

# GESTIÓN DE PASIVOS CONTINGENTES PARA PROYECTOS DE ASOCIACIÓN PÚBLICO-PRIVADA

Valoración, contabilización y reporte

Editores

Joan Prats

Sergio Hinojosa





# **GESTIÓN DE PASIVOS CONTINGENTES PARA PROYECTOS DE ASOCIACIÓN PÚBLICO-PRIVADA**

Valoración, contabilización y reporte

Editores

Joan Prats

Sergio Hinojosa



**Catalogación en la fuente proporcionada por la  
Biblioteca Felipe Herrera del  
Banco Interamericano de Desarrollo**

Gestión de pasivos contingentes para proyectos de asociación público-privada: valoración, contabilización y reporte / editado por Joan Prats, Sergio Hinojosa.

p. cm.

Incluye referencias bibliográficas.

978-1-59782-501-6 (Rústica)

978-1-59782-502-3 (Digital)

1. Public-private sector cooperation-Latin America. 2. Public-private sector cooperation-Caribbean Area. 3. Construction contracts-Latin America. 4. Construction contracts-Caribbean Area. 5. Contingent liabilities (Accounting)-Latin America. 6. Contingent liabilities (Accounting)-Caribbean Area. I. Prats, Joan, editor. II. Hinojosa, Sergio, editor. III. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Conectividad, Mercados y Finanzas.

HD 3871 .G39 2022.

IDB-BK-247

**Códigos JEL:** C15, G13, G18, K81, L33.

**Palabras clave:** asociación público-privada, pasivos y demandas contingentes, análisis de riesgos en infraestructura, simulación por Monte Carlo, teoría de opciones.

Copyright © 2023 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Nótese que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Banco Interamericano de Desarrollo  
1300 New York Avenue, N.W.  
Washington, D.C. 20577  
[www.iadb.org](http://www.iadb.org)

**El Sector de Instituciones para el Desarrollo fue responsable de la producción de la publicación.**

**Colaboradores externos:**

**Coordinación de la producción editorial:** Sarah Schineller, A&S Information Partners, LLC

**Revisión editorial:** Clara Sarcone

**Imagen de portada:** © Colin Anderson Productions pty ltd/Getty Images

**Diagramación:** The Word Express, Inc.

*Esta publicación está dedicada a nuestro querido colega Heinz Roque Loyola, un matemático de nacionalidad peruana que dedicó su vida profesional al estudio de la incertidumbre y a la gestión de riesgos en proyectos de asociaciones público-privadas. Nos dejó precisamente por causas y en un momento en que el mundo vive una de las mayores fuentes de incertidumbre: la pandemia de COVID-19.*



# Índice

Prólogo, por Susana Cordeiro Guerra .....	xiii
Prólogo, por Gastón Astesiano .....	xv
Acerca de los autores.....	xvii
Introducción, por Joan Prats.....	xxi
<b>1 Lineamientos para la gestión integral de pasivos contingentes, por Jorge Montecinos y Joan Prats.....</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción a la valoración de pasivos contingentes .....	1
1.2. Lineamientos para la gestión integral de pasivos contingentes .....	5
1.3. Elementos de la experiencia internacional y de ALC para la valoración de pasivos contingentes y metodologías propuestas.....	7
1.4. Elementos relativos al registro y reporte de los pasivos contingentes de acuerdo con las guías y normas internacionales y las mejores prácticas.....	12
1.5. Template para el reporte de los pasivos contingentes .....	22
<b>2 Pasivo contingente derivado de riesgos en la fase de construcción, por Heinz Roque y Sergio Hinojosa.....</b>	<b>35</b>
2.1. Causas que generan sobrecostos .....	36
2.2. Riesgo de sobreplazo.....	38
2.3. Metodología de valoración .....	40

<b>3 Pasivo contingente derivado del riesgo de demanda/ingresos, por Jorge Montecinos, Heinz Roque y Sergio Hinojosa .....</b>	<b>63</b>
3.1. Construcción financiera del IMG .....	65
3.2. Modelación estocástica del IMG .....	66
<b>4 Pasivo contingente por riesgo cambiario, por Sergio Hinojosa y Enrique Moraga.....</b>	<b>79</b>
4.1. Definiciones previas.....	79
4.2. Mecanismo de cobertura cambiaria a través de indexación.....	82
4.3. Mecanismo de cobertura cambiaria mediante bandas .....	94
4.4. Construcción de la función de pago del gobierno .....	96
4.5. Metodología de valoración .....	99
<b>5 Pasivo contingente por litigios, por Camilo Carrillo y José Luis Guerra .....</b>	<b>111</b>
5.1. Definiciones previas.....	111
5.2. Metodología de valoración .....	115
5.3. Estimación de parámetros del árbol de probabilidad.....	121
5.4. Caso práctico .....	130
5.5. Elementos de la experiencia en ALC para el reporte de pasivos contingentes por litigios.....	139
<b>6 Pasivo contingente derivado de riesgos de renegociaciones, por Jorge Montecinos .....</b>	<b>143</b>
6.1. Antecedentes .....	143
6.2. Elementos conceptuales acerca de las renegociaciones.....	145
6.3. Características prácticas y revisión de la experiencia de las renegociaciones .....	150
6.4. Propuesta metodológica para el análisis de renegociaciones.....	154
<b>7 Pasivo contingente por terminación anticipada del contrato, por Joan Prats, Sergio Hinojosa y Enrique Moraga.....</b>	<b>167</b>
7.1. Antecedentes .....	167
7.2. Causas de la TA .....	169
7.3. Metodología para estimar el pasivo contingente .....	171
7.4. TA por incumplimiento ( <i>default</i> ) financiero.....	184
<b>Referencias .....</b>	<b>205</b>

Anexo 1.	Herramientas estadísticas para la valoración de pasivos contingentes, por Heinz Roque.....	211
Anexo 2.	Procesos estocásticos para modelar riesgos de ingresos, por Sergio Hinojosa.....	235
Anexo 3.	Análisis de demandas contingentes, por Sergio Hinojosa.....	249

## Índice de casos

Caso 1.1.	Ejemplo de operación del PFRAM.....	29
Caso 2.1.	Información histórica y normal.....	46
Caso 2.2.	Información histórica y no es normal (Bootstrap).....	49
Caso 2.3.	Distribución triangular.....	51
Caso 2.4.	Distribución Beta-PERT.....	53
Caso 2.5.	Referencia ( <i>benchmark</i> ) internacional.....	56
Caso 2.6.	Opinión experta de manera acotada.....	57
Caso 2.7.	Cuantificación del riesgo de sobreplazo.....	58
Caso 2.8.	Causas que generalmente son retenidas por el Estado.....	60
Caso 3.1.	Riesgo de demanda.....	69
Caso 4.1.	Monto garantizado al inversionista privado.....	82
Caso 4.2.	Cálculo del riesgo (compensación).....	85
Caso 4.3.	Cobertura garantizada por el gobierno al inversionista privado.....	99
Caso 4.4.	Retribución del inversionista privado al gobierno.....	100
Caso 4.5.	Cobertura según el modelo de Garman-Kohlhagen.....	102
Caso 4.6.	Cálculo de la garantía mediante el modelo de Garman-Kohlhagen.....	102
Caso 4.7.	Cálculo de la garantía, opción put.....	105
Caso 4.8.	Cálculo de la garantía, opción collar.....	107
Caso 4.9.	Comparación entre Monte Carlo y Garman-Kohlhagen.....	108
Caso 5.1.	Pasivo contingente por litigios a partir de información histórica.....	124
Caso 5.2.	Pasivo contingente por litigios a partir de la percepción de riesgos.....	130
Caso 6.1.	Ejemplo de Ecuador sobre cláusula de reequilibrio del contrato.....	162

## Índice de cuadros

Cuadro 1.1.	Enfoque metodológico de valoración de pasivos contingentes.....	10
Cuadro 1.2.	Resumen de las metodologías propuestas.....	12
Cuadro 1.3.	Contabilidad tradicional de las obligaciones y beneficios contingentes.....	17
Cuadro 1.4.	<i>Template</i> de reporte del pasivo contingente .....	33
Cuadro 1.5.	<i>Template</i> de reporte de todos los pasivos contingentes, por proyecto.....	33
Cuadro 1.6.	<i>Template</i> de reporte de todos los pasivos contingentes, por año.....	34
Cuadro 2.1.	Sobrecostos.....	42
Cuadro 2.2.	Ítems de costos .....	44
Cuadro 2.3.	Percepción frente al riesgo cuando es una distribución Normal .....	45
Cuadro 2.4.	Información histórica de sobrecostos en proyectos de infraestructura bajo OPT.....	46
Cuadro 2.5.	Estadística descriptiva de la información de sobrecostos .....	46
Cuadro 2.6.	Estadísticos descriptivos de forma .....	47
Cuadro 2.7.	Ejemplos de muestras Bootstrap.....	49
Cuadro 2.8.	Terna representativa de los sobrecostos.....	51
Cuadro 2.9.	Sobrecosto mediante <i>benchmark</i> internacional.....	56
Cuadro 2.10.	Sobrecosto a partir de opinión experta de manera acotada .....	57
Cuadro 2.11.	Serie histórica de sobreplazos .....	58
Cuadro 2.12.	Impacto según la regla percentil 50-95 .....	59
Cuadro 2.13.	Valoración del costo del riesgo de sobreplazo .....	59
Cuadro 2.14.	Información de base.....	60
Cuadro 3.1.	Costos de OyM, interés de la deuda y amortización de la deuda.....	69
Cuadro 3.2.	IMG e ingresos esperados.....	71
Cuadro 3.3.	Parámetros para la simulación.....	72
Cuadro 3.4.	Montos de activación de la garantía como resultado de la simulación.....	74
Cuadro 3.5.	Cálculo del valor presente de la activación.....	76
Cuadro 3.6.	Posición frente al riesgo .....	77
Cuadro 4.1.	Cuantificación del costo del riesgo de ingresos.....	84

Cuadro 4.2.	Información mensual del tipo de cambio <i>spot</i> , últimos 15 años .....	86
Cuadro 4.3.	Estadísticos del tipo de cambio mensual.....	88
Cuadro 4.4.	Tipo de cambio <i>spot</i> modelado .....	89
Cuadro 4.5.	Compensación.....	91
Cuadro 4.6.	Compensación al inversionista privado (ML).....	94
Cuadro 4.7.	Posición según el tipo de opción .....	95
Cuadro 4.8.	Supuestos de la valoración.....	102
Cuadro 4.9.	Valoración de la opción .....	104
Cuadro 4.10.	Valoración de la opción .....	106
Cuadro 4.11.	Valoración de la garantía.....	107
Cuadro 4.12.	Estadísticos del tipo de cambio mensual.....	108
Cuadro 4.13.	Compensación.....	109
Cuadro 5.1.	Base de datos de litigios del Estado .....	125
Cuadro 5.2.	Estimación de parámetros.....	127
Cuadro 5.3.	Base de datos de litigios del Estado .....	131
Cuadro 5.4.	Estadísticos descriptivos.....	132
Cuadro 6.1.	Principales causas o eventos que dan origen a una renegociación .....	151
Cuadro 6.2.	Formas de compensación comúnmente utilizadas en una regulación .....	151
Cuadro 6.3.	Renegociación según su origen: acuerdo bilateral vs arbitraje.....	153
Cuadro 6.4.	Renegociaciones según su origen: iniciativa pública o privada .....	153
Cuadro 6.5.	Renegociaciones según el momento en que ocurren .....	153
Cuadro 6.6.	Situaciones derivadas del análisis de riesgos que podrían motivar una renegociación.....	155
Cuadro 6.7.	Taxonomía de las renegociaciones .....	156
Cuadro 6.8.	Probabilidad de ocurrencia de las distintas características de una renegociación .....	158
Cuadro 7.1.	TA en proyectos APP en países emergentes .....	168
Cuadro 7.2.	Cronograma de ejecución de obras .....	194
Cuadro 7.3.	Ingresos y costos OyM modelados .....	196
Cuadro 7.4.	Financiamiento de los flujos en la etapa de construcción.....	195
Cuadro 7.5.	Determinación del flujo de impuestos a las utilidades.....	196
Cuadro 7.6.	Desarrollo de la deuda .....	198

Cuadro 7.7.	DSCR y valor del activo .....	199
Cuadro 7.8.	Pasivo contingente estimado según <i>Project Finance</i> .....	201
Cuadro 7.9.	Pasivo contingente estimado según KMV-Merton.....	202
Cuadro A1.1.	Serie de datos: promedio.....	211
Cuadro A1.2.	Serie de datos: desviación estándar .....	214
Cuadro A1.3.	Serie de datos: percentil.....	215
Cuadro A1.4.	Serie de datos: distribución.....	215
Cuadro A1.5.	Ejemplo del método Bootstrap .....	216
Cuadro A1.6.	Muestras Bootstrap .....	217
Cuadro A1.7.	Estadísticos obtenidos mediante el método Bootstrap.....	217
Cuadro A1.8.	Percepción frente al riesgo cuando los datos tienen distribución Normal.....	220
Cuadro A1.9.	Distancia con respecto a la media aplicando la regla empírica de la desigualdad .....	227
Cuadro A1.10.	Regla percentil 5-50-95 por la regla empírica de la desigualdad .....	228
Cuadro A1.11.	Serie de datos: coeficiente de asimetría .....	229
Cuadro A1.12.	Serie de datos: curtosis.....	231
Cuadro A1.13.	Valores críticos para la prueba de Shapiro-Wilk .....	232
Cuadro A2.1.	Información estadística de las variables aleatorias.....	244
Cuadro A2.2.	Valores aleatorios de la matriz Matriz $\bar{Z}_{(1,000 \times 3)}$ .....	245
Cuadro A2.3.	Matriz $\bar{X}_{(1,000 \times 3)}$ de variables aleatorias correlacionadas.....	246

## Índice de gráficos

Gráfico 1.	Proceso de gestión integral de pasivos contingentes y su relación con el proceso de gestión de riesgos fiscales.....	xxi
Gráfico 2.1.	División por ítems del costo base.....	44
Gráfico 2.2.	Distribución de la información histórica de sobrecostos.....	47
Gráfico 2.3.	Distribución triangular de los sobrecostos .....	52
Gráfico 2.4.	Distribución Beta-PERT de sobrecostos del taller de expertos .....	53
Gráfico 2.5.	Proceso para la determinación del impacto del riesgo de sobrecosto .....	61
Gráfico 3.1.	Activación de la garantía.....	64
Gráfico 3.2.	Activación de la garantía + banda superior.....	64
Gráfico 3.3.	IMG vs ingresos esperados.....	72
Gráfico 3.4.	Simulación del riesgo de demanda.....	73
Gráfico 3.5.	Ejemplos de algunas simulaciones realizadas .....	75
Gráfico 3.6.	Distribución del riesgo .....	77

Gráfico 4.1.	Evolución mensual del tipo de cambio.....	87
Gráfico 4.2.	Dinámica de la tasa de crecimiento del tipo de cambio .....	87
Gráfico 4.3.	Distribución de los retornos.....	88
Gráfico 4.4.	Evolución del tipo de cambio <i>spot</i> .....	90
Gráfico 4.5.	Activación de la compensación.....	92
Gráfico 4.6.	Resultados de la simulación de Monte Carlo .....	93
Gráfico 4.7.	Valor presente de los perfiles $\max\{M_t - M_0, 0\}$ .....	94
Gráfico 4.8.	Activación de la garantía.....	97
Gráfico 4.9.	La ML no se aprecia ni se deprecia .....	98
Gráfico 4.10.	La ML se deprecia .....	98
Gráfico 4.11.	La ML se aprecia .....	99
Gráfico 4.12.	Simulación de Monte Carlo para 10.000 iteraciones.....	110
Gráfico 5.1.	Ejemplo de árbol de probabilidad.....	114
Gráfico 5.2.	Árbol de probabilidad general para litigios.....	116
Gráfico 5.3.	Ejemplo de nodos adicionales al árbol general para litigios.....	117
Gráfico 5.4.	Ejemplo de árbol de probabilidad.....	119
Gráfico 5.5.	Ejemplo de árbol de probabilidad.....	124
Gráfico 5.6.	Diagrama de dispersión de proporción y periodo de pago .....	132
Gráfico 5.7.	Histograma de proporción .....	133
Gráfico 5.8.	Histograma de periodo .....	135
Gráfico 5.9.	Estructura del árbol de probabilidad .....	136
Gráfico 5.10.	Reporte de pasivos contingentes por litigios en Chile (porcentaje del PIB) .....	139
Gráfico 5.11.	Reporte de pasivos contingentes por litigios en Colombia (porcentaje del PIB) .....	140
Gráfico 5.12.	Reporte de pasivos contingentes por litigios en Perú (porcentaje del PIB) .....	141
Gráfico 7.1.	Árbol de probabilidades aplicado a TA.....	172
Gráfico 7.2.	Metodología propuesta para TA .....	180
Gráfico 7.3.	Probabilidad de TA bajo <i>Project Finance</i> .....	187
Gráfico 7.4.	Probabilidad de TA bajo KMV-Merton.....	190
Gráfico A1.1.	Definición de percentil.....	215
Gráfico A1.2.	Percentil y nivel de significancia .....	214
Gráfico A1.3.	Distribución de las medias de las muestras Bootstrap.....	218
Gráfico A1.4.	Distribución Normal .....	219
Gráfico A1.5.	Cálculo de percentil en distribución Normal.....	220
Gráfico A1.6.	Distribuciones triangulares.....	221

Gráfico A1.7.	Distribución triangular.....	222
Gráfico A1.8.	Distribución triangular 15, 35 y 88.....	222
Gráfico A1.9.	Percentiles 20 y 99 en la distribución triangular.....	223
Gráfico A1.10.	Distribución continua.....	225
Gráfico A1.11.	Algoritmo del método de Monte Carlo .....	226
Gráfico A1.12.	Representación del intervalo de confianza mediante la regla empírica de la desigualdad .....	228
Gráfico A1.13.	Representación de los percentiles: regla empírica de la desigualdad .....	228
Gráfico A1.14.	Coefficiente de asimetría o sesgo .....	229
Gráfico A1.15.	Curtosis.....	231
Gráfico A2.1.	Variables aleatorias antes y después de la descomposición de Cholesky.....	247
Gráfico A3.1.	Balance general de una empresa.....	250

### Índice de imágenes

Imagen A1.1.	Cálculo del promedio.....	212
Imagen A1.2.	Cálculo de la desviación estándar .....	213
Imagen A1.3.	Cálculo del percentil 95.....	214
Imagen A1.4.	Distribución de la información .....	215
Imagen A1.5.	Cálculo del coeficiente de asimetría.....	230
Imagen A1.6.	Cálculo de la curtosis.....	231

### Índice de recuadros

Recuadro 2.1.	Probabilidad de ocurrencia .....	42
Recuadro 2.2.	Ítem de costo base.....	44
Recuadro 5.1.	Ejemplo de árbol de probabilidad.....	114
Recuadro 5.2.	Ejemplo de árbol de probabilidad en arbitraje internacional.....	119
Recuadro 7.1.	Método de valoración de la TA .....	173
Recuadro 7.2.	Ejemplo de aplicación .....	192

# Prólogo

por Susana Cordeiro Guerra

La inversión y el desarrollo de infraestructuras económicas y sociales serán ejes centrales de la recuperación y el crecimiento de América Latina y el Caribe (ALC) en los próximos años. El mejoramiento y expansión de la red de carreteras o de alcantarillado, el impulso de las nuevas redes de fibra óptica, o la ampliación de los servicios sanitarios y de educación requerirán cada vez más de la colaboración público-privada. Aprovechar el conocimiento y la experticia del sector privado para construir y proveer servicios de manera más eficiente siempre es importante, pero lo será aún más debido a la reducción de los espacios fiscales generada por la pandemia.

Los contratos de asociación público-privada (APP) son una relación de largo plazo que debe forjarse dentro de marcos regulatorios creíbles y de un reparto de riesgos lo más riguroso posible, destinado a que tanto el sector público como el privado asuman aquellos riesgos que estén en mejores condiciones de absorber y gestionar. Este libro sobre gestión de pasivos contingentes es un instrumento muy útil para fortalecer los fundamentos técnicos bajo los que debe forjarse la colaboración público-privada. La gestión integral de los riesgos vinculados a los proyectos de APP no es sencilla, y requiere de estructuras adecuadamente formalizadas y preparadas, así como de técnicas complejas para la valoración y medición de los distintos riesgos involucrados en este tipo de proyectos (como de sobrecostos, demanda y litigios, entre otros).

Con demasiada frecuencia, la ausencia de una medición rigurosa de riesgos ha conducido a graves problemas de índole fiscal y económica para los países. Esto, a su vez, ha llevado a deslegitimar la colaboración público-privada, lo que ha privado a los países de los importantes beneficios que esta

puede generar en términos de movilización del capital privado, eficiencia en la provisión de servicios de infraestructura o innovación en tecnologías y procesos. La medición de los pasivos contingentes –es decir, de aquellos riesgos cuya realización depende de un evento exógeno e incierto– es un primer paso técnicamente complejo, pero clave, para entablar una colaboración público-privada exitosa. Medir con precisión los riesgos que asume el sector público cuando en un contrato otorga al privado garantías de ingreso mínimo o de tipo de cambio es clave para la valoración adecuada de la conveniencia de llevar a cabo una colaboración público-privada, así como para disponer de las medidas de gestión necesarias que eviten que la materialización de estos riesgos ponga en peligro el proyecto y, sobre todo, el balance del sector público, como ha sucedido en algunos países. Lo mismo aplica para el caso de los riesgos de sobrecostos de construcción, de litigios nacionales o internacionales, de terminaciones anticipadas o de eventuales renegociaciones que a menudo sufren este tipo de contratos debido en parte a su naturaleza de largo plazo.

Este libro presenta los lineamientos técnicos y organizativos necesarios para una adecuada gestión integral de los riesgos vinculados a las APP, y constituye una herramienta valiosa para actuar como referente de consulta y adaptación por parte del personal que trabaja en los organismos involucrados en el diseño de APP (ministerios de Economía, Finanzas y/o Hacienda, unidades de medición de riesgos, agencias promotoras y bancos públicos, entre otros). Esta publicación recoge las mejores prácticas en materia de gestión de pasivos contingentes, aborda con particular detalle y rigurosidad la medición de estos riesgos y también aporta un *software* de Excel para facilitar su cálculo y aplicación práctica por parte del personal responsable. De esta manera, el libro pone a disposición de los países un importante conocimiento práctico y aplicable destinado a mejorar los cimientos técnicos de la APP en los países de ALC, lo que, sin dudas, representa un paso clave para fortalecer la institucionalidad y las políticas requeridas para estimular la reactivación y el crecimiento en los próximos años.

**Susana Cordeiro Guerra**

Gerente del Sector de Instituciones para el Desarrollo  
Banco Interamericano de Desarrollo

# Prólogo

por Gastón Astesiano

La infraestructura de una región constituye uno de los fundamentos básicos para su desarrollo. Si bien disponer de buenos hospitales, escuelas, carreteras o plantas de tratamiento no es una condición suficiente para asegurar el desarrollo económico y social, es, sin dudas, una condición muy necesaria. Desafortunadamente, los habitantes de América Latina y el Caribe (ALC) no disponen de los servicios de infraestructura que corresponden al grado de desarrollo de la región; de hecho estimaciones conservadoras muestran cómo las ineficiencias de la inversión pública en infraestructura supondrían más del 1% del producto bruto interno (PIB) regional (Izquierdo, Pessino y Vuletin, 2018). En otras palabras, la infraestructura económica y social ha limitado históricamente el potencial de la región. Y los tiempos tan complicados que experimenta ALC obligan a hacer mucho más por la recuperación económica aunque, desafortunadamente, con muchos menos recursos disponibles: la pandemia ha provocado que la deuda pública pasara del 58% del PIB en 2019 al 72% en 2020 y podría seguir aumentando hasta el 76% en 2023 (Cavallo y Powell, 2021). Los retos que enfrenta la región obligan a ser más eficientes e innovadores en el desarrollo de infraestructura pública —clave para la recuperación por su efecto multiplicador sobre el conjunto de la economía—, y para ello la participación del sector privado es vital. Este libro es un gran aporte para que los países de la región tengan una herramienta para la valoración, contabilización y reporte de los pasivos contingentes de los riesgos emergentes de los contratos de asociaciones público-privadas (APP), lo cual les permitirá gestionar dichos riesgos de una forma más eficiente y sofisticada.

El desarrollo de infraestructura es una actividad realmente compleja que conlleva un elevado grado de incertidumbre. Por ello, conocer, valorar,

contabilizar y reportar de manera correcta y transparente los pasivos contingentes generados por la infraestructura (e inherentes a la misma), ya sea la desarrollada como obra pública tradicional o a través de esquemas de APP, resulta clave para hacer un manejo eficiente, sostenible y fiscalmente responsable de los recursos públicos. Y esto resulta una prioridad para el Grupo BID. Por ello, en la reciente publicación *Visión 2025. Reinvertir en las Américas: Una década de oportunidades* (BID y CII, 2021) se otorga alta prioridad a las actividades de preparación de proyectos para fomentar la inversión y movilizar capital privado, así como a la necesidad de fortalecer la buena gobernanza y las instituciones para contar con marcos y políticas que atraigan capital privado y aseguren inversiones sostenibles.

Desde la Ventanilla Única APP del Grupo BID, trabajamos para fortalecer aquellas APP que tienen la capacidad de transformar la sociedad, generando proyectos socioeconómicamente rentables, eficientes, que produzcan valor por dinero y que sean bancables y sostenibles en sus dimensiones sociales, medioambientales y, particularmente, fiscales. Por ello, apostamos decididamente por trabajar junto a los países en fortalecer las condiciones para que esto tenga lugar, reforzando sus capacidades, apoyando el desarrollo regulatorio e institucional, preparando y estructurando proyectos sostenibles en toda la región, y promoviendo el desarrollo de conocimiento y mejores prácticas en APP.

**Gastón Astesiano**

Jefe de la Unidad de Alianzas Público-Privadas  
Banco Interamericano de Desarrollo

# Acerca de los autores

**Joan Oriol Prats.** Tiene más de 15 años de experiencia en temas de estructuración y regulación financiera, mercados de deuda y de capitales, y gestión de riesgos soberanos. Es *Lead Financial Specialist* en la división de Mercados de Capital y Finanzas del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). También funge de Secretario Ejecutivo del grupo de gestores de deuda pública de América Latina y el Caribe. En el BID ha liderado operaciones de garantía soberanas sobre bonos y préstamos sindicados y operaciones de inversión en los sectores de telecomunicaciones, energético y de pequeñas y medianas empresas (pymes). Lideró el equipo para la emisión del primer bono social soberano en el mundo y la primera garantía a un bono soberano del BID. Es Licenciado en Economía, PhD en Ciencias Políticas por la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) y MBA por ESADE Business School.

**Sergio Alejandro Hinojosa.** Posee más de 25 años de experiencia internacional en materias relacionadas a financiamiento de proyectos de infraestructura, asociaciones público-privadas (APP) y metodologías de evaluación de proyectos, análisis de riesgos y valor por dinero. También tiene experiencia en diseño de garantías de ingresos mínimos, mecanismos de cobertura cambiaria, mecanismos de plazo variable (MPVI) y, en general, garantías contractuales orientadas a mejorar la calidad crediticia y bancabilidad de los proyectos APP. Es socio fundador de IKONS ATN. Sergio es Licenciado en Economía, Ingeniero Comercial y PhD en Management Sciences con especialidad en Economía Financiera por ESADE Business School, tiene estudios de Master of Science en Finanzas en George Washington University y de Master of Arts en Economía en Georgetown University.

**Heinz Roque<sup>†</sup>.** Su experiencia estuvo centrada en el diseño de modelos cuantitativos de valoración de riesgos para proyectos de infraestructura con participación privada. Para distintos gobiernos de América Latina desarrolló manuales de gestión de riesgos de infraestructura y guías de valor por dinero, comparador público-privado y proceso jerárquico analítico para análisis multicriterio. Heinz fue expositor/relator en innumerables cursos de capacitación en análisis de riesgos y sus aplicaciones para APP. Fue consultor para la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), Banco Mundial, Corporación Andina de Fomento y el BID. Fue Especialista Senior en Análisis de Riesgos en IKONS ATN. Heinz fue Licenciado en Matemática, Magíster en Estadística en la Pontificia Universidad Católica de Chile y Master en Dirección Financiera en IEDE Business School, Universidad Europea de Madrid.

**Jorge Gonzalo Montecinos.** Tiene más de 20 años de experiencia profesional en finanzas públicas para infraestructura. Ha sido experto asociado del Departamento de Asuntos Fiscales del Fondo Monetario Internacional (FMI) donde ha asesorado a diversos gobiernos del mundo en la gestión de los compromisos fiscales derivados de la implementación de mecanismos de APP. Integró el equipo del FMI y del Banco Mundial que estuvo a cargo del diseño del Modelo de evaluación de riesgos fiscales de las APP (PFRAM, por sus siglas en inglés), y trabajó en el Ministerio de Hacienda en Chile como asesor principal en análisis fiscal de concesiones. Es Managing Director de IKONS USA. Jorge es Ingeniero Civil Industrial, tiene un Master of Science en Finanzas en University of Illinois, Urbana-Champaign, un Master en Gestión y Financiación de Proyectos Privados y Concesiones en la Universidad Europea de Madrid, y es PhD (c) en Economía en University of Queensland, Australia.

**Enrique Moraga.** Cuenta con más de 20 años de experiencia en estructuración financiera y modelación de proyectos de APP y concesiones. Participó en el diseño de garantías para numerosos proyectos de concesiones chilenas, por un monto total superior a US\$2.200 millones. Ha sido consultor del Banco Mundial y del BID para diversos proyectos de concesión y fue profesor del curso Modelación Financiera y de Riesgos dictado por el Tecnológico de Monterrey. Adicionalmente, dictó los cursos Introducción a la Modelación Financiera en Esquemas de APP y Modelación Financiera II e Introducción a la Evaluación Estocástica de Proyectos, en el marco de los encuentros técnicos del Programa para el Impulso de Asociaciones Público-Privadas

en Estados Mexicanos (PIAPPEM) y el BID en México. Actualmente es asociado principal en modelación financiera y análisis de riesgos en IKONS ATN. Enrique es Ingeniero Civil y tiene un Master en Economía en Georgetown University.

