostrada en la figura 2, en donde ahora se agregaron las columna de respuesta al riesgo y el impacto que este tendría, esta última columna tendría las afectaciones que generaría si el riesgo se materializa.

### 4.3. Evaluación del costo de impacto

Posteriormente a que se conozcan el impacto que crearía cada riesgo en el caso en que se materializa, el equipo analista de riesgo deberá iniciar el proceso de cuantificación del costo que tendrá la implementación de las respuestas al riesgo que se planificaron en la etapa anterior.

En esta etapa del análisis se debe llegar a un acuerdo sobre qué valor se estima para el costo del impacto, y para esto se tiene que elegir un tipo de estimación, dentro de la práctica 44R - 08 se recomienda emplear una estimación de tres puntos, en donde el equipos escoge tres valores para el costo del impacto; cada valor corresponderá al costo más bajo, costo más

probable y costo más alto, y empleando la distribución de Pert (4.2) se puede estimar el costo del impacto [2].

$$Costo\ del\ impacto = \frac{a + 4b + c}{6} \quad (4.2)$$

En donde:

a, Valor más bajo

b, valor más común

c, valor más alto

La distribución de Pert permite que el equipo pueda evaluar tres escenarios, en donde el costo más alto (a) representará el escenario más favorable, el costo más común (b) representa si el riesgo se materializa de acuerdo a lo planeado y el costo más bajo (c) es si el riesgo se materializa y tiene un impacto más alto del planificado en el análisis de riesgos.

En esta etapa el desafío para el equipo de análisis será determinar los valores de entrada que se usarán para emplear la distribución de Pert, esto debido a que de nuevo se debe recurrir a la experiencia adquirida, datos históricos, lecciones aprendidas o documentos de referencia con los que cuente el equipo del proyecto, figura (3).

Figura 3: Matriz de riesgos 3

Descripción del riesgo	Respuesta al riesgo	Impacto	Valor menor costo (a)	Valor costo común (b)	Valor mayor costo (c)	Costo del impacto
Riesgo 1	Respuesta 1	Impacto 1	a1	b1	c1	Costo 1
Riesgo 2	Respuesta 2	Impacto 2	a2	b2	c2	Costo 2
Riesgo 3	Respuesta 3	Impacto 3	a3	b3	c3	Costo 3
Riesgo 4	Respuesta 4	Impacto 4	a4	b4	c3	Costo 4
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Riesgo n	Respuesta n	Impacto n	an	bn	cn	Costo n

Esta etapa del análisis de riesgo nos dará un panorama con valor cuantitativos de los efectos

si los riesgos se materializan, y se podrá determinar aquellos sobre los cuales se deberán tomar acciones previas para su mitigación, y aquellos para los cuales tal vez se veían de alto impacto pero en cuanto al costo son de menor cuantía y se podrían eliminar de la matriz si se realiza la inversión con antelación.

#### **4.4. Coordinación de contingencia estimada para riesgos sistémicos**

En relación a lo definido en el marco teórico, los riesgos sistémicos dependen únicamente de factores internos de las empresas para ejecutar el proyecto, por lo cual este tipo de riesgos son únicos de cada proyecto y por ende merecen ser analizados de una manera especial.

La estimación del impacto de estos riesgos es de índole empresarial, en donde los gerentes de las áreas determinan el impacto y de paso dan el costo del impacto que tendría la materialización de estos riesgos. Dado que estos riesgos suelen tener una probabilidad de ocurrencia del 100%, puede ser que los recursos se inviertan en responder al riesgo, sin embargo existe posibilidad de que el riesgo no se materialice y por contrario se convierta en una oportunidad, lo cual haría que el presupuesto apartado para la respuesta al riesgo sea invertido en otras actividades o por el contrario se mantenga en la caja del proyecto.

Los riesgos sistémicos tienen un tratamiento diferencial debido a su naturaleza, conjunto a esto, dado que no existe como tal un análisis a profundidad de estos, su valor de contingencia será estimado de manera directa, es decir, no se utilizará Pert para estimar el costo del impacto sino por contrario se empleará la ecuación 4.1 para calcular el valor esperado que tendrá la respuesta a ese riesgo.

Figura 4: Matriz de riesgos 4

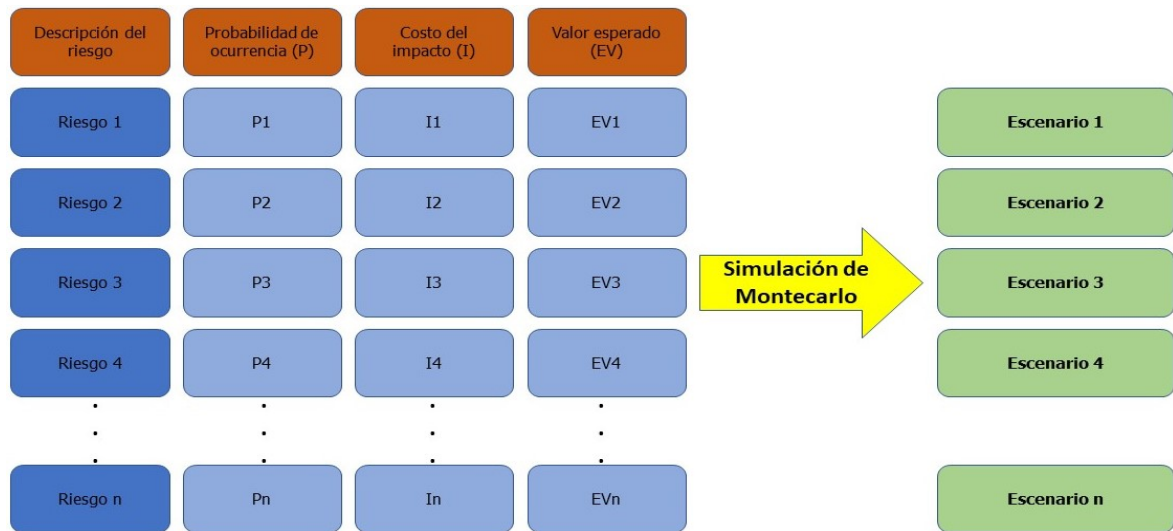
Descripción del riesgo	Consecuencia si el riesgo se materializa	Probabilidad de ocurrencia (P)	Costo del impacto (I)	Valor esperado (EV)
Riesgo sistémico 1	Consecuencia 1	P1	I1	EV1
Riesgo sistémico 2	Consecuencia 2	P2	I2	EV2
Riesgo sistémico 3	Consecuencia 3	P3	I3	EV3
Riesgo sistémico 4	Consecuencia 4	P4	I4	EV4
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Riesgo sistémico n	Consecuencia n	Pn	In	EVn

## 4.5. Evaluación integral de resultados utilizando simulación de Montecarlo

En esta etapa la matriz de riesgos cuenta con los riesgos identificados, los valores de probabilidad de ocurrencia determinados mediante el método que los profesionales hayan determinado, y los valores de impacto que ellos creen que se va a gastar para responder al riesgo.

Existen empresas muy propensas al riesgo, y para las cuales la materialización de los riesgos puede implicar una bancarrota, por lo cual, en esas condiciones tan excepcionales es pertinente emplear una simulación de Montecarlo, en donde se tengan como entradas toda la información ya plasmada en la matriz de riesgos, y se simulen escenarios en donde se evidencie qué riesgo se materializa y si este puede llevar a la situación de bancarrota. Así mismo, con Montecarlo podrían simular si se materializan varios riesgos a la vez y si este nuevo escenario conlleva la bancarrota. Estas simulaciones simplemente son realizadas de manera preventiva para que las empresas puedan evaluar que riesgo deben responder con mayor celeridad y disminuir el impacto que este pueda tener en la empresa. Ver figura 5

Figura 5: Matriz de riesgos 5



La metodología de la práctica 44R - 08 no contempla que sea de obligatorio uso el método de Montecarlo para dar una evaluación a todos los riesgos, por contrario, la práctica resalta que empleando el método del valor esperado se estiman todos los costos que podría tener la materialización de los riesgos y sus correlaciones.

## 4.6. Estimación de contingencia y administración de reservas

Como resultado del literal 4.5 se obtiene que Montecarlo arrojará una distribución de probabilidades de los posibles costos que tendrán los riesgos. Este costo proyectado se debe tener tabulado, esto debido a que por definición la contingencia se encuentra definido por [3].:

$$C = EV - Csm \quad (4.3)$$

En donde:

C: Contingencia,

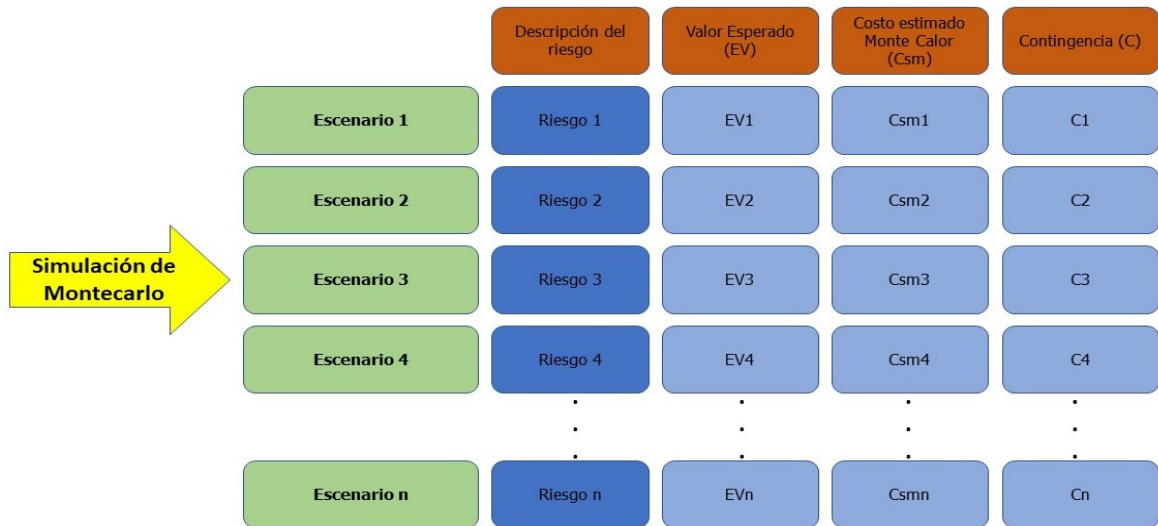
EV: Valor esperado,

Csm: Valor de simulación de Montecarlo,

De acuerdo con la ecuación 4.3, la contingencia es la diferencia entre el valor esperado (EV)

y el costo estimado mediante la simulación de Montecarlo (Csm). El costo estimado mediante Montecarlo puede variar de acuerdo al nivel de tolerancia de las empresas a los riesgos; usualmente se realizan cálculos con el P50 (Cincuentavo percentil de la distribución arrojada por Montecarlo), en otras empresas en donde al costo se les presta una mayor importancia, se realizan los cálculos con P70 (Setentavo percentil) o incluso P90 (Noventavo percentil). Por otra parte, para proyectos de pequeña escala se mantiene la premisa de realizar cálculos con P50, y esto está impulsado debido a que el cincuentavo percentil equivale a la media de los datos arrojados por la simulación de Montecarlo.

