

METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS CON ENFOQUE MULTIAMENAZA Y CRITERIOS PROBABILÍSTICOS EN LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA.



332.672
C8375mto

Costa Rica. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. Área de Inversiones.

Metodología para el análisis de riesgos con enfoque multiamenaza y criterios probabilísticos en los proyectos de inversión pública / Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. – San José, CR : MIDEPLAN, 2021.

1 recurso en línea (38 p.)

ISBN 978-9977-73-202-2

1. METODOLOGIA. 2. INVERSIONES PUBLICAS. 3. PROYECTOS DE INVERSION. 4. RIESGO. 5. ANALISIS DE RIESGOS. 6. COSTA RICA. I. Título.

Mayo, 2021. San José, Costa Rica.
Área de Inversiones
Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica

Elaborado:
Unidad de Inversiones Públicas con el apoyo técnico del Banco Mundial.

Revisado:
Área de Inversiones y Convenio Interinstitucional entre el Ministerio de Agricultura y Ganadería y el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica.

Aprobado:
Despacho Ministerial.

Diseño y diagramación:
Alejandro Mora, Despacho Ministerial

Se autoriza la reproducción total o parcial de este material siempre que se consigne la fuente de información.

Teléfono (506) 2202-8400
Web: www.mideplan.go.cr
Dirección: Edificio Adriático, 75 este y 200 metros norte de Automercado los Yoses,
Barrio Dent, San Pedro de Montes de Oca

ÍNDICE

Presentación	4
Resumen de la metodología	6
Introducción	8
Capítulo I. Determinación del costo esperado de cada riesgo	9
1.1 Identificación	9
1.1.1 Descripción	10
1.1.2 Tipo	10
1.1.3 Etapa	11
1.1.4 Asignación	12
1.1.5 Medidas	12
1.2 Cuantificación	13
1.2.1 Incidencia	13
1.2.2 Nivel de impacto	14
1.2.3 Probabilidad de ocurrencia	15
1.2.4 Probabilidad conjunta	15
1.2.5 Clasificación	15
1.3 Valoración	16
1.3.1 Costo base	16
1.3.2 Costo de impacto	17
1.3.3 Costo afectado	18
1.3.4 Costo esperado	18
Capítulo II. Estimación del costo total esperado de los riesgos identificados	22
1.4 Simulaciones tipo Montecarlo para determinar el costo total esperado	22
Capítulo III. Incorporación de los resultados del análisis de riesgos en la evaluación del proyecto	25
Bibliografía	29
Glosario	30
Anexos	31
Anexo I. Funciones de distribución más comunes en el análisis de riesgos	31
Anexo II. Ejemplo de aplicación de la Incorporación del riesgo a los indicadores de evaluación socioeconómica y financiera	35

PRESENTACIÓN

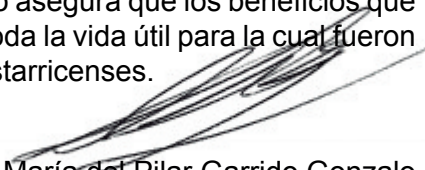
El Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (Mideplan) entrega un nuevo producto orientado a fortalecer los procesos de generación de bienes de capital. Esto es consistente con los tiempos que se viven y que obligan a reconsiderar las necesidades de proteger el esfuerzo que la sociedad realiza por contar con infraestructura que mejore la eficiencia y la seguridad de los servicios y la producción en el país.

La Ley 5525 “Ley de Planificación Nacional” señala que corresponde a Mideplan vigilar que los programas de inversión pública del país estén alineados con las prioridades del Plan Nacional de Desarrollo y de Inversión Pública. Para esto, a través del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) esta institución ha desarrollado diversos instrumentos metodológicos para asegurar que los recursos públicos destinados a la inversión pública rindan el mayor beneficio social, económico y ambiental al país. Esto, gracias a un sistema integral de análisis, seguimiento y evaluación de la inversión pública durante todo su ciclo de vida.

Por lo anterior, las Normas Técnicas, Lineamientos y Procedimientos de Inversión Pública, que corresponde a uno de los componentes del SNIP, incluyen como un tema de suma relevancia la incorporación de la reducción del riesgo ante los diferentes fenómenos naturales, socio-naturales y antrópicos en los proyectos de inversión pública. Este análisis permite incorporar, al momento de la evaluación de los proyectos, los costos asociados a las medidas de prevención y mitigación de estos riesgos para la continuidad del servicio durante su vida útil.

Asimismo, el país ha avanzado en distinta normativa para incorporar las medidas de resiliencia en la infraestructura pública, el artículo 5 del Decreto Ejecutivo 42465-MOPT-MINAE-MIVAH indica que las instituciones a cargo de la gestión de la inversión pública deberán aplicar las herramientas necesarias para la evaluación del riesgo bajo un enfoque multiamenaza en todo el ciclo de vida de las obras o proyectos, incluyendo así las proyecciones de cambio climático y su variabilidad, además de otros tipos de amenazas naturales y antropogénicas. Lo anterior, deberá realizarse en un proceso progresivo y ordenado que contemple la identificación de los factores de riesgo, la determinación de los daños y pérdidas probables y las medidas necesarias para su control y manejo.

En este sentido, Mideplan, como rector en inversión pública, en atención a lo anteriormente señalado, presenta esta Metodología para el análisis de riesgos con enfoque multiamenaza y criterios probabilísticos en los proyectos de inversión pública, la cual representa un esfuerzo institucional por brindar las herramientas necesarias a las instituciones bajo la cobertura del SNIP para mejorar sus procesos de formulación y evaluación de los proyectos de inversión pública a desarrollar y así promover la correcta gestión y mitigación de los riesgos que puedan materializarse. Asimismo, este esfuerzo asegura que los beneficios que se derivan de estas inversiones se extiendan a lo largo de toda la vida útil para la cual fueron concebidos y mejorar así la calidad de vida de las y los costarricenses.



María del Pilar Garrido Gonzalo
Ministra

SIGLAS

CAE:	Costo anual equivalente.
CB:	Costo base.
CI:	Costo de impacto.
CTE:	Costo total esperado.
MINAE:	Ministerio del Ambiente y Energía.
MIVAH:	Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos.
MOPT:	Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
SMART:	acrónimo en inglés, el cual significa que los riesgos deben ser específicos, medibles, alcanzables, relevantes y temporalmente identificables.
TIR:	Tasa interna de retorno.
VAC:	Valor actual de los costos.
VAN:	Valor actual neto.

RESUMEN DE LA METODOLOGÍA

Una de las metodologías para realizar el análisis de riesgos en los proyectos de inversión pública con enfoque multiamenaza y análisis probabilística, se muestra en la figura 1. Esta metodología se puede dividir en dos grandes partes, la primera corresponde a la estimación del costo esperado de cada riesgo, mientras la segunda permite determinar el costo total esperado de todos los riesgos que podrían afectar al proyecto.

La estimación del costo esperado de cada riesgo se realiza mediante el desarrollo de los componentes de identificación, cuantificación y valoración en forma determinística. La identificación corresponde a la definición de las variables cualitativas asociadas al riesgo: descripción, tipo, etapa del ciclo de vida del proyecto en la cual puede materializarse, la asignación del riesgo al agente económico más preparado para administrarlo y, por último, las posibles medidas de mitigación que se están llevando a cabo en el proyecto para minimizar el riesgo.

Todas esas variables se toman en cuenta para el siguiente componente que consiste en la cuantificación, cuyos insumos corresponden al nivel de impacto esperado sobre el proyecto si el riesgo se materializa y su probabilidad de ocurrencia, variables utilizadas para determinar la probabilidad conjunta. Este componente permite clasificar los riesgos de acuerdo con su nivel de importancia, así como priorizar esfuerzos para su manejo y estimar el nivel de incidencia sobre los diferentes elementos del proyecto.

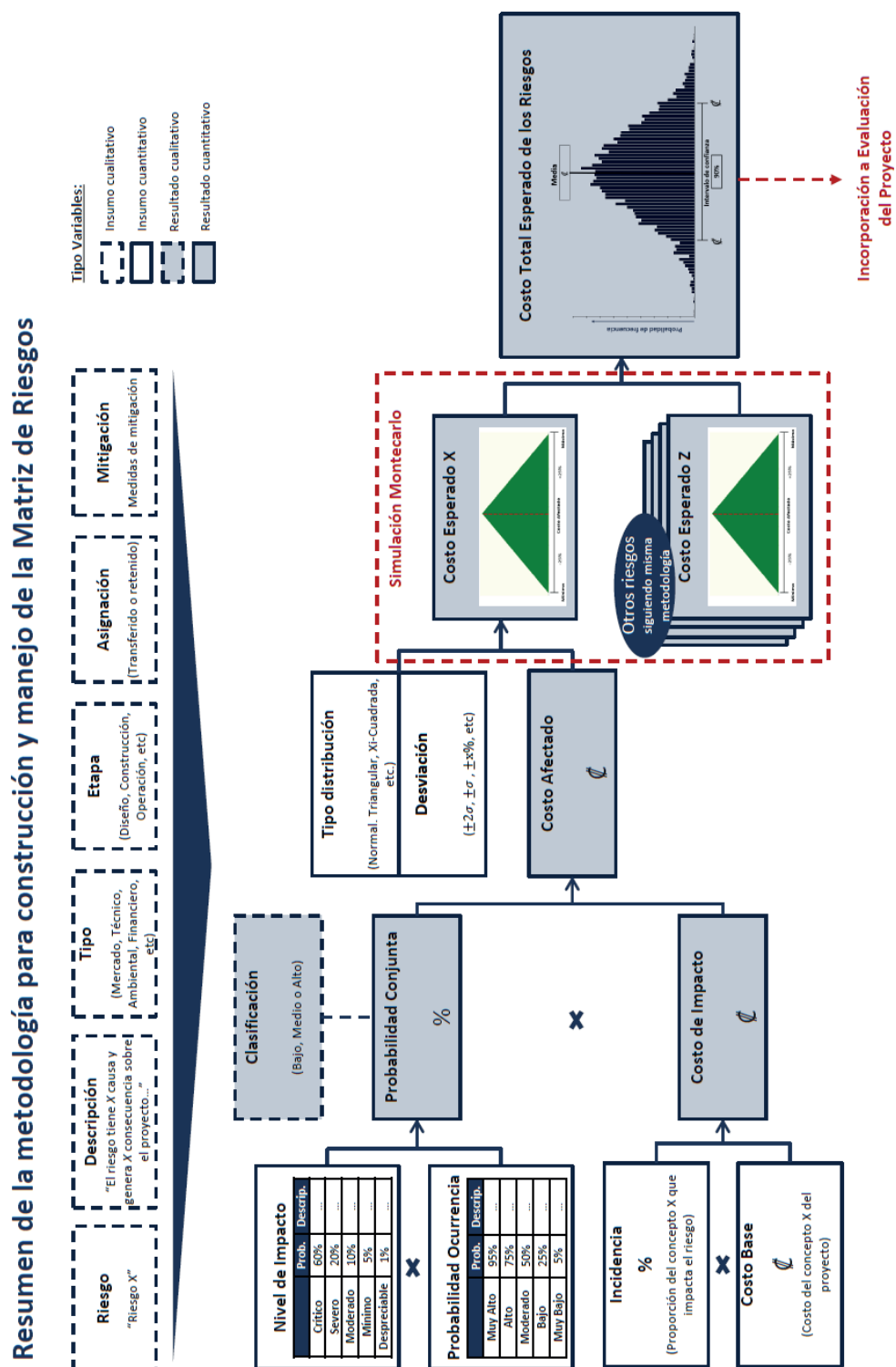
La incidencia, en conjunto con el costo base, que se determina como variable del componente de valoración, dan como resultado el costo de impacto en el proyecto que, a su vez, en combinación con la probabilidad conjunta obtenida, arrojan como resultado el costo afectado del riesgo.