**Camilo Carrillo.** Tiene más de 18 años de experiencia en gestión pública en Proyectos de inversión y APP. Fue Director General de Inversión Privada del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) del Perú, donde estuvo encargado de consolidar la opinión del MEF en proyectos de contratos y renegociaciones de APP de impacto nacional; y también Director General de Infraestructura del Ministerio de Educación (MINEDU), donde impulsó la cartera de APP del MINEDU por más de US\$100 millones en 50 escuelas. Tiene experiencia en consultoría internacional con organismos multilaterales y actualmente es el responsable del tema de infraestructura en el Consejo Privado de Competitividad en el Perú. Es también docente de la Universidad del Pacífico y consultor asociado de IKONS ATN. Camilo es Economista, Master of Science en Economía por la Universidad Pompeu Fabra, Master of Science en Finanzas por la Universidad de Tilburg y PhD en Políticas Públicas por la Universidad de Maastricht.

**José Luis Guerra.** Cuenta con más de siete años de experiencia en análisis y modelación de proyectos de APP y concesiones, de sectores como transporte, irrigación y salud. También tiene experiencia en estructuración de proyectos APP para entidades de nivel nacional y subnacional; así como análisis de riesgos y evaluación de incidencia financiera para empresas concesionarias. Actualmente es consultor en el Viceministerio de Economía del MEF del Perú, y consultor asociado de IKONS ATN. José estudió Ingeniería Económica en la Universidad Nacional de Ingeniería y tiene un Master of Science en Economía Cuantitativa (QEM) Erasmus Mundus.



# Introducción

El objetivo de esta publicación es proporcionar una serie de metodologías sistematizadas de valoración de los principales pasivos contingentes derivados de los contratos de asociaciones público-privadas (APP) para la ejecución de proyectos de infraestructura y servicios en América Latina y el Caribe (ALC), de manera de reforzar la labor de las autoridades de los ministerios de Finanzas o Hacienda a través de una adecuada gestión fiscal de estos compromisos.

Los pasivos contingentes surgen como resultado de un principio fundamental de un contrato de APP que plantea que, a diferencia de lo que ocurre en proyectos provistos bajo modalidad de obra pública tradicional, en una APP el Estado puede transferir algunos riesgos o una fracción de ellos al operador privado. Este principio se traduce entonces en que el Estado no enfrentará la totalidad de los riesgos sino una parte de ellos, denominado riesgo retenido, mientras que otra fracción (la diferencia respecto del total) se considerará como un riesgo transferido al operador privado.

De esta manera, la existencia de pasivos contingentes constituye un elemento inherente a la naturaleza del contrato de APP y, por lo tanto, todos los países que han implementado o piensan implementar este mecanismo deben considerar la gestión de este tipo de compromisos como una actividad prioritaria dentro del proceso de provisión de infraestructura y servicios públicos bajo esta modalidad.

En el capítulo 1 de esta publicación se presenta una serie de lineamientos que sirven como marco de referencia de buenas prácticas en la gestión de los compromisos fiscales derivados de contratos de APP en ALC. Estos lineamientos apuntan a fortalecer la integralidad de los sistemas de gestión de compromisos u obligaciones fiscales que se derivan de los contratos de APP que se

implementen en países de la región en tres ámbitos del quehacer público de las APP: el organizacional, el institucional y el operacional o funcional.

El ámbito organizacional se refiere a aquellos grupos o unidades de trabajo formales que deban crearse o fortalecerse si se asigna el rol a una unidad existente para poder acometer las actividades y procesos que demanda la implementación del mecanismo de APP. El ámbito institucional se refiere a las leyes, reglamentos, normas, guías metodológicas y/o lineamientos que regulan las relaciones entre los actores involucrados en las actividades y procesos, mientras que el ámbito operacional o funcional se refiere a la creación de procesos y/o procedimientos necesarios para poder llevar aquellos adelante. Estos procesos pueden quedar implícitamente establecidos a través de canales informales que se asienten en la praxis o bien, como se recomienda, a través de la normativa que establece cuál será el papel que deberá desempeñar cada uno de los actores involucrados en la estructuración, promoción, licitación, implementación, fiscalización, supervisión y cualquier proceso relativo a la correcta implementación de un contrato de APP.

En suma, a través de los tres ámbitos estos lineamientos apuntan a diseñar un marco integral de gestión de riesgos derivados de estos contratos de manera de hacerse cargo de todo lo relativo tanto a la gestión misma de los riesgos como a las consecuencias que tiene para el Estado el adquirir compromisos con base en variables o parámetros que están sujetas a un resultado incierto o riesgoso. Esto último es lo que en el caso de aquellos riesgos (o fracción de los mismos) que son retenidos por el Estado en la fase de asignación dan origen a los pasivos contingentes.

Como se sabe, los pasivos contingentes se refieren a compromisos que el gobierno ha contraído, pero cuya activación o realización depende de la ocurrencia de un evento o el cumplimiento de una condición establecida en el contrato de APP. Este elemento de dependencia constituye la base que por tratarse de la ocurrencia de un evento de carácter incierto (puede ocurrir o no, o puede que la condición se cumpla o no se cumpla) trae por definición un elemento de riesgo que le es inherente a su naturaleza incierta.

Esto lleva a que el análisis de riesgos desempeñe un papel vital en la primera etapa de cualquier ejercicio de valoración de pasivos contingentes, donde se necesitará por lo mismo conocer cómo se comportan los parámetros asociados a estos riesgos, en particular la distribución de probabilidad de la variable en riesgo, su valor esperado y su variabilidad.

La evidencia muestra que los presupuestos públicos sufren importantes desviaciones y que el costo final tanto de la construcción de un proyecto como de su operación, equipamiento, mantenimiento y conservación

## Gráfico 1. Proceso de gestión integral de pasivos contingentes y su relación con el proceso de gestión de riesgos fiscales



Fuente: Elaboración propia.

ejecutados mediante el esquema de inversión exclusivamente público suele ser más elevado que lo previsto en los presupuestos originales. Estas desviaciones se deben a la presencia de distintos factores o causas, que tienen probabilidades de ocurrencia y que en caso de manifestarse pueden producir impactos potenciales importantes.

El gráfico 1 muestra esta conjunción entre el proceso de gestión integral de un pasivo contingente (en azul) con los elementos relativos al análisis de riesgos y el enfoque de seguimiento de los riesgos fiscales (en naranja).

Como se muestra en el gráfico 1, una gestión integral de pasivos contingentes se debe hacer cargo de al menos cinco elementos: la identificación del pasivo contingente, su valoración o cuantificación en términos del valor esperado de activación, el reporte o divulgación de esta exposición, la definición de mecanismos o medidas de mitigación de los potenciales efectos negativos que se generarían en caso que la contingencia se activara y el seguimiento o monitoreo continuo del valor esperado producto de que

cambios en el entorno podrían afectar las probabilidades de ocurrencia del evento que activa el pasivo contingente.

En esta publicación se desarrollan metodologías para valorar pasivos contingentes relacionados con diferentes riesgos: constructivos, de ingresos (demanda), de tipo de cambio, de litigios, de terminación anticipada del contrato y un riesgo especial que se denomina renegociación de contratos. Estas metodologías han sido preparadas tomando como referencia las mejores prácticas de la región, las que a su vez han sido desarrolladas en aquellos países donde la recurrencia en la activación de pasivos contingentes ha sido más significativa. A través de la comparación e identificación de ventajas de una respecto de la otra según el contexto de cada país, se han podido identificar bajo un enfoque ecléctico aquellos elementos que se puedan transferir a países de contextos socioeconómicos y culturales parecidos, aun cuando se encuentren en estadios diferentes en el desarrollo de sus sistemas de APP.

Cabe mencionar que este libro también considera propuestas de lineamientos que apuntan a mejorar la eficiencia en la gestión integral de los pasivos contingentes más allá de solo su valoración. En particular, se incluyen propuestas para mejorar el registro, reporte y monitoreo de los pasivos contingentes, de manera no solo de prever su activación, sino también de sugerir de qué forma se puede actuar en caso de que se active.

La publicación se organiza de la siguiente manera. En el primer capítulo se presenta el diseño de estrategias para mejorar el reporte de los riesgos/contingencias fiscales derivadas de un contrato de APP. Una vez identificados y valorados los pasivos contingentes el paso siguiente es incorporarlos en los registros contables o estadísticos correspondientes, así como también informar o reportar a la comunidad y autoridades bajo un marco de transparencia fiscal. En este capítulo se presentan también lineamientos de interacción entre la valoración de pasivos contingentes y el modelo de evaluación de riesgos fiscales de las APP (PFRAM, por sus siglas en inglés). El PFRAM es una herramienta que permite evaluar cuál sería el impacto fiscal generado tras la implementación de un proyecto de APP.

El PFRAM genera reportes de los estados financieros siguiendo las Normas Internacionales de Contabilidad para el Sector Público (IPSAS, por sus siglas en inglés), en particular la N° 32, y también de los principales agregados fiscales siguiendo las indicaciones del Manual de Estadísticas de las Finanzas Públicas 2014 (en adelante MEFP 2014) (FMI, 2014) y en consonancia con el manual de deuda del Sector Público (FMI, 2011). Aunque el PFRAM realiza la modelación siguiendo un estándar con base devengada (MEFP 2014 e IPSAS 32), se puede estimar el impacto de un proyecto tanto

con base en el devengo (es decir, estado de resultados, balance) como con base en caja (es decir, estado de flujos de caja). De esta forma, el PFRAM puede utilizarse en países con diferentes niveles de desarrollo en sus sistemas de contabilidad.

El segundo capítulo presenta una metodología para la valoración de pasivos contingentes derivados de causas de riesgos de sobrecostos en la etapa constructiva. En el tercero se desarrolla la metodología para los pasivos contingentes que se generan por el otorgamiento por parte del sector público de garantías de ingresos mínimos. El cuarto capítulo presenta una propuesta metodológica para el tratamiento del pasivo contingente por riesgo cambiario. En el quinto se incluye una metodología de valoración de pasivos contingentes por litigios contra el Estado. En el sexto capítulo se presenta una aproximación al riesgo de renegociación de contratos de APP como un pasivo contingente. Finalmente en el séptimo capítulo se estudia el pasivo contingente derivado de la terminación anticipada del contrato de APP.

Además, en la publicación se incluyen tres anexos. En el anexo 1 se presentan herramientas estadísticas que soportan la aplicación de cada una de las metodologías. En el anexo 2 se incluyen procesos estocásticos usados en la valoración de pasivos contingentes y el anexo 3 sintetiza el análisis de demandas contingentes (*contingent claims análisis* [CCA]) e incluye expresiones matemáticas para la valoración de opciones.



# Lineamientos para la gestión integral de pasivos contingentes



## 1.1. Introducción a la valoración de pasivos contingentes<sup>1</sup>

Uno de los elementos distintivos de un contrato de APP<sup>2</sup> es que, a diferencia de la obra pública tradicional, en la APP el Estado tiene la posibilidad de transferir algunos riesgos —o una fracción de ellos— al operador privado<sup>3</sup> que suscribe el contrato de APP. Esta asignación de los riesgos entre ambas partes se suele desarrollar como parte del análisis de riesgos y debería quedar reflejada tanto en la matriz de asignación de riesgos como en las cláusulas del contrato.

Aquellos riesgos que el Estado ha decidido no transferir (o que no ha podido transferir) se consideran **riesgos retenidos** y constituyen eventuales fuentes de pasivos contingentes. En otras palabras, que un riesgo sea retenido por el Estado significa que de acuerdo al contrato si este riesgo se materializa, entonces será el Estado quien deba responder como responsable del perjuicio que podría generarse producto de esta situación. Esto podría llevar

<sup>1</sup> Salvo que se indique lo contrario, en esta publicación los términos obligaciones, compromisos y pasivos tendrán el mismo significado y se usarán de manera indistinta.

<sup>2</sup> La literatura principalmente académica suele describir lo que se entiende por una APP con base en los elementos o principios que la distinguen de la obra pública tradicional. En general se identifican cuatro: (i) el empaquetamiento (*bundling*) de las tareas de diseño, construcción y operación en una sola entidad (la sociedad de propósito especial [SPE]); (ii) la distribución de riesgos entre el Estado y el privado; (iii) la materialización del vínculo entre las partes (pública y privada) en un contrato de largo plazo; y (iv) la regulación del contrato basada en indicadores de niveles de servicio.

<sup>3</sup> Generalmente se refiere a este como SPE.

a que la ejecución de los presupuestos públicos sufran desviaciones significativas y que el costo final tanto de la construcción de un proyecto como de su operación, equipamiento, mantenimiento y conservación ejecutados resulte ser más elevado de lo previsto en los presupuestos originales. Si bien esta relación no es biunívoca, en el sentido de que no necesariamente todos los riesgos retenidos se transforman en pasivos contingentes, sí determina la existencia de una correlación fundamental entre el análisis de riesgos y el de pasivos contingentes.

En cuanto a la forma en que se observa el efecto que se genera tras la activación de un riesgo, se puede clasificar en dos clases según la variable del proyecto afectada: sobrecostos y afectación de los ingresos. Mientras los primeros se refieren a la cuantificación del impacto potencial global sobre el valor de ejecución del proyecto —incluyendo los mayores gastos en que se incurre por retrasos en los plazos de construcción y/o de operación que se extienden por sobre una duración proyectada (sobrepazos)—, los riesgos de ingresos<sup>4</sup> se refieren a las eventuales diferencias entre los ingresos efectivos del proyecto y los proyectados. En cualquier caso, el efecto producto de la activación de un pasivo contingente necesariamente se reflejará en un sobrecosto o en una caída de los ingresos. Esto resulta de particular gravedad en el caso de un contrato de APP, dado que en cualquiera de los dos casos se afectarán los ingresos netos del proyecto, lo que a su vez podría afectar negativamente el repago del endeudamiento contraído por el sector privado con las entidades de financiamiento.

Debido a que los pagos por pasivos contingentes son por definición inciertos, si no se lleva un adecuado seguimiento de ellos y su eventual activación podrían verse afectadas tanto las finanzas de corto plazo (los presupuestos públicos) como la sostenibilidad en el largo plazo. Por lo tanto, un sistema bien diseñado para gestionar los compromisos fiscales de los proyectos de APP debe abordar cada uno de estos desafíos, garantizando que los responsables de la toma de decisiones del gobierno tengan en cuenta el costo de los compromisos fiscales tanto en el periodo previo a la firma del contrato como a lo largo de la vida del proyecto. De esta manera, se podría controlar mejor el potencial impacto fiscal de los pasivos contingentes al tiempo que se garantizaría que el gobierno pueda pagar cuando sea necesario, reforzando la credibilidad de sus compromisos.

---

<sup>4</sup> Como en general en los proyectos de APP se suele considerar que la tarifa permanece fija —en términos reales— a lo largo de la vida del proyecto/contrato, se considera que el riesgo de ingresos es equivalente al riesgo de demanda.

Por todo lo anterior, la cuantificación de las obligaciones o pasivos contingentes desempeña un papel muy importante en la gestión de los compromisos fiscales. Este ejercicio de valoración puede considerar dos enfoques diferentes: el primero referido a la **máxima exposición**, es decir, reconocer cuánto es el compromiso total involucrado en la garantía, y el segundo en términos de **valor esperado**, es decir, considerando la(s) probabilidad(es) de ocurrencia del (o de los) eventos que gatillan o activan el pago de un compromiso contingente. Esta segunda aproximación constituye conceptualmente un ejercicio de “valoración” propiamente tal y, por tanto, es la que se usará en este libro. El valor esperado también puede transformarse a un valor percentil 95 si el grado de aversión de la autoridad encargada del ente rector de las finanzas públicas así lo requiere.

Si bien en algunos casos es importante conocer la exposición máxima, en la práctica, esta refleja la situación del peor escenario, cuya probabilidad de ocurrencia suele ser muy baja<sup>5</sup> o despreciable. Por lo tanto, se debe necesariamente disponer de un modelo de valoración que incorpore las probabilidades de ocurrencia antes señaladas para poder tener una estimación que ayude a la toma de decisiones por parte de la entidad encargada de elaborar los presupuestos públicos.

De esta forma, los resultados del modelo de valoración deberían incluir estimaciones de lo siguiente:

- **El valor esperado (medio [percentil 50] o percentil 95) de los pagos** que el gobierno hará o recibirá durante cada año del contrato como resultado de las garantías explícitas (de ingresos por tráfico, de ingresos mínimos, de tipo de cambio u otra).
- **La variabilidad de los pagos**, incluyendo tanto estimaciones de toda la distribución de probabilidad de los pagos como indicadores de una sola cifra, tales como el pago máximo previsto que no deberá ser superado más que, por ejemplo, el 5% de las veces (una medida del flujo de caja en riesgo).
- **El valor presente de los pagos**, teniendo en cuenta estimaciones sobre su cronología y las características del riesgo.

A la vez, el valor esperado de un pasivo contingente se puede obtener a través de dos posibles enfoques, que se explican a continuación.

---

<sup>5</sup> En el caso de una garantía de ingresos mínimos, por ejemplo, sería la situación en la que el privado recauda \$0 a través del cobro de tarifas a usuarios. Estadísticamente corresponde a la probabilidad del último valor de la cola izquierda o equivalentemente al área bajo la curva entre dos puntos muy extremos de la cola izquierda de la función de distribución.

**Caso tipo I: cálculo de un pasivo contingente usando la fórmula general de cálculo del valor esperado**

Cuando el **valor del pago** de una obligación o compromiso que da origen al pasivo contingente **es un valor fijo y conocido**, el cálculo del valor esperado del pasivo contingente (VEPC) derivado se puede estimar como:

$$\text{Valor Esperado}(\tilde{C}) = \text{Prob}(E) * O$$

Donde:

$\text{Valor Esperado}(\tilde{C}) = \text{Prob}(E) * O$ : es el VEPC (C);

$\text{Prob}(E)$ : es la probabilidad de ocurrencia del evento contingente (E);

O: es el valor del pago u obligación comprometido por el gobierno. El valor de O es fijo.

La notación  $\tilde{\phantom{x}}$  indica que es una variable incierta o en riesgo. En este caso, el problema se reduce a conocer el valor de  $\text{Prob}(E)$ , ya sea aproximando a través de la frecuencia observada, enfoque determinístico o usando modelos de simulación, procesos estocásticos.

Ejemplos de esta modalidad de cálculo se consideran las demandas contra el Estado o los casos en los cuales el Estado otorga su aval sobre una garantía financiera. En ambos casos el valor que el Estado tendría que pagar es conocido a priori y, por lo tanto, el valor esperado depende solo de la probabilidad de que se pierda el juicio o la entidad contratante no pueda pagar el valor estipulado en la garantía.

**Caso tipo II: cálculo de un pasivo contingente estimando el valor esperado como el promedio de los valores esperados (o esperanza estadística)**

Cuando el **valor del pago** de una obligación o compromiso que da origen al pasivo contingente **no es un valor fijo, sino que depende de las condiciones bajo las cuales ocurre el evento contingente**, el cálculo del VEPC derivado se puede estimar usando modelos de simulación como:

$$\text{Valor Esperado}(\tilde{C}) = \mathbb{E}(\tilde{O}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \tilde{O}_i$$

Donde:

$\text{Valor Esperado}(\tilde{C})$ : es el VEPC (C);

$\mathbb{E}(\tilde{O})$ : es la esperanza matemática del pago. En este caso, es una variable en riesgo;

$\tilde{O}_i$ : es el valor del pago en una ocurrencia o iteración. Para poder calcular el promedio se requiere varios valores de  $O$ . Si se usa un modelo de simulación (Monte Carlo), por ejemplo, el subíndice se refiere a la iteración  $i$ . La notación  $\tilde{\phantom{x}}$  refleja que es una variable incierta o en riesgo.

Cabe notar que en el primer caso el valor del pasivo contingente se calcula con base en la probabilidad de ocurrencia del evento que lo genera, mientras que en el segundo el valor del pasivo contingente depende no solo de esa probabilidad, sino también del valor efectivo que toma la variable en riesgo subyacente a la condición o evento que activa el pasivo contingente. En este caso, se considera que el (valor del) pasivo contingente surge como un derivado del valor que toma la variable que lo activa. Esto último es importante desde el punto de vista metodológico pues, como se muestra a continuación, el análisis de este tipo de obligaciones fue originalmente desarrollado en el marco del estudio de los derivados financieros.

En el caso de los contratos de APP, muchas obligaciones contingentes se estructuran de acuerdo con esta tipología. Ejemplos de esto son las obligaciones contraídas como garantías que dependen del valor efectivo que haya tomado una variable en riesgo, como es el caso de la garantía de ingresos mínimos o ciertas garantías de tipo de cambio. Otros riesgos donde el valor esperado del compromiso dependerá del valor efectivo que tome la variable suelen ser los asociados a desastres naturales, fuerza mayor, hallazgos arqueológicos o tipo de cambio, entre otros.

## 1.2. Lineamientos para la gestión integral de pasivos contingentes

A continuación se presenta una serie de 10 lineamientos que apuntan a los elementos fundamentales para generar un marco de gestión de los pasivos contingentes derivados de las APP de acuerdo con las mejores prácticas, particularmente las observadas en ALC.

Estos lineamientos se extienden a través de tres ámbitos o dimensiones esenciales: institucional, organizacional y operativa o funcional.

### *Lineamientos del ámbito institucional*

1. Todo riesgo que, como resultado de la fase de asignación sea retenido por el Estado, debe ser tratado como un pasivo contingente. En el caso de los pasivos firmes cuyo valor inicialmente se desconoce (por ejemplo, aquellos pagos del gobierno que dependen del volumen o la

demanda), para su valoración se usa la misma aproximación metodológica que para los pasivos contingentes, aunque desde el punto de vista de su registro y reporte debe primar su tratamiento como un pasivo firme y no como pasivo contingente.

2. La suscripción de cualquier compromiso u obligación (sea esta de carácter firme o contingente) que involucre la posible transferencia de recursos públicos debe contar con la aprobación del ente rector de las finanzas públicas.
3. A través del marco regulatorio (puede ser a nivel reglamentario) debe establecerse que la gestión de un pasivo contingente debe ser tratada formalmente desde una perspectiva integral, esto es, apuntando a su correcta valoración, registro (presupuestario y contable) y reporte.
4. La gestión integral de pasivos contingentes debe ser vista como un ejercicio dinámico, esto es, el cálculo del valor esperado, las medidas de mitigación y el mecanismo de gestión previsto en caso de que se active un pasivo contingente deben actualizarse y revisarse periódicamente.

### ***Lineamientos del ámbito organizacional***

5. Se recomienda tener una unidad de trabajo u órgano formal, de línea, al interior del ente rector de las finanzas públicas (generalmente el Ministerio de Hacienda o de Finanzas) responsable del análisis de riesgos asociados a los proyectos de APP y también del seguimiento y monitoreo de los pasivos contingentes que se deriven de estos contratos.

### ***Lineamientos del ámbito operacional o funcional***

6. La gestión eficiente de un pasivo contingente debe basarse en la utilización de una metodología de valoración y no en el valor total garantizado, dado que este corresponde a la exposición máxima y no la más probable.
7. La valoración de pasivos contingentes debe priorizar, en lo posible, el uso de modelos cuantitativos. En aquellos casos en que no sea posible obtener el valor esperado de un pasivo contingente (o este resulte muy complejo), se recomienda enfocarse alternativamente en su gestión y reporte.
8. Todos los compromisos u obligaciones (sean de carácter firme o contingente) que involucren la transferencia de recursos públicos y los derechos a favor del Estado deben ser registrados en el presupuesto y contabilidad de acuerdo con las mejores prácticas, y reportados.
9. Los pasivos contingentes deben ser informados anualmente. En lo posible, se recomienda utilizar un reporte específico para estas obligaciones

(contingentes) o alternativamente uno incluido en algún reporte sobre sostenibilidad de las finanzas públicas.

10. La gestión financiera de un pasivo contingente requiere establecer un mecanismo de mitigación (fondo especial para contingencias, establecimiento de límites a lo que se puede comprometer como pasivos contingentes —asociado a un proyecto o la cartera global— o gestión de los pagos que permita un manejo eficiente de los recursos en tesorería de manera que no afecte la liquidez)<sup>6</sup> que aminore el efecto sobre la liquidez fiscal.

### 1.3. Elementos de la experiencia internacional y de ALC para la valoración de pasivos contingentes y metodologías propuestas

#### *Elementos de la experiencia internacional*

Como se ha mencionado, los pasivos contingentes son obligaciones que pueden llegar a ser exigibles o no serlo según ocurran o no ciertos hechos o eventos. La probabilidad de que estos eventos sucedan puede ser exógena con respecto a las políticas del Estado (por ejemplo, aquellas que se vinculan a una catástrofe natural) o endógenas (por ejemplo, si los programas del Estado crean un riesgo moral).

Las técnicas cuantitativas se utilizan cada vez más para evaluar la exposición en riesgo de los pasivos contingentes. Países como Chile, Colombia y Perú han utilizado el análisis cuantitativo como enfoque principal para evaluar esta exposición. Países como Australia y Sudáfrica también han usado aproximaciones cuantitativas, pero más en el contexto de un análisis de valor por dinero (Irwin y Mokdad, 2010). En general, las técnicas que se usan son adaptaciones de metodologías del análisis de derivados financieros.

A diferencia de los pasivos directos, las contingencias tienen un volumen desconocido ya que dependen del valor que toma una variable en riesgo en un momento dado, por lo tanto, como paso intermedio se debe predecir el comportamiento de la variable a partir de su distribución de probabilidad antes de lograr el objetivo principal, que es obtener el valor esperado. Para esto, se requiere modelar movimientos de la variable en riesgo con base en supuestos específicos. Estos supuestos dependerán de los datos históricos (si están disponibles) o del comportamiento esperado de la variable aleatoria; sin embargo, como principio,

---

<sup>6</sup> Lo importante es que, sin renunciar a la responsabilidad de desembolsar los recursos que corresponda, el Ministerio de Hacienda, Economía y/o Finanzas conserve para sí la potestad de poder decidir las condiciones (con qué recursos y en qué plazos) en las cuales efectuará el pago de la compensación respectiva.

cuanto mayor sea la incertidumbre, más compleja será la modelación. Por lo tanto, si puede obtenerse la mayor cantidad de información posible de historia de datos, es posible utilizar modelos paramétricos o puramente estadísticos. De lo contrario, se recomiendan los modelos de simulación.

En general, los países comenzaron a estudiar los pasivos contingentes en APP a través de la valoración de garantías explícitas, como las de ingresos mínimos o las de tipo de cambio. Particularmente, las garantías de ingreso mínimo han sido largamente utilizadas en países de ALC, especialmente en Chile y Perú. Así mismo, este tipo de garantía ha sido otorgada en numerosos proyectos del contexto internacional, tales como: A1 Motorway en Polonia, M5 Motorway en Hungría, Urban Railway PPP Project en República de Corea.

Si bien desde la academia se han construido modelos de valoración basados en opciones financieras complejas<sup>7</sup> o modelos matemáticos del tipo *jump diffusion process*, en la práctica la gran mayoría de los países utiliza modelos basados en opciones europeas simples o modelos estructurales. Para estudiar este tipo de compromisos se han utilizado modelos estocásticos para la proyección de los ingresos, así como del tipo de cambio (basados en el uso de modelos browniano-geométricos) para posteriormente obtener el valor propiamente tal a través de la fórmula de Black y Scholes mediante la analogía con las opciones financieras (Irwin, 2007; Hinojosa y Roque, 2011). En los últimos años, algunos países han explorado de manera aún muy incipiente otros pasivos contingentes originados en los contratos de APP, tales como el término anticipado —principalmente producto de la imposibilidad de pagar (*default*) del operador privado—, la exposición por garantías soberanas a préstamos de las empresas públicas, disputas contra el Estado u otros.

La simplicidad y factibilidad son consideraciones importantes. Una estimación no necesariamente tiene que ser complicada o precisa para ser útil, sino que el análisis puede ser simple y también útil. En muchas situaciones donde las distribuciones de probabilidad son desconocidas y no pueden lograrse a partir de datos históricos, se puede utilizar un panel de expertos como alternativa. También es importante que la valoración se repita periódicamente, a medida que se disponga de nueva información. La valoración es un ejercicio de estimación basado en ciertos supuestos, y es muy probable que las estimaciones difieran a medida que cambian los supuestos. Por lo tanto, una revaluación anual es parte esencial de la valoración.

Cabe recordar que el problema original de conocer el valor de un pasivo contingente se podría resolver “conceptualmente a la inversa”; esto es: en lugar

---

<sup>7</sup> Véanse los anexos 2 y 3.

de obtener el valor esperado de una variable en riesgo para la cual no existe un mercado donde se pueda transar (y por tanto no se dispone de una aproximación a su precio), se puede considerar cuál sería la disposición a pagar por disponer de esa garantía y se obtiene así un proxy de su valor. Un precio para la garantía basado en el riesgo equivale a establecer el precio de la garantía igual a las pérdidas esperadas. En principio, el costo de una garantía del gobierno es el valor esperado de esa garantía, calculado como el valor presente de los pagos esperados del gobierno bajo la garantía ajustada por cualquier recuperación. Ejemplos de países que cobran un valor basado en el riesgo a las garantías que otorgan incluyen Canadá, Chile, Colombia, Costa Rica, Noruega y Suecia.

Un valor/precio basado en el riesgo reconoce que no todas las garantías son igualmente riesgosas. En términos prácticos, cada propuesta de garantía tendrá que ser evaluada y el valor/precio de la garantía será fijo, en función de la evaluación del riesgo. Proyectos/préstamos más riesgosos invitarían a un valor/precio de garantía más alto. Una variante de esto, utilizada en algunos otros países, es un valor/precio fijo proporcional al valor nominal de la garantía ajustada por una prima por riesgo. Esta práctica simplifica el cálculo de las pérdidas esperadas y los costos asociados, pero puede no resultar en una recuperación total de los costos. Algunos países revalúan periódicamente la garantía durante su vigencia y ajustan los precios para reflejar los costos promedio, tal como se los conoce.