Figura 6: Matriz de riesgos 6



	Descripción del riesgo	Valor Esperado (EV)	Costo estimado Monte Calor (Csm)	Contingencia (C)
Escenario 1	Riesgo 1	EV1	Csm1	C1
Escenario 2	Riesgo 2	EV2	Csm2	C2
Escenario 3	Riesgo 3	EV3	Csm3	C3
Escenario 4	Riesgo 4	EV4	Csm4	C4
	⋮	⋮	⋮	⋮
Escenario n	Riesgo n	EVn	Csmn	Cn

## 4.7. Administración de reservas para riesgos de alto impacto y baja probabilidad

Dentro de la matriz de riesgos se pueden encontrar riesgos que tengan un impacto muy alto y una probabilidad de ocurrencia muy baja, por lo cual, si estos riesgos se materializan pueden tener una consecuencia muy alta en el alcance del proyecto. Si bien estos riesgos también deben ser analizados, deberán tener un tratamiento especial, en donde su contingencia no vale la pena que se calcule de acuerdo a la ecuación 4.3, debido a que la diferencia entre el valor esperado y el costo estimado mediante la simulación de Montecarlo será tan alta que al totalizar el valor de la contingencia, este riesgo tendrá el mayor porcentaje.

Por lo anterior, los riesgos de alto impacto y baja probabilidad deberán contar con una reserva diferencial a la contingencia, por ejemplo, podría emplearse una reserva de gestión para su respuesta o incluso en una contingencia de la caja del proyecto, en donde siempre se tenga presente que este riesgo puede cambiar el presupuesto del proyecto y por ende el alcance del mismo.

## 4.8. Resumen de metodología

La práctica 44R - 08 de la AACE Internacional menciona una buena práctica la cual al ser implementada de manera recurrente se convierte en una metodología debido a que expresa un paso a paso a seguir, el cual tendrá como finalidad el análisis de riesgos empleando valor esperado y estimando las reservas de contingencia para los riesgos.

Con el objetivo de ayudar a la comprensión de la práctica, a continuación resumimos los pasos a seguir para la implementación de esta práctica:

1. Determinar qué áreas del proyecto harán parte del proceso de identificación de riesgos.
2. Identificar los riesgos de acuerdo a cada área, y en este paso no subestimar o sobrestimar cualquier riesgo, todos los riesgos deben ser anotados.
3. Asignar la probabilidad de ocurrencia a cada riesgo, para esto el grupo de análisis de riesgo deberá elegir que criterios usarán para esto; en donde los métodos paramétricos o juicio de profesionales.
4. Revisar si existe una dependencia de un riesgo con otro, y de existir se debe concertar si estos riesgos se unen en uno y se estima una nueva probabilidad de ocurrencia.
5. Evaluar las respuestas que se pueden dar a cada riesgo
6. Estimar los impactos físico que tendría el riesgo si se materializa.
7. Cuantificar el costo del impacto teniendo en cuenta la formula 4.2.
8. Calcular los valores esperados de cada riesgo empleando la formula 4.1.
9. Cuantificar el costo del impacto, porcentaje de ocurrencia y el valor esperado para riesgos sistémicos.
10. Emplear la simulación de Montecarlo y obtener el costo del impacto que conllevaría cada riesgo si se materializa.

11. Estimar las contingencias de cada riesgo de acuerdo con la formula 4.3.
12. Analizar de manera independiente los riesgos de alto impacto y baja probabilidad y así determinar en que cuenta estará la reserva de contingencia.

## *Capítulo 5*

### **CASO DE ESTUDIO**

Con el objetivo de dar mayor claridad a los conceptos expuestos, y demostrar la implementación de la metodología mencionada, se realizará el respectivo análisis de riesgo y estimación de contingencia empleando el valor esperado.

El proyecto elegido para la implementación de la metodología es la licitación pública No. LP - 002 - 2020, la cual tenía por objeto :“PAVIMENTACIÓN Y MEJORAMIENTO PARA LA VIABILIDAD URBANA DEL MUNICIPIO DE SANTA BÁRBARA - SANTANDER”. Este proyecto tiene un presupuesto oficial de quinientos veinte millones de pesos (\$ 520.000.000,00 M/CTE), y un plazo de ejecución de 2 meses contados a partir de la suscripción del acta de inicio.

El análisis de los riesgos del proyecto se realizarán desde la perspectiva de la entidad contratante, es decir, se realizará el análisis con el objetivo de que el contrato sea adjudicado, ejecutado y entregado en los plazos planeados.

#### **5.1. Estimación de probabilidad de ocurrencia y dependencia/correlación**

En esta etapa preliminar del análisis de riesgos del contrato LP - 002 - 2020, se determinó que la identificación de los riesgos se realiza desde la perspectiva de la entidad contratante, y se eligieron las siguientes áreas para la identificación de los riesgos:

1. Selección
2. Planeación

### 3. Contratación

### 4. Ejecución

Toda vez que se determinaron las áreas participantes en la identificación de riesgos, se asignaron las probabilidad de ocurrencia de cada uno de los riesgos, en donde se tuvo en cuenta los anteriores procesos licitatorios que ha realizado el municipio, es decir, las probabilidad de ocurrencia no están calculadas mediante algún modelo matemático, éstas se obtienen de la experiencia de los profesionales que han participado en anteriores procesos.

Adicionalmente a la probabilidad de ocurrencia, se deben revisar las posibles relaciones que puedan existir entre los riesgos identificados, y realizar una verificación preliminar de si estos pueden ser unificados en un solo riesgo o si deben ser analizados de manera independiente.

Figura 7: Caso de estudio: Matriz de riesgos 5.1

N	CLASE	FUENTE	AREA	DESCRIPCIÓN ( QUE PUEDE PASAR Y , COMO PUEDE OCURRIR)	PROBABILIDAD	CORRELACIÓN
1	GENERAL	EXTERNO	SELECCIÓN	Ofertas artificialmente bajas	10%	-
2	GENERAL	EXTERNO	EJECUCION	Que exista desabastecimiento o escasez de materiales y/o proveedores para la ejecución de la obra.	40%	-
3	GENERAL	EXTERNO	EJECUCION	Que haya fluctuación en los precios de insumos/actividades	10%	-
4	GENERAL	INTERNO	CONTRATACION	No legalización del contrato en los términos contemplados por incumplimiento de documentos por parte del contratista	50%	-
5	GENERAL	EXTERNO	CONTRATACION	Reclamos de terceros sobre la selección del oferente que retrasen el perfeccionamiento del contrato	5%	-
6	GENERAL	EXTERNO	EJECUCION	No aceptación del contratista de los estudios y diseños que forman parte integral del desarrollo de la obra	30%	-
7	GENERAL	EXTERNO	EJECUCION	Cambios en el equipo de trabajo del Contratista	50%	-
8	GENERAL	EXTERNO	EJECUCION	Cuando los bienes entregados no cuentan con la calidad, ni en la cantidad contratada	60%	-
9	GENERAL	EXTERNO	EJECUCION	Cuando no se entregan las obras en los tiempos establecidos para la ejecución del proyecto	70%	-
10	GENERAL	EXTERNO	EJECUCION	Aprobación tardía de terceros involucrados con el desarrollo del contrato tales como autoridades ambientales, de tránsito entre otros. Coordinación Intermunicipal	80%	-
11	GENERAL	EXTERNO	EJECUCION	Afectación de redes de comunicación	80%	-
12	GENERAL	EXTERNO	EJECUCION	Accidentalidad y/o muerte del personal del contratista	5%	-
13	GENERAL	EXTERNO	EJECUCION	Daños, perjuicios o pérdidas, de los bienes a cargo del contratista	60%	-
14	GENERAL	EXTERNO	EJECUCION	Variación de las actividades y cantidades de obra no previstas para el desarrollo del contrato	80%	-
15	GENERAL	EXTERNO	EJECUCION	Ejecución de actividades no estimadas en el alcance del contrato	40%	-
16	GENERAL	EXTERNO	EJECUCION	Fraude documental por parte del contratista	50%	-
17	GENERAL	EXTERNO	EJECUCION	Afectación en el desarrollo del proyecto a causa de huelgas, asonadas, paros generales de trabajadores o de transporte, situaciones de orden público o comunidad que no esté de acuerdo en la ejecución del proyecto	60%	-
18	GENERAL	INTERNO	EJECUCION	Demora en el pago de las actas una vez sean radicadas en debida forma en la oficina pagadora de la entidad.	30%	-
19	ESPECIFICO	INTERNO	EJECUCION	Estimación errónea por parte del contratista y la entidad en el presupuesto estimativo.	70%	-
20	GENERAL	EXTERNO	EJECUCION	Afectación en el desarrollo del proyecto por condiciones climáticas	60%	-
21	GENERAL	EXTERNO	EJECUCION	Daños ambientales por las inadecuadas prácticas durante la ejecución del proyecto.	80%	-
22	GENERAL	EXTERNO	EJECUCION	Existencias de inadecuados procesos en el manejo de plataforma digital	80%	-
23	GENERAL	EXTERNO	PLANEACION	Exigir requisitos habilitantes diferentes a los establecidos por la ley y documentos tipo.	80%	-
24	GENERAL	INTERNO	PLANEACION	Direccionamiento de la contratación en favor de un tercero	70%	-
25	GENERAL	INTERNO	PLANEACION	Pago de obligaciones sin el cumplimiento de la totalidad de los requisitos	80%	-
26	ESPECIFICO	INTERNO	CONTRATACION	No publicación de los documentos del proceso contractual conforme la norma	40%	-

Una vez el equipo de análisis de riesgo cuente con una matriz de riesgos como la mostrada en la figura 7, y todos los participantes hayan llegado a un acuerdo sobre las probabilidades de ocurrencia, se podrá proceder a pasar al siguiente paso.