Como segundo elemento de la metodología, se determina el costo total esperado (CTE) de los riesgos del proyecto, que tomará en consideración el costo esperado de cada riesgo, el cual corresponde al resultado de asignar a los costos afectados una función de distribución de probabilidad, así como su respectiva desviación, ya que se requieren insumos probabilísticos para determinar el CTE.

De esta forma, la determinación del CTE consiste en agregar todos los riesgos identificados mediante la metodología del análisis Montecarlo, con la que se genera un valor probabilístico que cuenta con una función de distribución tipo normal y, como tal, permite hacer inferencia estadística de manera concreta.

En este sentido, el resultado del CTE se puede incorporar a la evaluación financiera o económica-social del proyecto, de conformidad con el método de evaluación aplicable.

Figura 1. Esquema metodológico del análisis de riesgos en proyectos



INTRODUCCIÓN

La metodología que a continuación se presenta, sirve como herramienta de referencia para que las entidades a cargo de la infraestructura pública puedan aplicarla para la evaluación del riesgo bajo un enfoque multiamenaza en todo el ciclo de vida de los proyectos de inversión pública, como lo establece el Artículo 5 del Decreto Ejecutivo 42465-MOPT-MINAE-MIVAH referente a los Lineamientos generales para la incorporación de las medidas de resiliencia en infraestructura pública. La metodología se desarrolla en tres capítulos de acuerdo con lo siguiente:

- Capítulo I. Corresponde a una propuesta metodológica para determinar el costo esperado de cada uno de los riesgos que podrían materializarse a lo largo del horizonte de vida de un proyecto. Su aplicación implica el desarrollo de tres componentes para cada riesgo: identificación, cuantificación y valoración.

La matriz general de riesgos (MGR) comprende e integra los resultados de cada uno de los riesgos analizados. Esta matriz corresponde a una herramienta de gestión de los riesgos identificados durante cada etapa del proyecto y permite una presentación de los resultados en forma simple, accesible y fácil de utilizar para la toma de decisiones.

- Capítulo II. Describe el procedimiento de integración de todos los riesgos que se identificaron, cuantificaron y valoraron en el capítulo I para determinar el costo total esperado. Para ello se utiliza el método probabilístico denominado Modelación Montecarlo.¹
- Capítulo III. Este capítulo indica la forma en que los resultados del análisis de riesgo se incorporan en la evaluación ex ante de los proyectos, de acuerdo con lo establecido en el artículo 9 del Decreto Ejecutivo 42465-MOPT-MINAE-MIVAH.

Esta metodología puede ser utilizada por las entidades que no cuentan con metodologías propias para la estimación de los riesgos o en complemento con otras metodologías según el tipo de proyecto.

Cabe mencionar que la MGR que se propone para determinar el costo esperado de cada riesgo aplica de la misma forma para cada una de las etapas de la fase de pre-inversión. De esta manera, la única diferencia entre ejecutar este método para la etapa de perfil, pre-factibilidad y factibilidad es la rigurosidad en las fuentes de información que alimentan los insumos de la matriz.

¹ Por esta razón, la metodología se trata de un método complejo que se recomienda utilizar para la evaluación de los riesgos en los proyectos, de conformidad con el Artículo 7 del Decreto Ejecutivo N° 42465-MOPT-MINAE-MIVAH.

CAPÍTULO I. DETERMINACIÓN DEL COSTO ESPERADO DE CADA RIESGO

1.1 Identificación

En esta sección se deben identificar todos los eventos que tengan alguna consecuencia en el desarrollo o desempeño de los proyectos. De acuerdo con Ernesto Fontaine², los mayores errores en la evaluación de un proyecto se cometen durante esta etapa de identificación de costos asociados a riesgos que efectivamente puedan afectar a un proyecto. Por lo anterior, es de suma importancia la correcta identificación de los riesgos que puedan ocurrir durante el ciclo de vida del proyecto, según lo establecido en el inciso a del artículo 8 del Decreto Ejecutivo 42465-MOPT-MINAE-MIVAH.

Existen varias maneras de identificar los riesgos asociados a un proyecto, se pueden realizar talleres de identificación con la colaboración de expertos, revisión de literatura, búsqueda de proyectos similares o también se pueden realizar metodologías más elaboradas. En el caso de los riesgos asociados a fenómenos naturales es relevante apoyarse en equipos multidisciplinarios con conocimientos de los fenómenos geológicos, climáticos, entre otros. Asimismo, el uso de todo tipo de herramientas tecnológicas y geográficas que compilan registros históricos de los fenómenos y eventos son de mucha utilidad para identificar las amenazas. La selección de las técnicas más adecuadas depende de diversos factores, como la etapa de estudio del proyecto (perfil, prefactibilidad o factibilidad)³, el nivel de complejidad del análisis o el presupuesto que conlleva su elaboración.

Las entidades pueden tomar en consideración el principio SMART⁴ para determinar cada riesgo. SMART es un acrónimo en inglés, el cual significa que los riesgos deben ser específicos, medibles, alcanzables, relevantes y temporalmente identificables. La importancia de esta estrategia es que enmarca las características que debe tener un riesgo para incluirlo dentro de la matriz general de riesgos (MGR), lo cual permite hacer una selección más precisa de los mismos y una mejor estrategia de mitigación. Además, una herramienta que puede facilitar que los riesgos cumplan con el principio SMART es la estructura de desglose de riesgos (RBS por sus siglas en inglés).⁵

Para la identificación a nivel perfil es recomendable realizar una revisión literaria de gestión de riesgos de los proyectos, así como investigar de los riesgos presentados en proyectos similares. Con esto, lo que se busca es comprender de la forma más detallada posible los riesgos y experiencias que se han presentado al momento de realizar un

² Evaluación Social de Proyectos; Fontaine, Ernesto R; Editorial Pearson; Decimotercera edición.

³ Se reitera la importancia de realizar la identificación de riesgos para cada etapa del proyecto, la única diferencia entre etapas radica en la rigurosidad de las fuentes de información.

⁴ Doran, George T. "There's a SMART way to write management's goals and objectives." Management review 70.11

⁵ RBS es la metodología de análisis de riesgos conocida como *Risk Breakdown Structure*.

proyecto similar al que se tenga contemplado. Como fue referido, este aspecto es clave en la identificación de los riesgos ante fenómenos naturales.

De esta manera, las variables que se deben tomar en cuenta en este componente de identificación corresponden a la descripción del riesgo, el tipo de riesgo, la etapa en el ciclo de vida del proyecto, la asignación del riesgo al agente económico más preparado para administrarlo y las medidas de mitigación que contempla el proyecto para minimizar el riesgo. Cada una de estas se detalla a continuación.

Tabla 1. Matriz general de riesgos, sección de identificación⁶

Riesgo	Descripción	Tipo	Etapas (operación, mantenimiento, etc.)	Asignación	Medidas de mitigación

Fuente: Elaboración propia con base en prácticas de análisis de riesgos en proyectos de Inversión Pública.

1.1.1 Descripción

La descripción es un insumo del tipo cualitativo para la construcción de la MGR. El objetivo de esta variable es explicar de forma clara en qué consiste cada riesgo de acuerdo con su tipo, la causa original del riesgo⁷ y las consecuencias que pueda tener sobre el proyecto.

En el caso de los riesgos ante fenómenos naturales, se incluyen todas las características del fenómeno asociado con la amenaza natural y los elementos que hacen al proyecto susceptible a sufrir daños.

A medida que se avance en las etapas de perfil, prefactibilidad y factibilidad, la descripción debe ser más detallada, principalmente, respecto al efecto que se pueda generar sobre el proyecto.

1.1.2 Tipo

Cada riesgo es de una tipología particular que puede impactar de diferente manera sobre el proyecto, por esto, es conveniente clasificar a cada uno de ellos dentro de un tipo de riesgo.

Los tipos de riesgos que se deben incluir en los proyectos no son siempre los mismos, pues dependen de particularidades de estos. Sin embargo, con el fin de asegurar que el análisis de riesgos cuente con un enfoque transversal, las entidades requieren contemplar además de los riesgos ante amenazas naturales que son de alto impacto en los proyectos, al menos los siguientes tipos de riesgos:

⁶ Todas las variables de la sección de identificación son insumos de tipo cualitativo.

⁷ La causa original hace referencia al fenómeno (amenaza) o condición primaria que, al interactuar con las características propias del proyecto puede generar un impacto negativo sobre este.