En cualquier caso, la decisión de cobrar un valor/precio basado en el riesgo no debe dar lugar a la proliferación de garantías. Como se indicó antes, la selección del instrumento debe basarse en su idoneidad y rentabilidad y el hecho de que se cobre o no por su otorgamiento no debería influir en esa decisión. La determinación del precio debe hacerla preferiblemente el Ministerio de Hacienda/Finanzas respectivo después de haber decidido ofrecer una garantía. Esta publicación permite que en caso de que el organismo público promotor de una APP requiera el diseño de una garantía tenga las herramientas para su posterior gestión, incluyendo la posibilidad de cobrar un precio por la garantía ofrecida.

### ***Elementos de la experiencia en ALC***

Los casos de países de la región como Chile, Colombia y Perú constituyen experiencias líderes en cuanto a la valoración y son seguidas de cerca por autoridades de países más allá de ALC. Asimismo, recientemente, Uruguay ha publicado una metodología para estimar pasivos contingentes en proyectos APP (Ministerio de Economía y Finanzas, 2017). La revisión de la experiencia de

los cuatro países muestra que, si bien las metodologías de valoración operan bajo lógicas bastante parecidas, en un extremo Chile se enfoca principalmente en los de carácter explícito como los de ingresos mínimos garantizados (IMG) y del mecanismo de cobertura cambiaria, mientras que en Perú el Estado no cubre riesgos de tipo de cambio pero sí se preocupa de monitorear el eventual pasivo contingente derivado de los posibles sobrecostos y renegociaciones.

Por su parte, Colombia parece ser el que más se preocupa de monitorear y llevar un seguimiento cercano de sus pasivos contingentes. Si bien se otorgan garantías de ingresos mínimos, no ocurre en cantidad como en Chile o Perú. Solo en casos excepcionales se han contemplado coberturas al tipo de cambio, pero se hace un seguimiento de riesgos asociados a riesgos retenidos, los cuales no son considerados en Chile ni en Perú, como los riesgos prediales, ambientales y de redes (PAR). Uruguay sigue la línea de valoración observada en Perú, Colombia y Chile.

Los modelos de valoración de pasivos contingentes para los casos indicados se resumen en el cuadro 1.1.

**Cuadro 1.1. Enfoque metodológico de valoración de pasivos contingentes**

País	Riesgo		
	De ingresos	De sobrecostos	De tipo de cambio
Colombia	Inicialmente se usaba un modelo basado en los ingresos potenciales (tipo valor presente de los ingresos [VPI]) <sup>a</sup> por cohortes o periodos cortos y se revisaba si se habían logrado los ingresos o no. Una nueva metodología (2020) estima y proyecta los ingresos esperados con base en un modelo econométrico de series de tiempo que relaciona principalmente la demanda con el PIB. Sugiere otras variables, desestacionaliza y elimina <i>outlier</i> . Calcula el riesgo como la diferencia de los ingresos estimados por el modelo econométrico y los ingresos reales del periodo histórico y calcula un error de estimación al percentil 95 que se resta a los ingresos esperados (proyectados).	Se utilizan modelos de técnica de evaluación y revisión de proyectos (PERT, por sus siglas en inglés) <sup>b</sup> para proyectar el comportamiento de la variable de costos y luego se consideran simulaciones de Monte Carlo para obtener la distribución de probabilidad del sobrecosto.	No se evalúa.

(continúa en la página siguiente)

**Cuadro 1.1. Enfoque metodológico de valoración de pasivos contingentes** (continuación)

País	Riesgo		
	De ingresos	De sobrecostos	De tipo de cambio
Chile	Se modela a través de un proceso estocástico, usando el movimiento browniano geométrico (MBG) y la simulación de Monte Carlo. Se calcula la activación del IMG como la diferencia entre los ingresos efectivos y el IMG.	No se evalúa.	Se ha utilizado el modelo de Garman–Kohlhagen el cual se basa en Black-Scholes para estimar el valor esperado de la exposición por el mecanismo de cobertura cambiaria.
Perú	Se modela a través de un proceso estocástico, usando el MBG y la simulación de Monte Carlo. Se calcula la activación del ingreso mínimo anual garantizado (IMAG) como la diferencia entre los ingresos efectivos y el IMAG.	Se utilizan modelos PERT para proyectar el comportamiento de la variable de costos y luego se consideran simulaciones de Monte Carlo para obtener la distribución de probabilidad del sobrecosto.	Se utilizan modelos PERT para proyectar el comportamiento de la variable tipo de cambio y luego se consideran simulaciones de Monte Carlo para obtener la distribución de probabilidad de la activación de la garantía.
Uruguay	Se modela a través de un proceso estocástico, usando un MBG y la simulación de Monte Carlo.	Los riesgos se valoran a partir de distribuciones y parámetros conocidos (como la media y la desviación estándar) en los cuales se establece una secuencia para valorar modelos paramétricos.	No se evalúa.

**Notas:**

<sup>a</sup> Se refiere al mecanismo de licitación basado en el valor presente de los ingresos efectivos. Bajo esta modalidad, el contrato es adjudicado a quien presente en su oferta el menor valor de ingresos que desea obtener a lo largo del contrato —medido en valor presente—, descontado una tasa definida en el contrato. La condición de término del contrato se cumple una vez que los ingresos efectivos alcanzan el valor propuesto en la oferta del licitante ganador.

<sup>b</sup> Una distribución PERT es una variable de la distribución beta, y utiliza como parámetros de definición el valor mínimo, el máximo y el más probable.

**Metodologías propuestas**

En esta publicación se presentan metodologías para enfrentar la valoración de seis pasivos contingentes que han sido identificados como más

recurrentes en la experiencia observada en ALC, y para los cuales se pueden desarrollar metodologías relativamente homogéneas para su valoración (esto es: que calzan con alguno de los enfoques —casos tipo I y tipo II— presentados en la sección 1.1). En el cuadro 1.2, se ofrece un resumen de los distintos enfoques metodológicos para cada uno de los pasivos contingentes. Cada metodología se describe en detalle en los siguientes capítulos.

#### 1.4. Elementos relativos al registro y reporte de los pasivos contingentes de acuerdo con las guías y normas internacionales y las mejores prácticas

Esta sección tiene por objetivo contribuir al diseño de estrategias para mejorar el reporte de los riesgos/contingencias fiscales derivadas de un contrato de APP. Una vez construidos los marcos metodológicos para la valoración de los riesgos y pasivos contingentes, el paso siguiente es analizar de qué manera estos resultados son incorporados en los registros contables o

**Cuadro 1.2. Resumen de las metodologías propuestas**

Pasivo contingente	Enfoque metodológico propuesto
Derivado del riesgo de sobrecostos y sobreplazos en la fase de construcción	Análisis de riesgos basado en parámetros estadísticos dependiendo de la función de probabilidad asumida (Bootstrap, Monte Carlo y percentiles)
Derivado del riesgo de ingresos (o de demanda) en la fase de operación	Proyección estocástica de los ingresos + simulación de Monte Carlo
Derivado de algún mecanismo de cobertura del tipo de cambio	Se reconocen dos modalidades: <ul style="list-style-type: none"> <li>• De indexación: proyección estocástica del tipo de cambio + simulación de Monte Carlo</li> <li>• De dos bandas (superior e inferior): modelo de Garman-Kohlhagen</li> </ul>
Derivado de litigios contra el Estado en un contrato de APP	Modelo de árbol de decisiones (con probabilidades condicionales)
Derivado de renegociaciones (modificaciones o adendas) del contrato de APP	Modelo de árbol de decisiones (con probabilidades independientes)
Derivado de terminación anticipada (TA) del contrato de APP	Se reconocen dos modalidades: <ul style="list-style-type: none"> <li>• TA modelando riesgo de crédito bajo enfoque de financiamiento de proyecto (<i>Project Finance</i>)</li> <li>• TA modelando riesgo de crédito bajo enfoque KMV-Merton</li> </ul>

estadísticos correspondientes, y cómo se informan o reportan a la comunidad y autoridades bajo un marco de transparencia fiscal. Para la definición de esta estrategia, se toma como referencia la práctica actual en la región en términos de registro y divulgación de información para proponer un formato (*template*) general de reporte de la exposición en riesgo derivada de una cartera de contratos de APP.

La sección incluye el desarrollo de lo siguiente:

- Principales elementos relacionados con el registro y reporte de pasivos contingentes.
- Recopilación de resultados generados por la(s) metodología(s) propuesta(s).
- Construcción de un *template* modelo de reporte de contingencias soberanas a ser empleado por las unidades de riesgo de países de la región.

Como se ha señalado, uno de los aspectos claves de las APP es que bajo esta modalidad de contratación el Estado tiene la posibilidad de transferir ciertos riesgos o alguna fracción de ellos al privado, a partir de lo cual el operador privado es remunerado en concordancia con este grado de transferencia. Esto se produce una vez que todos los riesgos han sido identificados, descritos y valorados. Una inadecuada asignación de los riesgos entre ambos sectores implica un mayor costo para el proyecto, e incluso se genera un incremento de la exposición del proyecto a nuevos riesgos. En esta etapa de asignación de riesgos también se determinan los elementos mitigadores de los riesgos más importantes.

De esta forma, la transferencia de riesgos del gobierno al sector privado tiene una influencia significativa en que los contratos de APP sean una alternativa más eficiente y costo-efectiva para la inversión pública y provisión de servicios gubernamentales. En otras palabras, mientras más riesgos (o fracción de ellos) el Estado es capaz de asignar al sector privado, mayor es la posibilidad de acceder a estas eficiencias o de alcanzar un acuerdo más costo-efectivo en comparación a hacerlo a través de algún mecanismo tradicional de provisión de obras públicas.

Así mismo, la transferencia de riesgos es relevante, pues afectará la manera en que se deberá llevar la contabilidad y el reporte más apropiado de los compromisos u obligaciones, tanto firmes como contingentes, que se generan a partir de la suscripción del contrato. Dependiendo de la normativa y lineamientos que se apliquen podría verse afectado el hecho de si un contrato de APP dará los beneficios y resultados esperados.

## Registro contable de los pasivos contingentes

El punto más relevante en el análisis de las diferentes normativas contables especiales para contratos de APP es que estas otorgan una clasificación avanzada a los activos envueltos en el contrato, en cuanto a si estos deben considerarse en el balance del sector público o en el de la sociedad de propósito especial (SPE) o socio privado.

En este sentido, el efecto contable de considerar un activo dentro del balance de una u otra parte es relevante, dado que esto marcará la pauta para concluir si la deuda o compromiso de pago que haya otorgado el sector público en el respectivo contrato de APP será considerado dentro o fuera del balance del Estado. En otras palabras, si el activo es considerado fuera del balance del Estado y dentro del balance del socio privado, también deberían serlo los compromisos de pagos que en este caso podrían considerarse fuera del balance del sector público.

En las cuentas públicas, los activos envueltos en los APP pueden considerarse activos no gubernamentales solo si hay evidencia de que el socio privado asume la mayoría de los riesgos atados a la asociación específica (enfoque Eurostat). Por lo tanto, el análisis de los riesgos asumidos por las partes es el elemento fundamental en la evaluación del proyecto respecto de la clasificación de los activos que subyacen en el contrato, para asegurar la contabilidad correcta del impacto en el déficit público de una APP.

No obstante, el hecho de que un determinado compromiso de pago del Estado cumpla con las condiciones que la normativa internacional establece para que un compromiso se considere **fuera de balance**, no debe entenderse como una forma de autorización del mercado internacional para que dicho gobierno pueda contraer mayores compromisos de pago. Muy por el contrario, en la situación financiera global actual es menester que los gobiernos sean capaces de dar muestras de que más allá de la contabilización de sus compromisos de pagos, en el futuro serán capaces de hacer frente a todos los compromisos que hayan asumido con el sector privado en relación con proyectos de APP, sin importar si tales compromisos deben o no estar contabilizados en sus registros financieros.

De este modo, el concepto de **dentro de balance** debe entenderse en un sentido amplio que no solo busca generar la normativa y procedimientos contables que justifiquen su incorporación o no en los registros respectivos, sino, más importante aún, que los gobiernos desarrollen metodologías de cálculo y determinación futura de compromisos

financieros a fin de dar claras señales a los inversionistas y financistas de que todos los proyectos desarrollados a través de la modalidad de APP están reconocidos como parte de las obligaciones del Estado, sean estas contingentes y/o ciertas.

De suma importancia es la contabilización que se le da a los activos y pasivos con respecto a cada uno de los riesgos envueltos. Tomando en consideración la forma en que estos pagos o deudas serán contabilizados, se tiene una mejor apreciación de lo que se asigna al presupuesto público y las obligaciones futuras que estos crean.

Para llevar adelante este análisis, los países suelen tener en su legislación interna controles contables que ayudan a establecer las diferentes partidas y sus consecuencias al balance presupuestario tanto del gobierno como del privado. Aun cuando los mecanismos pueden variar de país en país, de región en región y de Estado en Estado, seguir un patrón uniforme con respecto a las decisiones de los organismos internacionales (Fondo Monetario Internacional [FMI], Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE], Eurostat) es la manera de proceder para que los contratos de APP sean efectivos y, más importante aún, económicamente viables tanto para los Estados como para los inversionistas.

Gran parte de esta relación entre la valoración de pasivos contingentes y el análisis de riesgos nace de la asignación de los mismos entre el sector público y el operador privado. Este proceso genera como resultado a la matriz de riesgos que, entre otros, tiene como objetivo contribuir a identificar algunos de los instrumentos financieros o mecanismos de mitigación de riesgo necesarios para hacer frente a la exposición ante estos riesgos y que estos se encuentren claramente presentes en los contratos de APP. Algunos de los instrumentos o mecanismos de mitigación de riesgos más comunes son los siguientes:

- Seguros o garantías contratadas en el mercado:
  - seguros contra riesgos políticos/regulatorios,
  - seguros contra riesgos de demanda (garantía de ingresos mínimos).
- Financiamiento con respaldo del gobierno (u organismos multilaterales):
  - subsidios o cofinanciamientos del gobierno en función de fluctuaciones de la demanda,
  - garantías o avales a préstamos realizados por firmas concesionarias.
- Emisión de compromisos de pagos futuros (pagos por disponibilidad [PPD] o pagos por uso [PPU]).

Cuando un Estado emite una garantía definida en términos de alguna variable en riesgo del proyecto, crea una obligación contingente que reduce su valor neto. Sin embargo, los informes financieros de los Estados no reflejan esta variación. Asimismo, cuando un Estado suscribe un acuerdo de participación en los ingresos o en los beneficios, produce un beneficio contingente que incrementa su patrimonio neto. Sin embargo, por lo general los informes financieros no suelen revelar dicho cambio. Estas obligaciones y beneficios contingentes suelen denominarse **pasivos contingentes** y **activos contingentes**, respectivamente.

Los tipos de garantía como instrumentos de compartición de riesgos son los siguientes:

- garantía de volumen (por ejemplo, garantía del tráfico),
- garantía de ingresos,
- garantía de tipo de interés,
- garantía de tipo de cambio,
- garantía de recuperación de deuda,
- acuerdo de participación en los ingresos y
- acuerdo de participación en los beneficios.

Por norma general, la contabilidad reconoce la obligación de una entidad como un pasivo si dicha obligación reúne tres características esenciales:

- Que la obligación implique un probable sacrificio futuro de recursos [y] que la empresa pueda cuantificar con razonable precisión el valor monetario equivalente de los recursos necesarios para satisfacer la obligación.
- Que la empresa disponga de poca o ninguna discrecionalidad para evitar la transferencia.
- Que la transacción o el hecho del que deriva la obligación de la entidad ya haya tenido lugar.

Un pasivo contingente no es una obligación si no se cumple el primer requisito o si la pérdida no puede cuantificarse con razonable precisión. De esta manera, las garantías no necesariamente son consideradas un pasivo ni quedan reflejadas en el balance de las entidades contables.

Si se considera que los pasivos contingentes pueden tener importancia incluso cuando no son reconocidos en el balance, la contabilidad en valores devengados tradicional suele exigir su divulgación a través de notas, salvo en el caso de que la probabilidad de pérdida sea remota. Del

mismo modo, los beneficios contingentes, entendidos como el derecho a recibir una parte de los beneficios o de los ingresos si estos exceden un cierto umbral, no constituyen activos para la contabilidad clásica en valores devengados. Si se aplica el principio contable de prudencia, las reglas que determinan si los beneficios contingentes deben reflejarse como activos son más estrictas que las que se aplican a los pasivos contingentes: evita que los beneficios contingentes se reflejen como activos, salvo en caso de que la ganancia sea prácticamente segura, y rehúsa su divulgación a menos que la ganancia resulte probable. El cuadro 1.3 resume lo hasta aquí expuesto.

En algunos contextos, el debate sobre la contabilidad de las garantías aparece ligado al del uso de un fondo (o cuenta bancaria) destinado al pago de tales garantías. Esto puede inducir a confusión, dado que el tratamiento contable de las obligaciones y beneficios contingentes suele ser independiente de cómo se gestionen. Para mayor confusión, en ocasiones se emplean los términos **provisión** y **reserva** para referirse tanto a conceptos contables como a fondos.

**Cuadro 1.3. Contabilidad tradicional de las obligaciones y beneficios contingentes**

Probabilidad de pérdida o ganancia				
En palabras	Remota	Posible	Probable	Prácticamente segura
En términos matemáticos	[0,e)	[e,0,5)	[0,5,1-e)	[1-e,1)
Obligaciones contingentes				
Descripción contable (Normas Internacionales de Información Financiera [NIIF])	Pasivo contingente	Pasivo contingente	Pasivo	Pasivo
Tratamiento contable	Ignorar	Divulgar	Reconocer	Reconocer
Beneficios contingentes				
Descripción contable (NIIF)	Activo contingente	Activo contingente	Activo contingente	Activo
Tratamiento contable	Ignorar	Ignorar	Divulgar	Reconocer

*Fuente:* Elaboración propia.

*Nota:* e es algún número pequeño que puede variar de un auditor a otro. Si fuera igual a 0,05 se entendería por remota una probabilidad inferior al 5% y por prácticamente segura una probabilidad de al menos un 95%.

En esta publicación el término **provisión** refiere a un tipo de pasivo; en concreto, un pasivo en el que la cantidad o el tiempo son inciertos. El tratamiento de las obligaciones contingentes como provisiones a efectos de los informes financieros no implica la creación de un fondo al que se transfiera dinero en efectivo u otros activos cuando se anota una provisión y desde el que se transfiera dinero en efectivo cuando se registra una pérdida. Asimismo, y en el caso de que se constituyese tal fondo, la cuantía de la provisión tampoco tiene necesariamente que coincidir con la que debe depositarse en el fondo. La cantidad que debe depositarse en un fondo depende de la distribución de probabilidad de las pérdidas y del interés que tenga la entidad en que el fondo sea lo suficientemente amplio para cubrirlas; las estimaciones contables no proporcionan dicha información. El término **reserva** se ha empleado a veces con el significado de **provisión** y se utiliza en ciertas ocasiones para referirse a aquella parte de las acciones que no puede distribuirse entre los accionistas en forma de dividendos. Los expertos contables describen a veces el proceso de reservar una parte de las acciones de este modo como la “apropiación de los beneficios retenidos”.

Finalmente, si se considera el tratamiento contable específico que exigen dos importantes conjuntos de normas: las NIIF, que aprueba el Comité de Normas Internacionales de Contabilidad (CNIC) e incluyen tanto las Normas Internacionales de Contabilidad (NIC) como las interpretaciones realizadas por el CNIC, y las Normas Internacionales de Contabilidad del Sector Público (NICSP), aprobadas por el Comité del Sector Público de la Federación Internacional de Contadores y basadas en las NIIF, se tiene lo que se presenta a continuación.

### *Esquemas y normas sobre la contabilización de pasivos contingentes en contratos de APP*

#### **Normas Internacionales de Información Financiera**

Son particularmente importantes dos NIIF: la NIC 37 (**Provisiones, pasivos y activos contingentes**) y la NIC 39 (**Instrumentos financieros: reconocimiento y medición**). A diferencia de su homólogo estadounidense, el CNIC acepta el empleo de **pasivo contingente** y **activo contingente**, aun cuando los pasivos y activos contingentes no son en absoluto pasivos y activos en el sentido en que el CNIC define estos términos.

La NIC 39 se aplica a todos los instrumentos financieros, incluidos los derivados, con ciertas excepciones (como las pólizas de seguro). En este momento se excluyen:

*[los] contratos de garantía financiera, incluyendo cartas de crédito, que aseguran la realización del pago para el caso de que el deudor incumpla su obligación de pagar en el momento debido.*

La última excepción se aplica exclusivamente a los contratos de garantía de la deuda. La NIC 39 no es aplicable a contratos de garantía financiera que:

*garantizan pagos que deben efectuarse como consecuencia de cambios en un determinado tipo de interés, precio de una acción, precio de una materia prima, calificación crediticia, tipo de cambio de una divisa, índice de precios o tasa u otra variable (llamada a veces el **subyacente**).*

La NIC 39 establece también que su contenido no se aplica a aquellos contratos que exigen la realización de un pago basado en variables climáticas, geológicas o de otra naturaleza física, dado que aquellos suelen ser contratos de seguro.<sup>8</sup>

Por su parte, la NIC 37 se aplica a todas las “provisiones, pasivos contingentes y activos contingentes” con determinadas excepciones, entre las que se incluyen las resultantes de pólizas de seguros e instrumentos financieros reflejadas por su valor razonable (que quedan reguladas por la NIC 39). En la medida en que trata de obligaciones y beneficios contingentes, la NIC 37 quizá se encuentre en proceso de convertirse en una norma “residual” aplicable a aquellos aspectos no regulados con más detalle por otras normas como la NIC 39 y la norma de seguro propuesta.

Aunque la aplicación de estas normas a los diferentes tipos de garantía y de instrumentos de participación en beneficios mostrados en el cuadro 1.3 dista de ser clara, pareciera que la NIC 39 podría aplicarse a las garantías escritas sobre variables financieras tales como el tipo de interés y el tipo de cambio (y también a acuerdos de garantía y de participación en beneficios suscritos sobre variables tales como los ingresos o los beneficios). Pareciera que las garantías que recaen sobre variables físicas, como el volumen de tráfico, quedan regidas por la norma de contratos de seguro. Los contratos

---

<sup>8</sup> El contrato de seguro se define como “...aquel en el cual una de las partes (el asegurador) acepta un riesgo de seguro significativo al acordar con otra parte (el tenedor del seguro) compensar al titular de póliza o a otro beneficiario en caso de que un suceso futuro determinado e incierto (el hecho asegurado) afecte al titular de la póliza o a otro beneficiario”.

de recuperación de deuda parecen por el momento registrarse únicamente por la NIC 37, aunque esta situación podría cambiar de modificarse la NIC 39 en el sentido propuesto. En resumen, las actuales NIIF parecen sugerir que algunas garantías exigen el reconocimiento de un pasivo por su valor razonable, mientras que otras no quedan obligadas a ello.

Las garantías cubiertas por el contenido de la NIC 39 generarían activos o pasivos que quedarían reconocidos en el balance del sector público. Dichos activos y pasivos se medirían por norma general a través de su valor razonable, y las variaciones de este valor quedarían reflejadas en la medición del déficit público. Otras garantías serían reconocidas como pasivos en virtud de la NIC 37 —excepto en el improbable caso de que no pudieran ser cuantificadas con una exactitud razonable— en la medida en que la garantía considerada en sí misma probablemente dará lugar a la realización de un pago, o bien la garantía formara parte de una clase de garantías similares para las que las pérdidas resultan probables.

No obstante, algunas de las garantías cubiertas por la NIC 37 podrían no reconocerse, bien porque fueron adecuadamente consideradas como constitutivas por sí mismas de una determinada clase y la pérdida de la garantía no fuera probable, o porque incluso para un tipo de garantías similares la pérdida no resultara probable. En el supuesto de que dichas garantías fueran reconocidas, quedarían registradas por su valor razonable (que se estimaría como el valor presente de los flujos de caja previstos). En caso de limitarse únicamente a divulgar las garantías, se haría por su valor razonable.

### Normas internacionales de contabilidad del sector público

El Comité del Sector Público de la Federación Internacional de Contadores ha promulgado una norma basada en la NIC 37 (la NICSP 19: **Provisiones, pasivos contingentes y activos contingentes**). Esta norma de aplicación a las garantías y a los acuerdos de participación en beneficios o ingresos es muy similar a la NIC 37. Sin embargo, hasta la fecha el Comité no ha promulgado ninguna norma basada en la NIC 39.<sup>9</sup>

### La normativa del FMI para contratos de APP

El Manual de Estadísticas del FMI (MEFP 2001, 2014) establece cierto grado de flexibilidad para el tratamiento en las estadísticas de los pasivos

---

<sup>9</sup> Las NICSP establecen una jerarquía de normas. En ausencia de NICSP, pueden acogerse a las normas de ámbito nacional y a las NIIF.

contingentes de las APP. Esto es consecuencia del carácter especial que dentro de las finanzas públicas se le confiere a este tipo de obligaciones. Se sabe que la característica esencial de estos pagos es su carácter incierto en cuanto a si el gobierno deberá hacer frente a ella o no, según se active el evento o la condición contingente. Por lo tanto, hay incertidumbre respecto de su ocurrencia y, en consecuencia, su activación no puede anticiparse ni programarse.

En ningún caso se deben incluir como pagos por contingencias o garantías las inversiones o pagos cuya ocurrencia se podía proyectar o anticipar o que tengan una característica periódica. Esta clasificación resulta fundamental para determinar la manera en que se deberán registrar (y reportar) cada una de estas obligaciones o compromisos según su tipología

Desde el punto de vista de las estadísticas, el MEFP 2014 permite que los pasivos contingentes sean tratados fuera de balance; no obstante, se sugiere reportar su exposición en riesgo bajo los principios de rendición de cuentas (*accountability*) a los que se deben someter las instituciones y autoridades públicas. Este procedimiento de excepción se fundamenta en que usualmente estos instrumentos son justamente de excepción, es decir, no son otorgados en forma masiva ni previsible (*one-off guarantees*) y, además, son de baja probabilidad de activación o su valor en riesgo es difícil de estimar.

En esta categoría se incluyen los pasivos contingentes (tanto explícitos como implícitos) que típicamente otorga el Estado para compartir riesgos con el privado en las APP. Este puede ser el caso de las garantías mínimas de demanda o de ingresos, los pagos por reparaciones o inversiones adicionales que se soliciten una vez en marcha el contrato y, en términos más generales, cualquier situación que surja como consecuencia de la distribución de riesgos, es decir, donde según se establece con base en la matriz de riesgos el Estado haya asumido riesgos (o una fracción de ellos) como propios o compartidos. Estos son los riesgos retenidos.

### **Reporte de los pasivos contingentes**

Los estándares internacionales de contabilidad recomiendan que incluso en el caso de los gobiernos con contabilidad con base devengada, se reporten los pasivos contingentes, lo cual puede reforzarse entregando información suplementaria en documentos presupuestarios, informes fiscales y estados financieros.

El Código de Buenas Prácticas en Transparencia Fiscal del FMI de 2007 requiere que la documentación presupuestaria contenga información con

respecto a la naturaleza e impacto fiscal de los pasivos contingentes. Asimismo, el MEFP del FMI ya mencionado señala que la información relativa a los pasivos contingentes puede ser tratada fuera de balance, aunque debe ser registrada como una nota en los balances. Sin embargo, llevar a cabo lo anterior no es fácil.

Los distintos pasivos contingentes son generados por diferentes servicios públicos, que normalmente tienen diversos objetivos, por lo cual la información relativa a las obligaciones no siempre es útil o completa para estos fines. No obstante, una buena práctica debería promover que la autoridad informe los pasivos contingentes al menos desde dos perspectivas: la exposición máxima y el valor esperado.

Un cuadro con la exposición fiscal máxima asociada sirve para contrastar en caso de que se haya impuesto un límite a lo que el gobierno puede comprometer, ya sea solo en términos de pasivos contingentes o como total de compromisos en proyectos de APP. Así mismo, un modelo de gestión de riesgo fiscal debería también reportar en términos del valor esperado, como total y/o por proyecto (en valor presente) del pasivo contingente calculado de acuerdo con la metodología de valoración que se disponga.

Por último, cabe señalar que desde el punto de vista presupuestario, una práctica que contribuye a la buena gestión de los pasivos contingentes es que en el contrato de APP se establezca que, en caso de activarse, la garantía será pagada por la autoridad financiera en alguna fecha del año siguiente a aquel en el cual se generó. De esta manera, desde el punto de vista presupuestario el monto a pagar se puede incorporar en el presupuesto del año siguiente a aquel en el cual se produjo su activación.

## **1.5. Template para el reporte de los pasivos contingentes**

### ***Elementos conceptuales***

La preocupación más importante es verificar que el sistema de gestión fiscal genere datos sobre los cuales se pueda realizar una evaluación confiable de la sostenibilidad fiscal del país en el largo plazo. Esto requiere un presupuesto global, cobertura total de la situación financiera del gobierno en sus cuentas, información sobre todas las operaciones extrapresupuestarias (y posteriormente su eliminación) y divulgación de la naturaleza e importancia fiscal de los pasivos contingentes. La transparencia fiscal significa mantener una posición abierta con respecto a la estructura y funciones del gobierno, las intenciones y proyecciones de la política fiscal, las cuentas públicas y toda la actividad fiscal, no solo el presupuesto.

La implementación de estos principios como buena práctica generalmente se realiza a través de las siguientes medidas:

- la adopción de un marco de tiempo plurianual para la planificación y los pronósticos fiscales;
- la extensión de la cobertura del sistema contable y, finalmente, del sistema presupuestario para cubrir todas las actividades financieras del gobierno;
- la integración del tratamiento de los gastos corrientes y de capital;
- la introducción de una contabilidad modificada o totalmente en devengo para reflejar los activos y pasivos importantes; y
- la identificación e información sobre pasivos contingentes.