## **5.2. Evaluación de respuesta al riesgo y estimación de impacto si el riesgo se materializa**

En esta etapa se deben adicionar más columnas a la matriz de riesgos, por lo cual, para facilitar la comprensión y facilidad de la implementación de la metodología, se van a analizar tres riesgos, cada uno con diferente probabilidad de ocurrencia, así mismo, se reducirá la información de la matriz, así se evitará colapsar por exceso de información. La matriz de riesgos completa se puede revisar en el capítulo 6.

En la evaluación de los riesgos se deben determinar aquellas afectaciones que tendrían los riesgos si estos se materializan (Impacto), y así mismo, es necesario determinar la respuesta a los riesgos, y evitar que la respuesta a los riesgos generen riesgos residuales.

Figura 8: Caso de estudio: Matriz de riesgos 5.2

N	DESCRIPCIÓN ( QUE PUEDE PASAR Y , COMO PUEDE OCURRIR)	PROBABILIDAD	RESPUESTA AL RIESGO	IMPACTO
2	Que exista desabastecimiento o escasez de materiales y/o proveedores para la ejecución de la obra	40%	Definir diferentes proveedores durante la etapa de viabilidad técnica, y tener presente la distancia del municipio hacia las capitales	Retraso en el avance de actividades y por consiguiente se puede producir una incidencia en el plazo del contrato
11	Afectación de redes de comunicación	80%	Contactar con proveedores de servicio de internet, telefonía fija y televisión del municipio para que restablezcan el servicio de comunicaciones	Pérdida de las comunicaciones en el caso urbano del municipio
12	Accidentalidad y/o muerte del personal del contratista	5%	Notificar a ARL y continuar el debido proceso para dar claridad al accidente y/o fallecimiento del personal	Cobros extracontractuales de terceros hacia contratista, y pérdida de capacidad financiera del contratista

En esta sección los riesgos ya tendrán una respuesta a su ocurrencia, es de notar que en ocasiones la respuesta a los riesgos conlleva subcontratar a un tercero que realice una acción para eliminar o mitigar el riesgo. En el riesgo 11 de la figura 8, se observa que se debe subcontratar a un tercero, sin embargo, este riesgo es de baja probabilidad de ocurrencia, por lo cual no impactará el avance de obra, y el riesgo residual que pueda existir será de aún menor probabilidad de ocurrencia. Anotaciones como la anterior deben llevarse registradas en la misma matriz de riesgos, dado que este documento será el único que se consultará al momento de que se materialice alguno.

### 5.3. Evaluación del costo de impacto

Durante esta etapa del proceso de análisis de riesgos, en el comité de análisis de riesgos se van a cuantificar el costo que tendría el impacto que se estimo en el literal 5.2. Con el objetivo de emplear el método de Pert, se deben estimar 3 valores para ese costo, uno de ellos será el caso más favorable que indicará el costo más bajo, otro escenario que sería el más desfavorable que estará representado en el costo más alto y por último, el costo más común, en donde este será el valor que más se ha repetido cuando se materializó el costo.

La estimación del costo está dada por un método probabilístico, por lo cual el valor tiene una desviación estándar y un porcentaje de confianza, es decir, el valor estimado puede ser ese o variar en más o menos una desviación, y a medida que se aumenta las desviaciones sumadas y restadas se obtiene un mayor nivel de confianza, tal cual como se expresa en la siguiente tabla.

Tabla 2: Porcentaje de confianza Pert

Porcentaje de confianza	Desviación estándar	Valor estimado
68 %	$\pm\sigma$	Costo $\pm\sigma$
95 %	$\pm 2 * \sigma$	Costo $\pm 2 * \sigma$
99 %	$\pm 3 * \sigma$	Costo $\pm 3 * \sigma$

Figura 9: Caso de estudio: Matriz de riesgos 5.3

N	DESCRIPCIÓN ( QUE PUEDE PASAR Y , COMO PUEDE OCURRIR)	IMPACTO	Costo más bajo	Costo más común	Costo más alto	Costo del impacto
2	Que exista desabastecimiento o escasez de materiales y/o proveedores para la ejecución de la obra	Retraso en el avance de actividades y por consiguiente se puede producir una incidencia en el plazo del contrato	\$ 5.000.000,00	\$ 15.000.000,00	\$ 52.000.000,00	\$ 19.500.000,00
11	Afectación de redes de comunicación	Perdida de las comunicaciones en el casco urbano del municipio	\$ 90.000,00	\$ 180.000,00	\$ 1.000.000,00	\$ 301.866,67
12	Accidentalidad y/o muerte del personal del contratista	Cobros extracontractuales de terceros hacia contratista, y pérdida de capacidad financiera del contratista	\$ 1.000.000,00	\$ 5.000.000,00	\$ 20.000.000,00	\$ 6.833.333,33

Los valores estimados en el costo del impacto pueden afectarse de acuerdo a la desviación estándar que se calcule, sin embargo, el método del valor ganado es una estimación clase 5, por lo cual, no se necesita trabajar con porcentajes de confianza tan altos y que solo causarían ruido innecesario en los cálculos.

## 5.4. Coordinación de contingencia estimada para riesgos sistémicos

Dentro de la matriz de riesgos expuesta en la figura 7, se pueden identificar que el riesgo No. 18 y 22 se clasifican dentro de este tipo de riesgos.

Figura 10: Caso de estudio: Riesgos sistemicos

N	CLASE	FUENTE	AREA	DESCRIPCIÓN ( QUE PUEDE PASAR Y , COMO PUEDE OCURRIR)	PROBABILIDAD	CORRELACIÓN
18	GENERAL	INTERNO	EJECUCION	Demora en el pago de las actas una vez sean radicadas en debida forma en la oficina pagadora de la entidad.	30%	-
22	GENERAL	EXTERNO	EJECUCION	Existencias de inadecuados procesos en el manejo de plataforma digital	80%	-

En referencia al riesgo No. 18, es fácil evidenciar que la demora de los pagos de las actas radicadas por el contratista puede deberse a causa de la complejidad del proceso que conlleva el desembolso de recursos estatales, en cuanto al riesgo No. 22, los inadecuados procesos en el manejo de la plataforma son debidos a las grandes demandas que tiene la plataforma de contratación, lo cual ha conllevado que usualmente esta se encuentre fuera de servicio.

Los riesgos mencionados son sistémicos, y en relación al riesgo No. 22, este cuenta con un porcentaje de ocurrencia alto debido a que es causado por agentes externos al proyecto; situación contraria a la del riesgo No. 18, el cual cuenta con un porcentaje de ocurrencia bajo y su causa es por agentes internos del proyecto. Estos dos riesgos deben ser cuantificados de acuerdo a la experiencia adquirida por los profesionales, por lo cual se asignaron su costo de impacto. Conjunto a esto, empleando la fórmula 4.1 se estimaron los costos esperados para la respuesta a cada riesgo.

Figura 11: Caso de estudio: Matriz de riesgos 5.4

N	DESCRIPCIÓN ( QUE PUEDE PASAR Y , COMO PUEDE OCURRIR)	PROBABILIDAD	COSTO DEL IMPACTO	VALOR ESPERADO
2	Que exista desabastecimiento o escasez de materiales y/o proveedores para la ejecución de la obra.	40%	\$ 19.500.000,00	\$ 7.800.000,00
11	Afectación de redes de comunicación	80%	\$ 301.666,67	\$ 241.333,33
12	Accidentalidad y/o muerte del personal del contratista	5%	\$ 6.833.333,33	\$ 341.666,67
18	Demora en el pago de las actas una vez sean radicadas en debida forma en la oficina pagadora de la entidad.	30%	\$ 5.200.000,00	\$ 1.560.000,00
22	Existencias de inadecuados procesos en el manejo de plataforma digital	80%	\$ 3.000.000,00	\$ 2.400.000,00

En este momento de la implementación, el equipo ya cuenta con un valor del impacto que tendría el costo la materialización de los riesgos, sin embargo, estos valores no pueden ser sumados y así estimar un posible costo del impacto de todos los riesgos, por contrario, cada uno debe ser analizado y nuevamente revisar cuales serían los riesgos que causarían mayor impacto en la contratación, planeación, ejecución y entrega del proyecto.

## 5.5. Evaluación integral de resultados utilizando simulación de Montecarlo

Durante la implementación de esta sección el equipo de análisis de riesgos debe definir las variables de número de datos (n), porcentaje de confianza o percentil (P) y el valor esperado estimado en el anterior literal (EV). En este caso de estudio se escogieron los siguientes valores:

Tabla 3: Entradas para simulación de Montecarlo

Variable	Valor escogido
n	50
P	70 %
EV	Los calculados en 5.4

De acuerdo con las entradas definidas en la tabla 3, se puede realizar la simulación de monte-carlo para estimar los posibles costos que tendrían los impactos de los riesgos, es de aclarar, que el porcentaje de confianza de estos costos estimados depende del percentil que se haya escogido, y que es decisión del equipo de análisis de riesgos definir el porcentaje con el cual se va a realizar el cálculo.

Figura 12: Caso de estudio: Matriz de riesgos 5.5

N	DESCRIPCIÓN ( QUE PUEDE PASAR Y , COMO PUEDE OCURRIR)	PROBABILIDAD	COSTO DEL IMPACTO	VALOR ESPERADO	COSTO S. MONTECARLO
2	Que exista desabastecimiento o escasez de materiales y/o proveedores para la ejecución de la obra.	40%	\$ 19.500.000,00	\$ 7.800.000,00	\$ 5.265.473,34
11	Afectación de redes de comunicación	80%	\$ 301.666,67	\$ 241.333,33	\$ 162.914,65
12	Accidentalidad y/o muerte del personal del contratista	5%	\$ 6.833.333,33	\$ 341.666,67	\$ 230.645,73
18	Demora en el pago de las actas una vez sean radicadas en debida forma en la oficina pagadora de la entidad.	30%	\$ 5.200.000,00	\$ 1.560.000,00	\$ 1.053.094,67
22	Existencias de inadecuados procesos en el manejo de plataforma digital	80%	\$ 3.000.000,00	\$ 2.400.000,00	\$ 1.620.145,64

El cálculo detallado de los valores estimado mediante montecarlo se pueden revisar en el apéndice A.

## 5.6. Estimación de contingencia y administración de reservas

En este punto del análisis de riesgos, se han obtenido dos valores para el costo del impacto de cada riesgo. Los valores mencionados están estimados con diferentes porcentajes de confianza, y se debe tener presente que al final los porcentajes de confianza los determina las personas que conforman el comité de análisis de riesgos y que deben estar acordados por todos.

Durante la implementación de esta sección el comité de análisis de riesgos calculará la contingencia de cada riesgo empleando la formula 4.3, y tabulando los resultados obtenidos para cada riesgo.