Tabla 2. Tipos de riesgos en proyectos

Tipo	Ejemplo de Riesgo ⁸
Riesgo por fenómenos naturales	-Fenómenos hidrometeorológicos: riesgo de inundación que detenga o incluso comprometa la operación del proyecto
Riesgo de mercado - demanda	-Reducción de la demanda: riesgo que por causas ajenas al proyecto se reduzca la demanda del bien o servicio proveído en el proyecto, perjudicando sus indicadores de rentabilidad.
Riesgo de mercado - oferta	-Falta de disponibilidad de materiales: riesgo de incapacidad de cumplir la demanda de bienes o servicios del proyecto debido a la falta de insumos.
Riesgo técnico	-Diseño Inadecuado: riesgo de obsolescencia de estudios topográficos que impliquen una ingeniería para el proyecto insuficiente, lo que genere la necesidad de realización de obras complementarias respecto al diseño original.
Riesgo de operatividad	-Retraso en la adquisición de terrenos: riesgo de perjudicar el avance de un proyecto por no contar con los derechos/permisos requeridos del área de construcción.
Riesgo de entorno social	- Conflictos sociales ajenos al proyecto: riesgos de conflictos ajenos al proyecto tales como manifestaciones, bloque de vías, etc., que perjudiquen el desarrollo del proyecto.
Riesgo institucional	-Conflicto entre órdenes de gobierno: riesgo de discrepancias entre legislaciones de diferentes niveles de gobierno, perjudicando el desarrollo y cumplimiento de calendario del proyecto.
Riesgo político	-Cambios legislativos: riesgo de modificaciones legislativas que puedan perjudicar o incluso detener un proyecto.
Riesgo ambiental	-Mala administración de desechos: riesgo de multas/castigos derivados de afectaciones a terceros por una mala administración de desechos derivados de la operación del proyecto.
Riesgo legal	- Terminación anticipada del contrato: riesgo de una terminación anticipada y no justificada en el contrato de un proyecto.
Riesgo administrativo	-Mala gestión del proyecto: riesgo de que un proyecto se vea perjudicado por una mala administración por parte del desarrollador
Riesgo financiero	-Fluctuación del tipo de cambio: riesgo de que los indicadores de rentabilidad de un proyecto se vean afectados por una fluctuación del tipo de cambio
Riesgo tecnológico	-Falta de acceso a tecnología: riesgo de no contar con la tecnología requerida para llevar a cabo el proyecto

Fuente: Elaboración propia con base en información de riesgos en proyectos de inversión en Latinoamérica.

1.1.3 Etapa

Parte de la identificación consiste en determinar en qué etapa del proyecto puede materializarse el riesgo, esto permite observar qué ciclos del proyecto presentan el mayor riesgo y, por lo tanto, diseñar una estrategia para una buena ejecución. Además, el impacto de un fenómeno puede ser distinto dependiendo de la etapa en la que ocurra, por ejemplo, el impacto de un terremoto puede ser fatal para un edificio que se encuentre en la etapa de construcción; sin embargo, su efecto puede ser insignificante si el proyecto se encuentra en la etapa de diseño.

⁸ Son ejemplos por tipo de riesgo, mas su identificación no debe limitarse a estos ejemplos.

1.1.4 Asignación

Como se mencionó anteriormente, los riesgos pueden variar dependiendo del tipo de proyecto, así como del tipo de contrato que se apruebe. Un proyecto puede ser ejecutado en su totalidad por un organismo público, por una entidad privada o por una colaboración entre agentes públicos y privados, también conocidos como asociaciones público-privadas (APP).

Una de las características principales es que los riesgos deben ser asignados en función del agente que se encuentre mejor preparado para evaluarlos, administrarlos, controlarlos y mitigarlos. Es por esto que, dependiendo del tipo de proyecto, los riesgos deben ser asignados entre autoridad (retención del riesgo) y participantes del sector privado (transferencia del riesgo).

En este sentido, en un proyecto de infraestructura de APP ante un riesgo de diseño inadecuado, quien puede mitigarlo de manera más eficiente es el agente privado gracias al nivel de especialización y experiencia que se requiere para ejecutar esa clase de proyectos. Por lo tanto, en este caso se transfiere el riesgo al agente privado, por lo que la asignación del riesgo sería “transferido”. Cabe mencionar que, en el caso en que el proyecto se realice mediante obra a cargo solo de la entidad pública el responsable de mitigar dicho riesgo es el sector público, por lo que la asignación del riesgo sería “retenido”.

Esta sección es relevante solo cuando la evaluación de un proyecto se hace desde la perspectiva financiera (evaluación financiera), cuando se hace desde la perspectiva pública (evaluación económica-social) no influye, ya que solo se transfiere el costo de un agente a otro.

1.1.5 Medidas

Las medidas de mitigación consisten en las estrategias que se están llevando a cabo como parte del proyecto para minimizar el impacto generado en caso de materializarse un riesgo (**nivel de impacto**)⁹ o minimizar la **probabilidad de ocurrencia**¹⁰ del mismo.

Usando el ejemplo anterior de riesgo por diseño inadecuado, una estrategia de mitigación es el llevar a cabo varios diseños y propuestas de trazados alternativos para determinar cuál es el más conveniente (que es el que se eligió parte del proyecto). De esta manera, aunque el riesgo por diseño inadecuado aún existe, este está minimizado, pues se llevaron a cabo medidas de mitigación como parte del proceso de planificación del proyecto.

⁹ Variable descrita en la sección de Valoración.

¹⁰ Idem.

1.2 Cuantificación

La cuantificación consiste en estimar el daño que puede generar un determinado fenómeno, como es el caso de los fenómenos naturales, sobre el proyecto. En la etapa de perfil, prefactibilidad o factibilidad, la cuantificación de riesgos es fundamental en la evaluación de un proyecto debido a que los costos potenciales influyen de manera directa sobre la rentabilidad del proyecto.

Para valorar un fenómeno es necesario clasificar el efecto que pueda tener sobre algún aspecto en particular del proyecto. Asimismo, se debe evaluar qué probabilidad tiene un riesgo de materializarse a lo largo del horizonte de vida de un proyecto.

De esta manera, la importancia de la cuantificación de los riesgos radica en disminuir la incertidumbre que ciertos eventos pueden generar sobre un proyecto. A continuación, se explica de manera detallada cada elemento de la sección de valoración de la matriz general de riesgos.

Tabla 3. Matriz general de riesgos, sección de cuantificación

Incidencia	Nivel de impacto	Probabilidad de ocurrencia	Probabilidad conjunta	Clasificación

Fuente: Elaboración propia con base en prácticas de análisis de riesgos en proyectos de inversión pública.

1.2.1 Incidencia

Cuando un riesgo se materializa, su efecto puede repercutir sobre todo el proyecto o sobre un aspecto en particular. La incidencia corresponde al porcentaje del concepto (o componente) del proyecto que se verá afectado por la materialización del riesgo, independientemente de la etapa del ciclo de vida del proyecto en el que ocurra (ejemplo costo de obra civil, costos de mantenimiento, proyecto ejecutivo, etc.), es decir, la materialización de un riesgo puede afectar a todo el concepto (100%) o solo a un porcentaje de este.

Para explicar a la variable “incidencia” de manera más detallada, se toma el caso de una fluctuación del tipo de cambio. Suponiendo que todos los costos de los materiales de una empresa de construcción establecida en Costa Rica se encuentran en dólares, la incidencia del riesgo sería “100% sobre costos materiales de la obra”.

Sin embargo, debido a que en la práctica la mayoría de los materiales se obtienen de manera local y solo un porcentaje son importados, la incidencia debe ser menor al 100%, por ejemplo, si el 25% de los materiales son importados en dólares y el 75% son locales, la incidencia de un riesgo por fluctuación de tipo de cambio corresponde a 25% sobre los costos totales de obra.

1.2.2 Nivel de impacto

El nivel de impacto representa la magnitud de afectación que puede tener la ocurrencia de un fenómeno sobre algún concepto del proyecto (costos de operación, costos de mantenimiento, etc.) en caso de que este llegara a presentarse, es decir, a mayor impacto, mayores consecuencias tendrá dicho fenómeno sobre ese concepto del proyecto. Para los riesgos por fenómenos naturales, las entidades deben considerar que el nivel de impacto incluya la evaluación de la vulnerabilidad, la cual determina los factores de fragilidad de la infraestructura al ser impactada por un evento dañino, en concordancia con lo relativo al inciso c del artículo 8 del Decreto Ejecutivo 42465-MOPT-MINAE-MIVAH.

Aunque la variable de nivel de impacto corresponde a un insumo cuantitativo en la matriz de riesgos, en la etapa de perfil se puede realizar un análisis cualitativo del nivel de impacto, que a su vez se traduzca en un dato cuantitativo. Para esto, se necesita utilizar un cuadro que, de acuerdo con ciertos criterios específicos de cada riesgo, permitan clasificarlo en categorías de acuerdo con su criticidad.

A continuación, se propone una clasificación de 5 diferentes niveles, los cuales tienen como objetivo valorar la criticidad de un riesgo en caso de que este ocurriese y asignarle un valor numérico a su impacto que permita el ejercicio cuantitativo de la matriz de riesgos.

Tabla 4. Clasificación de nivel de impacto¹¹

Nivel de Impacto	Criterio	Impacto en Porcentaje
Crítico	Cualquier impacto que podría llevar a la cancelación o interrupción del proyecto	60.00%
Severo	Cualquier impacto que coloque en peligro el objetivo del proyecto o que puedan llevar a un impacto significativo en el largo plazo	20.00%
Moderado	Cualquier impacto que causaría un cambio en la planificación de manera significativa o que podría conducir a un efecto notable e inoportuno para el proyecto	10.00%
Mínimo	Cualquier impacto que puede ser tratado al interior del equipo de proyecto y que no tendría ningún efecto en el largo plazo	5.00%
Despreciable	Cualquier impacto que afecta de manera insignificante o produce algún efecto adverso significativo sobre el ciclo de vida del proyecto	1.00%

Fuente: Elaboración propia con base en prácticas de análisis de riesgos en proyectos de Inversión Pública

Cabe mencionar que el nivel de impacto asignado a cada riesgo se asigna considerando que se llevan a cabo las acciones descritas en la variable 1.1.5 Medidas, es decir, las medidas están internalizadas y forman parte del proyecto.