Estas medidas se centran en la transparencia fiscal. Sin embargo, la gestión eficaz del sector público es mucho más que transparencia fiscal, dado que no basta con registrar de forma transparente las consecuencias de decisiones equivocadas. La forma en que se gestionan las garantías otorgadas en los proyectos de APP plantea diferentes dificultades desde la perspectiva de una política fiscal sólida y una gestión del sector público. Los pasivos contingentes asociados deben medirse y registrarse sistemáticamente en el presupuesto y los estados financieros.

Dado que las garantías son obligaciones legales del gobierno, tienen prioridad sobre otros gastos igualmente importantes en transporte y en todo el gobierno durante los años en los que deben desembolsarse. Esto significa que durante esos años las prioridades de lo que el gobierno ha hecho en ese momento se desviarán y es probable que se financien con una expansión del déficit o una reducción del superávit fiscal. Si los montos se vuelven importantes, la política fiscal se vería socavada a nivel macroeconómico y generaría desviaciones microeconómicas.

Las autoridades deben ser conscientes de todo esto y evaluar diferentes opciones para enfrentar estos problemas. De esta manera, las garantías están diseñadas como un seguro para los prestamistas en los márgenes de riesgo del proyecto. El retraso de un año entre el reconocimiento y el desembolso de las garantías da tiempo al gobierno para organizar su financiamiento de la manera más eficiente, evitando, o al menos reduciendo, sorpresas.

Al igual que para el registro, en el caso del reporte de los compromisos derivados de los proyectos de APP, los lineamientos dependerán de la dimensión de las finanzas públicas correspondiente: la presupuestaria, la contable y la estadística.

- Desde el punto de vista presupuestario, las obligaciones de gastos se registran con base en caja, siguiendo las reglas de presupuestación de cada país. De esta forma, en el caso de los compromisos ciertos se deberán presupuestar en el ejercicio corriente. En el caso de los pasivos contingentes, estos no quedarán registrados en ninguna partida presupuestaria, a menos que se genere una previsión explícita para hacer frente a una eventual activación.
- En la práctica el ejercicio que se realiza en el caso de los IMG, tanto en Chile como en Perú, es que en el contrato de APP se establece que, en caso de activarse, la garantía será pagada por la autoridad financiera en alguna fecha del año siguiente a aquel en el cual se generó. De esta manera, desde el punto de vista presupuestario el monto a pagar se deberá incorporar en el presupuesto del año siguiente a aquel en el cual se produjo la activación.
- Es importante notar que, aun cuando los pasivos contingentes no son reportados en las cuentas presupuestarias, se recomienda que sean informados. Para esto, tanto en Perú como en Chile se presenta la información en documentos que acompañan la presentación para la discusión del presupuesto del año siguiente al Parlamento.
- Por ejemplo, en Chile se incluye en el Informe de Finanzas Públicas la exposición en riesgo de las garantías de ingresos mínimos otorgadas a proyectos de APP, esto es, el valor esperado que el gobierno deberá pagar por este concepto. Asimismo, en este informe se reportan los compromisos u obligaciones derivadas de transferencias ciertas que el gobierno debe cumplir de acuerdo con los contratos. Si bien estos compromisos son conocidos se tratan como si fueran un pasivo contingente.<sup>10</sup>
- Desde el punto de vista de la contabilidad, el principal problema radica en establecer si los compromisos generados por la APP constituyen o no deuda para el Estado. De acuerdo al Manual de estadística de la deuda del sector público: Guía para compiladores y usuarios (FMI, 2011), en el caso de los pasivos contingentes se acepta que no sean reconocidos como pasivos en las estadísticas macroeconómicas hasta que se cumplan ciertas condiciones especificadas. En el caso de las garantías este mismo manual establece tres categorías con distintas implicancias en cada una de ellas desde el punto de vista de su registro:

<sup>10</sup> De acuerdo con el Ministerio de Hacienda de Chile, esto sería más por una razón práctica que conceptual.

- garantías en forma de derivados financieros,
  - garantías estandarizadas y
  - garantías por una sola vez.
- Otro elemento relevante a tener en cuenta desde el punto de vista de la contabilidad es que de acuerdo a los principios que la rigen toda la información deberá registrarse con base devengada, lo cual implica ajustar la información con base en caja proveniente del presupuesto.
  - Desde el punto de vista de las estadísticas, actualmente el FMI se encuentra en proceso de discusión de una nueva versión del MEFP, el cual es consistente con la normativa contable requerida por IPSAS 32. Un punto relevante en ese sentido es el que se refiere al tratamiento de los pasivos contingentes pues se mantiene la posibilidad de que estos no sean registrados si son de baja probabilidad de activación o su valor en riesgo es difícil de estimar.

### *Interacción entre la valoración de pasivos contingentes y el PFRAM*

El PFRAM es una herramienta que permite evaluar cuál sería el impacto fiscal generado tras la implementación de un proyecto de APP. Para esto, considera la información relevante del proyecto y las proyecciones de las principales variables macroeconómicas, y estudia el efecto en los principales indicadores de sostenibilidad fiscal. La lógica del modelo apunta a usar estos indicadores para medir los efectos del proyecto, suponiendo que “el mundo se comporta según las estimaciones dadas por las proyecciones macroeconómicas”.

El PFRAM genera reportes de los estados financieros siguiendo la norma IPSAS 32 y también de los principales agregados fiscales siguiendo las indicaciones del MEFP 2014 y en consonancia con el Manual de Deuda del Sector Público de 2011. Aunque el PFRAM realiza la modelación siguiendo un estándar con base devengada (MEFP 2014, IPSAS 32), se puede estimar el impacto de un proyecto tanto con base en el devengo (es decir, estado de resultados, balance) como con base en caja (es decir, estado de flujos de caja). De esta forma, el PFRAM puede utilizarse en países con diferentes niveles de desarrollo en sus sistemas de contabilidad.

Por lo general, los proyectos de APP no son informados adecuadamente a través de los indicadores fiscales (particularmente, el déficit y la deuda), especialmente en los países con sistemas de contabilidad con base en caja. Esto se debe a que, al comienzo de un proyecto, cuando el activo relacionado con la APP es construido por el socio privado, el impacto sobre los saldos de

caja del gobierno suele considerarse más bien marginal. Sin embargo, bajo un enfoque con base devengada, tan pronto se firme el contrato, los compromisos del gobierno pueden ser significativos, lo que presenta un gran riesgo fiscal. A fin de proporcionar una perspectiva clara sobre el costo y el riesgo fiscal efectivo de un proyecto de APP, el PFRAM simula el impacto en el déficit fiscal, la proporción de deuda bruta/deuda neta y los pasivos contingentes, utilizando tanto la contabilidad de efectivo como la de devengo. Las simulaciones pueden entonces compararse con reportes tipo, específicos por país para evaluar cuan cerca/lejos están con respecto a las mejores prácticas.

Para poder funcionar, el PFRAM necesita que el modelador ingrese:

- Información básica de los aspectos relevantes del proyecto (entre otros, el tipo de proyecto, duración, gastos de capital [CAPEX, por sus siglas en inglés], costos de operación y mantenimiento [OyM], estructura de capital, costo de la deuda).
- Información de las proyecciones macroeconómicas para el horizonte de evaluación de la duración del proyecto (proyecciones de producto interno bruto [PIB], inflación y ciertos indicadores, como balance fiscal primario, balance/superávit fiscal —base en caja— y relación de endeudamiento neto/necesidades de financiamiento [*net lending/borrowing*]).
- Información para completar la matriz de riesgo fiscal (distribución, jerarquización, medidas de mitigación, fracción de riesgo transferido al privado y porción retenida por el Estado).

A continuación, se indican los principales resultados o productos (gráficos, reportes, indicadores) que genera el PFRAM:

- Flujo de caja esperado para el proyecto considerando el escenario esperado de ingresos (*cash inflows*) y costos (*outflows*). Dentro de estos últimos se incluye tanto el pago de la deuda como el gasto para las actividades de OyM. En una hoja anexa y con base en la información utilizada para construir este flujo de caja se calculan también los indicadores básicos de bondad del proyecto: el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).
- Con estos datos y usando la información ingresada para el financiamiento (*financing*) y fondeo (*funding*) del proyecto, se puede determinar si este requiere aportes directos para su viabilidad, expresada en términos de la TIR objetivo. Estos montos corresponden a aportes diferidos en el tiempo, por ejemplo a través de PPD, mientras que, por otro

lado, en un escenario de baja demanda, si se activara una garantía de ingresos, entonces habría un eventual pago del Estado en la forma de un pasivo contingente.

- El PFRAM también muestra cómo cambia el valor del activo no financiero (que representa el activo físico que se va a incrementar producto de la inversión —CAPEX— del proyecto) y el correspondiente pasivo desde el punto de vista de la contabilidad pública que debiera registrar la APP. Esto debería reflejarse también en los informes contables/financieros de la entidad contratante de acuerdo con la normativa de IPSAS 32.
- Junto con estos indicadores de stock, se presentan los principales indicadores de flujo —con base devengada y con base en caja—; esto es: la relación de endeudamiento versus las necesidades de financiamiento del gobierno (*net government lending/borrowing*) y el balance de caja del gobierno (*government cash balance*). En el caso del balance de caja del gobierno, este debería mostrar los PPD que el Estado hubiera comprometido y cualquier otro pago o transferencia directa al privado, en caso de que existan. Además, el PFRAM genera gráficos que comparan los cambios de los principales indicadores fiscales en la situación sin y con el proyecto: se muestra cómo cambia la deuda bruta del gobierno en la situación sin el proyecto (barra azul) versus la situación con el proyecto (barras rojas).
- Por último, se presenta un resumen del stock de obligaciones/compromisos, tanto directos (*stock of government liabilities due to PPP*), como de aquellos calificados como contingentes (*stock of government contingent liabilities due to PPP*), como porcentaje del PIB.

El PFRAM no considera específicamente un módulo de valoración de pasivos contingentes; sin embargo, permite desarrollar algunos ejercicios que bajo ciertos supuestos pueden complementar el análisis de pasivos contingentes.

Por una parte, el PFRAM permite determinar la matriz de riesgo fiscal. Si bien no es el objetivo principal, esta puede usarse para lograr un valor proxy de la fracción de riesgo que el Estado es capaz de transferir al operador privado y también de la fracción retenida. Este valor puede estimarse usando el PFRAM y luego utilizarse en la metodología propuesta para el cálculo del riesgo de sobrecostos.

Por otra parte, como se indicó anteriormente, el PFRAM genera reportes por concepto de pasivos contingentes, donde se identifica el stock completo (o valor máximo de exposición) y el valor esperado de los pagos del Estado producto de la eventual activación de alguno de estos pasivos contingentes (este ejercicio constituye una aproximación del valor esperado de activación del pasivo contingente). Al respecto cabe señalar que el PFRAM

**solo considera aquellos pasivos contingentes definidos como garantías explícitas** (ya sea del proyecto —tipo IMG, por ejemplo— o garantías directas de deuda en las que el Estado asume ante los financistas la responsabilidad de cubrir los pagos de la deuda<sup>11</sup> si el operador privado no puede cumplir con esto), y cuyo valor de activación sea conocido o sea el resultante de una fórmula conocida anteriormente.

Otra de las potencialidades del PFRAM es la posibilidad de hacer un análisis de sensibilidad de los principales indicadores macroeconómicos, en particular PIB e inflación. De esta manera, podría preverse qué pasaría si alguna de estas variables es afectada muy significativamente. Por ejemplo, en caso de una eventual deflación (*ceteris paribus*) los ingresos por peaje serían menores a lo esperado, mientras que en el caso de una mayor inflación dependerá de qué tan grande es el incremento. Si el incremento no es tan significativo (en relación con la elasticidad precio de los ingresos), podría haber una mayor recaudación de peaje. Sin embargo, si el incremento por inflación es muy significativo —tanto que supera la elasticidad—, el efecto sería en sentido contrario, dado que el valor de la tarifa haría su uso tan oneroso que desincentivaría su utilización por parte de los usuarios.

En el caso de los ingresos, el PFRAM otorga la posibilidad de analizar en forma conjunta o de manera diferenciada el efecto de un cambio significativo en estas variables sobre los ingresos del proyecto, toda vez que relaciona las proyecciones del PIB para modelar los flujos relevantes del proyecto y las proyecciones de inflación para modelar los efectos sobre las tarifas.

Cabe tener presente que el valor del activo no financiero y el correspondiente pasivo no se ven afectados ante cambios de supuestos sobre el PIB. No obstante, los indicadores de sostenibilidad sí se ven afectados producto de la activación de la garantía, dado que el pago que el Estado debería realizar quedaría reflejado como una salida en el balance de caja (*government cash balance*). El efecto en el indicador dependerá de la magnitud del pago realizado o, en otras palabras, del valor del pasivo contingente.

Un pasivo contingente que podría tener un impacto crítico en las disponibilidades presupuestarias y algo más moderado en la sostenibilidad es el que se activa ante eventuales órdenes de variación (solicitud de obras adicionales) requeridas por la entidad contratante. El contrato establece que el

---

<sup>11</sup> Usualmente este tipo de garantías son de carácter parcial y no cubren la deuda total, sino una fracción de ella. No obstante, algunas legislaciones permiten el otorgamiento de garantías de deuda completas (*full*) que cubren el total de la deuda (EPEC, 2011). Para más información, visítase PPP KnowledgeLab, disponible en: <https://pppknowledgeLab.org/guide/sections/19-the-role-of-public-finance-in-ppps>.

## Caso 1.1. Ejemplo de operación del PFRAM

Supóngase un proyecto que no tiene compromisos de pagos firmes del Estado al privado, tales como pagos por disponibilidad u otra obligación firme. Sin embargo, el proyecto considera el otorgamiento de una garantía de ingresos mínimos que se activaría ante ciertos escenarios de baja demanda. A través del análisis de sensibilidad, se podrían evaluar escenarios de caídas significativas del PIB y monitorear si el balance de caja del gobierno cambia incluyendo una baja en algún año. Si esto no ocurre, se interpretaría que ni siquiera ante esa situación de estrés se prevé una activación de la garantía o pasivo contingente, mientras que en caso de que la gráfica registrara la existencia de un pago en algún año del contrato esta podría estar asociada (véase la nota abajo) a la activación de la garantía.

---

*Nota:* Un supuesto importante pasa por asegurar que no existe ningún otro compromiso u obligación, firme o contingente, aparte de la garantía de ingresos mínimos. Si hubiera más de una obligación o compromiso del Estado en el proyecto, el resultado del indicador seguiría siendo válido, pero sería más difícil conocer la fuente originaria de activación.

gobierno podrá solicitar la incorporación de obras adicionales al proyecto, debiendo en general compensar al privado en concordancia con las cláusulas del equilibrio económico-financiero (caso 1.1).

Con base en lo anterior, se busca responder al menos dos preguntas clave para ver si el PFRAM podría desempeñar un rol de apoyo al análisis de los pasivos contingentes:

- **¿Puede el PFRAM servir para prever la activación de un pasivo contingente?** En opinión de los autores de esta publicación, sí puede. Efectivamente, el PFRAM puede utilizarse como apoyo a la gestión de riesgos fiscales, pues, como se señaló anteriormente, a través del balance de caja del gobierno se puede estudiar bajo qué escenarios el PFRAM mostraría que el Estado debió realizar pagos. Si se supone que en condiciones normales no debería existir ningún pago, por negación se demostraría que la única razón para ello es que se hubiera activado un pago producto del pasivo contingente.
- **¿Puede el PFRAM servir para valorar un pasivo contingente?** En opinión de los autores de esta publicación, eso no es claro. En cualquier caso, se considera que si bien podría servir, esto solo sería posible si se cumplen una serie de supuestos en forma copulativa y, por lo tanto, la

respuesta a la pregunta estaría más inclinada hacia el no que hacia el sí. No obstante, si bien el PFRAM podría servir para apoyar el análisis de pasivos contingentes, no lo reemplaza. En otras palabras, si bien el PFRAM no estima directamente la probabilidad de activación ni el valor esperado de un pasivo contingente, es capaz de mostrar si la garantía se activó o no, y en qué magnitud lo hizo.

Adicionalmente, el PFRAM en su versión 2.0 (FMI y Banco Mundial, 2019) dedica un módulo especial para que el usuario pueda estudiar un pasivo contingente en particular: el término anticipado. Si bien la herramienta no permite predecir o evaluar cuándo podría ocurrir una terminación anticipada del contrato, permite estimar la eventual compensación que debería pagar el Estado para hacerse en forma anticipada del proyecto una vez ejecutado el término anticipado del mismo y, por lo tanto, el pasivo contingente derivado de este hecho.

El PFRAM da la posibilidad al usuario de construir una matriz de riesgos fiscales, pero no utiliza la información que aquí se genera para desarrollar ningún producto al interior del sistema. Como se mencionó anteriormente, un pasivo contingente se origina conceptualmente cuando el Estado decide contraer un compromiso u obligación con el fin de hacer frente o compartir una fracción de un cierto riesgo. En otras palabras, un pasivo contingente no es más que el resultado de un (o la fracción de un) riesgo retenido por el Estado. Por lo tanto, desarrollando las extensiones respectivas, el PFRAM puede servir para proveer información global de toda la exposición del Estado, valorando todo el riesgo retenido en lugar de hacerlo instrumento por instrumento o pasivo por pasivo.

## ***Estructura y ejemplos de plantillas para el reporte de pasivos contingentes***

### ***Estructura para el reporte de pasivos contingentes***

La estructura sugerida para el reporte de pasivos contingentes es la siguiente:

- **Sección 1: introducción.** La sección introductoria debe indicar cómo el informe cumple con sus requisitos legales —generalmente derivados de leyes de responsabilidad y/o transparencia fiscal— y contribuye a los objetivos más amplios de gestión de los riesgos fiscales en términos de mejorar la transparencia en conjunto con otros informes y también debe señalar cómo estará disponible (medio de divulgación, periodicidad, alcance, entre otros).

- **Sección 2: conceptos y definiciones.** Explica qué son los pasivos contingentes, define un glosario de términos obligatorios para ser utilizados por las entidades de línea, explica cuáles son los efectos fiscales y de transparencia de las contingencias y anuncia los objetivos e intenciones de la política fiscal en relación con el riesgo en general y los pasivos contingentes en particular.
- **Sección 3: mejores prácticas internacionales sobre pasivos contingentes.** Presenta las guías, normas, lineamientos y/o mejores prácticas internacionales, cuando corresponda, para la identificación, evaluación, mitigación, elaboración de presupuestos e informes de contingencias.
- **Sección 4: pasivos contingentes para el portafolio de proyectos en el país.** Presenta una descripción detallada de los pasivos contingentes por contratos de APP identificados en el país y, por lo tanto, comprendidos en este reporte, incluyendo una subsección para cada tipo de pasivo contingente donde se presenten los resultados de su valoración.
- **Sección 5: gestión y mitigación de pasivos contingentes.** El objetivo de esta sección es presentar una visión de la estrategia de gestión y mitigación de contingencias que la autoridad y/o la legislación hayan establecido para el país. Por ejemplo, la creación de un fondo especial (presupuestario o extrapresupuestario), provisiones o mecanismos definidos para enfrentar la gestión de las contingencias derivadas de los contratos de APP.
- **Sección 6: proyección de impacto fiscal o efecto en la sostenibilidad.** Muestra cómo las contingencias afectan la posición fiscal —generalmente referida respecto del sector público no financiero (SPNF)—, y las perspectivas con énfasis en si la eventual materialización de alguna de estas afectaría las proyecciones fiscales, así como también cuán fuerte es la posición fiscal para resistir eventos relacionados con contingencias.

La sección 4, donde se presentan los resultados de la valoración de los pasivos contingentes de acuerdo a la(s) metodología(s) correspondiente(s), debería incluir para todos los proyectos la siguiente información:

- Descripción de la metodología que se utiliza para producir las estimaciones, en la que se destaquen claramente las características de los cálculos (indicar cuáles están en valores esperados, estimaciones brutas, exposición máxima, etc.).
- Flujo de caja neto esperado de pagos originados por las garantías (hasta al menos el último año con compromisos pendientes).

- Valor presente del flujo de efectivo esperado de pagos (calculado hasta al menos el último año con compromisos pendientes), ya sea absoluto o como porcentaje del PIB.
- Informar y monitorear las proporciones de:
  - inversión total en APP/(inversión total en APP + inversión pública total en infraestructura),
  - importe bruto total de garantías/inversión total en APP,
  - valor presente del flujo de efectivo esperado de pagos/monto bruto total de garantías, y
  - valor presente del flujo de efectivo esperado de pagos/inversión total en APP.

### Ejemplos de templates para el reporte de pasivos contingentes

#### Template N°1

Para cada tipo de pasivo contingente identificado debería reportarse el valor esperado de ese pasivo por proyecto. En el caso de pasivos contingentes asociados a compromisos explícitos del Estado se podría reportar además de su monto en términos absolutos, su valor como porcentaje del PIB. En el caso especial del riesgo de sobrecostos y en algunas renegociaciones,<sup>12</sup> el VEPC se suele expresar en monto y como porcentaje de la inversión originalmente definida para la ejecución del proyecto (cuadro 1.4).

**Cuadro 1.4. Template de reporte del pasivo contingente**

Listado de proyectos	VEPC (en moneda del año)	VEPC (como porcentaje del PIB)
Proyecto A		
Proyecto B		
⋮	⋮	⋮
Proyecto N		
<b>Total</b>	<b>XXX</b>	<b>YY%</b>

Fuente: Elaboración propia.

<sup>12</sup> Como se verá en el caso de las renegociaciones, estas pueden en algunas oportunidades incluir obras adicionales a lo originalmente contratado y, por lo tanto, se puede referir al monto original del contrato. Del mismo modo, en ciertos casos dependerá de la forma de compensación que elija el Estado, de manera que cuando esta se materialice por transferencia directa se suele expresar como porcentaje del PIB.

Es importante destacar que como el pasivo está referido a un periodo de tiempo el VEPC en realidad es calculado como un valor presente dada una distribución de pagos en una serie de años; por lo tanto, su activación es consistente con los principios de devengado pues representan la exposición para todo el periodo del proyecto.

### Template N°2

Una vez identificados los valores esperados para cada pasivo contingente y presentado su valor presente para cada proyecto del portafolio de contratos vigentes debería incluirse un cuadro resumen por proyecto de todos los pasivos contingentes identificados (cuadro 1.5).

### Template N°3

El reporte siguiente debería mostrar los valores esperados del agregado de pasivos contingentes pero en este caso para cada año por los próximos años hasta donde existan compromisos del Estado. El cuadro 1.6 presenta un ejemplo de cómo sería este reporte suponiendo que será publicado en 2023.

De forma complementaria o alternativa en lugar de mostrar el cuadro con los valores, esta información puede presentarse a través de un gráfico de barras. Esta alternativa reflejaría de manera más clara la concentración de compromisos contingentes en el corto a mediano plazo versus los de largo plazo. Además, esta representación mostraría de manera más efectiva desde qué momento el Estado podría empezar a adquirir nuevos compromisos de recursos por sobre los que ya existen.

**Cuadro 1.5. Template de reporte de todos los pasivos contingentes, por proyecto**

Listado de proyectos	VEPC N° 1 (valor presente en moneda del año)	VEPC N° 2 (valor presente en moneda del año)	...	VEPC N° n (valor presente en moneda del año)
Proyecto A				
Proyecto B				
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Proyecto N				
<b>Total</b>	<b>XXX</b>	<b>XXX</b>	<b>XXX</b>	<b>XXX</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 1.6. *Template de reporte de todos los pasivos contingentes, por año***

Año	VEPC total (en moneda del año)
2023	
2024	
:	:
Año T	
<b>Total</b>	<b>XXX</b>

#### Template N°4

Como se mencionó antes, sería interesante aprovechar la posibilidad que presenta el PFRAM para realizar análisis de sensibilidad respecto de las principales variables macroeconómicas y observar en qué condiciones se activaría el pasivo contingente o no.

El módulo de análisis de sensibilidad del PFRAM permite observar qué sucede si se aplican shocks puntuales a lo largo del proyecto, además de poder aplicar la sensibilidad a variables como el PIB, el tipo de cambio real y las tasas de interés, lo cual puede sin duda complementar el ejercicio de valoración en forma significativa.

Si bien las metodologías de valoración podrían incluir ejercicios de sensibilidad, tanto su definición conceptual como la modelación matemática que conllevan volverían el ejercicio bastante más complejo y por eso resulta interesante poder utilizar esta herramienta que el PFRAM 2.0 incluye. No obstante, la principal limitación del PFRAM es que esto solo puede hacerse para aquellos pasivos contingentes que se presentan como garantías explícitas (ingresos mínimos o tipo de cambio, por ejemplo) o para evaluar el término anticipado del contrato por *default* del operador privado, pero no para eventos cuyo resultado (en caso de que ocurra el evento o se verifique la condición que lo activa) no está definido con anterioridad (como sobrecostos, disputas o renegociación).

# Pasivo contingente derivado de riesgos en la fase de construcción

## 2

Los riesgos constructivos son gatillados por causas que generan sobrecostos y que por lo general son transferidas al sector privado. Sin embargo, algunas de estas causas son retenidas por el gobierno debido a que pueden ser gestionadas de manera más eficaz por el sector público. La valoración del pasivo contingente tiene como objetivo asignar un valor monetario a cada uno de los potenciales efectos ocasionados por eventos que generan riesgos de sobrecostos en la etapa de construcción y que han sido retenidos por el gobierno de manera explícita en los contratos de APP y, en consecuencia, generan un pasivo contingente al Estado. Las causas que generan sobrecostos que generalmente son retenidos por el Estado son las siguientes:

- expropiación de terrenos y predios,
- adquisición de permisos y licencias,
- interferencia de ductos y cableado de servicios públicos (obras inducidas),
- medioambientales y sociales,
- eventos geológicos no previstos en el diseño original,
- hallazgos arqueológicos y
- eventos de caso fortuito y fuerza mayor.

En la siguiente sección se definen cada una de estas causas.

## 2.1. Causas que generan sobrecostos<sup>13</sup>

### *Expropiación de terrenos y predios*

Esta causa se define como el sobrecosto ocasionado por la no disponibilidad de los terrenos necesarios para la ejecución del proyecto, que genera retrasos en la ejecución de la obra y además puede suceder:

- que el costo de la expropiación sea el mismo, pero tome más tiempo ejecutarla,
- que la expropiación resulte más cara de lo inicialmente previsto o
- que se deba modificar el proyecto para no utilizar los terrenos con problemas.

Esta causa se asocia a la no disponibilidad del terreno en el momento de la ejecución de las obras o en caso de realizar obras adicionales al proyecto que no estaban consideradas en el diseño original (proyecto ejecutivo). El riesgo de sobrecostos de expropiaciones se puede materializar en las dos formas siguientes:

- los terrenos donde el proyecto se va a desarrollar se encuentran total o en parte en propiedad o posesión de terceros, y
- si los terrenos donde podrían habilitarse posibles ampliaciones del proyecto u obras adicionales no consideradas en el diseño original se encuentran ocupadas en posesión o propiedad por parte de terceros.

En la mayoría de los contratos la administración de este riesgo es retenida por el gobierno, dado que este tiene un mayor control del procedimiento expropiatorio y un mayor poder de negociación en la fijación del precio cuando no hay acuerdos con los expropiados.

### *Obtención de permisos y licencias*

Hace referencia a los imprevistos durante la gestión y/o adquisición de los permisos prediales necesarios para el desarrollo del proyecto que tiene

---

<sup>13</sup> Las definiciones han sido adaptadas combinando conceptos utilizados tanto en la Dirección General de Crédito Público y Tesoro Nacional (2020) de Colombia y la Dirección General de Política de Promoción de la Inversión Privada (2016) de Perú.

efectos directos sobre su ruta crítica. Esto genera sobreplazos que deberían monetizarse con la finalidad de contabilizar el pasivo contingente.

Cuando los imprevistos se presentan durante la adquisición de los predios, tienen un impacto directo sobre los costos del proyecto y representan un riesgo muy costoso para el gobierno.

### ***Interferencia de redes de servicio público (obras inducidas) no previstas en el diseño original***

Esta causa de sobrecostos se refiere a todas las interferencias, reubicaciones, protecciones o tratamiento que se deba realizar a las redes de servicios públicos (agua, gas, electricidad) ubicadas dentro del área del proyecto. Teniendo en cuenta su potencial complejidad e implicaciones en la ejecución de los proyectos, en algunos casos y de acuerdo con la normatividad, este riesgo es retenido por el gobierno y, por lo tanto, constituye un pasivo contingente. Esta causa de riesgo de sobrecosto en la etapa de construcción se puede presentar en tres formas:

- por la aparición de interferencias en el área de obras, adicionales a las interferencias previstas en los estudios iniciales del proyecto;
- si las actividades necesarias para tratar las interferencias fueron identificadas en los estudios iniciales, el sobrecosto puede producirse por el incumplimiento de los plazos en el tratamiento de tales interferencias; y
- si se identificaron estas causas durante la ejecución de las obras, el sobrecosto puede producirse por el inadecuado tratamiento de tales interferencias.

### ***Adquisición de permisos y/o licencias medioambientales***

Ocurre cuando las obligaciones derivadas de las licencias ambientales y de los planes de manejo ambiental resultan más costosas de lo presupuestado. Esta causa de sobrecostos puede producir efectos no esperados durante la gestión y/u obtención de las licencias o permisos ambientales para la ejecución del proyecto. La adquisición y gestión de estos permisos suele asignarse al ente privado y los sobrecostos derivados de los trámites y demás suelen compartirse con el ente público o retenerlo el ente público. Dentro de este riesgo, también se enmarcan las obras adicionales que las autoridades ambientales soliciten producto de los trámites en cuestión.

### ***Eventos y/o hallazgos geológicos***

Esta causa de riesgo de sobrecostos se produce por la posibilidad de que cambios en las condiciones geológicas establecidas en el diseño original del proyecto dificulten, impidan, modifiquen o retrasen la construcción de las obras del proyecto, incluyendo las que podrían ser catalogadas como complejas; por ejemplo, túneles, puentes, viaductos y puntos críticos en taludes ubicados en zonas inestables. Algunos proyectos pueden presentar una complejidad geológica y/o geotécnica que hace muy difícil que el sector privado esté dispuesto a asumir la totalidad del riesgo a un costo razonable. Es usual en obras de ingeniería, tales como túneles, puentes, viaductos y obras subterráneas, localizadas en zonas geológicas inestables encontrar importantes desviaciones de costos por condiciones geotécnicas distintas a las inicialmente estimadas en los estudios. En estos casos es posible que el riesgo sea retenido por el gobierno de manera total o parcial, es decir, compartido entre el gobierno y el operador privado.