Figura 13: Caso de estudio: Matriz de riesgos 5.6

N	DESCRIPCIÓN ( QUE PUEDE PASAR Y , COMO PUEDE OCURRIR)	VALOR ESPERADO	COSTO S. MONTECARLO	CONTINGENCIA
2	Que exista desabastecimiento o escasez de materiales y/o proveedores para la ejecución de la obra.	\$ 7.800.000,00	\$ 5.265.473,34	\$ 2.534.526,66
11	Afectación de redes de comunicación	\$ 241.333,33	\$ 162.914,65	\$ 78.418,69
12	Accidentalidad y/o muerte del personal del contratista	\$ 341.666,67	\$ 230.645,73	\$ 111.020,93
18	Demora en el pago de las actas una vez sean radicadas en debida forma en la oficina pagadora de la entidad.	\$ 1.560.000,00	\$ 1.053.094,67	\$ 506.905,33
22	Existencias de inadecuados procesos en el manejo de plataforma digital	\$ 2.400.000,00	\$ 1.620.145,64	\$ 779.854,36

Una vez calculados todos los valores de la contingencia para cada riesgo, estos pueden ser sumados y así concluir en una reserva de contingencia para cuando se materialicen los riesgos que se identificaron. Así mismo, es pertinente revisar si la reserva de contingencia permite cubrir el costo del impacto más alto que se haya calculado.

## **5.7. Administración de reservas para riesgos de alto impacto y baja probabilidad**

El último paso para culminar el análisis de riesgos es identificar aquellos riesgos que tienen una baja probabilidad de ocurrencia, pero cuentan con un alto impacto en el proyecto, tanto en la ejecución del mismo y en el área financiera del mismo.

Estos riesgos de alto impacto deben ser excluidos de la contingencia, esto debido a que únicamente aumentarían el valor de la contingencia en un gran valor y también de llegar a ocurrir, este riesgo podría consumir todos los recursos de la reserva de contingencia.

En este caso de estudio no se presenta este tipo de riesgo, por lo cual no es necesaria la observación de eliminar un riesgo de la estimación de la contingencia.

## *Capítulo 6*

# **CONCLUSIONES**

La implementación de la práctica 44R - 08 provee una guía para que las personas que están involucradas en la gestión de proyectos realicen un análisis cuantitativo de los riesgos, así mismo, provee un nuevo escenario para el análisis de los riesgos, en donde no solo se revisan sus respuestas y se da un análisis cualitativo, sino mediante el uso de la experiencia aprendida se pueda unir este análisis cualitativo (Impacto) con un análisis cualitativo (Costo del impacto).

Por otra parte, la práctica 44R - 08 hace uso de las estimaciones mediante implementación de distribuciones probabilísticas como Pert, e incluso simulaciones de escenarios con el desarrollo de una la simulación de Montecarlo. El uso de estas dos herramientas provee el cambio que se necesita para dar un análisis cuantitativo a los riesgos que se puedan presentar a un proyecto, y también permite definir lo que es una contingencia en cada riesgo; permitiendo que los planificadores de los proyectos puedan tener una cifra sobre la cual se puede estimar que se pueden dar respuesta a la materialización de los riesgos.

La metodología expuesta en este documento permitirá dar una base sobre la manera en que está debe implementarse y sin necesidad de tener un alto nivel de madurez del proyecto. Aunado a esto, está práctica puede implementarse en cualquier tipo de proyecto, sin necesidad de entrar a revisar a fondo las actividades del contrato, únicamente conociendo el alcance del proyecto y manteniendo un bajo nivel en el sesgo u optimismo que se pueda presentar al momento de identificar los riesgos.

Por último, la implementación de está práctica mejora cuando se emplean equipos más diversos, y se comprometen más áreas para el comité de análisis de riesgos. Este escenario de diversidad permite que se tengan más puntos de vista y un mayor aporte desde la experiencia de cada profesional.

# APÉNDICE A

## Simulación de Montecarlo

En esta sección se mostrará el paso a paso que se realizó para el cálculo de la simulación de montecarlo que se realizó en el capítulo 5.5. Tal cual como se definió en el capítulo mencionado, se deben utilizar los valores establecidos en la tabla 3. Aunado a lo anterior, todo el proceso de la simulación se realizará mediante el software Microsoft Excel 2022.

1. En este primer paso se debe realizar la generación de cincuenta ( $n=50$ ) datos de manera aleatoria, esto se logra empleando la función `=Aleatorio()`, y arrastrando dicha función durante cincuenta casillas de la hoja de excel.

Figura 14: Números aleatorios

Dato	Valor aleatorio	Dato	Valor aleatorio
1	0,7416	26	0,6212
2	0,4010	27	0,2745
3	0,5733	28	0,4409
4	0,2251	29	0,6257
5	0,6534	30	0,8742
6	0,7757	31	0,5133
7	0,0919	32	0,7311
8	0,9208	33	0,1649
9	0,3806	34	0,2731
10	0,8332	35	0,2365
11	0,3889	36	0,5905
12	0,1337	37	0,7631
13	0,8703	38	0,4055
14	0,1678	39	0,5172
15	0,3342	40	0,8387
16	0,7433	41	0,4326
17	0,0786	42	0,0630
18	0,9663	43	0,5907
19	0,4893	44	0,6789
20	0,3325	45	0,7380
21	0,6661	46	0,4890
22	0,1080	47	0,6014
23	0,1252	48	0,4027
24	0,1018	49	0,6834
25	0,2886	50	0,9994

2. Toda vez que se cuenten con los datos generados de manera aleatoria, se deben verificar que estos valores se encuentren en el rango comprendido entre 1 y 0, en donde dicho rango no incluye el extremo superior e inferior.
  
3. En este paso ya se cuenta con los valores esperados (EV) de cada riesgo; entonces se selecciona el valor esperado de un riesgo y esta cifra se multiplica por todos los valores aleatorios que se han generado.

Con el objetivo de ilustrar lo mencionado, se escogió el valor de EV del riesgo No. 2 y se realizó la correspondiente multiplicación, obteniendo la siguiente tabla:

Figura 15: Cálculo de valores esperados aleatorios

Dato	Valor aleatorio	EV Aleatorio	Dato	Valor aleatorio	EV Aleatorio
1	0,7416	\$ 5.784.474,2	26	0,6212	\$ 4.845.138,1
2	0,4010	\$ 3.127.724,4	27	0,2745	\$ 2.140.782,6
3	0,5733	\$ 4.472.129,7	28	0,4409	\$ 3.439.330,3
4	0,2251	\$ 1.755.411,8	29	0,6257	\$ 4.880.370,4
5	0,6534	\$ 5.096.720,4	30	0,8742	\$ 6.818.377,4
6	0,7757	\$ 6.050.598,1	31	0,5133	\$ 4.003.563,7
7	0,0919	\$ 716.927,4	32	0,7311	\$ 5.702.346,1
8	0,9208	\$ 7.182.131,4	33	0,1649	\$ 1.285.934,3
9	0,3806	\$ 2.968.439,6	34	0,2731	\$ 2.130.027,9
10	0,8332	\$ 6.498.665,7	35	0,2365	\$ 1.844.721,0
11	0,3889	\$ 3.033.593,8	36	0,5905	\$ 4.605.895,6
12	0,1337	\$ 1.042.506,4	37	0,7631	\$ 5.952.537,9
13	0,8703	\$ 6.788.000,6	38	0,4055	\$ 3.162.575,0
14	0,1678	\$ 1.309.032,6	39	0,5172	\$ 4.033.874,9
15	0,3342	\$ 2.606.836,4	40	0,8387	\$ 6.541.834,0
16	0,7433	\$ 5.797.844,0	41	0,4326	\$ 3.374.464,0
17	0,0786	\$ 613.310,1	42	0,0630	\$ 491.752,3
18	0,9663	\$ 7.536.887,8	43	0,5907	\$ 4.607.386,5
19	0,4893	\$ 3.816.278,2	44	0,6789	\$ 5.295.494,1
20	0,3325	\$ 2.593.648,8	45	0,7380	\$ 5.756.756,1
21	0,6661	\$ 5.195.424,9	46	0,4890	\$ 3.814.297,7
22	0,1080	\$ 842.604,7	47	0,6014	\$ 4.690.625,1
23	0,1252	\$ 976.696,8	48	0,4027	\$ 3.141.157,3
24	0,1018	\$ 793.843,4	49	0,6834	\$ 5.330.396,6
25	0,2886	\$ 2.251.254,5	50	0,9994	\$ 7.795.008,6

- Ahora en la simulación se cuenta con cincuenta posibles resultados que tendría si el riesgo se materializará, y todos estos valores se encuentran basados en el valor esperado que se cálculo en el literal 5.4. Es decir, se está simulando la materialización del riesgo pero con diferentes costos de impacto.
- Por último, teniendo en cuenta el valor del percentil escogido en la tabla 3, se deberá calcular el P70 de los cincuenta valores esperados que se calcularon. Esto se puede realizar empleando la función de excel llamada  $=PERCENTIL.EXC(\text{Rango de valores aleatorios}, \text{Percentil escogido})$ , el valor del percentil se debe ingresar en valor decimal, en este caso sera 0.7.