¹¹ Los valores propuestos se hicieron con base en opinión de expertos con experiencia de proyectos de inversión pública en América Latina. Si se quisiera elaborar un cuadro específico a la situación de Costa Rica, se recomienda construirlo con metodologías cualitativas como el Método de Delphi, panel de expertos, estudios de mercado o datos históricos de instituciones públicas de Costa Rica.

1.2.3 Probabilidad de ocurrencia

La probabilidad de ocurrencia se entiende como la posibilidad de que un riesgo se presente durante el ciclo de vida del proyecto. De la misma forma que en el análisis de nivel de impacto, esta variable es un insumo cuantitativo. Sin embargo, a nivel perfil se puede realizar una clasificación cualitativa que represente los diferentes escenarios de ocurrencia de un evento y estos estén relacionados con una probabilidad de ocurrencia cuantificable.

Las entidades podrán aplicar la siguiente clasificación de 5 niveles, los cuales consideran una varianza de +/- 25% respecto al caso moderado para casos conservadores (alto y bajo) y +/- 45% para casos extremos (muy alto y muy bajo). Esta clasificación igual que la propuesta para el nivel de impacto, puede variar dependiendo del tipo de proyecto y los eventos comúnmente observados en dichos proyectos.

Tabla 5. Clasificación de probabilidad de ocurrencia¹²

Probabilidad de ocurrencia	Descripción	Probabilidad
Muy Alto	Es prácticamente un hecho que el riesgo ocurra durante el ciclo de vida del proyecto	95.00%
Alto	Es probable que el riesgo ocurra durante el ciclo de vida del proyecto	75.00%
Moderado	Puede o no ocurrir el riesgo ocurra durante el ciclo de vida del proyecto	50.00%
Bajo	Es improbable que el riesgo ocurra durante el ciclo de vida del proyecto	25.00%
Muy Bajo	Es muy difícil que el riesgo ocurra durante el ciclo de vida del proyecto	5.00%

Fuente: Elaboración propia con base en prácticas de análisis de riesgos en proyectos de Inversión Pública.

Cabe mencionar que la probabilidad de ocurrencia asignado a cada riesgo debe ser tomando en cuenta que se llevan a cabo las medidas de mitigación descritas en la sección 1.1.5, pues estas medidas ya están internalizadas y forman parte del proyecto.

1.2.4 Probabilidad conjunta

Este es el primer resultado cuantitativo de la MGR y la probabilidad conjunta resulta de la multiplicación del nivel de impacto y la probabilidad de ocurrencia.

$$\text{Probabilidad conjunta} = \text{Nivel de impacto} * \text{Probabilidad de ocurrencia}$$

1.2.5 Clasificación

El análisis de riesgos permite identificar los eventos de mayor relevancia sobre un proyecto. Para determinar la relevancia de un riesgo y poder concluir qué riesgos son los más importantes de analizar, es necesario jerarquizar dicha relevancia.

Las entidades podrán clasificar los riesgos en cinco categorías: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo, en función de su probabilidad de ocurrencia y el nivel de impacto que tengan sobre el proyecto. A continuación, se muestra la matriz para la clasificación de riesgos.

¹² Ídem.

Tabla 6. Matriz de Clasificación de Riesgos

		Nivel de impacto				
		Despreciable	Mínimo	Moderado	Severo	Crítico
Probabilidad de ocurrencia	Muy alto	Bajo	Medio	Alto	Alto	Muy alto
	Alto	Bajo	Medio	Alto	Alto	Muy alto
	Moderado	Bajo	Medio	Medio	Alto	Muy alto
	Bajo	Muy bajo	Bajo	Medio	Medio	Alto
	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Medio

Fuente: Elaboración propia con base en prácticas de análisis de riesgos en proyectos de Inversión Pública.

La matriz de clasificación de riesgos identifica los riesgos que tengan una probabilidad de ocurrencia muy alta, así como un impacto importante en el desarrollo del proyecto. De igual manera, identifica los riesgos que, además de contar con una probabilidad de ocurrencia muy baja, el impacto que generarían sobre el proyecto sería casi imperceptible. De esta manera, la matriz de clasificación ayuda a mejorar la gestión de riesgos y concentrar los recursos y esfuerzos sobre los eventos de mayor repercusión sobre el proyecto.

1.3 Valoración

El siguiente paso del análisis de riesgos consiste en valorar los riesgos asociados al proyecto. Una vez cuantificado cada riesgo e identificados los efectos de su materialización sobre los diferentes componentes del proyecto, es decir, una vez que se logra identificar la probabilidad de ocurrencia, el nivel de impacto y la incidencia, se procede a la valoración del riesgo.

Tabla 7. Matriz general de riesgos, sección de valoración

Costo base	Costo de impacto	Costo afectado	Tipo de distribución	Desviación	Costo esperado	Costo total esperado

Fuente: Elaboración propia con base en prácticas de análisis de riesgos en proyectos de Inversión Pública.

Para fines de la valoración del riesgo por fenómenos naturales, las entidades requieren considerar como elementos para la estimación del riesgo, las pérdidas probables del proyecto u otros elementos del sistema social y ambiental que se le asocia, como resultado del impacto directo o indirecto del evento dañino. Se deben tomar en cuenta datos históricos de los eventos y pérdidas ocurridas y la elaboración de escenarios sobre comportamientos futuros de las amenazas y sus impactos en la infraestructura.

1.3.1 Costo base

El costo base representa el costo total del concepto (componente) del proyecto que sufriría el daño si el riesgo se materializa. En el ejemplo anterior, este representa el costo total de la obra, es decir, es el valor total del activo que sería impactado en caso de materializarse el riesgo.

Cabe mencionar que el costo base debe ser presentado en valor presente debido a que en los proyectos existen costos que se generan a lo largo del ciclo de vida del proyecto,

por ejemplo, los costos de mantenimiento son costos que se erogan conforme se va desarrollando el proyecto; sin embargo, los mantenimientos realizados dentro de 10 años no pueden valorarse de igual manera que los costos observados hoy, por eso, dichos costos deben ser traídos a valor presente para incorporarlos correctamente dentro del costo base.¹³

1.3.2 Costo de impacto

Esta variable es el resultado de la conjunción de las variables de Incidencia y costo base, que para los riesgos por fenómenos naturales incluirá los elementos de evaluación de la exposición en concordancia con lo referido en el artículo 8 inciso b del Decreto Ejecutivo 42465-MOPT-MINAE-MIVAH.

El costo de impacto corresponde al valor monetario de la incidencia del riesgo. El costo de impacto se define como:

$$\text{Costo de impacto (CI)} = \text{Incidencia} * \text{Costo base (CB)}$$

Donde:

- Costo base: representa el costo total del concepto que se vería afectado por el riesgo.
- Incidencia: porcentaje de afectación del componente.
- Continuando con el ejemplo del tipo de cambio, si la incidencia de un riesgo por fluctuación del tipo de cambio corresponde al 25% de los costos de construcción y los costos de construcción de dicho proyecto equivalen a ¢100 millones; entonces el costo del impacto es ¢25 millones.

$$CI = 0,25 * \text{¢}100.000.000 = \text{¢}25.000.000$$

A continuación, se muestran los resultados cuantitativos de las secciones 1.2 y 1.3 obtenidos hasta el momento, los cuales serán necesarios para realizar los cálculos posteriores.

Tabla 8. Resultados para la cuantificación de riesgos

Riesgo	Riesgo de impacto (A)	Probabilidad de ocurrencia (B)	Probabilidad conjunta (A*B)	Incidencia (I)	Costo base (CB)	Costo de impacto CI = CB * I
Fluctuación del tipo de cambio	10%	50%	5%	25% costos de construcción	¢100 millones	¢25 millones

¹³ Para obtener el valor presente del costo base se utilizará como tasa de descuento la TREMA (Tasa de retorno mínima atractiva) si se trata de una evaluación financiera y la TSD (Tasa social de descuento) si se trata de una evaluación social.

1.3.3 Costo afectado

El costo de impacto representa el costo total que puede generar un riesgo sin considerar su probabilidad de ocurrencia [0,1] o su nivel de impacto (crítico, severo, etc.). Por lo tanto, para poder estimar un costo más preciso es necesario agregar la probabilidad de ocurrencia y el nivel de impacto que se espera con la materialización del riesgo. El cálculo para el costo afectado de cada riesgo queda de la siguiente forma:

$$\text{Costo afectado} = \text{Costo de impacto} * \text{Probabilidad conjunta}$$

Siguiendo el ejemplo de riesgo de fluctuación de tipo de cambio, donde el costo de impacto es de \$25 millones. Si consideramos una probabilidad de ocurrencia moderada (50%) y un riesgo de impacto moderado (10%), la probabilidad conjunta de este riesgo equivale a 5%.

Por lo tanto, el costo afectado de una fluctuación del tipo de cambio sobre los costos de construcción es:

$$\text{Costo afectado} = \$25.000.000 * 0,05 = \$1.250.000$$

Hasta el momento, los análisis realizados en las secciones de identificación, cuantificación y en esta sección de valoración, se han realizado sin considerar un elemento muy importante de los riesgos, el cual es que todos los riesgos contienen un elemento estocástico.

El riesgo es un evento que, así como puede ocurrir, también puede que no ocurra; esto quiere decir que no se puede saber con certeza de qué manera se comportará un riesgo o el verdadero impacto que pueda tener sobre el proyecto si se materializa. Sin embargo, es necesario representar y cuantificar esta incertidumbre que va de la mano con los riesgos, ya que esto brindará certeza al proyecto y generará confianza para los involucrados en él.

1.3.4 Costo esperado

El cálculo del costo afectado corresponde a la multiplicación del costo de impacto y la probabilidad conjunta, que a su vez esta resulta del producto de la probabilidad de ocurrencia y el nivel de impacto. Este proceso considera la probabilidad de ocurrencia de un riesgo y la traslada hasta el costo afectado; sin embargo, una de las características de un riesgo es que su comportamiento es aleatorio, en otras palabras, un riesgo es una variable estocástica. Por lo tanto, el costo afectado forma parte de un proceso estocástico.

Que una variable sea estocástica significa que toma un determinado valor con cierta probabilidad. Una de las características de la variable aleatoria o estocástica es que posee una función la cual asigna un valor con cierta probabilidad, de esta manera, explicar su comportamiento; a esta función se le llama distribución de probabilidad.