### ***Hallazgos arqueológicos***

Corresponde a descubrimientos de restos arqueológicos no previstos en el diseño original que interfieran con el desarrollo de las obras, provocando sobrecostos principalmente por retrasos en los plazos de construcción. Este riesgo puede surgir por la gestión de los permisos formales ante las autoridades pertinentes y/o por la gestión del rescate de los restos encontrados o por cambios de trazado del proyecto original. En estos casos, la materialización del riesgo tendrá como efecto la generación de sobrecostos.

### ***Eventos fortuitos o de fuerza mayor***

Se refiere a aquellos eventos fortuitos o de fuerza mayor que están fuera de control de las partes. Entre ellos, se encuentran los desastres naturales, los conflictos sociales que afecten directamente el normal desempeño del proyecto de APP y el vandalismo. También existen eventos fortuitos o de fuerza mayor que debido a su naturaleza no son asegurable, como guerras o actos terroristas contra el proyecto de APP.

## **2.2. Riesgo de sobreplazo**

En el marco anterior es importante precisar la definición de sobreplazos como una fuente de sobrecostos. Un sobreplazo se define como una

desviación del plazo inicialmente estimado (o contratado) para el desarrollo de todas las actividades críticas de un proyecto con respecto al plazo final (o real) para la ejecución de estas actividades, especialmente las asociadas a la etapa de construcción del proyecto.

Por ejemplo, si la etapa de construcción de un proyecto tiene programado una duración de 540 días pero terminan siendo 675 días, entonces el sobreplazo del proyecto asciende a 135 días, lo que implica una desviación del 25% más respecto del plazo inicial. Sería esperable que esta mayor desviación signifique un aumento de costos respecto de los inicialmente previstos tanto para el adjudicatario del proyecto, como para la sociedad en su conjunto debido a que el proyecto ha sufrido un retraso y los beneficios netos derivados de su operación se concretarán con demora. Desde el punto de vista del inversionista privado lo anterior significa que se deben asumir mayores gastos generales en la etapa de construcción. Además, se puede generar una pérdida por daño emergente derivado de la imposibilidad de percepción de ingresos en las fechas proyectadas, dado que al retrasarse la fecha de término de la etapa de construcción también se demora el inicio de la etapa de operación que es cuando típicamente se pueden cobrar los servicios prestados.

Las siete causas presentadas en la sección anterior pueden tener efectos en la ruta crítica del proyecto y por lo tanto generar sobreplazos que deberían ser monetizados con la finalidad de contabilizar el pasivo contingente, en la medida que el gobierno haya manifestado su intención explícita de asumir y compensar los sobreplazos del proyecto. En caso de que la responsabilidad del sobreplazo no esté definida de manera explícita en el contrato, su tratamiento como pasivo contingente será recogido a través de la renegociación de contratos y/o en la resolución de disputas, si fuera el caso.

Los sobreplazos son riesgos que se transfieren al sector privado en una APP o, en su defecto, son compensados a través de aumentos de plazo. De las siete causas, al menos dos de ellas pueden implicar retrasos importantes en la etapa constructiva y su efecto generalmente es retenido por el sector público: los permisos y licencias necesarios para iniciar las obras o parte de ellas, y los atrasos en el proceso expropiatorio cuya responsabilidad administrativa recae en el sector público. Si el sector público decide retener el riesgo de retrasos y la compensación al inversionista privado es en dinero (y no en plazo adicional), entonces se genera un pasivo contingente de corto plazo en la etapa de construcción, por lo que es necesario su valoración.

Para la valoración del riesgo de sobreplazo, se utilizan los siguientes parámetros: el valor presente de la inversión del proyecto, el percentil a

evaluar para el riesgo de sobreplazo<sup>14</sup> (de acuerdo con la regla percentil 50-95), el plazo inicial de ejecución y la tasa de compensación que puede aproximarse a través del porcentaje total de gastos generales del total de la inversión inicial del proyecto.

$$CRS = ((1+r_c)^{1/360}-1) \times CAPEX \times PI \times PO \times I \times \theta$$

Donde:

- CRS*: es el costo del riesgo de sobreplazo;
- r<sub>c</sub>*: es la tasa de compensación anual del CAPEX (en porcentaje);
- CAPEX*: es la inversión base correspondiente a la etapa de construcción;
- PI*: es el plazo inicial de ejecución del proyecto (en días);
- PO*: es la probabilidad de ocurrencia de la causa que genera el sobreplazo total en ruta crítica (en porcentaje);
- I*: es el impacto de la causa en el sobreplazo del proyecto en ruta crítica (en porcentaje); y
- θ*: es el porcentaje de riesgo total que es retenido por la autoridad en concepto de sobreplazo del proyecto en ruta crítica.

Es importante precisar que una o más causas pueden generar sobrecostos. Además, es extremadamente relevante verificar que las causas que generan sobrecostos directos no incluyan también el efecto de los sobreplazos, de forma tal de evitar la doble contabilización y valoración. Esto es particularmente pertinente cuando se utiliza información histórica.

Asimismo, los sobreplazos por cada actividad asociada a cada causa no son sumables, excepto que estas afecten la ruta crítica de las actividades de construcción del proyecto. La tasa de compensación diaria debería ser un porcentaje que se asocie a la mejor estimación del componente de gastos generales de la inversión inicial del proyecto u otro valor que el gobierno defina en el contrato APP según la tipología del proyecto.

### 2.3. Metodología de valoración

Por lo general, la estimación del riesgo de sobrecosto se aproxima al obtener el valor esperado resultante de la multiplicación de la probabilidad de ocurrencia por el impacto esperado del evento que se ha producido, es decir:

---

<sup>14</sup> Véase más adelante.

$$\text{Riesgo} = PO \times I$$

Donde:

*PO*: es la probabilidad de ocurrencia. La estimación de la probabilidad de ocurrencia depende de la información histórica de sobrecostos y/o sobrecostos de proyectos de infraestructura pública de similares características ejecutados bajo obra pública o de manera exógena al resultado obtenido en un taller de análisis de riesgos y/u opinión experta.

*I*: es el impacto (pérdida o consecuencia), es decir, el daño. En este caso, retrasos y/o sobrecostos que se producirán sobre el proyecto de infraestructura pública debido a la activación de la causa que genera el riesgo de sobrecosto.

La **probabilidad de ocurrencia de sobrecostos y/o retrasos** desde la óptica frecuentista mide el número de veces que ocurre un sobrecosto y/o retraso dentro de un conjunto de eventos históricos en proyectos de similares características. Sin embargo, desde un punto de vista Bayesiano se puede medir como el nivel de conocimiento y de percepción que se tiene sobre la ocurrencia de un riesgo de sobrecosto, por ejemplo, cuando se recurre a la opinión de expertos es muy común tener respuestas como:

*En mi experiencia, tengo un 70% de certeza que, bajo un escenario optimista (percentil 50), se producirá un 20% de sobrecosto en el proyecto de infraestructura analizado.*

Por consiguiente, el valor económico del pasivo contingente del riesgo de sobrecosto en la etapa de diseño y construcción se define mediante la fórmula del costo del riesgo:

$$CRSC_i = CB \times PO \times I \times \sum_{i=1}^7 \varphi_i$$

Donde:

*CRSC*: es el costo del riesgo del sobrecosto de construcción asociado al proyecto público de inversión en infraestructura pública;

*CB*: es el costo base del proyecto original (inversión inicial, costos de operación, mantenimiento y conservación). No incluye mejoras efectuadas al proyecto producto de renegociaciones de contrato;

## Recuadro 2.1. Probabilidad de ocurrencia

El cuadro 2.1 muestra el reporte de dos muestras de sobrecostos de 12 proyectos de infraestructura de similares características ejecutados bajo obra pública tradicional. Para cada muestra se desea responder la siguiente pregunta: **¿Cuál es la probabilidad de ocurrencia del riesgo de sobrecosto?**

**Cuadro 2.1. Sobrecostos**

Proyecto	Muestra 1	Muestra 2
Proyecto 1	5%	-15%
Proyecto 2	24%	14%
Proyecto 3	120%	105%
Proyecto 4	33%	22%
Proyecto 5	48%	-24%
Proyecto 6	52%	67%
Proyecto 7	61%	72%
Proyecto 8	14%	-7%
Proyecto 9	38%	39%
Proyecto 10	9%	7%
Proyecto 11	72%	11%
Proyecto 12	38%	76%

*Fuente:* Elaboración propia.

En la muestra 1 se observa que para los 12 proyectos el sobrecosto siempre ha estado presente en diferentes magnitudes. Por lo tanto, se puede concluir que el riesgo de sobrecosto es inminente, es decir, la probabilidad de ocurrencia es igual a 1.

En la muestra 2 se observa que en los proyectos 1, 5 y 8 no existe presencia de sobrecosto, sino ahorro de costos, entonces, a diferencia del escenario anterior, el riesgo no es inminente y es igual a  $\frac{9}{12} = 0,75$ . Por lo tanto, la probabilidad de ocurrencia del riesgo de sobrecosto se puede inferir en un 75%.

Es importante aclarar que en el cálculo del sobrecosto se deben considerar tanto los valores positivos como los negativos. Por ejemplo, para la muestra 1, el sobrecosto es  $100\% \times 43\%$ , mientras que para la muestra 2, el sobrecosto es  $75\% \times 46\% + 25\% \times (-15\%) = 31\%$  (promedio simple de los 12 datos de la muestra).

- $i$ : corresponde a cada una de las causas que generan sobrecosto que retiene el estado;<sup>15</sup>
- $\varphi_i$ : es el ítem del costo base para la causa  $i$  como porcentaje;
- $PO$ : es la probabilidad de ocurrencia del sobrecosto; e
- $I$ : es el impacto del sobrecosto, expresado como porcentaje del costo base.

La forma más usual de obtener el costo del ítem del costo base ( $\varphi$ ) es a través de revisión de la desagregación del presupuesto de inversión detallado del proyecto. Típicamente la estructura de un presupuesto de inversión incluye la división por ítems de los costos directos e indirectos. En los costos directos se incluyen los costos de diseño, obras preliminares, obra gruesa (materiales y mano de obra), instalaciones y especialidades, excavaciones, expropiaciones, medidas mitigatorias de carácter ambiental, terminaciones y otros de carácter específico del proyecto como equipamiento o actividades arqueológicas. Los costos indirectos incluyen los gastos generales y utilidades de la construcción. Si el presupuesto de inversión no se encuentra lo suficientemente detallado para poder identificar los valores monetarios pertinentes para aplicar la expresión anterior, la institución responsable del proyecto deberá realizar las desagregaciones correspondientes (recuadro 2.2).

Para valorar el impacto del sobrecosto y/o retraso es necesario conocer cómo se ha comportado este último en el pasado. Si no se dispone de esa información, se puede recurrir a opinión experta o bien utilizar información internacional. Los mecanismos para obtener la información estadística para la valoración del riesgo de sobrecosto durante la etapa de diseño y construcción son los siguientes:

- información obtenida a partir de datos históricos,
- información obtenida a partir de la percepción cualitativa de riesgos e
- información obtenida a través de estudios referenciales.

### **Información obtenida a partir de datos históricos**

Una de las primeras aproximaciones para la valoración de causas de riesgos de sobrecostos en la etapa de construcción y por lo tanto de pasivos contingentes cuando los efectos de dichos riesgos son retenidos por el gobierno,

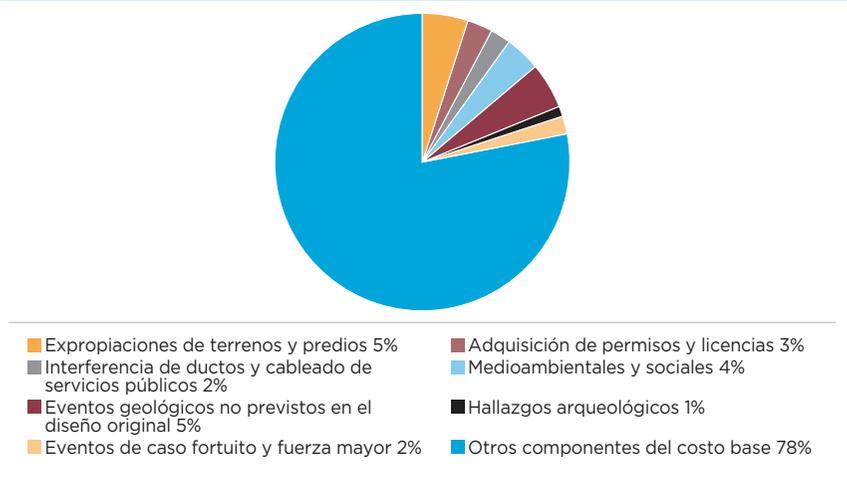
---

<sup>15</sup> Véase el caso 2.6 para mayores detalles.

### Recuadro 2.2. Ítem de costo base

A continuación, el gráfico 2.1 presenta un ejemplo de lo que podría ser la división por ítems del costo base.

**Gráfico 2.1. División por ítems del costo base**



*Fuente:* Elaboración propia.

*Nota:* Los valores representados en el gráfico son un ejemplo ilustrativo y no reflejan necesariamente los valores a utilizar en cada riesgo.

El cuadro 2.2 muestra los sobrecostos retenidos por el Estado y que forman parte del costo base.

**Cuadro 2.2. Ítems de costos**

Ítems del costo base	$\varphi$
Expropiaciones de terrenos y predios	$\varphi_1$
Adquisición de permisos y licencias	$\varphi_2$
Interferencia de ductos y cableado de servicios públicos	$\varphi_3$
Medioambientales y sociales	$\varphi_4$
Eventos geológicos no previstos en el diseño original	$\varphi_5$
Hallazgos arqueológicos	$\varphi_6$
Eventos de caso fortuito y fuerza mayor	$\varphi_7$
Otros componentes del costo base	$100\% - \sum_{i=1}^7 \varphi_i$

*Fuente:* Elaboración propia.

es el levantamiento y análisis de la información pasada. En la medida en que se cuente con información histórica de las distintas variables, cuyo comportamiento futuro se desea predecir o valorar, esta información puede utilizarse y procesarse para determinar si su comportamiento puede ser homologable a alguna distribución de probabilidad conocida.

A continuación, se presentan algunos casos en relación con la información histórica.

### **Existe información histórica y es normal**

Cuando existe información histórica de sobrecostos o retrasos (que a su vez se manifiestan en sobrecostos) en proyectos de infraestructura pública ejecutados como una obra pública tradicional (OPT) de similares características al proyecto bajo análisis y los datos permiten inferir que se distribuye normalmente (mediante una prueba de normalidad, como el test de Jarque-Bera), entonces se procede a obtener los estadísticos: promedio ( $\mu$ ) y desviación estándar ( $\sigma$ ) de los sobrecostos históricos. De esta manera, se puede calcular el valor del estimado del impacto futuro según la posición frente al riesgo mediante la regla percentil para una distribución Normal,<sup>16</sup> como se muestra en el cuadro 2.3.

El caso 2.1. desarrolla un ejemplo de la aplicación cuando existe información histórica y esta se distribuye normalmente. Es importante notar que generalmente la información histórica de sobrecostos incluye de manera implícita la monetización de los sobreplazos del proyecto.

**Cuadro 2.3. Percepción frente al riesgo cuando es una distribución Normal**

Posición frente al riesgo	Percentil	Riesgo de impacto
Media	50	$\mu$
Alta	95	$\mu + 1,645\sigma$

Fuente: Elaboración propia.

### **Existe información histórica y no es normal**

Si el resultado de la prueba de normalidad permite inferir que la información histórica de sobrecostos no se encuentra asociada a una distribución Normal, pero el tamaño de la muestra que proporciona información

<sup>16</sup> Para mayores detalles, véase la información sobre distribución Normal en el anexo 1.

## Caso 2.1. Información histórica y normal

Para un proyecto de infraestructura que será entregado a un inversionista privado por un plazo de 20 años (tres años de diseño y construcción y 17 de OyM), con una inversión inicial de US\$180 millones, considere la siguiente información histórica de sobrecostos de 50 proyectos de características similares (mismo sector y dimensiones parecidas) y se calculará CRSC, asumiendo una sola causa de sobrecosto: expropiación de terrenos y predios ( $\phi_1 = 5\%$ ) y la probabilidad de ocurrencia será inminente.

### Cuadro 2.4. Información histórica de sobrecostos en proyectos de infraestructura bajo OPT

106,67%	112,93%	98,27%	98,28%	82,91%	84,21%	107,92%	97,33%	105,06%	83,49%
95,30%	76,52%	151,66%	104,57%	111,52%	89,34%	101,58%	94,71%	104,72%	112,33%
68,44%	97,33%	101,05%	107,53%	130,57%	102,41%	84,99%	92,37%	92,26%	84,86%
95,08%	80,96%	95,55%	115,42%	127,23%	90,91%	92,77%	113,72%	79,92%	92,29%
118,30%	77,74%	137,39%	64,51%	116,50%	96,23%	102,86%	122,23%	130,65%	84,00%

Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro 2.4 se obtienen los estadísticos descriptivos que se presentan en el cuadro 2.5.<sup>a</sup>

### Cuadro 2.5. Estadística descriptiva de la información de sobrecostos

Estadístico	Valor
Media	100,31%
Desviación estándar	17,53%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, mediante la prueba de Jarque-Bera<sup>b</sup> se analizará la normalidad considerando la siguiente hipótesis:

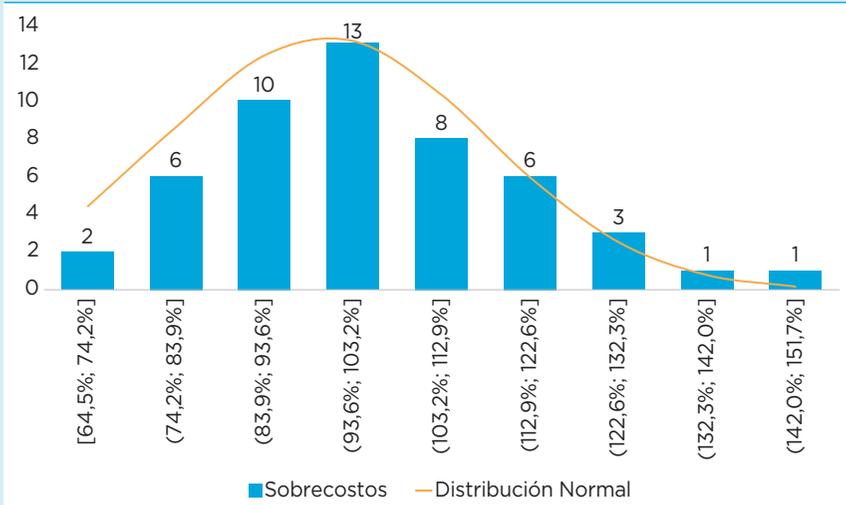
$H_0$ : La información histórica de sobrecostos se distribuye normalmente

Para tal fin, se consideran los siguientes resultados estadísticos que se obtienen a partir de la información histórica de sobrecostos (cuadro 2.6).

(continúa en la página siguiente)

## Caso 2.1. Información histórica y normal (continuación)

**Gráfico 2.2. Distribución de la información histórica de sobrecostos**



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los valores representados en el gráfico son un ejemplo ilustrativo y no reflejan necesariamente los valores a utilizar en cada riesgo.

**Cuadro 2.6. Estadísticos descriptivos de forma**

Estadístico	Valor
Asimetría	0,5725
Exceso de curtosis	0,6304

Fuente: Elaboración propia.

Los estadísticos del cuadro 2.6 fueron calculados mediante las siguientes funciones de Microsoft Excel: COEFICIENTE.ASIMETRÍA<sup>c</sup> y CURTOSIS<sup>d</sup>. Entonces, se tiene lo siguiente:

$$JB = 50 \left( \frac{0,5725^2}{6} + \frac{0,6304^2}{24} \right) = 3,559 < \underbrace{5,99}_{\text{Valor crítico}}$$

Por lo tanto, como el valor de la prueba de normalidad es menor que el valor crítico, se puede concluir que la información histórica de sobrecostos se distribuye normalmente.

(continúa en la página siguiente)

## Caso 2.1. Información histórica y normal (continuación)

Del cuadro 2.4 se tienen los siguientes estadísticos:  $\mu = 100,31\%$  y  $\sigma = 17,53\%$ , que representan el promedio y la desviación estándar de los sobrecostos, respectivamente. Como la información de los sobrecostos se encuentra asociada a una distribución Normal, entonces, se procede a calcular el riesgo de sobrecosto de construcción bajo diferentes escenarios de impacto mediante la correspondiente fórmula del percentil para una distribución Normal.<sup>e</sup>

Impacto del riesgo bajo escenario más probable:

$$P_{50} = \mu + 0 \times \sigma = 100,31\% + 0 \times 17,53\% = 100,31\%$$

Impacto del riesgo bajo escenario pesimista:

$$P_{95} = \mu + 1,645\sigma = 100,31\% + 1,645 \times 17,53\% = 129,14\%$$

De esta manera, se tiene el CRSC al percentil 95:

$$CRSC = (CB \times \varphi) \times PO \times I = (180 \times 5\%) \times 1 \times 129,14\% = \text{US\$11,62 millones}$$

Por lo tanto, se infiere que el riesgo de sobrecosto retenido por el gobierno le genera al Estado un pasivo contingente de US\$11,62 millones.

### Notas:

<sup>a</sup> Para mayores detalles, véase en el anexo 1 el apartado sobre distribución de probabilidad.

<sup>b</sup> Véase en el anexo 1 la información sobre pruebas de Normalidad.

<sup>c</sup> Véase en el anexo 1 el apartado sobre coeficiente de asimetría.

<sup>d</sup> En el apartado sobre curtosis del anexo 1 pueden encontrarse más detalles.

<sup>e</sup> En el anexo 1 puede encontrarse más información sobre distribución normal.

histórica resulta ser mayor o igual a ocho, entonces se emplea el método Bootstrap<sup>17</sup> con la finalidad de obtener los percentiles que permiten cuantificar el impacto bajo diferentes escenarios de riesgo (caso 2.2).

### Información obtenida a partir de percepción de riesgos

Cuando no sea posible contar con información histórica para hacer un análisis estadístico o el tamaño de la muestra no sea suficiente para poder aplicar

<sup>17</sup> Para más detalles, véase la información sobre el método Bootstrap en el anexo 1.

## Caso 2.2. Información histórica y no es normal (Bootstrap)

Para este caso se considerarán los primeros 44 datos del ejemplo anterior. Con ellos, el test de normalidad rechaza el supuesto de normalidad, pero muy en el límite (JB=5,9917 que es ligeramente superior al valor crítico de 5,9915). Entonces se está frente a un caso en que no se puede asumir normalidad, pero los datos son casi normales, por lo que el resultado final no debería diferir mucho del obtenido anteriormente, suponiendo normalidad.

Cuando se tienen más de ocho datos de información histórica y esta no es normal, se utiliza el método Bootstrap para generar muestras y con ellas obtener el percentil buscado.

En el cuadro 2.7, se ejemplifican dos muestras Bootstrap de las 10.000 que se generaron. Cada muestra debe contener 44 datos, los cuales pueden repetirse.

**Cuadro 2.7. Ejemplos de muestras Bootstrap**

Muestra Bootstrap #1: $P_{50} = 97,8\%$ y $P_{95} = 134,1\%$										
98%	89%	91%	98%	89%	96%	115%	0%	137%	114%	137%
83%	105%	78%	137%	92%	113%	65%	115%	108%	115%	108%
95%	92%	68%	98%	102%	102%	108%	95%	98%	92%	105%
97%	89%	95%	83%	81%	95%	93%	107%	112%	113%	89%
Muestra Bootstrap #2: $P_{50} = 95,6\%$ y $P_{95} = 137,4\%$										
118%	83%	105%	112%	95%	93%	102%	127%	91%	85%	85%
92%	93%	105%	137%	102%	83%	92%	81%	137%	80%	137%
105%	92%	101%	77%	96%	96%	108%	83%	112%	115%	105%
102%	85%	77%	108%	85%	137%	85%	65%	65%	131%	118%

A cada muestra Bootstrap se le calculan sus percentiles 50 y 95. Los percentiles buscados se obtienen como el promedio de los 10.000 valores simulados:

$$P_{50} = 97,4\%$$

$$P_{95} = 129,2\%$$

Entonces, el sobrecosto de construcción (CRSC) para el concepto de costo de inversión inicial se calcula de la siguiente manera para el caso de una posición alta frente al riesgo:

$$CRSC = (CB \times \varphi) \times PO \times I = (180 \times 5\%) \times 1 \times 129,2\% = \text{US}\$11,63 \text{ millones}$$

(continúa en la página siguiente)

## Caso 2.2. Información histórica y no es normal (Bootstrap)

(continuación)

Por lo tanto, el riesgo de sobrecosto de construcción retenido le genera al Estado un pasivo contingente de US\$11,63 millones, que es prácticamente el mismo monto obtenido en el caso anterior.<sup>a</sup>

Nota:

<sup>a</sup> Esta igualdad ocurre porque los datos utilizados en el ejemplo eran casi Normales. Con datos que siguen otra distribución, se puede llegar a valores bien diferentes.

el método Bootstrap ( $n < 8$ ), entonces se debe obtener información a través de opiniones recogidas en talleres de análisis de riesgos y/o paneles de expertos. Un taller de riesgos es una reunión de trabajo debidamente organizada y estructurada de manera de capturar información de los participantes sobre las distintas etapas del análisis de riesgos (identificación, jerarquización, valoración, asignación y redacción contractual) y de las diferentes etapas del desarrollo del proyecto (diseño y construcción, OyM y conservación). Los participantes conocen el proyecto y pueden identificar y jerarquizar de manera adecuada causas de riesgos, pero en algunos casos la valoración de riesgos y sus impactos pueden determinarse de forma general.

Por su parte, un panel de expertos es una reunión organizada y estructurada donde participa un grupo de especialistas que posee un alto conocimiento sobre el proyecto y su contexto técnico, especialmente sobre algunas causas específicas de riesgos. Por eso, dada su experiencia de preferencia en campo (obra), el panel está en condiciones de valorar los efectos de riesgos de sobrecosto de manera fundamentada precisando y complementando la información obtenida en el taller de riesgos.

Existen dos tipos de distribuciones de probabilidad ampliamente empleadas para capturar la opinión experta respecto de las probabilidades de ocurrencia e impactos para cada concepto del costo base, en sus etapas de diseño y construcción, operación, mantenimiento y conservación:

- La **distribución Beta-PERT**<sup>18</sup> corresponde a una distribución beta donde sus parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  se estiman en función de los parámetros del modelo PERT (valor pesimista, valor más probable y valor optimista).

<sup>18</sup> Véanse más detalles sobre la distribución Beta-PERT en el anexo 1.

- La **distribución triangular**<sup>19</sup> se caracteriza porque su forma y rango están determinados directamente por los parámetros indicados anteriormente (valor pesimista, valor más probable y valor optimista).

La **distribución triangular** y la **distribución Beta-PERT** suelen ser muy prácticas para modelar la percepción subjetiva de los expertos porque es muy “fácil” pensar en sus tres parámetros (mínimo, más probable y máximo). De esta manera, las preguntas que se plantean a los expertos resultan ser muy intuitivas y fáciles de responder.

### Caso 2.3. Distribución triangular

Se considera un proyecto con un plazo de contrato u horizonte de planeación de 30 años, cuya obra deberá ejecutarse en un plazo máximo de 24 meses, con una inversión inicial de US\$400 millones. Como no ha sido posible contar con información histórica de sobrecostos, se ha organizado un taller de análisis de riesgos de forma de obtener información mediante la percepción subjetiva de 13 expertos con respecto al impacto del sobrecosto. Para eso se formula la siguiente pregunta: **Considerando su experiencia, ¿cuál es el sobrecosto mínimo, máximo y más probable en proyectos de infraestructura pública ejecutada bajo una OPT?** Asimismo, se considera que existe una sola causa de sobrecosto (eventos geológicos no previstos en el diseño original) con un  $\phi_s = 18,2\%$ .

Como resultado de la información recogida durante el taller de riesgo luego de que cada experto volcara su experiencia mediante los valores mínimo, más probable y máximo, se obtiene el resultado presentado en el cuadro 2.8.

El cálculo del percentil para una distribución triangular se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_k = \begin{cases} \text{si } k \leq I & X = \text{mínimo} + \sqrt{k(\text{máximo} - \text{mínimo})(\text{más probable} - \text{mínimo})} \\ \text{si } k > I & X = \text{máximo} - \sqrt{(1-k)(\text{máximo} - \text{mínimo})(\text{máximo} - \text{más probable})} \end{cases}$$

### Cuadro 2.8. Terna representativa de los sobrecostos

Mínimo	Más probable	Máximo
10%	25%	60%

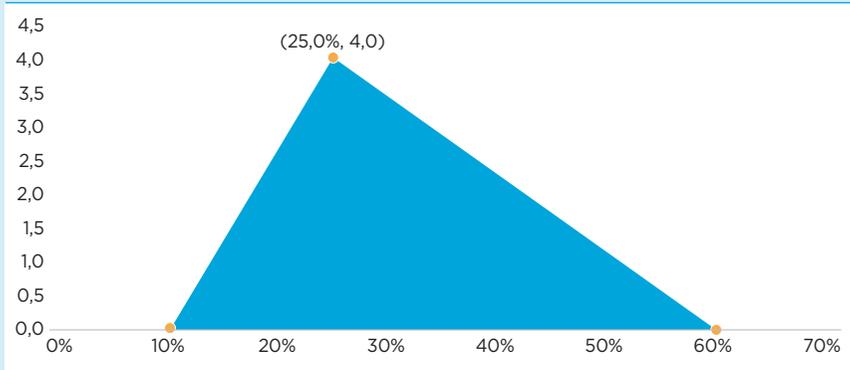
Fuente: Elaboración propia.