Figura 16: Cálculo de costo de impacto por simulación de Montecarlo

Dato	Valor aleatorio	EV Aleatorio	Dato	Valor aleatorio	EV Aleatorio
1	0,7416	\$ 5.784.474,2	26	0,6212	\$ 4.845.138,1
2	0,4010	\$ 3.127.724,4	27	0,2745	\$ 2.140.782,6
3	0,5733	\$ 4.472.129,7	28	0,4409	\$ 3.439.330,3
4	0,2251	\$ 1.755.411,8	29	0,6257	\$ 4.880.370,4
5	0,6534	\$ 5.096.720,4	30	0,8742	\$ 6.818.377,4
6	0,7757	\$ 6.050.598,1	31	0,5133	\$ 4.003.563,7
7	0,0919	\$ 716.927,4	32	0,7311	\$ 5.702.346,1
8	0,9208	\$ 7.182.131,4	33	0,1649	\$ 1.285.934,3
9	0,3806	\$ 2.968.439,6	34	0,2731	\$ 2.130.027,9
10	0,8332	\$ 6.498.665,7	35	0,2365	\$ 1.844.721,0
11	0,3889	\$ 3.033.593,8	36	0,5905	\$ 4.605.895,6
12	0,1337	\$ 1.042.506,4	37	0,7631	\$ 5.952.537,9
13	0,8703	\$ 6.788.000,6	38	0,4055	\$ 3.162.575,0
14	0,1678	\$ 1.309.032,6	39	0,5172	\$ 4.033.874,9
15	0,3342	\$ 2.606.836,4	40	0,8387	\$ 6.541.834,0
16	0,7433	\$ 5.797.844,0	41	0,4326	\$ 3.374.464,0
17	0,0786	\$ 613.310,1	42	0,0630	\$ 491.752,3
18	0,9663	\$ 7.536.887,8	43	0,5907	\$ 4.607.386,5
19	0,4893	\$ 3.816.278,2	44	0,6789	\$ 5.295.494,1
20	0,3325	\$ 2.593.648,8	45	0,7380	\$ 5.756.756,1
21	0,6661	\$ 5.195.424,9	46	0,4890	\$ 3.814.297,7
22	0,1080	\$ 842.604,7	47	0,6014	\$ 4.690.625,1
23	0,1252	\$ 976.696,8	48	0,4027	\$ 3.141.157,3
24	0,1018	\$ 793.843,4	49	0,6834	\$ 5.330.396,6
25	0,2886	\$ 2.251.254,5	50	0,9994	\$ 7.795.008,6

<b>Valor esperado Sim. Montecarlo</b>	<b>\$ 5.265.473,3</b>
---------------------------------------	-----------------------

- Este proceso debe llevarse a cabo para cada riesgo y así calcular el costo del impacto mediante la simulación de Montecarlo.

Este tipo de simulación permite que se pueda simular un escenario en donde riesgos relacionados se materializan a la vez, esta situación se simula empleando la suma de los valores esperados calculados en el literal 5.4 y ejecutando los mismos pasos mencionados.

Todos los valores obtenidos en la simulación de Montecarlo se registraron y se encuentran en el archivo excel que se entrega en medio físico conjunto a este documento.

## *APÉNDICE B*

# Análisis de riesgo y determinación de contingencia usando valor esperado

## TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción .....	2
1.1	Alcance .....	2
1.2	Objetivo.....	2
1.3	Definiciones.....	3
1.4	Definición tipos de riesgo.....	5
2	Practica recomendada.....	7
3	Identificación del riesgo .....	7
3.1	Identificación de riesgos residuales .....	7
4	Cuantificación / Estimación de contingencia.....	8
4.1	Estimación de probabilidad de ocurrencia y dependencia / correlación.....	8
4.2	Evaluación de respuesta al riesgo y estimación de impacto si el riesgo se materializa....	10
4.3	Evaluación del costo de impacto.....	11
4.4	Coordinación de contingencia estimada para riesgos sistémicos.....	12
4.5	Evaluación integral de resultados utilizando simulación de monte carlo.....	13
4.6	Estimación de contingencia y administración de reservas .....	13
4.7	Administración de reservas para alto impacto, riesgos de baja probabilidad.....	14
5	Glosario .....	15
	Referencias .....	15

# 1 Introducción

## 1.1 Alcance

Esta práctica recomendada (RP) de la AACE Internacional (AACE) define prácticas y consideraciones para análisis de riesgos y estimación de costos de contingencias usando método del valor esperado. Esta RP se aplica específicamente para el método de valor esperado (EV) para análisis cuantitativo del riesgo, no se usa como un paso previo para la evaluación cualitativa de riesgos. Esta RP está limitada a la estimación de costos de contingencia; la práctica RP 65R-11, *Integrated Cost and Schedule Risk Analysis and Contingency Determination Using Expected Value* es una extensión de esta práctica, en la cual se tratan temas como la integración de costos, el análisis del riesgo en la programación y la determinación de contingencias usando valor esperado [1]. Entiéndase que la práctica RP 40R-08, *Contingency Estimating – General Principles* [2], se mencionan los métodos de “Relación de factores de riesgo y los resultados en costo y programación”; por lo tanto, es importante recomendar el uso conjunto de las prácticas 44R-08 y 65R-11 para integrar los costos y el análisis del riesgo en la programación. Otras prácticas de cuantificación de riesgos pueden encontrarse en el documento guía PGD-02, *Guide to Quantitative Risk Analysis* [3], de la AACE.

## 1.2 Objetivo

Esta práctica recomendada RP provee una guía, mas no estándares, para la estimación de contingencias mediante buenas prácticas profesionales en las que se puede confiar y que se recomendarían aplicar cuando se considere pertinente. Existe variedad en las metodologías para estimación de contingencias, esta RP será una guía profesional de ayuda en el diseño o selección apropiada del método para diferentes situaciones. El método del valor esperado es recomendado para cuantificación de riesgos en proyectos específicos, es decir, eventos y condiciones o riesgos dependientes. Si bien puede ser utilizado en cuantificación de riesgos sistémicos, el método paramétrico es recomendado generalmente para aquellos riesgos que se mencionan en la RP 42R-08, *Risk Analysis and Contingency Determination Using Parametric Estimating* [4]. El enfoque híbrido usando valor esperado en combinación con el método paramétrico es tratado en la práctica RP 113R-20.

### 1.3 Definiciones

En el título de esta práctica se menciona una “determinación de contingencias”, el método arroja como resultado una distribución probabilística de costo, la cual puede ser usada para la determinación de contingencias y administración de reservas. Cabe aclarar, las definiciones operativas de estos términos se extrajeron de la práctica RP 10S-90, *Cost Engineering Terminology*, como las siguientes (Siempre revisar la última versión de la práctica RP 10S-90 por si se realizó alguna modificación).

- **CONTINGENCIA:** Un costo agregado a una estimación para tener en cuenta elementos, condiciones o eventos para los cuales el estado, la ocurrencia o el efecto es incierto y que la experiencia demuestra que probablemente sucederán, en conjunto, y se incurrirá en costos adicionales. Normalmente se estima mediante análisis estadístico o juicio basado en evaluaciones pasadas o experiencia en proyectos. La contingencia generalmente excluye: 1) Cambios importantes en el alcance, en la especificación del producto final, capacidades, dimensiones y ubicación del activo o proyecto; 2) Eventos extraordinarios de fuerza mayor y desastres naturales; 3) Administración de reservas; y 4) Escalada y efectos cambiarios. Algunos de los elementos, condiciones o eventos para los cuales el estado, ocurrencia y/o efecto es incierto incluyen, pero no se limitan a, errores y omisiones de planificación y estimación, fluctuaciones de precios a minoristas (que no sean escaladas generales), desarrollos de diseño, cambios dentro del alcance y variaciones en las condiciones ambientales y de mercado. La contingencia generalmente se incluye en la mayoría de las estimaciones y se espera que se gaste.
- **ADMINISTRACIÓN DE RESERVAS:** Un costo agregado a una estimación para tener en cuenta las pretensiones administrativas que se encuentran fuera del alcance del proyecto, según se estima de otra manera. Puede incluir montos que están dentro del alcance definido, pero para los cuales la administración no desea financiar como contingencia o que no se pueden administrar de manera efectiva utilizando contingencia.

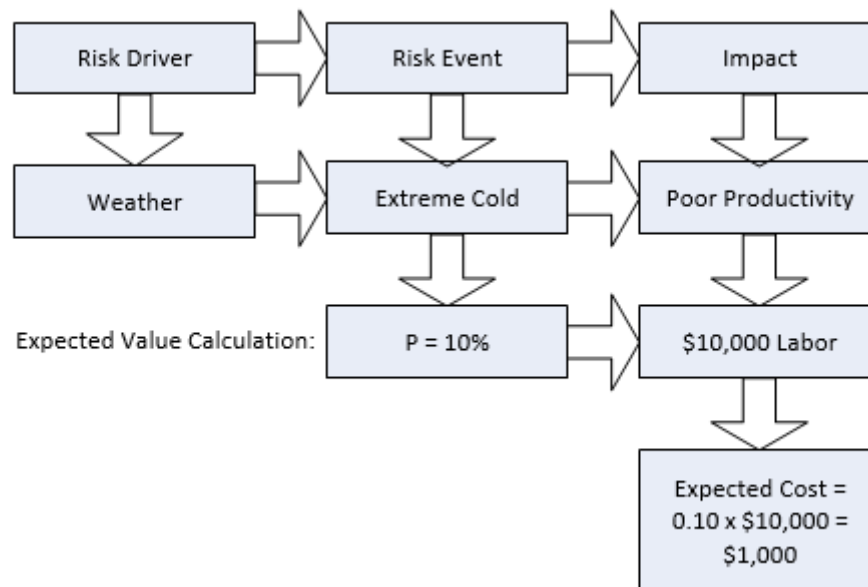
Esta práctica se basa en un método que ha sido de uso común tanto para la toma de decisiones como para la gestión de riesgos durante muchas décadas. El valor esperado en su forma más básica se puede expresar de la siguiente manera:

$$\text{Valor esperado} = \text{Probabilidad de que ocurra el riesgo} * \text{Impacto si ocurre}$$

(Ecuación 1)

La Figura 1 muestra un ejemplo más específico y simple del concepto; en el ejemplo, \$1,000 se incluirían en contingencia como la consecuencia de un riesgo que agregaría a un costo de \$ 10,000 si ocurriera [7]. Debería ser evidente que **no se está financiando ningún riesgo particular; el método supone que solo se producirán algunos de los riesgos y el equipo no sabe cuáles**. Este análisis se aplicaría para cada riesgo relevante y se sumaría el total de sus valores esperados. Si hubiera diez riesgos de la misma probabilidad e impacto como el de la Figura 1, se indicaría una contingencia de \$ 10,000 (10 x \$ 1000), que serían fondos suficientes para cubrir la ocurrencia de solo uno de los diez riesgos<sup>1</sup>. Si todo lo que se desea es la contingencia en el nivel de confianza medio (es decir, el valor esperado), no se requieren más análisis. Sin embargo, las mejores prácticas requieren métodos probabilísticos que produzcan una distribución de costos; que implica la aplicación de simulación Monte-Carlo (MCS) al modelo.

Como se discutirá más adelante, el enfoque de usar un poco de cada riesgo (basado en la probabilidad) sugiere que un riesgo con impacto extremo (o si es el único riesgo) quizás debería ser financiado usando una reserva de administración; es decir, el método funciona mejor para riesgos múltiples (quizás 5, 10 o más), cada uno con un impacto nominal que no sobrepasa la sumatoria.