Por lo anterior, el costo esperado resulta de asignar una función de distribución al riesgo analizado, el cual se verá reflejado en última instancia sobre el costo afectado y, finalmente, estimar el costo con base en la función de distribución. En el caso de los

riesgos por fenómenos naturales conforme a las metodologías de enfoque probabilista, se puede considerar como costo esperado, el resultado de la pérdida anual promedio esperada como insumo para la determinación del costo total de riesgos. En resumen, la diferencia entre el costo afectado y el costo esperado radica en que este último cuenta con una función de distribución, la cual será utilizada para estimar el costo total de los riesgos asociados al proyecto.

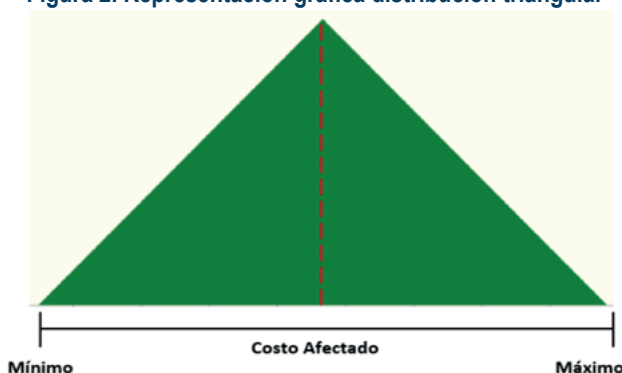
1.3.4.1 Tipo de distribución

Para asignar una función de distribución al costo esperado, es necesario conocer el comportamiento del riesgo asociado. En el anexo I se presentan algunas funciones de distribución que podrían utilizarse. En el caso de la etapa de perfil, si no se conoce de manera certera la distribución de un riesgo, se le puede asignar una distribución triangular¹⁴, la cual está definida por tres parámetros: mínimo (a), máximo (b) y la moda (c). La moda es el valor con mayor probabilidad de ocurrencia y mientras más se aleje de este punto, la oportunidad de ocurrencia será cada vez menor.

Su función de densidad está dada por:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} & a \leq x \leq c \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(c-a)} & c \leq x \leq b \end{cases}$$

Figura 2. Representación gráfica distribución triangular



Fuente: Elaboración propia.

¹⁴ A nivel perfil, se sugiere esta distribución gracias a su simplicidad, esto ya que los insumos no necesitan un análisis muy riguroso. Además, debido a que la metodología que se utiliza más adelante es la simulación Montecarlo, el Teorema Central del Límite asegura que la distribución final del conjunto de riesgos se comporte como una distribución normal, lo que permite, a su vez, hacer inferencia estadística sobre los resultados.

1.3.4.2 Desviación

La desviación estándar es una medida de dispersión que indica qué tan alejados se encuentran los datos respecto a su media. Esta distribución puede ser simétrica o sesgada hacia alguna dirección, el grado de desviación se debe definir de acuerdo con las particularidades de cada riesgo en relación con el proyecto.

Por ejemplo, los valores mínimos (a) y máximo (b) de la función triangular previa pueden definirse como una desviación del $\pm 25\%$ respecto del costo. Esta varianza es un supuesto conservador para representar el rango de valores que un costo puede llegar a tomar; sin embargo, si de antemano se sabe que un costo puede llegar a ser muy volátil, se puede incrementar la varianza o en caso contrario su varianza puede disminuir.

De esta manera, la moda (c) de la función simétrica es el costo afectado y el mínimo y máximo corresponden a una desviación de $\pm 25\%$, dando como resultado los siguientes valores:

$$\begin{aligned}c &= \text{costo afectado} \\a &= 0,75 * \text{costo afectado} \\b &= 1,25 * \text{costo afectado}\end{aligned}$$

Por lo tanto, en el ejemplo de costos de construcción con un costo afectado de ₡1,25 millones, la desviación de $\pm 25\%$ equivaldría a ₡1,56 millones como valor máximo y ₡930 mil como mínimo.

$$\begin{aligned}c &= \text{costo afectado} = ₡1.250.000 \\a &= 0,75 * ₡1.250.000 = ₡937.500 \\b &= 1,25 * ₡1.250.000 = ₡1.562.500\end{aligned}$$

Este proceso se puede hacer para todos los riesgos que se encuentren en la matriz general de riesgos y que no se conozca su distribución. En los riesgos asociados a fenómenos naturales, para los cuales se hayan incluido los elementos de exposición y vulnerabilidad con enfoque probabilístico y que de hecho existan herramientas que procesan los diferentes escenarios, se pueden tener en cuenta las funciones de distribución asociadas. Un ejemplo de este tipo de herramientas que considera funciones ya determinadas se encuentra en CAPRA¹⁵.

Para las etapas posteriores de prefactibilidad y factibilidad se sugiere que se utilicen distribuciones de probabilidad particulares de cada riesgo¹⁶. Para ello se puede recurrir a información documental de proyectos similares o documentos de investigación de gestión de riesgos.

Por último, como ejemplo, se muestran los resultados finales para la incorporación del riesgo “fluctuaciones del tipo de cambio” a la matriz general de riesgos, este procedimiento debe repetirse para todos los riesgos identificados en un proyecto.

¹⁵ <https://ecapra.org/es>

¹⁶ Ver Anexo I para un resumen de las funciones de distribución más comunes en el análisis de riesgos.

Tabla 9. Matriz general de riesgos, producto final

Riesgo	Descripción	Tipo	Etapa (operación, diseño, etc.)	Asignación	Medidas de mitigación	Nivel de impacto
Fluctuaciones del tipo de cambio	Variaciones en el tipo de cambio que pudieran afectar las estimaciones de costos del desarrollador	Financiero	Construcción	Transferido (desarrollador del proyecto)	Contratación de coberturas cambiarias	Moderado

Probabilidad de Ocurrencia	Clasificación	Prob. conjunta	Incidencia	Costo base	Costo de impacto	Costo afectado	Distribución del costo esperado	Desviación del costo esperado	Media del costo esperado
Moderado	Medio	5%	25% de costos de construcción	₡100 millones	₡25 millones	₡1,25 millones	Triangular	+/- 25%	₡1.25millones

CAPÍTULO II. ESTIMACIÓN DEL COSTO TOTAL ESPERADO DE LOS RIESGOS IDENTIFICADOS¹⁷

2.1 Simulaciones tipo Montecarlo para determinar el costo total esperado

En un proyecto pueden existir varios riesgos que afecten su desarrollo, en consecuencia, el costo total esperado por la materialización de riesgos en un proyecto sería la suma individual de todos los costos esperados. Sin embargo, cada costo puede tener una distribución de probabilidad diferente, por lo que la suma directa de todos los costos puede arrojar un resultado erróneo.

La Ley de los Grandes Números establece que, bajo ciertas condiciones, para una sucesión que tiende a infinito de n cantidad de variables aleatorias independientes ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$) con misma esperanza μ y varianza σ^2 , el promedio de dicha sucesión converge en probabilidad a μ . Esto quiere decir que, si se repite de manera “infinita” una variable aleatoria $X \sim (\mu, \sigma^2)$, la probabilidad de ocurrencia de cierto evento tenderá a un valor constante.

Con base en esta ley, el método de Montecarlo consiste en realizar una gran serie de simulaciones de escenarios, en este caso: el costo esperado de un riesgo y sus posibles valores, con base en la distribución de probabilidad de la(s) variable(s), su valor esperado μ (o valor más frecuente en caso de distribución triangular) y varianza σ^2 (o valores mínimos y máximos en caso de distribución triangular). Esto permite estimar con qué probabilidad puede ocurrir cierto escenario; en este caso, la simulación de Montecarlo asignará una probabilidad para cada posible valor del costo generado por la ocurrencia de un riesgo y esto lo hace para todos los riesgos del proyecto.

La simulación de Montecarlo toma en consideración la distribución de probabilidad de cada costo y realiza las simulaciones para obtener un costo total esperado con una cierta probabilidad. Como se mencionó anteriormente, se sugiere que se asigne la distribución de probabilidad que mejor explique el comportamiento de un riesgo; no obstante, a nivel perfil se puede realizar la Simulación suponiendo que todos los riesgos se poseen una distribución triangular.

Lo anterior gracias a que, de acuerdo con el Teorema Central del Límite, la suma de un número determinado de eventos iguales e independientes entre sí tiende a una distribución de probabilidad de ocurrencia del tipo normal, la cual se caracteriza por la agrupación de la mayor parte de los datos en torno a la media.

¹⁷ Para esta variable de la metodología, se tomarán en cuenta todos los riesgos del proyecto que se identificaron, siempre y cuando la evaluación del proyecto sea desde una perspectiva social. Para evaluaciones privadas (evaluación financiera) solamente se tomarán en cuenta los riesgos retenidos por el ente público (resultado de la variable 1.1.4 Asignación).

Formalmente, el Teorema Central del Límite plantea que si $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ es una secuencia de variables independientes con esperanza μ y varianza σ^2 y definiendo una función $Z_n = \frac{\sum_{i=1}^n X_i - n\mu}{\sigma\sqrt{n}}$, entonces la función de distribución Z_n tenderá a una función normal estándar $N(0,1)$ a medida que $n \rightarrow \infty$.

Esto quiere decir que, si realizamos una simulación de Montecarlo donde todos los riesgos se distribuyen de manera triangular (o cualquier otra), el resultado tenderá hacia una distribución normal a medida que incrementa el número de simulaciones.

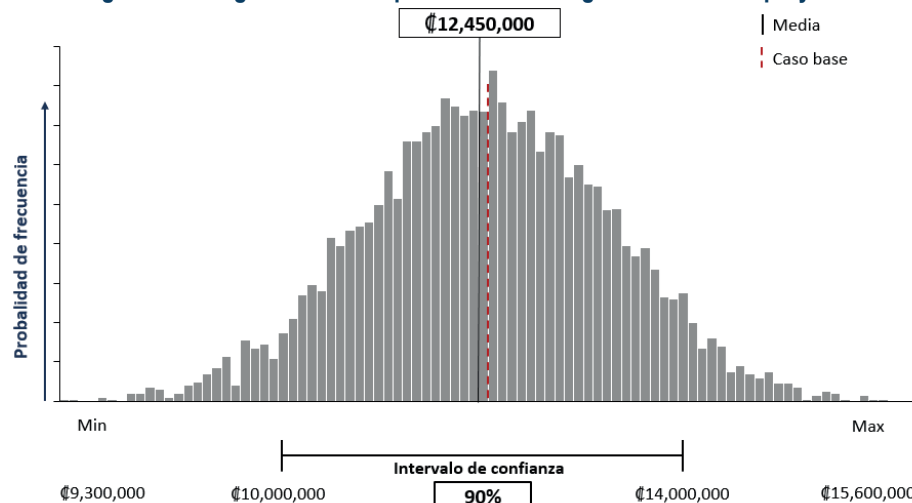
Lo anterior, se puede confirmar mediante el siguiente histograma cuya distribución tiende a una distribución normal, el cual muestra el valor esperado total de la suma de 47 riesgos donde todos se distribuyen de forma triangular.