(continúa en la página siguiente)

<sup>19</sup> Para mayor información, véase en el anexo 1 el apartado sobre distribución triangular.

## Caso 2.3. Distribución triangular (continuación)

### Gráfico 2.3. Distribución triangular de los sobrecostos



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los valores representados en el gráfico son un ejemplo ilustrativo y no reflejan necesariamente los valores a utilizar en cada riesgo.

Con la información del cuadro 2.8 se procede a calcular el punto de inflexión como sigue:<sup>a</sup>

$$I = \frac{\text{Más probable} - \text{Mínimo}}{\text{Máximo} - \text{Mínimo}} = \frac{25\% - 10\%}{60\% - 10\%} = 30\%$$

Como  $95\% > 30\%$ , entonces se emplea la segunda expresión de  $P_k$ , tal como se describe a continuación:

$$P_{95} = \text{Máximo} - \sqrt{(1-k)(\text{máximo} - \text{mínimo})(\text{máximo} - \text{más probable})}$$
$$= 60\% - \sqrt{(1-95\%)(60\% - 10\%)(60\% - 25\%)} = 50,6\%$$

Por lo tanto, se procede a calcular el CRSC:

$$\text{CRSC} = (CB \times \phi) \times PO \times I = (400 \times 18,2\%) \times 1 \times 50,6\% = \text{US\$36,9 millones}$$

De esta manera, el costo del riesgo de construcción tiene un valor de US\$36,9 millones.

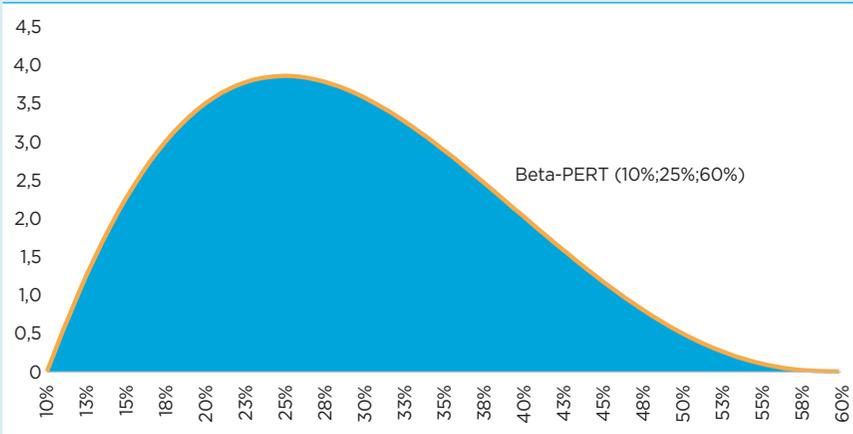
Nota:

<sup>a</sup> Véase en el anexo 1 la información sobre distribución triangular.

## Caso 2.4. Distribución Beta-PERT

Si en lugar de utilizar la distribución triangular, el taller de expertos hubiese decidido utilizar una distribución Beta-PERT, se hubiera obtenido lo siguiente:

**Gráfico 2.4. Distribución Beta-PERT de sobrecostos del taller de expertos**



Fuente: Elaboración propia.

Se procede a calcular los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  a partir de los parámetros PERT:<sup>a</sup>

$$\begin{aligned} \text{moda} &= \frac{(\alpha + 1)\beta + (\beta - 1)\alpha}{\alpha + \beta - 2} = 25\% \\ \alpha \times \beta &= 7 \end{aligned}$$

Al resolver este sistema de ecuaciones se obtiene que:

$$\alpha = \frac{(1 - 2m) \pm \sqrt{(1 - 2m)^2 + 28m(1 - m)}}{2(1 - m)}$$

Donde  $m$  es la moda estandarizada:

$$m = \frac{\text{moda} - \alpha}{\beta - \alpha} = 30\%$$

Al reemplazar en la fórmula de alfa, se obtiene  $\alpha = 2,0412$ , y al sustituir esto en la fórmula de beta se obtiene  $\beta = 3,4294$ .

Con estos parámetros se puede verificar que el valor esperado estandarizado de la distribución es 37%.

(continúa en la página siguiente)

## Caso 2.4. Distribución Beta-PERT

$$\text{Valor esperado estandarizado} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} = 37\%$$

$$\text{Valor esperado sin estandarizar} = a + (b - a) \frac{\alpha}{\alpha + \beta} = 29\%$$

Con la distribución triangular, el valor esperado es 32%.<sup>b</sup> Esto se debe a que las puntas de la distribución influyen más en el promedio que en el caso de una distribución Beta-PERT.

Al reemplazar en la fórmula de Excel para los percentiles se obtiene el valor del impacto:

$$P_{50} = \text{INV.BETA.N}(50\%; 2,0412; 3,4294; 10\%; 60\%) = 27,8\%$$

$$P_{95} = \text{INV.BETA.N}(95\%; 2,0412; 3,4294; 10\%; 60\%) = 45,6\%$$

Por consiguiente, el CRSC se calcula de la siguiente manera:

$$\text{CRSC} = (400 \times 18,2\%) \times 1 \times 45,6\% = \text{US}\$33,2 \text{ millones}$$

Es decir, el costo del riesgo de construcción es de US\$33,2 millones, ligeramente menor al obtenido con una distribución triangular. Mientras mayor sea la distancia entre el valor máximo y el valor más probable, mayor será la diferencia entre los resultados obtenidos entre ambas distribuciones (triangular y Beta-PERT).

### Notas:

<sup>a</sup> Para más detalles, véase en el anexo 1 la información sobre la distribución Beta-PERT.

<sup>b</sup> El promedio de una distribución triangular es  $(a+b+c)/3$ .

## Información obtenida a través de estudios referenciales

Cuando no exista información histórica de sobrecostos de proyectos de infraestructura de similares características al proyecto que se desea evaluar y no sea posible llevar a cabo un taller (riesgo o de expertos) que permita capturar los juicios de valor de sus participantes, se procede a evaluar la pertinencia de llevar a cabo un análisis mediante estudios referenciales.

### Existe referencia internacional

Implica la revisión de la literatura especializada, la cual, en caso de que sea posible, se debe complementar con referencias o estudios nacionales y

oficiales recopilados por organismos públicos e instituciones privadas debidamente acreditadas. Estas referencias deben relacionarse con la identificación y valoración de riesgos, en especial de proyectos de infraestructura pública de gran tamaño e impacto en la población. La información estadística obtenida se puede caracterizar de dos maneras:

- **Se distribuye normal.** Si como producto de la revisión de la literatura especializada se obtiene información estadística sobre la cual existe evidencia de que los estadísticos están asociados a una distribución Normal, entonces se procede a calcular el impacto del riesgo de construcción por medio del cálculo del percentil.
- **No se distribuye normal.** Cuando la revisión de la literatura especializada no permite inferir la distribución de probabilidad que describe el sobrecosto, entonces, se recomienda emplear la desigualdad de Chebyshev.<sup>20</sup> Esta puede ser útil cuando se desconoce la distribución de probabilidad que describe los sobrecostos, el estudio que respalda los estadísticos incluye una muestra representativa y los análisis que se realizan son de nivel técnico y/o académico. De esta manera se pueden obtener los percentiles que describen el impacto del riesgo de construcción.

### **No existe referencia internacional**

Para aplicar esta opción se deberá fundamentar por qué no fue posible llevar a cabo las alternativas anteriores. Si no se puede contar con información de la literatura especializada sobre experiencias internacionales, se sugiere obtener información a través de la opinión experta (interna) de manera acotada con respecto al impacto del riesgo de construcción. La opinión experta de manera acotada consiste en la conformación de un grupo de técnicos al interior de la entidad pública. Este grupo analizará cada una de las causas de los riesgos asociados al proyecto de infraestructura en un sector determinado y emitirá un informe con el valor del impacto del riesgo de construcción (casos 2.5, 2.6 y 2.7).

Por su parte, el caso 2.8 presenta un ejemplo que integra todas las causas del pasivo contingente.

Finalmente, el gráfico 2.5 muestra el proceso a seguir para cuantificar el impacto del riesgo del sobrecosto y que se ha aplicado para cada uno de los casos hasta ahora desarrollados.

---

<sup>20</sup> Para más detalles sobre la desigualdad de Chebyshev, véase el anexo 1.

## Caso 2.5. Referencia (*benchmark*) internacional

El proyecto en el sector energía tiene una inversión de US\$120 millones. No se cuenta con información histórica y tampoco ha sido posible realizar un taller, motivo por el cual se recurre a la experiencia internacional mediante la revisión de informes e investigaciones técnicas sobre proyectos de infraestructura pública. Producto de la revisión internacional, se tiene la muestra de sobrecostos que se presenta en el cuadro 2.9.

### Cuadro 2.9. Sobrecosto mediante *benchmark* internacional

Número de proyectos revisados en el sector de energía	Sobrecosto promedio	Desviación estándar
12	20,4%	29,9%

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, no fue posible encontrar evidencia de que los estadísticos reportados correspondían a una distribución Normal.<sup>a</sup> Cuando no existe evidencia de la distribución de probabilidad asociada a los estadísticos obtenidos mediante la revisión de informes sobre experiencia internacional, se emplea la regla de la desigualdad de Chebyshev<sup>b</sup> para calcular el impacto al percentil deseado:

$$P_{50} = \mu = 20,4\%$$

$$P_{95} = \mu + 3,162\sigma = 20,4\% + 3,162 \times 29,9\% = 115,0\%$$

De modo que el pasivo contingente derivado del riesgo en la etapa de construcción debido a la adquisición de permisos y licencias, que representa el 12% de la inversión total, es:

$$CRC = (CB \times \varphi) \times PO \times I = (120 \times 12\%) \times 1 \times 115,0\% = \text{US\$16,6 millones}$$

El riesgo de construcción genera al Estado un pasivo contingente de US\$16,6 millones.

#### Notas:

<sup>a</sup> En caso de que exista evidencia de que los estadísticos se distribuyen normalmente, se emplea la fórmula del percentil para la distribución normal, tal como se utilizó en los casos 1.1 y 2.1, y se aborda en el anexo 1.

<sup>b</sup> En el anexo 1 pueden encontrarse más detalles sobre la desigualdad de Chebyshev.

## Caso 2.6. Opinión experta de manera acotada

Cuando no ha sido posible encontrar información histórica de sobrecostos de proyectos de similares características, llevar a cabo un taller ni encontrar literatura especializada sobre estudios de proyectos de infraestructura pública en el sector y la tipología bajo análisis, entonces se procede a relevar la opinión experta de manera acotada.

Es decir, al interior de la autoridad responsable de llevar adelante el proyecto se convoca a funcionarios con capacidad de decisión para que opinen a su mejor entender sobre el sobrecosto más probable (en porcentaje) y sobre los sobrecostos mínimo y máximo que podría experimentar el proyecto. Con estos tres parámetros se recurre a la distribución triangular para estimar los percentiles.

Por ejemplo, se desea evaluar el pasivo contingente por riesgo de construcción asociado a los cambios de servicios, que representa el 9% de la inversión total. El proyecto tiene un plazo de 15 años y una inversión de US\$200 millones. Luego de relevar información entre los funcionarios convocados se obtuvieron los resultados presentados en el cuadro 2.10.

**Cuadro 2.10. Sobrecosto a partir de opinión experta de manera acotada**

Mínimo	Más probable	Máximo
30%	70%	150%

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo del percentil para una distribución triangular se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_k = \begin{cases} \text{si } k \leq I & X = \text{mínimo} + \sqrt{k(\text{máximo} - \text{mínimo})(\text{más probable} - \text{mínimo})} \\ \text{si } k > I & X = \text{máximo} - \sqrt{(1-k)(\text{máximo} - \text{mínimo})(\text{máximo} - \text{más probable})} \end{cases}$$

Para los datos de este caso se tiene:

$$I = \frac{70\% - 30\%}{150\% - 30\%} = \frac{40\%}{120\%} = 33,3\%$$

Como  $95\% > 33\%$ , entonces, se emplea la segunda expresión de  $P_k$ , tal como se describe a continuación:

(continúa en la página siguiente)

## Caso 2.6. Opinión experta de manera acotada (continuación)

$$P_{95} = \text{máximo} - \sqrt{(1-k)(\text{máximo} - \text{mínimo})(\text{máximo} - \text{más probable})}$$

$$= 150\% - \sqrt{(1-95\%)(150\% - 30\%)(150\% - 70\%)} = 128,1\%$$

Por lo tanto, se procede a calcular el CRSC de la siguiente forma:

$$CRSC = (CB \times \varphi) \times PO \times I = (200 \times 9\%) \times 1 \times 128,1\% = \text{US\$23,1 millones}$$

De esta manera, el costo del riesgo de construcción tiene un valor de US\$23,1 millones.

## Caso 2.7. Cuantificación del riesgo de sobreplazo

En esta oportunidad se desea estimar el costo del riesgo del sobreplazo. Para ello se cuenta con información histórica de proyectos de similares características al proyecto de referencia:

**Cuadro 2.11. Serie histórica de sobreplazos**

Proyectos	Plazo inicial (en días)	Plazo final (en días)	Sobreplazo (en días)	Sobreplazo (en porcentaje)
1	360	420	60	16,7%
2	830	915	85	10,2%
3	1.300	1.500	200	15,4%
4	750	860	110	14,7%
5	2.250	2.600	350	15,6%
6	950	1.020	70	7,4%
7	1.760	1.925	165	9,4%
8	300	303	3	1,0%
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
60	480	510	30	6,3%

Fuente: Elaboración propia.

## Caso 2.7. Cuantificación del riesgo de sobreplazo (cont.)

La prueba de Jarque-Bera<sup>a</sup> permite inferir que la muestra se distribuye normalmente, por lo tanto, se tiene que la media del sobreplazo es del 11,6% con una desviación estándar del 4,5% y, de esta manera, el impacto según la regla percentil 50-95<sup>b</sup> es el siguiente:

**Cuadro 2.12. Impacto según la regla percentil 50-95**

Regla percentil 50-95	Percentiles	Valor
$\mu$	$P_{50}$	11,6%
$\mu + 1,645\sigma$	$P_{95}$	$11,6\% + 1,645 \times 4,5\% = 19,0\%$

Fuente: Elaboración propia.

Si se aplica la expresión anterior para la cuantificación del riesgo de sobreplazo, se considera una tasa de compensación del 12% anual y un CAPEX igual a US\$130 millones para el proyecto, que tiene un plazo para la inversión de dos años (730 días). De la misma muestra anterior, la probabilidad de ocurrencia de sobreplazo se asumen en un 100%, por consiguiente se puede valorar el costo del riesgo de sobreplazo como se muestra en el cuadro 2.13.

De esta manera, se puede concluir que para una posición neutral el CRS es de US\$3,6 millones y en el caso del percentil 95, CRS es de US\$5,9 millones.

**Cuadro 2.13. Valoración del costo del riesgo de sobreplazo**

Costo del riesgo de sobreplazo	Valor (en millones de dólares)
$CRS_{50\%} = r_c \times CAPEX \times PI \times PO \times P_{50}$	3,62
$CRS_{50\%} = 12\%/365 \times 130 \times 730 \times 100\% \times 11,6\%$	
$CRS_{95\%} = r_c \times CAPEX \times PI \times PO \times P_{95}$	5,92
$CRS_{95\%} = 12\%/365 \times 130 \times 730 \times 100\% \times 19,0\%$	

Fuente: Elaboración propia.

### Notas:

<sup>a</sup> Para más detalles sobre la prueba de Jarque-Bera, véase el anexo 1.

<sup>b</sup> Véase en el anexo 1 la información sobre la distribución normal. También se puede aplicar a todos los casos anteriormente tratados con respecto a la forma de cuantificar el impacto.

## Caso 2.8. Causas que generalmente son retenidas por el Estado

En este caso se sintetiza el análisis realizado para un proyecto con una inversión inicial (CB) de US\$70 millones, con una probabilidad de ocurrencia del 100% y un impacto esperado correspondiente al  $P_{95}$  del 40%. Los impactos de las distintas causas se resumen en el cuadro 2.14.

**Cuadro 2.14. Información de base**

Causa	$\varphi_i$
Expropiaciones de terrenos y predios	5%
Adquisición de permisos y licencias	3%
Interferencia de ductos y cableado de servicios públicos	2%
Medioambientales y sociales	4%
Eventos geológicos no previstos en el diseño original	5%
Hallazgos arqueológicos	1%
Eventos de caso fortuito y fuerza mayor	2%

Fuente: Elaboración propia.

La expresión para el pasivo contingente es igual a:

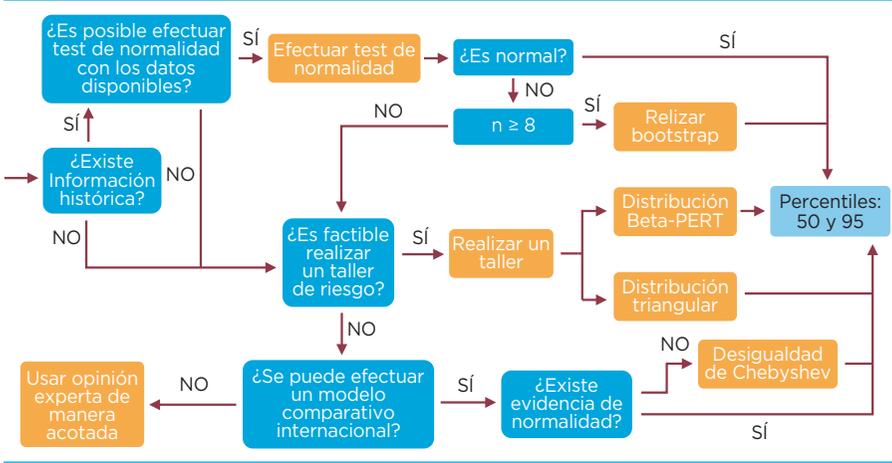
$$CRC = CB \times PO \times I \times \sum_{i=1}^7 \varphi_i$$

Con base en la información anterior, el valor del pasivo contingente al  $P_{95}$  queda definido por:

$$CRC = 70 \times 100\% \times 40\% \times (5\% + 3\% + 2\% + 4\% + 5\% + 1\% + 2\%) = \text{US\$6,2}$$

Por consiguiente, el costo del riesgo de construcción debido a las siete causas que generan sobre costo, y que generalmente es retenido por el Estado, es de US\$6,2 millones.

**Gráfico 2.5. Proceso para la determinación del impacto del riesgo de sobrecosto**



Fuente: Elaboración propia.



# Pasivo contingente derivado del riesgo de demanda/ingresos

## 3

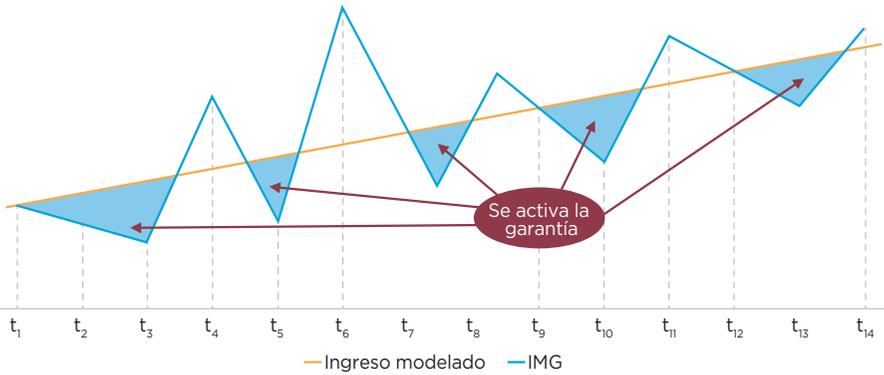
Con el objeto de incentivar la participación de la inversión privada, los Estados suelen asumir pasivos contingentes derivados del otorgamiento de garantías orientadas a cubrir el riesgo de demanda/ingreso del proyecto, para mejorar el perfil de riesgo de los proyectos y así facilitar su bancabilidad y promover la competencia.

De manera particular, algunos contratos de APP contienen compromisos contingentes sobre garantías no financieras como los ingresos mínimos garantizados (IMG), cuya operatividad básica es la siguiente: *si los ingresos anuales por cobro de tarifa o cuota a los usuarios de un proyecto de APP (peaje, precio o similar) son inferiores al ingreso mínimo garantizado para el o los años establecidos en el contrato, el gobierno deberá cubrir la diferencia de acuerdo con el procedimiento regulado en el contrato correspondiente.*

La garantía tiene las siguientes características:

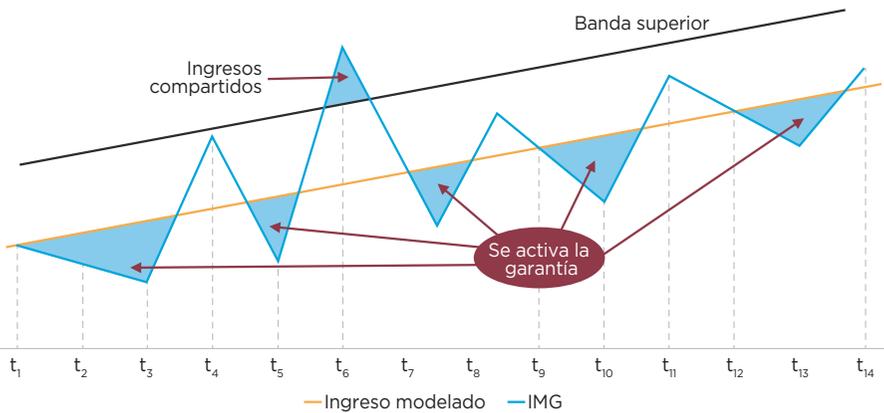
- En el contrato de APP se establece una cantidad de ingreso o demanda a garantizar para cada periodo. Lo más frecuente es hacerlo en periodos anuales, pero también pueden ser trimestrales, mensuales, etcétera.
- Si en uno de los periodos el ingreso real es menor que el IMG, el gobierno pagará la diferencia entre el monto garantizado y el ingreso efectivamente recolectado (real).
- En algunos casos, como contraparte a los IMG se establece una banda superior de forma que si el ingreso efectivamente recolectado supera dicho valor, el inversionista privado debe compartir la totalidad o parte de ese ingreso adicional con el gobierno.

### Gráfico 3.1. Activación de la garantía



Fuente: Elaboración propia.

### Gráfico 3.2. Activación de la garantía + banda superior



Fuente: Elaboración propia.

Una manera para estimar el IMG es calcular los ingresos de forma que permitan al inversionista privado cubrir los costos de operación más el pago de su deuda de largo plazo. Esto implica que aun si el ingreso real es menor que el IMG, el inversionista privado tendrá los recursos para seguir operando y cubrir el servicio de la deuda (interés más principal).

En este sentido, la modelación para valorar los compromisos contingentes (IMG) requerirá la estimación de flujos futuros que consideren el carácter

contingente del compromiso. Por este motivo se debe plantear un modelo estocástico que, principalmente, mediante un método de simulación, permita modelar la activación del riesgo, por lo que resulta necesario establecer supuestos, determinar parámetros y variables fijas y aleatorias que posibilitarán proyectar los flujos futuros.

El valor del pasivo contingente dependiendo de la posición al riesgo del gobierno es el percentil 50 ( $P_{50}$ ) o 95 ( $P_{95}$ ) del valor presente del diferencial (mayor a cero) entre los IMG y los ingresos simulados.

La propuesta metodológica proporciona la distribución de probabilidad empírica de los posibles montos a pagar en diferentes escenarios de simulación. Esto permitiría determinar la probabilidad con la cual los pagos del gobierno se encontrarían dentro de un determinado rango, que será de utilidad para valorar el riesgo de demanda/ingreso y su plan de contingencia.

Con este fin, se considera la garantía de ingresos mínimo un derivado financiero, porque su valor depende del valor de la variable o variables subyacentes (por ejemplo, evolución del tráfico que a su vez depende directamente del PIB). La garantía toma la forma de una opción de venta europea (*put option*).

### 3.1. Construcción financiera del IMG

El ratio de cobertura del servicio de la deuda (DSCR, por sus siglas en inglés) se determina en todos aquellos periodos donde la deuda se encuentra vigente, considerando para ello el perfil de ingresos esperados del proyecto de infraestructura pública. Dicho perfil de ingresos esperados corresponde a los ingresos del proyecto que permiten el equilibrio financiero y se determina por medio del modelo económico financiero, considerando una tasa de retorno que el inversionista privado exigiría al proyecto por su capital de riesgo invertido. El *DSCR* se determina mediante la siguiente expresión:

$$DSCR_i = \frac{\text{ingresos esperados}_i - \text{costos OyM}_i}{(\text{interés deuda}_i + \text{amortización deuda}_i)}$$

Cabe notar que los costos de operación y mantenimiento (costos OyM) podrían incluir los montos de impuestos del proyecto de infraestructura pública. Los IMG se determinan mediante un *DSCR* que cumple con las condiciones de bancabilidad aceptadas en el mercado financiero.

Por lo tanto, los IMG se calculan teniendo en cuenta la fórmula de cálculo para el *DSCR* para cada periodo en el cual se encuentre vigente la

deuda del proyecto de infraestructura pública, considerando que los IMG corresponden a los ingresos del proyecto y fijando el valor del objetivo de la siguiente manera:

$$IMG_i = DSCR_i \times (\text{interés deuda}_i + \text{amortización deuda}_i) + \text{costos OyM}_i$$

### 3.2. Modelación estocástica del IMG

Generalmente el IMG tiene como objetivo facilitar la transacción para obtener el financiamiento privado del componente de la deuda de largo plazo del proyecto de APP (bancabilidad).

Al ser comparado con los ingresos reales esperados modelados, el gobierno compensa la diferencia cuando los ingresos caen por debajo del IMG (véase el gráfico 3.1).

Por lo tanto, el valor de la garantía IMG en un año t es igual a:

$$\text{pago} = \begin{cases} (IMG_t - Y_t), & \text{si } Y_t < IMG_t \\ 0 & , \text{si } Y_t \geq IMG_t \end{cases} = \max\{0, IMG_t - Y_t\}$$

Donde  $Y_t$  representa los ingresos modelados. De esta manera, la garantía de ingresos es considerada un derivado financiero:

- Cuando  $Y_t < IMG_t$ , el ingreso percibido por el inversionista privado se encuentra por debajo de la garantía establecida en el contrato APP y por lo tanto corresponde al gobierno cubrir la diferencia de acuerdo con el procedimiento regulado contractualmente. En este sentido, el pago ( $p$ ) se modelará mediante una opción financiera de venta de los ingresos del inversionista privado. La garantía solo será ejercida si  $Y_t$  es menor que  $IMG_t$ . En términos financieros, el inversionista privado es el propietario de una opción de venta con un precio de ejercicio  $IMG_t$ .<sup>21</sup>
- Dado que las opciones de venta pueden modelarse y valorarse con distinto plazo de ejercicio, el valor del paquete será la suma del valor de las opciones de venta que la componen.

La valoración de la garantía  $IMG_t$  depende de los ingresos/demanda que obtenga el inversionista privado. Al respecto, un enfoque muy usado es

<sup>21</sup> Existirán tantas opciones de venta como periodos tenga el proyecto de infraestructura. Por ejemplo, si el plazo del contrato es de 20 años y la garantía está activa por 16 años, el concedente le entrega al gobierno un paquete de 16 opciones de venta.

plantear un modelo que permita proyectar el ingreso del operador privado a través de un MBG, es decir, proyectar una tendencia más un componente aleatorio alrededor de ella. El modelo comienza con los niveles de ingresos y hace supuestos acerca de cómo estos evolucionan en el tiempo, las tasas esperadas de crecimiento y la volatilidad de los ingresos. Típicamente se asume que la tasa de crecimiento de los ingresos del proyecto es igual a la tasa de crecimiento de la economía.<sup>22</sup>

La formulación del MBG para el riesgo de ingreso/demanda de forma es la siguiente:

$$\Delta Y_{t+1} = Y_t \mu \Delta t + Y_t \sigma \varepsilon \sqrt{\Delta t} \Rightarrow Y_t = Y_{t-1} + Y_{t-1} (\mu \Delta t + \sigma \varepsilon \sqrt{\Delta t}), \varepsilon \sim N(0,1)$$

Donde:

- $Y_t$ : es la demanda/ingreso para el periodo  $t$ ;
- $\mu$ : es la tasa de crecimiento de la economía;
- $\Delta t$ : es el incremento del tiempo;
- $\varepsilon$ : es la variable aleatoria normal estándar;<sup>23</sup> y
- $\sigma$ : es la volatilidad del crecimiento de la economía.

Cabe recalcar que  $Y_0$  es el valor del ingreso esperado correspondiente al periodo inicial. Por ejemplo, para  $\mu = 5\%$ ,  $\sigma = 3,5\%$ ,  $\Delta t = 1$ , entonces:

$$Y_t = Y_{t-1} + Y_{t-1} \times 5\% \times 1 + Y_{t-1} \times 3,5\% \times 1 \times \varepsilon, \varepsilon \sim N(0,1)$$

La expresión para la valoración del pasivo contingente de IMG es la siguiente:

$$VP_{RD} = \sum_{t=1}^T \frac{Max[IMG_t - Y_t, 0]}{(1+r)^t}$$

Donde:

- $VP_{RD}$ : es el valor presente del riesgo de demanda/ingreso;
- $T$ : es el periodo del proyecto; y
- $r$ : es la tasa de descuento del Estado.<sup>24</sup>

<sup>22</sup> Determinado por el PIB y su elasticidad.

<sup>23</sup> La variable normal estándar  $\varepsilon$  puede ser modelada mediante la función de Microsoft Excel: INV.NORM(ALEATORIO(),0,1).

Por ejemplo, si se toman los valores presentes (VP) de 10.000 trayectorias de las diferencias entre el IMG y los ingresos modelados, ¿cuál sería el percentil 95? El  $P_{95}$  sería aquella trayectoria de ingresos en VP por debajo del cual estaría el 95% de los VP. Si se ordenan los VP de menor a mayor, el  $P_{95}$  sería el VP de la observación 9.500 (95% de 10.000).