**Figura 1 - Ejemplo de cálculo del valor esperado [5]**

Este cálculo de  $P \times I$  ha sido durante mucho tiempo un método fundamental utilizado en el análisis del árbol de decisiones y la detección de riesgos. Su uso es común porque es cuantitativo, simple de entender, simple de calcular y vincula explícitamente los factores de riesgo con sus impactos para que los riesgos se puedan gestionar. Sin embargo, su uso para la estimación de contingencias no ha

sido tan común como para la toma de decisiones y la identificación. Las referencias de Hollmann, Dey y Mak et al. [7,8,9,10] informan sobre aplicaciones que emplean conceptos de valor esperado, incluido MCS. Además, la Guía de Evaluación y Estimación de Costos de la Oficina de Responsabilidad del Gobierno de los Estados Unidos (GAO) describe el método aplicado contra los elementos de la estructura de desglose del trabajo (WBS) de un proyecto [11].

El valor esperado requiere un conocimiento y una competencia significativos para analizar la naturaleza de los riesgos, la probabilidad de que ocurran y sus potenciales impactos. También requiere competencia en la estimación de costos (particularmente la estimación conceptual) para definir y estimar explícitamente los impactos del riesgo en los costos generales para las estimaciones tempranas o para los elementos de la WBS de estimación de costos particulares para enfoques más definitivos.

Además de estar impulsado por el riesgo, el valor esperado tiene otras dos ventajas; no requiere que el equipo cambie su método de análisis de riesgo conceptual (P x I) entre el análisis de decisiones, la identificación de riesgos y los pasos de control (es decir, los hallazgos de P e I son los mismos en la identificación que para la cuantificación del riesgo), y puede proporcionar una estimación de contingencia en el nivel de confianza medio sin utilizar MCS (sin embargo, se recomienda el uso de MCS). Una desventaja es que el método, usado solo para el costo, no cuantifica explícitamente los impactos del cronograma y los usuarios pueden subestimar los impactos del costo que dependen del tiempo. Sin embargo, como se describe en el RP 65R-11 [1], el valor esperado puede y debe usarse de manera que integre el costo y el cronograma. Otra desventaja es que el método, usado solo, depende de la opinión subjetiva del equipo para cuantificar los riesgos sistémicos (o inherentes); es decir, es muy susceptible al sesgo de optimismo y debe usarse junto con el método paramétrico más objetivo y empírico según RP 113R-20 [5].

#### **1.4 Definición tipos de riesgo**

Debido a que el método del valor esperado de la estimación de contingencias vincula explícitamente los factores de riesgo con sus impactos, requiere una buena comprensión de los tipos de riesgo con respecto a la cuantificación. Con respecto a la cuantificación, los tipos de riesgo se dividen en tres categorías generales; sistémico, específico del proyecto y escalamiento. Para utilizar correctamente el método del valor esperado, es importante comprender las distinciones de estos tipos.

El término sistémico implica que el riesgo es un artefacto del “sistema” del proyecto, la cultura, la política, la estrategia empresarial, la complejidad del sistema de

procesos, la tecnología, entre otros. Se trata de incertidumbres o riesgos inherentes; es decir, como atributos del sistema del proyecto, su probabilidad es del 100 por ciento. Un desafío para la estimación de contingencias es que el vínculo entre los riesgos sistémicos y los impactos de los costos es de naturaleza estocástica. Esto significa que es difícil para los individuos o equipos, comprender y estimar directamente el impacto de estos riesgos, en elementos o actividades particulares del proyecto (por ejemplo, los riesgos de la nueva tecnología de proceso en algo como la preparación del sitio o cimientos de concreto pueden ser dramáticos, pero es no es evidente). Por esta razón, el uso del método del valor esperado, que se basa en una práctica de estimación cuasi determinista (por ejemplo, definir una distribución de 3 puntos), debe centrarse en los riesgos específicos del proyecto. Estos son riesgos de eventos (por ejemplo, una inundación) con una probabilidad de ocurrir de menos del 100 por ciento, pero también pueden ser incertidumbres en las condiciones (por ejemplo, días perdidos debido a la lluvia) con una probabilidad de ocurrencia del 100%, de que la condición no es exactamente como se planeó y toda la incertidumbre está en la extensión o el impacto. Tenga en cuenta que el rango de impacto del riesgo usualmente incluye a menudo el elemento de oportunidad (por ejemplo, la lluvia puede ser mejor de lo planeado). Los métodos de análisis de riesgo paramétrico generalmente se recomiendan para riesgos sistémicos (ver: RP 42R-08, Análisis de riesgo y determinación de contingencias usando estimación paramétrica [4]).

El término específico del proyecto implica que el riesgo es, como dice, específico del proyecto; por ejemplo, la cantidad de lluvia que podría caer en un sitio del proyecto. El vínculo entre los riesgos específicos del proyecto y los impactos en los costos es algo determinista por naturaleza; es decir, estos riesgos son susceptibles de comprensión individual y para estimar el impacto en elementos o actividades particulares (por ejemplo, se puede estimar la gama de impactos en los costos del exceso de lluvia en el trabajo de preparación del sitio).

El tercer tipo de riesgo es la escalada. La escalada es el cambio en los precios debido a causas económicas predominantes o impulsadas por el mercado. La escalada incluye inflación. La escalada es una incertidumbre en el sentido de que existe una probabilidad del 100 por ciento de que los precios futuros no sean exactamente los supuestos en la estimación. En mercados volátiles y proyectos de larga duración, este puede ser el costo más incierto de un proyecto. En esos proyectos, se recomienda que la escalada se calcule por separado y su riesgo se cuantifique probabilísticamente (RP 68R-11, Estimación de escalada mediante índices y simulación de Monte Carlo [12]). Sin embargo, para proyectos más pequeños y de menor duración, la escalada puede financiarse en la cuenta de contingencia y puede cuantificarse como una incertidumbre utilizando el método del valor esperado. Tenga en cuenta que el rango de impacto del riesgo de incertidumbre a menudo incluye el elemento de oportunidad (por ejemplo, los precios pueden disminuir).

## **2 Práctica recomendada**

Los siguientes pasos de cuantificación del riesgo de valor esperado asumen que se está siguiendo un proceso formal de gestión de riesgos y que los riesgos ya se han identificado y los tratamientos se han planificado o completado. Esta práctica recomendada luego aborda los riesgos residuales cuyos posibles impactos en los costos deben financiarse a través de reservas de contingencia o de gestión.

## **3 Identificación del riesgo**

### **3.1 Identificación de riesgos residuales**

Esta RP trata sobre un método de cuantificación de riesgos; no es una PR sobre identificación o tratamiento de riesgos. El método del valor esperado requiere que los riesgos residuales se identifiquen claramente antes de realizar un taller de análisis cuantitativo de riesgos. También requiere que estos riesgos residuales se identifiquen por tipo con respecto a los métodos de cuantificación: es decir, sistémicos, específicos del proyecto o escalada.

Por lo general, la identificación de riesgos para la estimación de contingencias es un paso independiente de la identificación y revisión de riesgos (véase RP 62R-11, Evaluación de riesgos: identificación y análisis cualitativo [13]). Algunos procesos de gestión de riesgos no dejan claro que una vez que se han identificado los riesgos, examinados en cuanto a su importancia y tratados (es decir, transfiriendo, aceptando, reduciendo, etc.), el equipo debe examinar nuevamente los riesgos residuales que pueden ser de una naturaleza algo diferente a los riesgos previos al tratamiento. Esto incluye la posible introducción de riesgos secundarios o iatrogénicos (es decir, la acción del tratamiento puede crear un nuevo riesgo). Además, pueden haber surgido nuevos riesgos en el tiempo entre el tratamiento anterior y el paso final de estimación de contingencias.

La identificación de riesgos para respaldar la estimación de contingencias también tiende a ser de naturaleza más definitiva en cuanto a especificar los eventos de riesgo de manera que el equipo y/o el analista puedan comprender y estimar claramente la probabilidad y el impacto. De lo contrario, el proceso de identificación es similar, comenzando con un equipo diverso y conocedor que usa métodos de elicitación como la lluvia de ideas y luego registran los riesgos. Los riesgos se analizarán para determinar su importancia durante los pasos de cuantificación que siguen.

Otro paso de identificación para el uso del método del valor esperado es la determinación de los riesgos “críticos” que serán cuantificados. Si la evaluación inicial indica que el impacto, si el riesgo ocurre, no afecta materialmente los objetivos de gestión con respecto a los costos o la rentabilidad, entonces el riesgo no es digno de una cuantificación adicional. Esto se debe a que los riesgos menores, que son innumerables, tienden a ser un "ruido" de incertidumbre, o inherente a cada proyecto, y restan valor a los riesgos que importan (si se utiliza el método paramétrico, estos riesgos menores se abordan en el modelo distribución de resultados). La importancia se puede juzgar utilizando criterios de criticidad como el ejemplo de la Tabla 1 (los umbrales dependen de los objetivos de gestión):

Bottom Line Critical Variances		
Bottom Line (Cost or Profit)	Conceptual Estimates (AACE Classes 3, 4, 5)	Detailed Estimates (AACE Classes 1, 2)
Cost $\Delta$	$\pm 0.5$ to 1%	$\pm 0.2$ to 0.5%
NPV $\Delta$	$\pm 5.0$ to 10%	$\pm 2.0$ to 5%

**Table 1 – Example Criticality Criteria for Risk Cost Impact (Depends on Management Objectives)**

## 4 Cuantificación / Estimación de contingencia

El paso de identificación de riesgos dará como resultado una lista de riesgos y oportunidades residuales significativos para los que es necesario estimar la probabilidad de ocurrencia, la dependencia / correlación y los impactos.

### 4.1 Estimación de probabilidad de ocurrencia y dependencia / correlación

Al igual que con cualquier proceso de estimación o previsión, la experiencia es la mejor base. El equipo de análisis cuantitativo de riesgos debe incluir representantes de cualquier entidad que pueda tener algún control y/o verse significativamente afectada por los riesgos potenciales. Esto generalmente significa personas líderes de negocios, operaciones, diseño, adquisiciones, permisos y otras áreas funcionales del equipo del proyecto. Cuanto más y más amplia sea la experiencia en la sala (dentro de lo razonable), mejor será el análisis. En cualquier caso, los participantes del análisis de riesgos deben estar familiarizados con el alcance del proyecto, los planes y la estimación de costos y, por lo general, han participado en el taller de identificación / gestión de riesgos.

Para el método del valor esperado, se requiere que la experiencia en estimación de costos sea parte del proceso y que el representante de la estimación esté familiarizado con la base y el contenido de la estimación para el proyecto en

cuestión y otros similares. Además, el estimador debe estar bien versado en (o saber dónde encontrar) información sobre la variedad de experiencias históricas y lecciones aprendidas con los riesgos de costos y sus impactos para proyectos comparables. Una persona que controla el proyecto también puede tener esa experiencia.