Figura 3. Supuestos de simulación de Montecarlo

Prefs ejecución:	
Número de pruebas ejecutadas	5,000
Monte Carlo	
Inicialización aleatoria	
Control de precisión activado	
Nivel de confianza	95.00%
Estadísticas de ejecución:	
Tiempo de ejecución total (seg)	311.86
Pruebas/segundo (promedio)	16
Números aleatorios por segundo	754
Datos de Crystal Ball:	
Suposiciones	47
Correlaciones	0
Matrices de correlación	0
Variables de decisión	0
Previsiones	2

Fuente: Elaboración mediante simulación de Montecarlo.

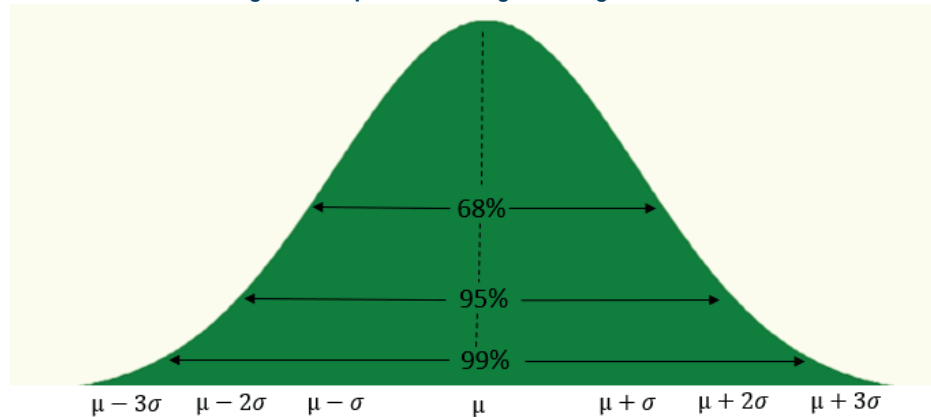
Figura 4. Histograma costo esperado de los riesgos asociados al proyecto



Fuente: Elaboración mediante simulación de Montecarlo.

Una de las características de la función de distribución normal es que se puede calcular la probabilidad de que una observación se mueva a cierta distancia alrededor de la media. Específicamente, la regla 68-95-99 indica que el 68% de las observaciones de una variable aleatoria se encuentra a una distancia menor o igual a una desviación estándar respecto a su media ($\mu - \sigma, \mu + \sigma$), el 95% de las observaciones se encuentran a una distancia menor o igual a dos veces la desviación estándar respecto a la media ($\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma$) y, finalmente, el 99% de los datos se encuentra a 3 desviaciones respecto a la media ($\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma$).

Figura 5. Representación gráfica regla 68-95-99

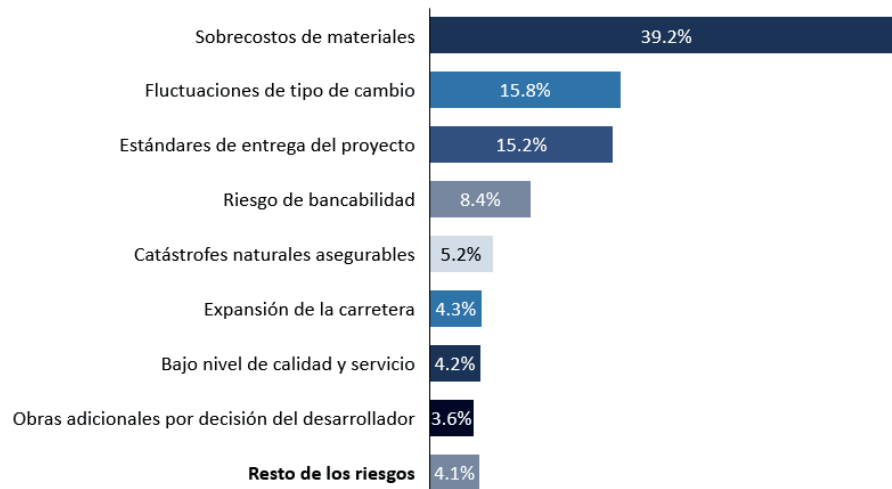


Fuente: Elaboración propia.

Tomando como referencia la regla 68-95-99, se puede establecer un intervalo de confianza con base en la media y la desviación estándar de una distribución. En el histograma anterior, se estableció un intervalo de confianza del 90%, lo que corresponde a $\pm 1,645$ veces la desviación respecto a la media.

Por esto, a medida que la simulación tienda a una distribución normal podremos utilizar las características de la distribución y estimar el intervalo de confianza en el que se encontrará el costo total del proyecto. Este análisis permite realizar una mejor planeación del proyecto y considerar elementos que podrían no haberse contemplado si no se realizara el análisis de riesgos.

Finalmente, la simulación de Montecarlo también permite identificar los elementos que mayor repercusión tienen sobre la variabilidad del costo total de los riesgos durante todo el ciclo de vida del proyecto, por ejemplo, el análisis de sensibilidad que se muestra revela que en un proyecto de construcción aproximadamente el 40% de la varianza de los costos esperados se debe al sobre costo de materiales y las fluctuaciones del tipo de cambio explican el 15,8% de la variabilidad de los costos del proyecto.

Figura 6. Representación análisis de sensibilidad de los riesgos asociados al proyecto

Fuente: Elaboración con base en los resultados de la simulación de Montecarlo.

CAPÍTULO III. INCORPORACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS EN LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO¹⁸

El costo total esperado de los riesgos asociados al proyecto representa el impacto que puede sufrir un proyecto a lo largo de su horizonte de vida. Como se mencionó en un principio, la importancia de la cuantificación de los riesgos radica en que sus impactos se verán reflejados sobre los flujos del proyecto, específicamente sobre las evaluaciones financiera y socioeconómica (cumpliendo con la disposición del artículo 9 del Decreto Ejecutivo 42465-MOPT-MINAE-MIVAH).

Una vez calculado el costo total esperado es necesario incorporarlo dentro del análisis de indicadores de rentabilidad de un proyecto y determinar si este sigue siendo viable tanto de manera social como financiera.

Valor actual neto (VAN)¹⁹ sin incorporación del costo total esperado del riesgo

Uno de los indicadores de rentabilidad clásicos en un proyecto de inversión, en este caso el valor actual neto (VAN) o valor presente neto (VPN), se obtiene mediante la siguiente fórmula

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=0}^n \frac{B_i - C_i}{(1 + r)^i}$$

Donde:

- I_0 : Representa la inversión inicial.
- B_i : Ingresos anuales del proyecto.
- C_i : Costos anuales del proyecto.
- r : Tasa de descuento.
- n : Ciclo de vida del proyecto.

Valor actual neto (VAN)²⁰ con incorporación del costo total esperado del riesgo

Por otro lado, si se considera el costo esperado de los riesgos obtenidos en la simulación de Montecarlo y se agregan en el cálculo del VAN, obtenemos la siguiente fórmula:

¹⁸ Ejemplo de aplicación en el anexo II.

¹⁹ VAN Económico: En caso de la evaluación social.

²⁰ VAN Económico: En caso de la evaluación social.

$$VAN = -I_0 - C_E + \sum_{i=0}^n \frac{B_i - C_i}{(1+r)^i}$$

Donde se mantienen sin cambios las variables mencionadas en la situación anterior y se agrega lo siguiente:

- C_E : Costo total esperado resultado de la simulación de Montecarlo.

El costo esperado se agrega a la ecuación de manera directa debido a que, para el cálculo de la simulación de Montecarlo, se utilizan costos de impacto medidos en valor presente, por lo que su resultado también se encuentra en esta medida.

Tasa interna de retorno (TIR)²¹ sin incorporación del costo total esperado del riesgo

Al igual que en el cálculo del VAN, la TIR del proyecto inicialmente sin el cálculo de riesgos se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$VAN = 0 = -I_0 + \sum_{i=0}^n \frac{B_i - C_i}{(1+TIR)^i}$$

Tasa interna de retorno (TIR)²² con incorporación del costo total esperado del riesgo

Por otro lado, la TIR agregando el costo total esperado de los riesgos, se calcula bajo la siguiente ecuación:

$$VAN = 0 = -I_0 - C_E + \sum_{i=0}^n \frac{B_i - C_i}{(1+TIR)^i}$$

Relación beneficio-costos (R-B/C)²³ sin incorporación del costo total esperado del riesgo

La relación beneficio-costos se calcula como:

$$R \frac{B}{C} = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{B_i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}}$$

Donde se mantienen las variables definidas anteriormente.

Relación beneficio-costos (R-B/C)²⁴ con incorporación del costo total esperado del riesgo

²¹TIR Económica: En caso de la evaluación social.

²² TIR Económica : En caso de la evaluación social.

²³ Este nombre se mantiene sin cambios tanto para la evaluación financiera como social.

²⁴ Este nombre se mantiene sin cambios tanto para la evaluación financiera como social.

Se mantiene la fórmula, solo que ahora se agregan los riesgos dentro del denominador. Como los riesgos ya están calculados en valor presente, se agregan de manera directa a la suma de los costos descontados.

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{B_i}{(1+r)^i}}{C_E + \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}}$$

Valor actual de costos (VAC)²⁵ sin incorporación del costo total esperado del riesgo

El valor actual de costos del proyecto representa la suma algebraica de cada flujo de costos descontados, es decir, trae a valor presente el costo total del proyecto.

$$VAC = \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

Valor actual de costos (VAC)²⁶ con incorporación del costo total esperado del riesgo

Como el cálculo de riesgos ya se encuentra en valor presente, solo se agrega el costo total esperado al resultado del VAC anterior.

$$VAC = C_E + \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

Costo anual equivalente (CAE)²⁷ sin incorporación del costo total esperado del riesgo

El indicador CAE se calcula como:

$$CAE = VAC \times \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

Donde se mantienen las mismas variables.