Se puede encontrar literatura académica sobre procesos estocásticos aplicados a valoración de garantías de ingresos mínimos en Zhao et al. (2004), Wibowo (2004), Brandao y Saraiva (2008), Shan (2010), Ashuri et al. (2012), Kokkaew y Chiara (2013), Roumboutsos y Pantelias (2014), Mirzadeh y Birgisson (2015), Duarte (2016), Hawas y Cifuentes (2016), Contreras y Angulo (2017), Carbonara y Pellegrino (2018), Wang, Cui y Lui (2018), Zapata, Mejía y Lopes (2018) y Zhang et al. (2020).

En el anexo 2 se presentan otros posibles procesos estocásticos que se utilizan para modelar la dinámica de los ingresos, valorar las garantías y, en consecuencia, los pasivos contingentes. En ese anexo también se muestra la modelación que se debe realizar cuando en un sector/subsector hay más de un proyecto donde se deben valorar pasivos contingentes y, por lo tanto, se debe considerar una cartera sectorial de proyectos. En este caso necesariamente debe incluirse el análisis de correlación serial entre el proceso estocástico de cada uno de los proyectos. Por ejemplo, en una cartera de 20 proyectos de APP de carreteras y otra cartera de 10 aeropuertos, se debe considerar la correlación entre proyectos para valorar adecuadamente el pasivo contingente de la cartera completa.<sup>25</sup>

En el anexo 3 se presenta el análisis de demandas contingentes en el que se puede observar por qué una garantía puede ser modelada como una opción de venta.

---

<sup>24</sup> Usando el criterio del equivalente cierto es posible trabajar con la tasa libre de riesgo (véase el anexo 2).

<sup>25</sup> La forma de introducir correlación es a través de la descomposición de Cholesky (véase el anexo 2).

### Caso 3.1. Riesgo de demanda

El proyecto requerirá una inversión de US\$1.200 millones, el plazo de construcción está programado en tres años y tiene un plazo de explotación (OyM) de 20 años. Además, se tiene la información presentada en el cuadro 3.1 para los 20 años de explotación del proyecto.

**Cuadro 3.1. Costos de OyM, interés de la deuda y amortización de la deuda**

Año	Costo OyM (en dólares)	Interés (en dólares)	Amortización (en dólares)
1	13.978.456	119.513.321	19.997.516
2	15.138.186	117.473.575	22.037.263
3	16.360.701	115.225.774	24.285.064
4	17.650.278	112.748.697	26.762.140
5	19.011.566	110.018.959	29.491.878
6	20.449.619	107.010.787	32.500.050
7	21.969.938	103.695.782	35.815.055
8	23.578.510	100.042.647	39.468.191
9	25.281.862	96.016.891	43.493.946
10	51.161.410	91.580.509	47.930.328
11	53.975.207	86.691.615	52.819.222
12	58.800.175	81.304.055	58.206.783
13	65.435.731	75.366.963	64.143.874
14	70.871.801	68.824.288	70.686.550
15	76.641.222	61.614.260	77.896.578
16	82.770.809	53.668.809	85.842.029
17	89.289.891	44.912.922	94.597.916
18	96.230.558	35.263.934	104.246.903
19	103.162.437	24.630.750	114.880.087
20	133.481.716	12.912.981	126.597.856

Fuente: Elaboración propia.

(continúa en la página siguiente)

### Caso 3.1. Riesgo de demanda *(continuación)*

El mercado financiero exige un DSCR objetivo de 1,3x constante durante todo el periodo de explotación para el cálculo del IMG. Mediante la siguiente expresión para el IMG:

$$IMG_t = DSCR_t \times (\text{interés deuda} + \text{amortización deuda}) + \text{costos OyM}_t$$

Por ejemplo, para el año 1 y el año 15, se tendría:

$$IMG_1 = 1,3 \times (119.513.321 + 19.997.516) + 13.978.456 = 195.342.544$$

$$IMG_{15} = 1,3 \times (61.614.260 + 77.896.578) + 76.641.222 = 258.005.310$$

Adicionalmente, considerando el valor de los ingresos esperados igual a: US\$215.986.088 para el primer año del periodo de explotación y considerando una tasa de crecimiento de la economía de 3%, mediante la siguiente expresión se puede construir el perfil de los ingresos esperados del proyecto para cada periodo:

$$I_k = I_0 \times (1 + \rho)^k$$

Donde:  $I_0 = 215.986.088$ ,  $\rho = 3\%$  y  $k: 1, \dots, 20$ . De esta manera, se obtiene para los próximos 20 años el perfil presentado en el cuadro 3.2.

Por consiguiente, se tiene un flujo de ingresos esperados que se encuentran por encima del IMG durante todo el ciclo de vida del proyecto.

Considerando que la economía sufre fluctuaciones debido a diversas causas, la propuesta es valorar el riesgo de demanda (ingresos) empleando un modelo estocástico para observar distintos escenarios a partir del comportamiento macroeconómico.

Los supuestos macroeconómicos con respecto a la economía son:  $\mu = 3\%$  y  $\sigma = 8\%$ , que corresponden a la media de la tasa de crecimiento y la volatilidad de la tasa de crecimiento de la economía, respectivamente. Estos se aplican directamente a los ingresos del proyecto. Además, se considera una tasa de descuento del 9,38%.

De esta manera, se tienen los siguientes resultados con respecto a los ingresos modelados:

$$Y_t = Y_{t-1} + Y_{t-1} \mu \Delta t + Y_{t-1} \sigma \varepsilon \sqrt{\Delta t}$$

*(continúa en la página siguiente)*

### Caso 3.1. Riesgo de demanda (continuación)

Cuadro 3.2. IMG e ingresos esperados

Año	IMG (en dólares)	Ingresos esperados (en dólares)
1	195.342.544	215.986.088
2	196.502.275	222.692.456
3	197.724.790	229.607.056
4	199.014.367	236.736.355
5	200.375.654	244.087.019
6	201.813.707	251.665.921
7	203.334.026	259.480.148
8	204.942.599	267.537.007
9	206.645.951	275.844.031
10	232.525.498	284.408.988
11	235.339.295	293.239.887
12	240.164.263	302.344.985
13	246.799.820	311.732.797
14	252.235.889	321.412.101
15	258.005.310	331.391.946
16	264.134.898	341.681.666
17	270.653.980	352.290.882
18	277.594.646	363.229.514
19	284.526.525	374.507.790
20	314.845.805	386.136.257

Fuente: Elaboración propia.

Como los periodos son anuales y consecutivos entonces la variación del tiempo es:  $\Delta t = 1$ .

De modo que:

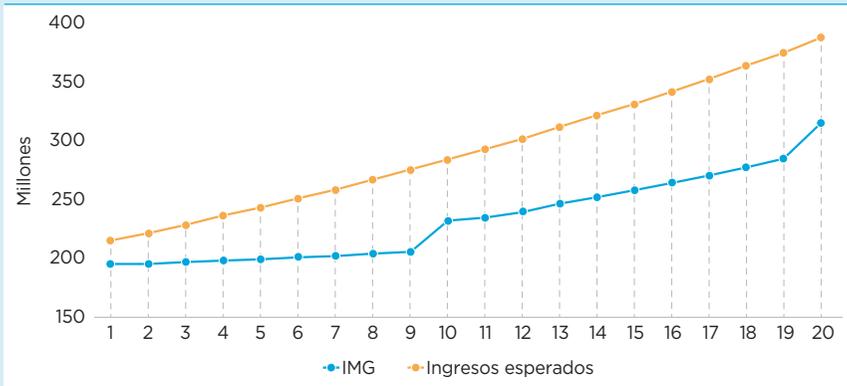
$$Y_0 = 215.986.088$$

$$Y_1 = Y_0 + Y_0 \mu \Delta t + Y_0 \sigma \varepsilon \sqrt{\Delta t}$$

(continúa en la página siguiente)

### Caso 3.1. Riesgo de demanda (continuación)

Gráfico 3.3. IMG vs ingresos esperados



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3.3. Parámetros para la simulación

Parámetro	Valor
Ingreso estimado del periodo inicial	215.986.088
Tasa de descuento del Estado	9,38%
Media de la tasa de crecimiento de la economía	3%
Desviación estándar de la tasa de crecimiento de la economía	8%
$\Delta t$	1

Fuente: Elaboración propia.

$$Y_1 = 215.986.088 \times (1 + 3\% \times 1 + 8\% \times INV.NORM(ALEATORIO( ); 0; 1) \times 1) = 221.679.990^a$$

$$Y_2 = Y_1 + Y_1 \mu \Delta t + Y_1 \sigma \varepsilon \sqrt{\Delta t}$$

$$Y_2 = 221.679.990 \times (1 + 3\% \times 1 + 8\% \times INV.NORM(ALEATORIO( ); 0; 1) \times 1) = 204.742.017$$

$$Y_3 = Y_2 + Y_2 \mu \Delta t + Y_2 \sigma \varepsilon \sqrt{\Delta t}$$

$$Y_3 = 204.742.017 \times (1 + 3\% \times 1 + 8\% \times INV.NORM(ALEATORIO( ); 0; 1) \times 1) = 204.630.533$$

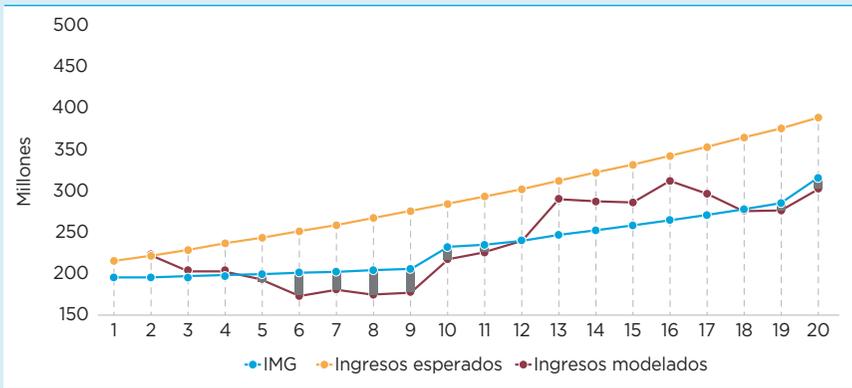
(continúa en la página siguiente)

### Caso 3.1. Riesgo de demanda *(continuación)*

Así sucesivamente hasta completar los 20 periodos de evaluación, que correspondería a una iteración. El gráfico 3.4 describe los resultados obtenidos para una simulación de todo el horizonte del periodo de explotación.

En el gráfico 3.4 se muestra uno de los miles de casos que se simularán para calcular el pasivo contingente asociado al riesgo de demanda. En este caso particular, la garantía de IMG se activaría en 10 ocasiones, que se pueden identificar por la presencia de barras de color gris. El cuadro 3.4 muestra los montos de activación de la garantía para cada año.

**Gráfico 3.4. Simulación del riesgo de demanda**



Fuente: Elaboración propia.

Para esta simulación se calcula el valor presente de los montos activados, con lo que se obtiene un monto de US\$56,9 millones.

A fin de obtener los percentiles 50 y 95 se debe repetir la simulación anterior unas 10.000 veces y los percentiles se obtienen directamente de esos 10.000 casos simulados.

*(continúa en la página siguiente)*

### Caso 3.1. Riesgo de demanda *(continuación)*

**Cuadro 3.4. Montos de activación de la garantía como resultado de la simulación**

Año	Ingresos modelados (en dólares)	Riesgo de demanda $IMG_t - Y_t$ (en dólares)
1	215.986.088	0
2	221.679.990	0
3	204.742.017	0
4	204.630.533	0
5	195.508.842	4.866.812
6	175.634.618	26.179.089
7	181.007.880	22.326.146
8	176.222.915	28.719.683
9	179.404.188	27.241.762
10	218.032.472	14.493.026
11	227.481.034	7.858.262
12	241.098.664	0
13	290.795.317	0
14	287.248.613	0
15	285.524.928	0
16	312.022.023	0
17	296.260.349	0
18	276.122.903	1.471.744
19	276.301.896	8.224.629
20	302.386.250	12.459.555

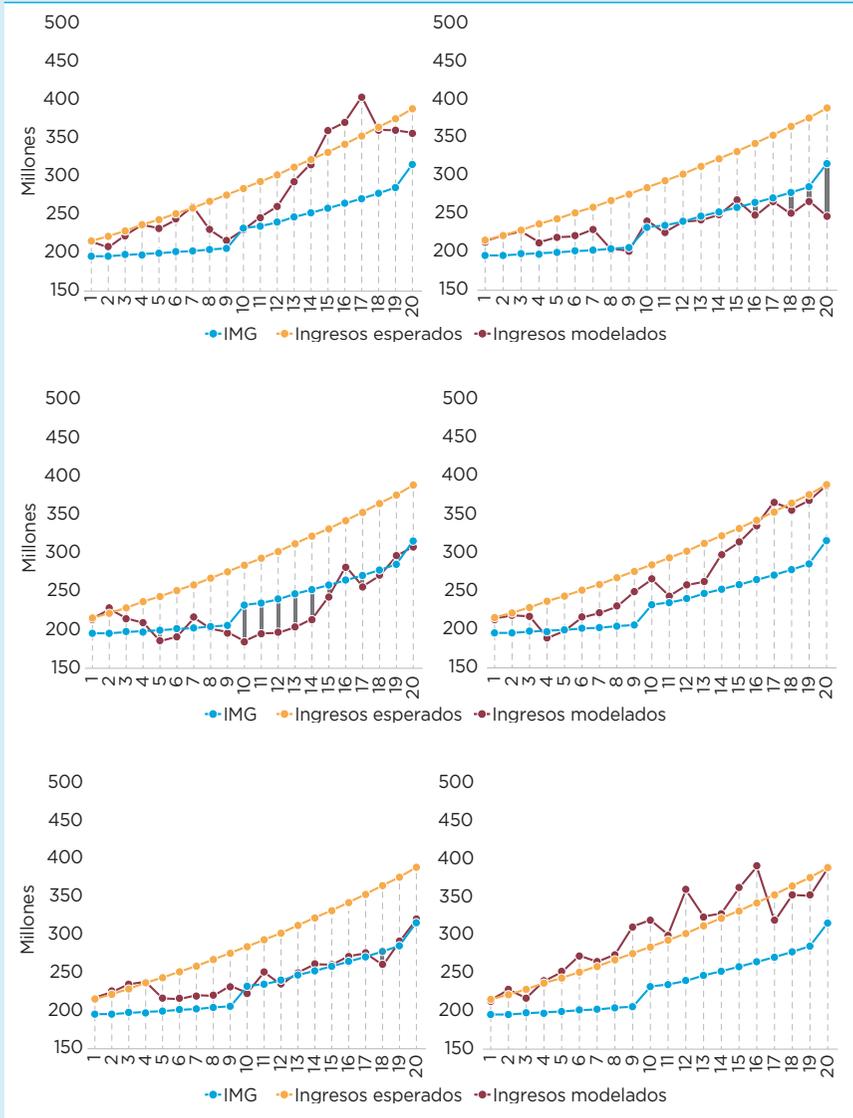
*Fuente:* Elaboración propia.

El gráfico 3.5 muestra seis de las 10.000 simulaciones realizadas y allí se puede verificar que, en algunos casos, no hay activación de IMG, mientras que en otros sí la hay. Todo el detalle de las simulaciones queda recogido en el histograma de la simulación (véase el gráfico 3.6).

*(continúa en la página siguiente)*

## Caso 3.1. Riesgo de demanda (continuación)

### Gráfico 3.5. Ejemplos de algunas simulaciones realizadas



Fuente: Elaboración propia.

(continúa en la página siguiente)

### Caso 3.1. Riesgo de demanda *(continuación)*

**Cuadro 3.5. Cálculo del valor presente de la activación**

Año	Escenario 1 (en dólares)	Escenario 2 (en dólares)	Escenario 3 (en dólares)	Escenario 4 (en dólares)	Escenario 5 (en dólares)	Escenario 6 (en dólares)
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	7.898.979	0	0
5	0	0	13.335.271	972.201	0	0
6	0	0	9.323.260	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	2.082.943	0	0	0
9	0	2.037.545	9.001.606	0	0	0
10	2.048.303	0	46.832.661	0	9.605.024	0
11	0	10.095.941	38.782.672	0	0	0
12	0	210.236	43.717.594	0	6.787.598	0
13	0	3.661.293	42.542.966	0	0	0
14	0	2.838.324	37.205.582	0	0	0
15	0	0	13.586.847	0	0	0
16	0	15.359.918	0	0	0	0
17	0	4.001.404	12.669.773	0	0	0
18	0	26.391.799	5.870.014	0	18.951.954	0
19	0	16.520.759	0	0	0	0
20	0	67.450.612	5.934.669	0	0	0
<b>VP</b>	<b>835.632</b>	<b>30.716.265</b>	<b>99.797.052</b>	<b>6.139.441</b>	<b>10.006.751</b>	<b>0</b>

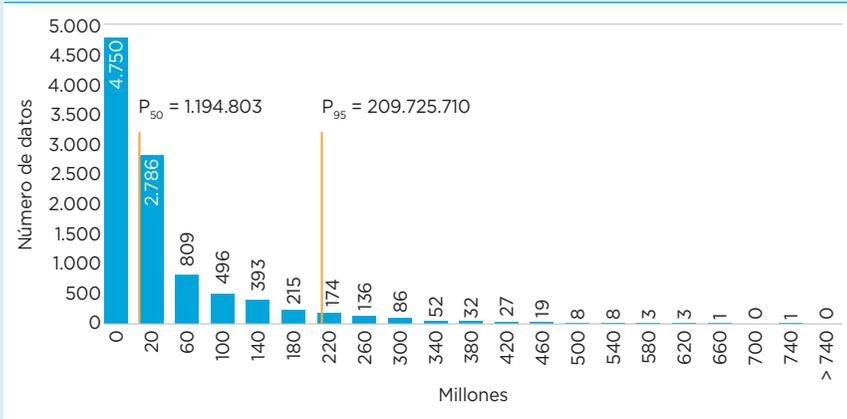
*Fuente:* Elaboración propia.

El cuadro 3.5 muestra los valores presente de las primeras seis simulaciones de las 10.000 que se harán en total, con las cuales es posible construir una distribución de probabilidad del riesgo de demanda y así obtener su valor esperado y los percentiles de la posición frente al riesgo.

*(continúa en la página siguiente)*

## Caso 3.1. Riesgo de demanda (continuación)

### Gráfico 3.6. Distribución del riesgo



### Cuadro 3.6. Posición frente al riesgo

Percentil	Valor (en dólares)
50	1.194.803
95	209.725.710

Fuente: Elaboración propia.

Del resultado de la simulación se puede inferir que para un Estado con aversión al riesgo, la valoración del pasivo contingente asciende a US\$209.725.710.

Nota:

<sup>a</sup> Este valor varía dependiendo del valor que tome la función ALEATORIO().



# Pasivo contingente por riesgo cambiario

## 4

### 4.1. Definiciones previas

El pasivo contingente de tipo de cambio se presenta para prevenir efectos derivados de variaciones en la moneda local con respecto al dólar de Estados Unidos. En un contrato de APP cuando los pagos que recibe el inversionista privado son en moneda local (ML) pero los costos son en moneda extranjera, principalmente en dólares, se produce un descalce entre ingresos y costos. Cuando el tipo de cambio sube, el inversionista privado recibe menos ingresos transformados en moneda extranjera para cubrir sus costos en moneda extranjera.<sup>26</sup> Este problema afecta principalmente el componente de deuda de largo plazo que asume el inversionista privado en dólares para financiar una parte importante de la inversión inicial del proyecto. El periodo de repago de la deuda es en general superior a 10 años.

Es muy importante contar con inversionistas y financistas extranjeros en las licitaciones de contratos de APP. En sus decisiones de inversión, los inversionistas privados extranjeros ven un riesgo adicional en los flujos que obtienen como retorno: el riesgo de verse enfrentados a devaluaciones (o depreciaciones) que en definitiva disminuyan los flujos de caja del proyecto medidos en divisas. Lo mismo ocurre con los financistas: la capacidad del inversionista privado de repagar su deuda se verá comprometida ante variaciones adversas del tipo de cambio y, por lo tanto, el riesgo total de la operación no solo involucrará la calidad del proyecto y sus accionistas, sino también la volatilidad cambiaria del país en cuestión.

<sup>26</sup> En adelante en esta publicación la moneda extranjera será el dólar estadounidense, la moneda en circulación más extendida en el mundo.

Es deseable reducir este riesgo tanto por la decisión de inversión y/o de financiamiento que realizan los agentes internacionales, como por la reducción de retorno exigido al proyecto. En estricto rigor, los accionistas y financistas toman sus decisiones considerando la combinación riesgo-rentabilidad del proyecto en cuestión y de los agentes que participan de él. Si el riesgo es mayor, se exige un mayor retorno a las inversiones y en la medida en que el retorno sea mayor o menor, los agentes estarán dispuestos a asumir mayor o menor riesgo, respectivamente. La reducción o eliminación del riesgo cambiario tiene como consecuencia una disminución en el retorno exigido al proyecto, lo que beneficia directamente a los usuarios al reducir el costo financiero del proyecto de APP. Efectivamente, en la medida en que la exigencia de retorno sea menor, la tarifa ofertada será menor (en el caso de que esta sea la variable de adjudicación) o lo será el plazo o el pago del Estado, permitiendo la realización de más proyectos públicos con los recursos ahorrados.

Otro aspecto que se debe considerar en la decisión de incorporar un mecanismo de cobertura cambiaria se relaciona con la señal de compromiso del Estado con el proyecto, en términos de reducir el riesgo moral (*moral hazard*). En efecto, el tipo de cambio no es totalmente aleatorio, sino que responde a cierta intervención o manejo macroeconómico que puede hacer el Estado, aun cuando en el caso extremo la política cambiaria sea completamente flexible.<sup>27</sup> Por su parte, el inversionista privado no tiene ninguna injerencia en el precio doméstico de la divisa. Esto hace que el Estado afecte los retornos del accionista foráneo o desmejore la capacidad de pago que el proyecto ostenta sobre una deuda expresada en divisas, sin incurrir en un “costo” por ello (y el sentido de los incentivos de la autoridad dependerá totalmente de la coyuntura política y económica). Lo que hace en alguna medida la cobertura cambiaria es corregir este desincentivo al preocuparse de la situación del inversionista, ya que el Estado responderá a las variaciones cubriéndolo en sus pérdidas, tanto de capital como de deuda (o ambas, según el esquema a definir), ya sea en forma parcial o total.

Al momento de generarse una cobertura cambiaria otorgada por el Estado se origina un pasivo contingente de tipo de cambio. Este pasivo puede ser explícito o implícito.

- El pasivo es explícito y se manifiesta cuando el gobierno establece un mecanismo de cobertura cambiaria en los contratos de APP, ya sea a

---

<sup>27</sup> Esto se conoce como flotación sucia.

través de un swap de divisas, opciones sobre tipo de cambio (*CAP, floor, collar*) y/o un instrumento híbrido en el cual se compensa al sector privado cuando el dólar se aprecia en moneda local por sobre un nivel predefinido y el gobierno recibe recursos del sector privado cuando se aprecia la moneda local por debajo de un nivel definido. También es un pasivo explícito cuando se regula en un contrato de APP de manera total o parcial que los pagos que realiza el Estado se reajusten de acuerdo con la variación del tipo de cambio según una periodicidad predefinida.<sup>28</sup>

- El pasivo es implícito para el gobierno (las cuentas públicas) cuando los pagos que debe realizar el sector público en los contratos de APP, por concepto de subsidios y/o de pagos por disponibilidad diferidos en el tiempo, se denominan en dólares y no en la moneda de circulación del país.

Es importante indicar que también hay coberturas de tipo de cambio para algunos proyectos que **no generan** pasivos contingentes para el gobierno. Este es el caso cuando el diseño de una transacción de APP contempla que las tarifas que pagan los usuarios se indexen de acuerdo con la variación del tipo de cambio. De esta forma el riesgo cambiario se traspasa a los usuarios que pagan por los servicios que ofrece el inversionista privado. Sin embargo, cuando el gobierno considera que no es adecuado que ese riesgo sea traspasado a los usuarios y se necesita que la deuda sea garantizada, entonces el gobierno puede generar una cobertura cambiaria que sustituya la indexación tarifaria.

A continuación se presenta una metodología para la valoración del riesgo cambiario para dos tipos de coberturas cambiarias que generan pasivos contingentes para el Estado:

- Indexación de pagos por variaciones de tipo de cambio, las que se incluyen como cláusulas en los contratos de APP.
- Cobertura cambiaria en bandas que ofrece el gobierno en el contrato de APP.

El tipo de cambio *spot*<sup>29</sup> se refiere al tipo de cambio del momento en que se realiza una cotización de una divisa frente a otra, generalmente dentro de un día en un momento preciso.

---

<sup>28</sup> Estrictamente, es un pasivo firme de valor incierto y, por lo tanto, su valoración es completamente asimilable a un pasivo contingente. Esta lógica también aplica a los pagos del gobierno en función del uso o volumen de servicios.

<sup>29</sup> Proviene de la expresión *on the spot* que significa “de inmediato”.

El tipo de cambio *forward* o a plazo (futuro) es el de una divisa en una fecha futura.

## 4.2. Mecanismo de cobertura cambiaria a través de indexación

Para esta modalidad se establece una garantía pública en la cual un monto ( $M_0$ ) permanece constante en el tiempo en ML. Este monto puede ser un pago diferido que financia la infraestructura y/o servicios del proyecto, y/o puede ser un monto para el repago de los intereses y amortización correspondiente a la deuda que asume el inversionista privado con los financiadores.

El gobierno indica que el monto ( $M_t$ ) se reajustará de acuerdo con la siguiente expresión:

$$M_t = M_0 \times \underbrace{\frac{spot_t}{TCF_0}}_{\text{factor de compensación}}$$

Donde:

- $M_t$ : es el monto garantizado al inversionista privado en el periodo  $t$  en moneda local;
- $M_0$ : es el monto en moneda local comprometido;
- $Spot_t$ : es el tipo de cambio *spot* correspondiente a la fecha de pago comprometido (ML/US\$);
- $TCF_0$ : es el tipo de cambio fijado como único valor para todo el periodo (ML/US\$).

### Caso 4.1. Monto garantizado al inversionista privado

Supóngase que el monto comprometido en moneda local es  $M_0 = 7.500 \times \frac{20}{15} = 10.000$ . Al momento de fijar la cobertura cambiaria, el tipo de cambio es igual a 15 ML/US\$. Es decir, US\$1 equivale a ML 15. Por lo tanto, en ese momento los ML 7.500 equivalen a US\$500 (7.500/15). La garantía permite que independiente de cuál es el valor del tipo de cambio en el futuro siempre el inversionista privado recibirá una cantidad que le permita adquirir US\$500 que son los que necesita para cumplir sus compromisos en dólares.

Para lo anterior se garantiza en el contrato de APP el tipo de cambio en un valor de US\$15. A ese tipo de cambio se le denominará  $TCF_0$ .

(continúa en la página siguiente)

## Caso 4.1. Monto garantizado al inversionista privado (cont.)

Dado el valor de la garantía pública y el precio TCF, existen dos escenarios para el tipo de cambio *spot*, pasado un tiempo *t*:

- Si el tipo de cambio *spot* es mayor o igual a ML 15 (por ejemplo, ML 20), entonces:

$$M_0 = 7.500 \times \frac{20}{15} = 10.000$$

Por lo tanto, el inversionista privado recibirá ML 10.000, que equivale a US\$500. Bajo este escenario en lugar de pagar ML 7.500, el gobierno debe pagarle al inversionista privado ML 10.000, es decir, debido a un alza en el tipo de cambio (*spot*) con respecto al tipo de cambio inicial (TCF) deberá compensarlo con ML 2.500.

- Si el tipo de cambio *spot* es menor a ML 15 (por ejemplo, ML 10), entonces:

$$M_t = 7.500 \times \frac{10}{15} = 5.000$$

En este escenario el monto garantizado al inversionista privado es de ML 5.000. Por consiguiente, el gobierno paga al inversionista privado un monto de ML 5.000, es decir, ML 2.500 menos con respecto al monto comprometido de ML 7.500.

*Nota:* El factor  $\frac{spot_t}{TCF_0}$  corresponde al porcentaje de compensación en cada periodo. Lo anterior constituye un pasivo contingente para el gobierno dado que el monto a pagar en moneda local en cada periodo es incierto debido a que depende del valor de cambio *spot* en cada periodo.

En general, se puede concluir que las series de tipo de cambio tienen raíz unitaria y, por lo tanto, son no estacionarias; es decir, el tipo de cambio no vuelve a su valor promedio. De esta manera, una serie de tipo de cambio  $spot_t$  puede ser modelada mediante un MBG discreto. Nótese que al modelar el tipo de cambio  $spot_t$ , indirectamente se está modelando el monto garantizado al inversionista privado  $M_t$ .

Entonces, la dinámica del tipo de cambio  $spot_t$  será modelado mediante la siguiente ecuación:<sup>30</sup>

$$\Delta Spot_t = Spot_{t-1} \times (\mu \Delta t + \sigma \varepsilon \sqrt{\Delta t}), \quad \varepsilon \sim N(0,1)$$

$$Spot_t = Spot_{t-1} \times (1 + \mu \Delta t + \sigma \varepsilon \sqrt{\Delta t}), \quad \varepsilon \sim N(0,1)$$

Donde:

$Spot_t$ : es el tipo de cambio spot para el periodo  $t$ ;

$\mu$ : es la tasa de crecimiento promedio del tipo de cambio para el periodo  $\Delta t$  definido;

$\Delta t$ : es el incremento del tiempo;

$\sigma$ : es la volatilidad de la tasa de crecimiento del tipo de cambio; y

$\varepsilon$ : es la variable aleatoria Normal estándar.

A partir de todo lo definido anteriormente, a continuación se muestra el procedimiento conceptual para la cuantificación del riesgo (compensación), donde el subíndice  $i$  denota la iteración del número de simulaciones para cuantificar el CRI mediante el método de Monte Carlo.