El equipo, generalmente en un taller, revisa cada riesgo residual (el taller cuantitativo no se lleva a cabo hasta que se hayan identificado los riesgos residuales durante la gestión de riesgos) e identifica la probabilidad de que ocurra cada riesgo. Esta puede ser una estimación directa de 0 a 100 por ciento de probabilidad; sin embargo, a las probabilidades a menudo se les da nombres (por ejemplo, muy alto, alto, etc.) con valores preestablecidos para ayudar a obtener consenso porque los valores específicos pueden ser difíciles de acordar. Los eventos y condiciones de riesgo generalmente tienen una probabilidad menor al 100%. Las incertidumbres (sistémicas, inherentes y de escalada si se incluyen) generalmente tienen una probabilidad del 100 por ciento.

El facilitador del taller debe ser consciente de que es probable que las opiniones de los miembros del equipo sobre las probabilidades estén sesgadas. Existen prácticas para la obtención estructurada [14] y para calibrar (entrenar) estimaciones de probabilidad del equipo [15]. Sin embargo, estos no suelen ser prácticos, excepto para proyectos grandes o complejos. Un enfoque más práctico, asumiendo que existe una combinación de opiniones optimistas y pesimistas, es capturar el rango de estimaciones de probabilidad de los participantes y cuantificarlas probabilísticamente en la simulación de Monte Carlo (MCS). En MCS, el valor de probabilidad (por ejemplo, 50%) generalmente se trata como un riesgo binomial (en cada iteración de MCS, ocurre o no). Sin embargo, la entrada a la función binomial puede tratarse como una estimación de 3 puntos para abordar la incertidumbre y el sesgo del equipo sobre la ocurrencia (por ejemplo, bajo / más probable / alto, 40%, 50%, 60%).

Con MCS, también deben identificar el grado en que los riesgos son dependientes y, de ser así, el alcance y la naturaleza de la correlación. Por ejemplo, puede haber una interacción entre el riesgo de un evento de lluvia y el riesgo de un deslizamiento de tierra debido a la poca estabilidad de la pendiente (por ejemplo, si llueve mucho, es probable que la estabilidad de la pendiente del suelo sea peor). Usando el software de MCS, el usuario puede cuantificar la dependencia entre el evento de lluvia y el riesgo de deslizamiento de tierra con un coeficiente de correlación de 0.5 basado en el reconocimiento de una relación sin una opinión sólida sobre el alcance. Otra opción es combinar los riesgos relacionados en la cuantificación. Por ejemplo, si hay dos permisos con riesgo de demora y ambos tienen un impacto de costo de demora similar que no es aditivo (es decir, todos los permisos deben recibirse antes de comenzar la construcción), se pueden combinar (pero no cambiar en el riesgo registrarse para fines de gestión.) Si cada uno tuviera un 50% de probabilidad de retraso, la probabilidad de que uno o ambos se retrasen sería del 75%.

## **4.2 Evaluación de respuesta al riesgo y estimación de impacto si el riesgo se materializa**

Habiendo identificado claramente los riesgos u oportunidades críticos, el equipo debe acordar el alcance de los impactos y estimarlos a un nivel conceptual de definición (por ejemplo, la estimación del impacto es AACE Clase 5). El alcance de la estimación del impacto está determinado en gran medida por la naturaleza de la respuesta al riesgo cuando este se materializa. La respuesta al riesgo (o rango potencial de respuestas) es la acción planificada o asumida que se tomará para abordar los impactos del riesgo; es decir, el plan de contingencia. Por ejemplo, si el riesgo fue un evento de lluvia de 100 años durante la preparación del sitio, el equipo puede estar de acuerdo en que, en base a que el proyecto esté basado en el cronograma, la respuesta sería bombear el sitio inundado con la misma rapidez y colocar grava adicional para afirmar el terreno y aumentar los turnos temporalmente para enfrentar un período de baja productividad. Una vez definido este alcance de respuesta, el estimador o los estimadores pueden proporcionar una estimación conceptual del bombeo, la colocación de grava y los recursos agregados durante una duración supuesta. Por otra parte, si el proyecto se basó en los costos y el tiempo no fue un problema, la respuesta puede ser desmovilizar y permitir que el sitio se drene y se seque de forma natural; el costo sería entonces el costo de desmovilización / movilización y la extensión del tiempo de gastos generales (asumiendo que este costo es menor que la opción de bombeo / grava / aumento de mano de obra). Tenga en cuenta que la estimación de costos debe incluir los costos basados en el tiempo para cualquier retraso asumido (por ejemplo, el período de desmovilización, aunque no se modela explícitamente), así como los costos directos (por ejemplo, comprar la grava). El conocimiento de estimación requerido para este método no es trivial, por lo que no se recomienda depender de miembros del equipo con experiencia en estimaciones. La base de la estimación también debe anotarse en el informe de análisis, aunque sea brevemente.

Tenga en cuenta que el plan de contingencia / respuesta al riesgo requiere una decisión en el momento del análisis. Para un riesgo crítico, la respuesta puede implicar un cambio de alcance importante (por ejemplo, la construcción de una nueva carretera después de un deslizamiento de tierra). El director del proyecto, y tal vez el patrocinador de la empresa, debe tomar esas decisiones; el equipo o el analista no tienen la autoridad para comprometerse o financiar dichos planes asumidos. Lo más probable es que este riesgo también se tenga en cuenta para la financiación de la reserva de gestión.

Tenga en cuenta que el enfoque anterior da como resultado un valor de impacto de costo total para el riesgo; es decir, el impacto en el resultado final que, después de cuantificar todos los valores de Pxl para los riesgos críticos, se financiará en una

sola cuenta de contingencia. Esto es coherente con el hecho de que el equipo no sabe qué riesgo (s) se producirán y las estimaciones de cuantificación del riesgo para cada uno son de naturaleza estocástica (es decir, con base en la clase 5 de la AACE) y, por lo general, no se justifica la estimación a un nivel de cuenta más detallado. o recomendado. La asignación de contingencia a las cuentas tampoco es una práctica recomendada dada la falta de conocimiento de los riesgos que ocurrirán (según RP 10S-90, Terminología de ingeniería de costos [6], la contingencia solo es significativa “en conjunto”). Sin embargo, algunas pautas (como las de la GAO [10]) sugieren que las estimaciones se modelen en un análisis de riesgo de una manera semidetallada. Por ejemplo, en lugar de una estimación puntual de \$ 10,000 para el impacto del riesgo de evento de lluvia de 100 años, la estimación se modelaría como un impacto de \$ 5,000 en la mano de obra, \$ 3,000 en el material y \$ 2,000 en las cuentas de costos indirectos (o algunas otras cuentas de la WBS). El propósito de este enfoque semidetallado es respaldar la asignación de contingencia a estas cuentas más adelante, sin tener en cuenta la naturaleza estocástica fundamental del método.

La planificación inicial de la respuesta al riesgo y la base de la estimación del impacto conceptual generalmente se definen durante el taller de cuantificación de riesgos. Sin embargo, el estimador, el planificador y otros probablemente garantizarán la razonabilidad de las respuestas y confirmarán las estimaciones (o los rangos de estimaciones según se indica a continuación) fuera de línea, después del taller. La base de las estimaciones de impacto también debe anotarse en el informe de análisis, aunque sea brevemente.

### **4.3 Evaluación del costo de impacto**

Si se va a utilizar la simulación de Monte-Carlo (lo que se recomienda), entonces el equipo y el estimador deberán cuantificar no solo los valores de costos puntuales (más probables) para los impactos según lo anterior, sino también la distribución de costos que se ingresarán en el Modelo MCS. La distribución utilizada es típicamente una estimación de 3 puntos de acuerdo con la naturaleza de estimación conceptual de esta práctica. Hay dos distribuciones de probabilidad definidas por 3 puntos (es decir, valor de costo bajo, más probable y alto). Estas son las distribuciones triangular y Pert (o beta Pert) o alguna variante (consulte RP 66R-11, Selección de funciones de distribución de probabilidad para su uso en modelos de simulación de costos y cronogramas para obtener más información sobre distribuciones [14]). La estimación más probable es la descrita en la sección anterior.

Las estimaciones iniciales de los valores altos y bajos generalmente se discutirán en el taller de cuantificación para ayudar a asegurar que se considere la más amplia gama de experiencias. El valor de alto costo, o el peor de los casos dentro de lo razonable, es quizás el más importante para el análisis. Dado que las decisiones de

inversión a menudo se basan en un análisis de sensibilidad del VPN (Valor presente neto), el peor caso de gasto de capital tiene una gran importancia. Como los equipos tienden a inclinarse hacia el optimismo, se necesita un facilitador y/o estimador capacitado para probar la suposición y la experiencia del equipo y asegurar que se considere una verdadera respuesta al riesgo y el costo del peor de los casos. En parte, el rango se define por el rango de respuestas al riesgo. Por ejemplo, si el evento de riesgo es un deslizamiento de tierra que cierra el camino de acceso al sitio, las posibles respuestas pueden variar desde la simple limpieza de un acceso temporal hasta la construcción de muros de contención y la creación de un camino completamente nuevo en una ruta diferente. Los datos históricos, los resultados de la evaluación comparativa, las lecciones aprendidas y los documentos de referencia de la industria pueden ayudar a comprender el rango. Algunos pueden usar una distribución triangular donde el nivel de confianza del valor "alto" lo define el analista o la política (por ejemplo, el valor alto del equipo se trata como si fuera el p90, no el alto). Estas prácticas analíticas entre bastidores (incluidas las correlaciones) deben comunicarse con el equipo y en informes.

Para los eventos de riesgo (para los cuales la probabilidad es <100 por ciento), las estimaciones de impacto, incluidos los valores bajos o en el mejor de los casos, suelen ser todos valores positivos (es decir, costos adicionales). Sin embargo, para las incertidumbres (la probabilidad es del 100 por ciento), el valor bajo puede ser negativo; es decir, una oportunidad. En el ejemplo descrito anteriormente, si se incluye el riesgo climático general y la estimación base es 2 días laborales perdidos por mes debido a las inclemencias del tiempo, el impacto puede variar de 0 a 8 días perdidos por mes en promedio. Este rango puede estar respaldado por un estudio del historial meteorológico y los registros de construcción de la región (es decir, algunas estimaciones del impacto del riesgo pueden tener una base empírica explícita).