Costo anual equivalente (CAE)²⁸ con incorporación del costo total esperado del riesgo

El indicador con los riesgos se calcularía como:

$$CAE = (VAC + C_E) \times \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

Relación costo-efectividad²⁹ sin incorporación del costo total esperado del riesgo

Este indicador muestra el costo anual promedio equivalente por cada beneficiario. Se calcula de la siguiente manera:

²⁵ VAC Económico: En caso de la evaluación social.

²⁶ VAC Económico: En caso de la evaluación social.

²⁷ CAE Económico: En caso de la evaluación social.

²⁸ CAE Económico: En caso de la evaluación social.

²⁹ Relación Costo Eficiencia para la Evaluación Social.

$$\text{Relación costo efectividad} = \frac{CAE}{\text{Promedio anual de beneficiarios del proyecto}}$$

Relación costo-efectividad³⁰ con incorporación del costo total esperado del riesgo

Para la situación con riesgos se utiliza el CAE que se calculó para esta situación, por lo que la fórmula utiliza el CAE con riesgos:

$$\text{Relación costo efectividad} = \frac{CAE \text{ con riesgos}}{\text{Promedio anual de beneficiarios del proyecto}}$$

El análisis de riesgos permite identificar los impactos de mayor relevancia que puede sufrir un proyecto y cuantificarlos de manera metodológica. Como se puede observar, la incorporación de riesgos a un proyecto de inversión puede generar un impacto sobre los flujos de costos y reducir los indicadores de rentabilidad y, en algunos casos, puede incluso determinar la inviabilidad de un proyecto. En el anexo II se presenta un ejemplo de cálculo de los diferentes indicadores con y sin costo total esperado de los riesgos.

³⁰ Relación Costo Eficiencia para la Evaluación Social.

BIBLIOGRAFÍA

- Azofeifa, Carlos E. Aplicación de la Simulación Monte Carlo en el cálculo del riesgo usando Excel. Tecnología en Marcha. Vol. 17 N° 1.
- Banco Mundial. Perfil de riesgo de desastres para Costa Rica. https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/drp_costarica.pdf
- CAPRA. Plataforma de Análisis probabilístico del Riesgo. <https://ecapra.org/es>
- Davison, A.C. Cambridge Series in Statistical and Probabilistic Mathematics. Cambridge. 2003 {12}.
- López, Juan Carlos. Guía básica para la simulación de Monte Carlo. https://www.apabcn.cat/Documentacio/areatecnica/PDFS_RENART/R29895.pdf
- Villar, V. (2004). Modelo para medir impacto del riesgo usando el WBS y el RBS: Model for risk impact measurement based on the WBS and the RBS. Paper presented at PMI® Global Congress 2004—Latin America, Buenos Aires, Argentina. Newtown Square, PA: Project Management Institute.

GLOSARIO

Amenaza	Peligro latente representado por la posible ocurrencia de un fenómeno peligroso, de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre, capaz de producir efectos adversos en las personas, los bienes, los servicios públicos y el ambiente.
Daño	Detrimento, perjuicio o menoscabo total o parcial de bienes físicos y servicios básicos en la zona afectada por un evento de emergencia o desastre.
Exposición	Influencia de una o varias amenazas en espacio y tiempo que podrían afectar negativamente a los servicios que brinda la infraestructura, a las personas, a los recursos ambientales, entre otros elementos con significado de valor tangible e intangible, medibles y ponderables.
Gestión del riesgo	Proceso mediante el cual se revierten las condiciones de vulnerabilidad de la población, los asentamientos humanos, la infraestructura, así como de las líneas vitales, las actividades productivas de bienes y servicios y el ambiente. Es un modelo sostenible y preventivo, al que incorporan criterios efectivos de prevención y mitigación de desastres dentro de la planificación territorial, sectorial y socioeconómica, así como a la preparación, atención y recuperación ante las emergencias.
Infraestructura pública	Conjunto de obras de infraestructura física, instalaciones, redes y otros activos como la infraestructura verde, en todas las formas de construcción que presten servicios al público en general. Ya sea ejecutada por un ente público de manera directa, por concesión u otras modalidades de contratación.
Inversión pública	Conjunto de recursos de origen público, destinado a mantener o incrementar el capital físico y humano que cada institución pretende ejecutar, como parte de las políticas enunciadas en el Plan Nacional de Desarrollo, que proporcione la ampliación de la capacidad de producción de bienes y servicios, con fundamento en una metodología que faculte su identificación, ejecución y evaluación.
Mitigación	Aplicación de medidas para reducir el impacto negativo que provoca un suceso de origen natural, humano o tecnológico.
Multiamenaza	Combinación de dos o más factores de amenaza, manifestados de manera aislada, simultánea o por reacción en cadena, para producir un suceso disparador de un desastre.
Prevención	Toda acción orientada a evitar que los sucesos negativos se conviertan en desastres. Procura el control de los elementos conformantes del riesgo, por lo que, por una parte, las acciones se orientan al manejo de los factores de amenaza y, por otra, a los factores que determinan la condición de vulnerabilidad.
Proyecto de inversión	Es el conjunto de procedimientos y actividades planificadas y relacionadas entre sí que permiten ejecutar una inversión pública y cuyos componentes están vinculados como una unidad funcional, el cual permite dar una solución integral a una necesidad o exigencia social, promover el desarrollo o mejorar la prestación de un servicio o actividad pública.
Reconstrucción	Medidas finales que procuran la recuperación del área afectada, la infraestructura y los sistemas de producción de bienes y servicios, entre otros. En general, son acciones que contribuyen a estabilizar las condiciones sociales, económicas y ambientales de las áreas afectadas por una emergencia.
Riesgo por fenómenos naturales	Probabilidad de que se presenten pérdidas, daños o consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y durante un período definido. Se obtiene al relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.
Vulnerabilidad	Condición intrínseca de ser impactado por un suceso a causa de un conjunto de condiciones y procesos físicos, sociales, económicos y ambientales. Se determina por el grado de exposición y fragilidad de los elementos susceptibles de ser afectados –la población, sus haberes, las actividades de bienes y servicios, el ambiente– y la limitación de su capacidad para recuperarse.

ANEXOS

2. Anexo I. Funciones de distribución más comunes en el análisis de riesgos

El anexo estadístico tiene como objetivo mostrar funciones de distribución comúnmente utilizadas en el análisis de riesgos, adicionalmente a la triangular. Cada distribución tiene características particulares, con base en las cuales se recomienda seleccionar aquella distribución que explique de mejor manera el comportamiento del riesgo al que se le va a asignar. Como se mencionó, en el caso de riesgos por fenómenos naturales, es relevante considerar las experiencias o herramientas previamente utilizadas, en las cuales las funciones de distribución ya han sido identificadas.

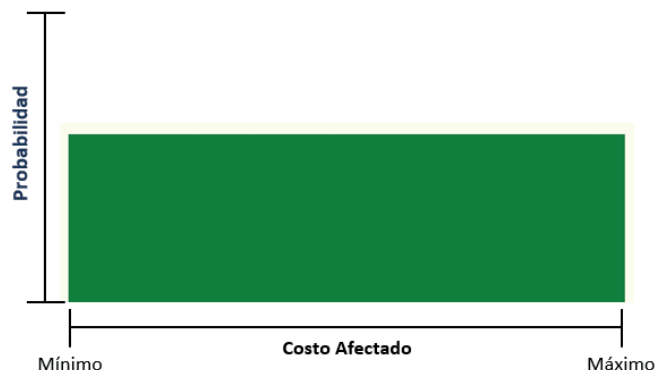
Distribución uniforme

La característica principal de la distribución uniforme es que todos sus valores, incluyendo el mínimo y el máximo, tienen la misma probabilidad de ocurrencia.

Su función de densidad está dada por:

$$f(x) = \frac{1}{b-a} \quad a \leq x \leq b$$

Figura 1. Representación Gráfica Distribución Uniforme



Distribución triangular

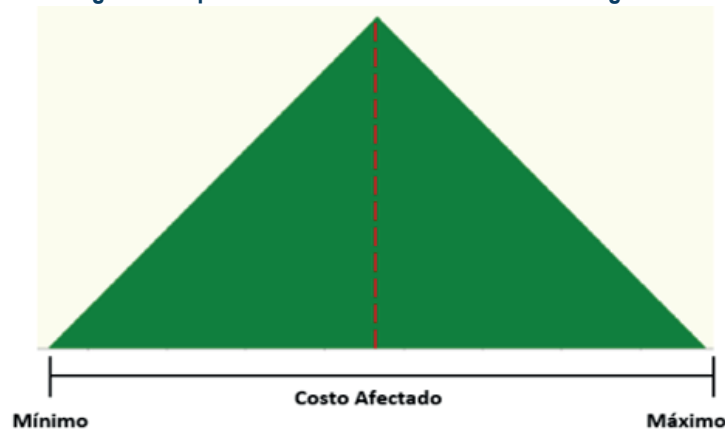
La distribución triangular se utiliza cuando se conocen los valores: mínimo (a), máximo (b) y la moda (c). La moda es el valor con mayor probabilidad de ocurrencia y, mientras más alejado se encuentre de este punto, la probabilidad de ocurrencia será cada vez menor.

La distribución puede ser simétrica si su moda se encuentra a la mitad de los puntos mínimo y máximo o puede presentar sesgos hacia algún lado en particular.