Una consideración final al usar MCS es si se deben aplicar correlaciones entre las distribuciones de impacto de costo de riesgo. Podría decirse que si la respuesta al riesgo no es efectiva para un evento de riesgo (es decir, la iteración MCS muestra un valor alto), es más probable que otras respuestas al riesgo también sean menos efectivas (y viceversa). Dada la naturaleza estocástica de todo el ejercicio, desde la identificación y el cribado de riesgos hasta la planificación de la respuesta hasta las estimaciones de impacto de Clase 5, es posible que agregar esta complejidad analítica no agregue valor.

#### **4.4 Coordinación de contingencia estimada para riesgos sistémicos**

El análisis de riesgo paramétrico y de valor esperado se puede combinar fácilmente porque los modelos de valor esperado funcionan estimando directamente la distribución de costos probable de los impactos de cada riesgo, y eso puede incluir

riesgos sistémicos. Para combinar el análisis, la distribución de resultados del modelo paramétrico se puede incluir en el modelo de valor esperado como primer riesgo; como incertidumbre, su probabilidad de que ocurra es del 100 por ciento. Luego, otros riesgos específicos del proyecto se cuantifican y se agregan al modelo. La simulación de Monte-Carlo se puede aplicar a todo el modelo de riesgo de costo combinado para obtener una distribución de probabilidad combinada.

Para las estimaciones de Clase 5 basadas en la definición de alcance mínimo, el método paramétrico se puede utilizar solo dado el predominio de los impactos de riesgo sistémico; en particular, el bajo nivel de definición del alcance del proyecto [4]. El método del valor esperado tiene poco valor para las estimaciones de Clase 5 porque hay poco o ningún conocimiento de los detalles del proyecto. Para la Clase 4 o mejor, los métodos deben usarse en combinación; esto se trata en RP 113R-20 [5]. Sin embargo, los riesgos sistémicos se pueden cuantificar en el método del valor esperado como incertidumbres individuales basadas en aportes subjetivos del equipo (quizás recopilados en entrevistas individuales para evitar la presión de la gerencia y el sesgo de optimismo).

#### **4.5 Evaluación integral de resultados utilizando simulación de monte carlo**

Habiendo cuantificado y definido distribuciones para las probabilidades (por ejemplo, binomial) y los impactos de los costos (por ejemplo, triangular o pert), y habiendo establecido dependencias entre la ocurrencia del riesgo ay quizás entre los impactos de los costos (y entre cuentas de costos si se usa en las estimaciones de impacto de riesgo), el modelo de riesgo de costo se puede ejecutar a través de una simulación de Monte-Carlo usando un paquete de software comercial disponible.

Una ventaja del método del valor esperado es que se cuantifica el impacto del costo de cada riesgo. Los riesgos se pueden clasificar a través de un diagrama de tornado, por los valores del peor de los casos u otras formas. Esta información puede resultar en el reciclaje del análisis a través de una mayor gestión y tratamiento de riesgos si los resultados del análisis son inaceptables para la dirección.

#### **4.6 Estimación de contingencia y administración de reservas**

El resultado de la simulación de Monte-Carlo es una distribución de los posibles resultados de costos en diferentes niveles de confianza en cada simulación. La contingencia es, entonces, la diferencia entre el costo de estimación base y el costo en cualquier nivel de confianza que desee la administración, dependiendo de su nivel de tolerancia, aceptación o apetito por el riesgo. Por ejemplo, si desean

financiar el proyecto con un 70 por ciento de probabilidad, entonces el valor de financiamiento sería el valor p70 de la distribución del costo de los resultados. La gerencia a veces establece un nivel estándar de tolerancia al riesgo (valor p) para las decisiones de inversión como política de la empresa.

Debido a que la contingencia, por definición, “se espera que se gaste” según RP 10S-90 [6], la mayoría de las empresas financian la contingencia al valor medio o p50 de la distribución. Si el proyecto en general se financió con un valor p más alto (p. Ej., P70), la diferencia entre p50 (o media) y P70 a menudo se incluye como reserva de gestión. Para un proyecto importante que tiene un impacto significativo en el desempeño general del capital de la empresa, el valor p a menudo se establece en un nivel de confianza más alto (p. Ej., P70 a p90 dependiendo de la tolerancia al riesgo) porque no hay un efecto de equilibrio de proyectos igualmente grandes con insuficiencia de recursos. Para proyectos pequeños, para los cuales los altos y bajos de una cartera de capital tenderán a equilibrarse, el financiamiento a menudo se establece en p50 o media. En el caso de las carteras, a menudo se prefiere el valor medio de la financiación porque está ponderado por riesgo (se considera la asimetría) y porque solo los valores medios de las distribuciones del proyecto son aditivos; es decir, la p50 de la cartera no será igual a la suma de las p50 del proyecto.

Tenga en cuenta que este método puede proporcionar una distribución de salida de costos para cada riesgo (incluida la distribución de entrada para los riesgos sistémicos). Si bien los productos medios (valores esperados) se pueden sumar para cada riesgo para llegar a un resultado promedio general o valor esperado, no se pueden sumar los otros rangos (por ejemplo, p90).

#### **4.7 Administración de reservas para alto impacto, riesgos de baja probabilidad**

La contingencia, como concepto de gestión de costos, solo es útil para financiar impactos de riesgo individual nominal que representan una porción limitada del presupuesto de contingencia general. Los impactos de los riesgos susceptibles de gestión de contingencias suelen ser de naturaleza variable o continua, como los impactos del clima o la incertidumbre de la productividad. Los riesgos de alto impacto / baja probabilidad (generalmente de naturaleza discreta o binaria) a menudo no se pueden financiar de manera efectiva con contingencia porque, si el riesgo ocurre, especialmente en su impacto máximo, puede consumir la mayor parte o la totalidad de la contingencia. La respuesta al riesgo a tales riesgos también puede ser cambiar algún aspecto del alcance del proyecto, lo que significa que el negocio debe ser parte de su análisis. No tiene sentido financiar una parte de tales riesgos en caso de contingencia o en otro lugar; Deben financiarse en su totalidad como una reserva de gestión específica o excluirse (o tal vez financiarse en una

contingencia de cartera) con la exclusión claramente comunicada en la base de la estimación y el caso de negocio. Si este es el caso, el análisis de riesgo y el SCV deben volver a ejecutarse a los efectos de la determinación de contingencias, con este riesgo excluido.

## 5 Glosario

Este RP tiene como objetivo guiar a los profesionales en el desarrollo o la selección de métodos de cuantificación de riesgos adecuados para su situación; en este caso, el método del valor esperado. Se anima a los usuarios a estudiar los materiales de referencia, incluidos los otros RP relacionados para métodos alternativos y de apoyo y buscar formas de aplicar los métodos que funcionan mejor en su situación.

## Referencias

1. AACE International, Recommended Practice No. 65-11 *Integrated Risk Analysis and Contingency Determinations Using Expected Value*, AACE International, Morgantown, WV (latest revision).
2. AACE International, Recommended Practice No. 40R-08, *Contingency Estimating – General Principles*, AACE International, Morgantown, WV (latest revision)
3. AACE International, Professional Guidance Document PGD-02, *Guide to Quantitative Risk Analysis*, online referente at [www.aacei.org](http://www.aacei.org)
4. AACE International, Recommended Practice No. 42R-08 *Risk Analysis and Contingency Determination Using Parametric Estimating*, AACE International, Morgantown, WV (latest revision)
5. AACE Internacional, Recommended Practice 113R-20, *Integrated Cost and Schedule Risk Analysis and Contingency Determination Using a Hybrid Parametric and Expected Valued Method*, AACE International, Morgantown, WV (latest revision)
6. AACE Internacional, Recommended Practice 10S-90, *Cost Engineering Terminology*, AACE International, Morgantown, WV (latest revision)
7. Hollman, John K., *The Monte-Carlo Challenge: A Better Approach*, AACE International Transactions, AACE International, Morgantown, WV, 2007
8. Hollman, John K., *Project Risk Quantification*, Probabilistic Publishing, Sugarland TX, 2016
9. Dey, Dr. Prasanta Kumar, *Project Risk Management: A Combined Analytic Hierarchy Process and Decision Tree Approach*, Cost Engineering journal, AACE International, Morgantown, March 2022.

10. Mak, Stephen, Jenny Wong, and David Picken, *The Effect on Contingency Allowances of Using Risk Analysis in Capital Cost Estimating: a Hong Kong Case Study*, *Construction Management and Economics*, 16:6, 615-619, 1998.
11. United States Government Accountability Office, “*GAO Cost Estimating and Assessment Guide*”, GAO-09-3SP, March 2009 (currently in revision)
12. AACE International, Recommended Practice No. 68R-11, *Escalation Estimating Using Indices and Monte Carlo Simulation*, AACE International, Morgantown, WV (latest version)
13. AACE International, Recommended Practice No. 62R-11, *Risk Assessment: Identification and Qualitative Analysis*, AACE International, Morgantown WV (latest revision)
14. Zangeheh, Pouya, B. McCabe, M. Pearson, and I. Mason, “Probabilistic Inference and Elicitation of Structured Expert Knowledge in Industrial Megaprojects”, *Cost Engineering Journal*, AACE International, Morgantown WV, July/August 2019.
15. Hubbard, Douglas, *The Failure of Risk Management: Why It’s Broken and How to Fix It*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2nd ed., 2020.
16. AACE International, Recommended Practice No. 66R-11, *Selecting Probability Distribution Functions for Use in Cost and Schedule Simulation Models*, AACE International, Morgantown, WV (latest revision).

## *Bibliografía*

- [1] ARENAS, C. E. V., TORO, G. M., TORRES, M. C., MENDOZA, O. B., GARCIA, R. H. C., AND GUARDIA, V. M. D. Analisis de riesgo y simulación de montecarlo en la valoración de proyectos aplicación en la industria de los hidrocarburos. *Revista Fuentes El Reventón Energético* 9, 2 (2011), 33–41.
- [2] HOLLMANN, J. K. *Total Cost Management Framework. An integrated approach to portfolio, program, and project management First Edition*. AACE International, Morgantown, WV, 2012.
- [3] HOLLMANN, J. K., CRUZ, F., AND PEREIRA, G. *RISK ANALYSIS AND CONTINGENCY DETERMINATION USING EXPECTED VALUE*. AACE International, Morgantown, WV, 2021.
- [4] MADRID GUIZA, S. A. *DESARROLLO DE UN ALGORITMO GENETICO PARA RESOLVER EL PROBLEMA DE PROGRAMACION DE PROYECTOS CON RECURSOS RESTRINGIDOS (RCPSP) CON DURACION DE ACTIVIDADES ALEATORIAS SOPORTADO EN UN PROCESO DE SIMULACION DE MONTE CARLO*. UIS, Bucaramanga, 2021.