Su función de densidad está dada por:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} & a \leq x \leq c \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(c-a)} & c \leq x \leq b \end{cases}$$

Figura 2. Representación Gráfica Distribución Triangular



Distribución normal

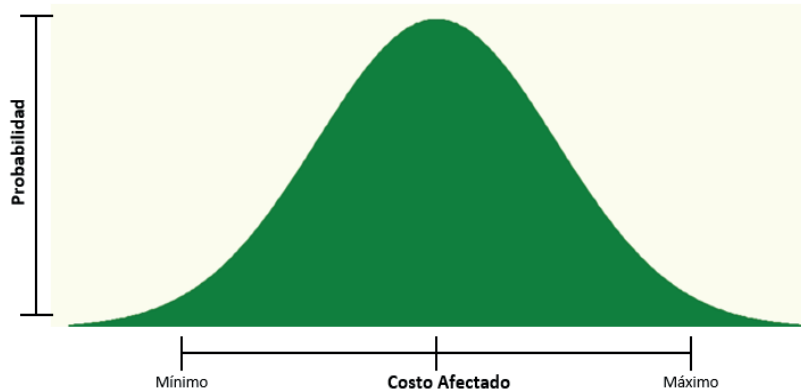
Es una de las funciones con mayor uso en la teoría de probabilidad y estadística. Algo característico de la función es su forma acampanada debido a la concentración (en mayor o menor medida) de los datos en torno a su media. La variable desconocida, en este caso el costo afectado, tiene más probabilidad de estar cerca de la media que lejos. Por sus características, aproximadamente el 68% de los valores se encuentran dentro de una desviación estándar respecto a su media.

Esta distribución describe fenómenos de varios tipos tales como fenómenos naturales, sociales y psicológicos. Algunos ejemplos son: el cociente de inteligencia, la altura de las personas, la tasa de inflación o los errores de medida.

Su función de densidad es la siguiente:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Figura 3. Representación Gráfica Distribución Normal



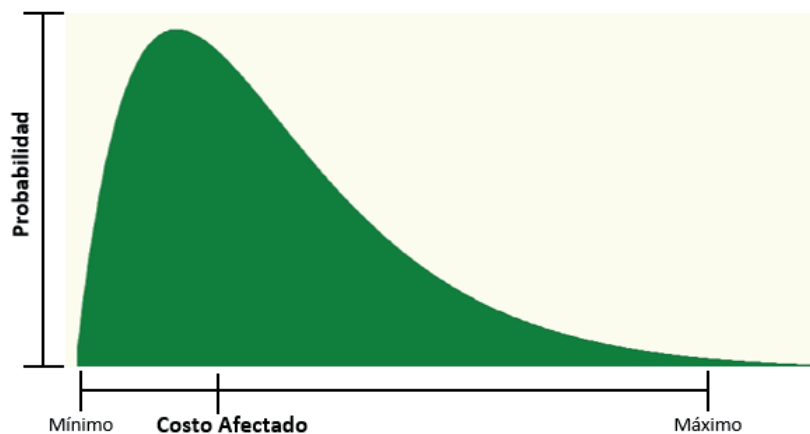
Distribución Gamma

La distribución Gamma es adecuada para modelar el comportamiento de variables aleatorias con asimetría positiva (mayor concentración de los datos a la izquierda de la media que a la derecha), así como de variables en donde está involucrado el tiempo. Se utiliza en procesos meteorológicos para representar las concentraciones de contaminación y las cantidades de precipitaciones, además de otras aplicaciones en teorías económicas, de inventario y de riesgo de las aseguradoras. La función exponencial y ji cuadrada son casos particulares de esta función.

La función de densidad de la distribución Gamma es la siguiente:

$$f(x) = \frac{\lambda(\lambda x)^{\alpha-1} e^{-\lambda x}}{\Gamma(\alpha)} \text{ donde } \Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

Figura 4. Representación Gráfica Distribución Gamma



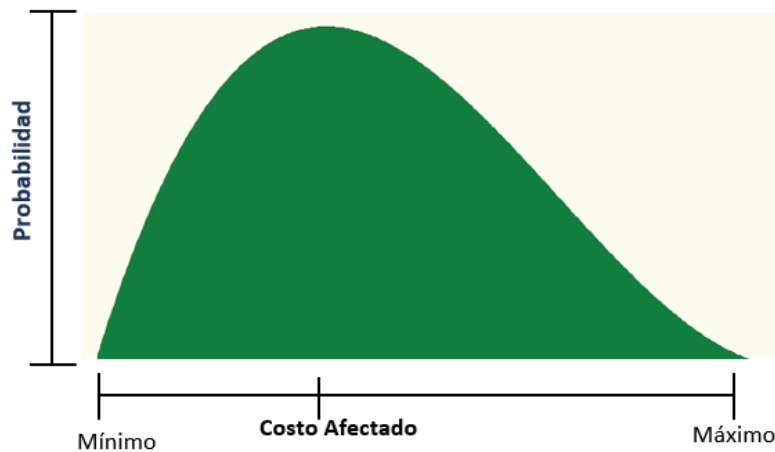
Distribución Beta

La distribución Beta es una distribución muy flexible para modelar la probabilidad basándose en estadística bayesiana. Se utiliza para describir datos empíricos y predecir el comportamiento aleatorio de porcentajes y fracciones.

La función de densidad de la distribución Beta es la siguiente:

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)} \quad \text{donde } B(\alpha, \beta) = \int_0^1 x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1} dx$$

Figura 5. Representación gráfica distribución Beta



Anexo II. Ejemplo de aplicación de la incorporación del riesgo a los indicadores de evaluación socioeconómica y financiera

Para representar la incorporación del costo de los riesgos sobre un proyecto de inversión, se analizarán los indicadores de rentabilidad mencionados en el capítulo III. Para lo cual, continuaremos con los resultados de la simulación de Montecarlo (capítulo II) y un proyecto con los siguientes supuestos:

- Inversión: ₡200 millones.
- Ingresos anuales: ₡100 millones.
- Costos anuales : ₡50 millones.
- Costo total esperado de la simulación de Montecarlo: ₡12,45 millones.
- Ciclo de vida del proyecto: 19 años (además del año 0 de inversión).
- Tasa de descuento³¹: 10%.

Valor actual neto (VAN)³² sin incorporación del costo total esperado del riesgo

$$VAN = -200M + \sum_{i=0}^{19} \frac{100M - 50M}{(1 + 0,1)^i} = ₡268 \text{ millones}$$

Valor actual neto (VAN)³³ con incorporación del costo total esperado del riesgo

$$VAN = -200M - 12,45M + \sum_{i=0}^{19} \frac{100M - 50M}{(1 + 0,1)^i} = ₡255,8 \text{ millones}$$

Tasa interna de retorno (TIR)³⁴ sin incorporación del costo total esperado del Riesgo

$$VAN = 0 = -200M + \sum_{i=0}^{19} \frac{100M - 50M}{(1 + TIR)^i}$$

De esta manera, se obtiene una TIR de 15,71%.

Tasa interna de retorno (TIR)³⁵ con incorporación del costo total esperado del riesgo

$$VAN = 0 = -200M - 12,45M + \sum_{i=0}^{19} \frac{100M - 50M}{(1 + TIR)^i}$$

Con este cambio, se obtiene una tasa de retorno del 14,20%. Si bien el indicador mantiene su criterio de rentabilidad, se destaca el impacto que los riesgos pueden generar sobre un proyecto.

³¹ TREMA para evaluación financiera o TSD para evaluación social.

³² VAN Económico: En caso de la evaluación social.

³³ VAN Económico: En caso de la evaluación social.

³⁴ TIR Económica: En caso de la evaluación social.

³⁵ TIR Económica : En caso de la evaluación social.

Relación beneficio-costo (R-B/C)³⁶ sin incorporación del costo total esperado del riesgo

$$R \frac{B}{C} = \frac{\sum_{i=0}^{19} \frac{100M}{(1+0,1)^i}}{\sum_{i=0}^{19} \frac{50M}{(1+0,1)^i}}$$

$$R \frac{B}{C} = \frac{936.49M}{468.25M} = 2$$

Relación beneficio-costo (R-B/C)³⁷ con incorporación del costo total esperado del riesgo

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{i=0}^{19} \frac{100M}{(1+0,1)^i}}{12,45M + \sum_{i=0}^{19} \frac{50M}{(1+0,1)^i}}$$

$$R \frac{B}{C} = \frac{936,49M}{468,25M + 12,45M} = 1,94$$

Este resultado es consistente con la lógica de la relación de beneficios y costos, si aumentamos los costos, estos ahora representan una mayor proporción respecto los beneficios, por lo que el indicador disminuirá.

Valor actual de costos (VAC)³⁸ sin incorporación del costo total esperado del riesgo

$$VAC = \sum_{i=0}^{19} \frac{50M}{(1+0,1)^i} = \text{€}468,25 \text{ millones}$$

Valor actual de costos (VAC)³⁹ con incorporación del costo total esperado del riesgo

$$VAC = 12.45M + \sum_{i=0}^{19} \frac{50M}{(1+0,1)^i} = \text{€}480,7 \text{ millones}$$

Costo anual equivalente (CAE)⁴⁰ sin incorporación del costo total esperado del riesgo

³⁶ Este nombre se mantiene sin cambios tanto para la evaluación financiera como social.

³⁷ Este nombre se mantiene sin cambios tanto para la evaluación financiera como social.

³⁸ VAC Económico: En caso de la evaluación social.

³⁹ VAC Económico: En caso de la evaluación social.

⁴⁰ CAE Económico: En caso de la evaluación social.

$$CAE = 468,25M \times \frac{0,1(1 + 0,1)^{19}}{(1 + 0,1)^{19} - 1} = \text{€}55 \text{ millones}$$

Costo anual equivalente (CAE)⁴¹ con incorporación del costo total esperado del riesgo

$$CAE = 480,7M \times \frac{0,1(1 + 0,1)^{19}}{(1 + 0,1)^{19} - 1} = \text{€}56 \text{ millones}$$

Relación costo-efectividad⁴² sin incorporación del costo total esperado del riesgo

Si suponemos que para este proyecto existen un millón de beneficiarios obtendríamos:

$$\text{Relación costo efectividad} = \frac{\text{€}55 \text{ millones}}{1 \text{ millón}} = \text{€}55$$

Relación costo-efectividad⁴³ con incorporación del costo total esperado del riesgo

Si suponemos que para este proyecto existen un millón de beneficiarios obtendríamos:

$$\text{Relación costo efectividad} = \frac{\text{€}56 \text{ millones}}{1 \text{ millón}} = \text{€}56$$

⁴¹ CAE Económico: En caso de la evaluación social.

⁴² Relación Costo Eficiencia para la Evaluación Social.

⁴³ Relación Costo Eficiencia para la Evaluación Social.