#### Cuadro 4.1. Cuantificación del costo del riesgo de ingresos

Periodo	Spot	Forward	Monto comprometido	Monto garantizado	Riesgo (compensación)
1	$S_{0,i}$	$F_0 = S_0$	$M_0$	$M_{1,i} = \left(\frac{S_{0,i}}{TCF_0}\right) M_0$	$R_{1,i} = \max\{M_{1,i} - M_0, 0\}$
2	$S_{1,i}$	$F_0$	$M_0$	$M_{2,i} = \left(\frac{S_{1,i}}{TCF_0}\right) M_0$	$R_{2,i} = \max\{M_{2,i} - M_0, 0\}$
3	$S_{2,i}$	$F_0$	$M_0$	$M_{3,i} = \left(\frac{S_{2,i}}{TCF_0}\right) M_0$	$R_{3,i} = \max\{M_{3,i} - M_0, 0\}$
4	$S_{3,i}$	$F_0$	$M_0$	$M_{4,i} = \left(\frac{S_{3,i}}{TCF_0}\right) M_0$	$R_{4,i} = \max\{M_{4,i} - M_0, 0\}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$n$	$S_{n-1,i}$	$F_0$	$M_0$	$M_{n,i} = \left(\frac{S_{n-1,i}}{TCF_0}\right) M_0$	$R_{n,i} = \max\{M_{n,i} - M_0, 0\}$

<sup>30</sup> Para mayores detalles véase Hull (2018).

Del cuadro 4.1 se procede a calcular el valor presente del perfil del riesgo mediante la siguiente expresión:<sup>31</sup>

$$VAN_i = \sum_{t=1}^T \frac{R_{tj}}{(1+r)^t}$$

Tal como se mencionó anteriormente, para todos los efectos en el cuadro 4.1 el subíndice  $i$  denota la  $i$ -ésima iteración de la simulación mediante el método de Monte Carlo.<sup>32</sup>

La tasa de cambio fijada permanece constante para todo el ciclo de vida del proyecto y se iguala al primer valor del tipo de cambio *spot*.

Dado el monto comprometido con el inversionista privado, se procede a calcular el monto garantizado, que depende del valor fijado y del valor estocástico *spot*. Los cálculos se realizan para todos los periodos, tal como se muestra en el cuadro 4.1.

Luego, se calcula el riesgo mediante la expresión de la compensación, donde se compara la diferencia entre las columnas monto garantizado y monto comprometido, con respecto al valor cero, para todos los periodos.

Por último, se calcula el valor presente del perfil obtenido en el paso anterior, lo cual corresponde al valor del costo del riesgo de ingresos para la iteración  $i$ . Una vez realizadas todas las iteraciones, se procede a calcular los percentiles que reflejan la posición frente al riesgo.

En el caso 4.2 se muestra la aplicación de la metodología.

## Caso 4.2. Cálculo del riesgo (compensación)

Dada la información presentada en el cuadro 4.2, el gráfico 4.1 muestra la evolución del tipo de cambio *spot* y la dinámica de la tasa de crecimiento mensual del tipo de cambio, dentro de los 15 años considerados.

*(continúa en la página siguiente)*

<sup>31</sup> En Microsoft Excel se emplea la función: VNA(tasa, valor1,[valor2], ...), para el cálculo del valor presente.

<sup>32</sup> Véase en el anexo 1 la información sobre la simulación de Monte Carlo.

## Caso 4.2. Cálculo del riesgo (compensación)

**Cuadro 4.2. Información mensual del tipo de cambio spot, últimos 15 años**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	16,33	16,29	16,29	16,29	16,27	16,26	16,26	16,28	16,53	16,89	16,88	17,11
	16,95	16,44	16,69	16,64	16,38	16,31	16,21	16,17	16,23	16,18	16,1	16,02
	15,96	15,95	15,92	15,89	15,83	15,85	15,8	15,78	15,67	15,09	15	14,9
	14,73	14,52	14,05	13,72	14,01	14,45	14,23	14,45	14,82	15,35	15,45	15,56
	15,75	16,18	15,86	15,41	14,96	14,94	15,06	14,75	14,54	14,35	14,42	14,38
	14,28	14,26	14,19	14,2	14,22	14,19	14,11	14,01	13,95	13,95	14,03	14,07
	13,93	13,85	13,89	14,08	13,87	13,81	13,7	13,69	13,72	13,65	13,52	13,48
	13,46	13,41	13,35	13,28	13,34	13,35	13,17	13,08	13,01	12,94	12,99	12,82
	12,76	12,89	12,97	12,99	13,23	13,73	13,88	14	13,88	13,84	13,99	13,92
	14,04	14,05	14,02	13,96	13,93	13,97	13,93	14,07	14,32	14,53	14,62	14,81
	15,03	15,39	15,46	15,6	15,75	15,8	15,9	16,19	16,09	16,24	16,68	16,91
	17,19	17,53	17,01	16,49	16,66	16,57	16,49	16,66	16,9	16,92	17,01	16,97
	16,69	16,29	16,31	16,23	16,36	16,33	16,24	16,2	16,22	16,24	16,2	16,22
	16,07	16,24	16,26	16,15	16,37	16,35	16,38	16,44	16,55	16,67	16,87	16,82
	16,71	16,6	16,52	16,52	16,66	16,62	16,45	16,89	16,78	16,79	16,86	16,77
	16,63	16,95	17,45	16,98	17,1	17,35	17,58	17,82	17,77			

Fuente: Elaboración propia.

(continúa en la página siguiente)

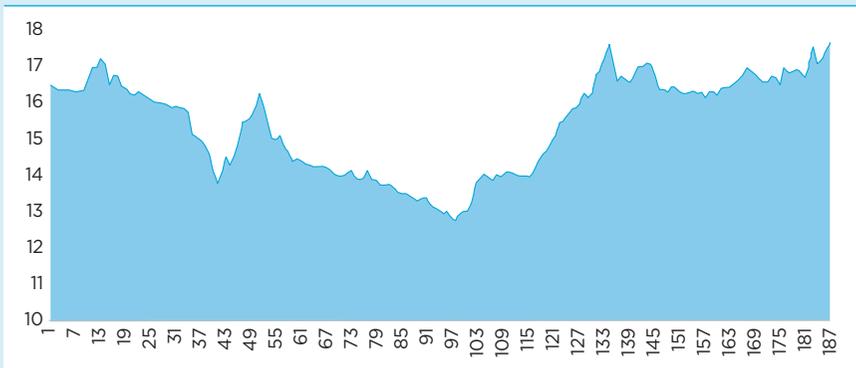
## Caso 4.2. Cálculo del riesgo (compensación)

Los gráficos 4.1 y 4.2 muestran cómo se ha venido comportando el tipo de cambio durante los últimos 15 años. A pesar de los distintos shocks que se observan en la dinámica de crecimiento del tipo de cambio mensual, el promedio de los retornos (tasa de crecimiento/variación del tipo de cambio) es del 0,045% con una volatilidad del 1,25% (cuadro 4.3).

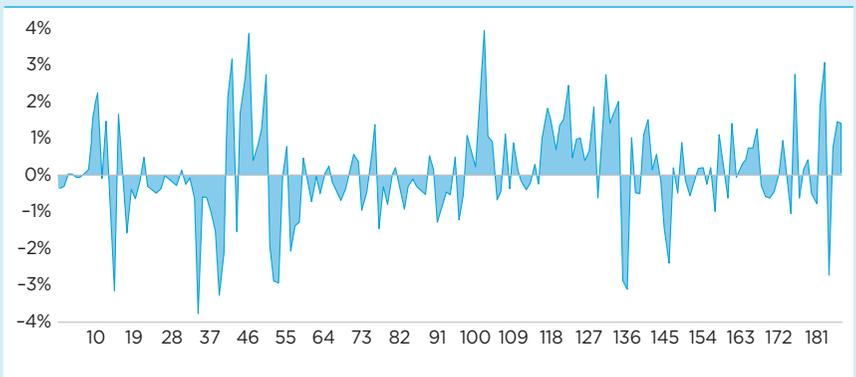
Con los parámetros anteriores se modelará el tipo de cambio *spot* mediante un MBG.

El proyecto contempla un pago anual comprometido contractualmente igual a ML 17.770.000. De esta manera, con base en la modelación de tipo de cambio

### Gráfico 4.1. Evolución mensual del tipo de cambio



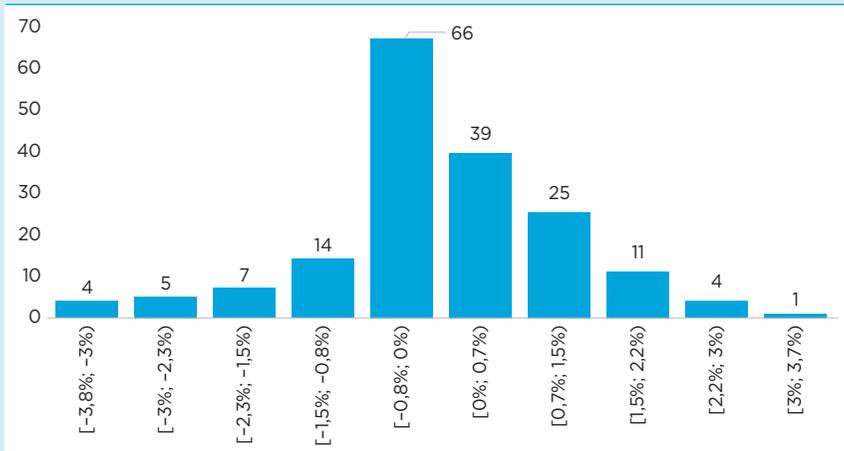
### Gráfico 4.2. Dinámica de la tasa de crecimiento del tipo de cambio



(continúa en la página siguiente)

## Caso 4.2. Cálculo del riesgo (compensación) *(continuación)*

**Gráfico 4.3. Distribución de los retornos<sup>a</sup>**



**Cuadro 4.3. Estadísticos del tipo de cambio mensual**

Estadístico	Valor
Promedio (retorno mensual)	0,045%
Volatilidad (retorno mensual)	1,25%

*Fuente:* Elaboración propia.

*spot*, se desea conocer el monto garantizado al inversionista privado durante los 15 años de explotación del proyecto de infraestructura. El valor *spot* inicial del tipo de cambio es 17,77. Por lo tanto el valor en dólares es igual a 1.000.000.

De las expresiones vistas anteriormente para el MBG se tiene lo siguiente:

$$Spot_t = spot_{t-1} \times (1 + \mu\Delta t + \sigma\varepsilon\sqrt{\Delta t}), \quad \varepsilon \sim N(0,1)$$

A continuación, se describe el proceso de cálculo, donde, por definición del MBG, el primer valor para la serie *spot* corresponde al valor fijado del *forward*. El resto de los términos de la serie para cada uno de los periodos se genera recursivamente, utilizando en cada caso un valor aleatorio para  $\varepsilon$  obtenido mediante la función de Excel INV.NORM(ALEATORIO(),0,1), para representar su comportamiento siguiendo una distribución Normal  $N(0,1)$ .

*(continúa en la página siguiente)*

## Caso 4.2. Cálculo del riesgo (compensación) *(continuación)*

$$Spot_0 = 17,7$$

$$Spot_1 = 17,77 \times \left(1 + 0,045\% \times 1 + 1,25\% \times INV.NORM(ALEATORIO( ); 0; 1 \times \sqrt{1})\right) = 17,55$$

$$Spot_2 = 17,55 \times \left(1 + 0,045\% \times 1 + 1,25\% \times INV.NORM(ALEATORIO( ); 0; 1 \times \sqrt{1})\right) = 17,72$$

$$Spot_3 = 17,72 \times \left(1 + 0,045\% \times 1 + 1,25\% \times INV.NORM(ALEATORIO( ); 0; 1 \times \sqrt{1})\right) = 17,48$$

Es importante tener presente que la modelación es mensual, mientras que el pasivo contingente que se quiere evaluar en este ejemplo es anual y por un periodo de 15 años. Por lo tanto, en cada iteración se deberán generar 180 valores *spot*, de los cuales se utilizarán los múltiplos de 12 para representar los años del contrato.

El cuadro 4.4 muestra el resultado para todos los periodos del contrato.

**Cuadro 4.4. Tipo de cambio *spot* modelado**

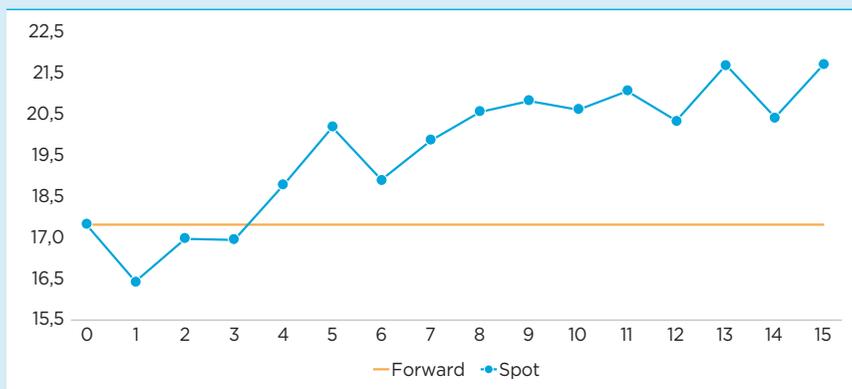
Periodo (mes)	Año de contrato	TCF	Spot
0	0	17,77	17,77
12	1	17,77	16,39
24	2	17,77	17,43
36	3	17,77	17,41
48	4	17,77	18,72
60	5	17,77	20,12
72	6	17,77	18,84
84	7	17,77	19,80
96	8	17,77	20,49
108	9	17,77	20,76
120	10	17,77	20,54
132	11	17,77	20,99
144	12	17,77	20,27
156	13	17,77	21,61
168	14	17,77	20,34
180	15	17,77	21,64

Fuente: Elaboración propia.

*(continúa en la página siguiente)*

## Caso 4.2. Cálculo del riesgo (compensación) *(continuación)*

### Gráfico 4.4. Evolución del tipo de cambio spot



Mediante el factor de compensación  $\frac{Spot_t}{TCF_0}$  se puede obtener a partir del monto comprometido ( $M_0$ ), el monto garantizado al inversionista privado ( $M_t$ ) durante todo el periodo del contrato de APP.

$$M_t = M_0 \times \frac{Spot_t}{TCF_0}$$

A continuación, a partir de los resultados del cuadro 4.4 se muestra el proceso de cálculo de algunos montos en el cuadro 4.5.

$$M_{12} = M_0 \times \frac{Spot_{12}}{TCF_0} = 17.770.000 \times \frac{16,39}{17,77} = ML16.394.789 .$$

$$M_{24} = M_0 \times \frac{Spot_{24}}{TCF_0} = 17.770.000 \times \frac{17,43}{17,77} = ML17.432.209 .$$

$$M_{96} = M_0 \times \frac{Spot_{96}}{TCF_0} = 17.770.000 \times \frac{20,49}{17,77} = ML20.487.206 .$$

De esta manera, al comparar los montos obtenidos como resultado del proceso de simulación, se observan escenarios donde en ciertos periodos se deberá compensar al inversionista privado debido a que el tipo de cambio *spot* es mayor al tipo de cambio fijado, así como también existen periodos donde el inversionista privado deberá retribuir al gobierno (si el contrato de APP así lo establece) debido a que el tipo de cambio *spot* es inferior al tipo de cambio

*(continúa en la página siguiente)*

## Caso 4.2. Cálculo del riesgo (compensación) *(continuación)*

**Cuadro 4.5. Compensación**

Periodo (mes)	Año de contrato	Comprometido	Garantizado (en ML)	Compensación (en ML)
0	0	17.770.000	17.770.000	0
12	1	17.770.000	16.394.789	0
24	2	17.770.000	17.432.209	0
36	3	17.770.000	17.409.602	0
48	4	17.770.000	18.721.202	951.202
60	5	17.770.000	20.123.719	2.353.719
72	6	17.770.000	18.836.765	1.066.765
84	7	17.770.000	19.800.657	2.030.657
96	8	17.770.000	20.487.206	2.717.206
108	9	17.770.000	20.762.341	2.992.341
120	10	17.770.000	20.536.234	2.766.234
132	11	17.770.000	20.994.151	3.224.151
144	12	17.770.000	20.274.413	2.504.413
156	13	17.770.000	21.605.513	3.835.513
168	14	17.770.000	20.339.054	2.569.054
180	15	17.770.000	21.636.149	3.866.149

Fuente: Elaboración propia.

fijado, que se mantiene constante durante todo el ciclo de vida del contrato de APP (gráfico 4.5).

$$\text{Compensación}_t = \max\{M_t - M_0, 0\}$$

$$\text{Compensación}_{12} = \max\{M_{12} - M_0; 0\} = \max\{16.394.789 - 17.770.000; 0\} = ML 0$$

$$\text{Compensación}_{24} = \max\{M_{24} - M_0; 0\} = \max\{17.432.209 - 17.770.000; 0\} = ML 0$$

$$\text{Compensación}_{96} = \max\{M_{96} - M_0; 0\} = \max\{20.487.206 - 17.770.000; 0\} = ML 2.717.206$$

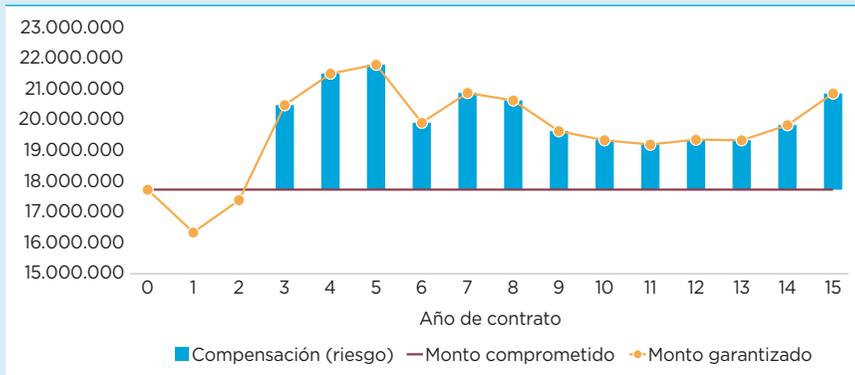
Con los datos anteriores más la tasa de descuento del 5%, se calcula el valor presente de la compensación:

$$\text{VAN}(\text{Compensación}) = ML 17.908.254$$

*(continúa en la página siguiente)*

## Caso 4.2. Cálculo del riesgo (compensación) *(continuación)*

### Gráfico 4.5. Activación de la compensación



Mediante el método de Monte Carlo se pueden generar distintos escenarios, tal como se muestran en el gráfico 4.6. Para cada escenario se obtienen los perfiles tanto para el monto garantizado al inversionista privado ( $M_0$ ), como el monto comprometido ( $M_0$ ), por lo tanto, se calcula el valor presente del perfil  $Compensación_t = \max\{M_t - M_0, 0\}$ . Al total de muestras generadas con la simulación se le calcula el percentil 50 o el percentil 95, de acuerdo con el criterio seleccionado para la valoración de los pasivos contingentes.

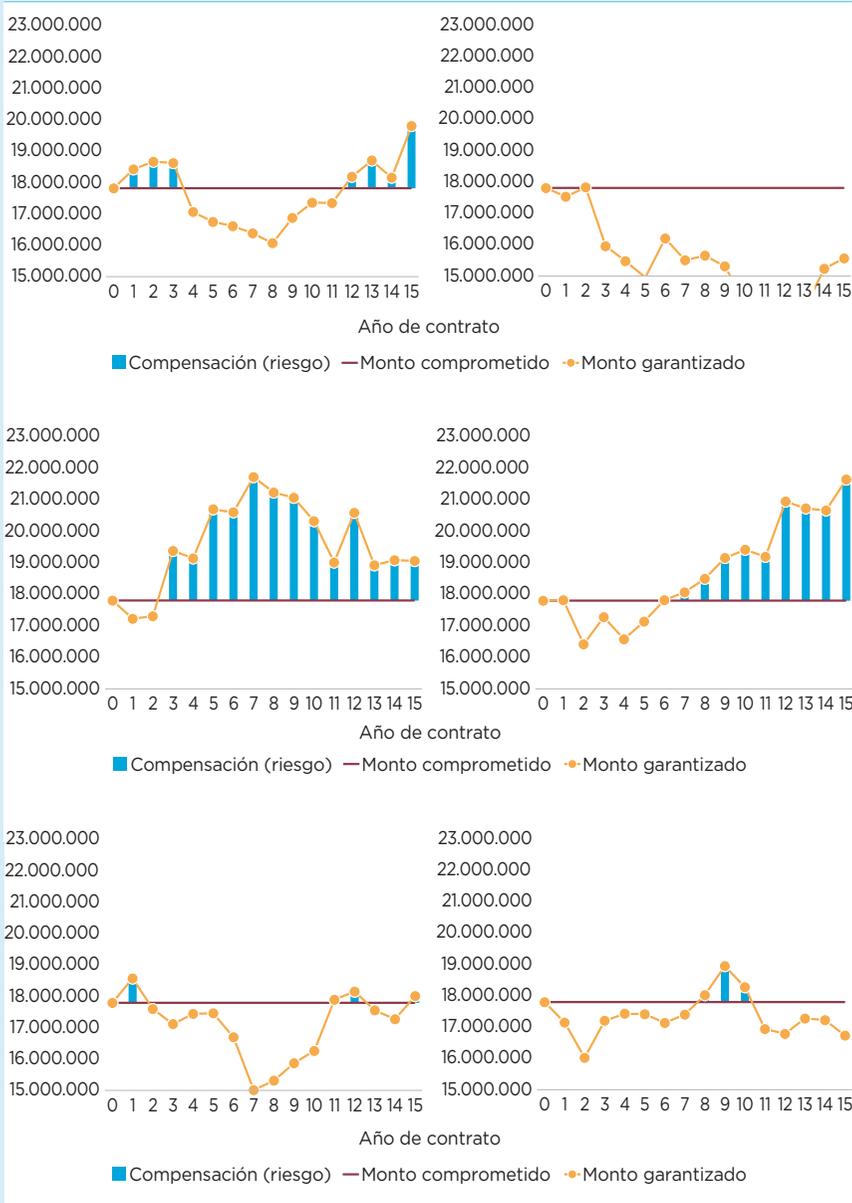
El gráfico 4.7 muestra la distribución del valor presente de las compensaciones obtenidas para cada periodo, luego de generar 10.000 escenarios mediante el método de Monte Carlo.

Por lo tanto, el costo del riesgo de tipo de cambio generará un pasivo contingente para una posición de aversión media frente al riesgo de ML 8.710.443, mientras para una posición de alta aversión frente al riesgo será de ML 38.241.554 (cuadro 4.6). Como consecuencia, el gobierno deberá contemplar una política que defina un plan de contingencia que permita hacer frente el riesgo cuando este se active durante la etapa de explotación del proyecto de infraestructura.

*(continúa en la página siguiente)*

## Caso 4.2. Cálculo del riesgo (compensación) *(continuación)*

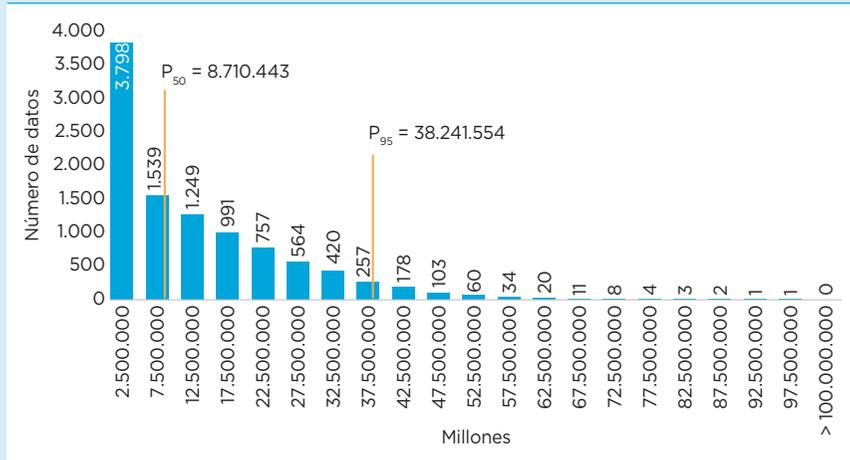
### Gráfico 4.6. Resultados de la simulación de Monte Carlo



*(continúa en la página siguiente)*

## Caso 4.2. Cálculo del riesgo (compensación) *(continuación)*

**Gráfico 4.7. Valor presente de los perfiles  $\max\{M_t - M_0, 0\}$**



**Cuadro 4.6. Compensación al inversionista privado (ML)**

Perfil	Percentil 50 (en ML)	Percentil 95 (en ML)
$\max\{M_t - M_0, 0\}$	8.710.443	38.241.554

Fuente: Elaboración propia.

Nota:

<sup>a</sup> A la tasa de crecimiento también se la conoce como retorno para efectos de valoración, en alusión a que las variaciones positivas o negativas generan pérdida o ganancias para un inversionista en moneda extranjera.

### 4.3. Mecanismo de cobertura cambiaria mediante bandas

En este mecanismo el tipo de cambio fijado se encuentra en bandas a una distancia  $\alpha$  (porcentaje), de modo que quedan definidas a una distancia  $(1 + \alpha)$  y  $(1 - \alpha)$ . Esta cobertura está orientada a garantizar una parte del pago de los servicios de deuda en dólares del inversionista privado, cuando los ingresos que recibe el inversionista privado se encuentran en moneda local (ML) y no en dólares. Para este pasivo contingente, la variable en riesgo es la variable tipo de cambio.

### Cuadro 4.7. Posición según el tipo de opción

Posición\tipo opción	Opción de compra	Opción de venta
Comprador	Derecho, pero no obligación, de comprar dólares a un tipo de cambio determinado en una fecha especificada	Derecho, pero no obligación, de vender dólares a un tipo de cambio determinado en una fecha especificada
Vendedor	Obligación de vender dólares a un tipo de cambio determinado en una fecha especificada	Obligación de comprar dólares a un tipo de cambio determinado en una fecha especificada

Fuente: Elaboración propia.

Es importante observar que el tipo de cambio se puede expresar como

$$TC_{US\$} = \frac{US\$}{ML}$$

o como

$$TC_{ML} = \frac{ML}{US\$}.$$

En el primer caso, se representa la cantidad de dólares que se requiere para comprar 1ML. En el segundo caso, la cantidad de ML que se precisan para comprar US\$1.

Cuanto mayor es la cantidad de dólares que se requieren para comprar una unidad de ML, se considera que el dólar se está depreciando o que la moneda local se está apreciando. Esto equivale a indicar que el  $TC_{US\$}$  está subiendo o que el  $TC_{ML}$  está bajando. Por el contrario, cuanto menor es la cantidad de dólares que se precisan para comprar una unidad de ML, se dice que el dólar se está apreciando o que la moneda local se está depreciando (devaluando). Esto equivale a indicar que el  $TC_{US\$}$  está bajando o que el  $TC_{ML}$  está subiendo.

En ausencia de un instrumento de mercado que permita solucionar los descalces cambiarios que pudiera experimentar el inversionista privado, el gobierno puede proveer un mecanismo que se estructure como una opción de divisas. De manera general, un contrato de opción le entrega a su dueño el derecho, pero no la obligación, de comprar/vender un activo a un precio determinado y en un periodo de tiempo especificado.

Pueden existir dos tipos de opciones según se trate de opciones de compra (*call options*) o de venta (*put options*). Por lo tanto, habrá cuatro posiciones básicas según se compre o se venda una opción de compra o una opción de venta, como se muestra en el cuadro 4.7.

Entonces cuando se compra una de las divisas, automáticamente se vende la otra, por lo que:

- Cuando se define una opción de compra en dólares, se define implícitamente una opción de venta en ML, ya que se estima que habrá una bajada de la ML, lo que implicará una subida del dólar.
- Cuando se define una opción de venta en dólares, se define implícitamente una opción de compra en ML, ya que se estima que existirá una subida de la ML, lo que implicará una bajada del dólar.

Por lo tanto, las dos opciones se compran o venden al tener expectativas simultáneamente de una apreciación de una de las divisas ( $TC_{US\$}$ ) y depreciación de la otra ( $TC_{ML}$ ).

#### 4.4. Construcción de la función de pago del gobierno<sup>33</sup>

A continuación, en el gráfico 4.8 se presenta de qué manera opera una garantía de tipo de cambio, donde el tipo de cambio *spot* fluctúa entre dos bandas determinadas por el tipo de cambio fijado inicialmente en un porcentaje  $(1 + \alpha)$  y  $(1 - \alpha)$  respecto al valor *spot* inicial. La mecánica de funcionamiento supone que una variación (hacia la apreciación o depreciación) del tipo de cambio, por ejemplo, menor a un 10% puede y debe ser manejada por las partes a través de los mecanismos de cobertura disponible en los mercados financieros.<sup>34</sup> Si la variación es mayor (hacia arriba o hacia abajo) al 10%, el gobierno compensará al inversionista privado en caso de devaluación (depreciación) de la moneda local respecto de la moneda de la deuda (dólar) y en el caso contrario el inversionista privado le deberá pagar al Estado.

En otras palabras, el mecanismo busca amortiguar las pérdidas cuando  $TC_t$  es alto y amortiguar las ganancias cuando el tipo de cambio es bajo.

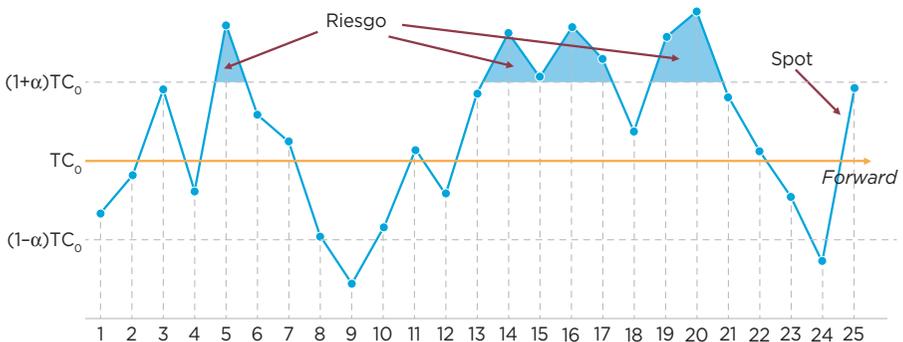
En el gráfico 4.8 se observan dos escenarios:

- Cuando el tipo de cambio se encuentra por encima de la banda ( $(1 + \alpha)TC_0$ ), el gobierno le paga al inversionista privado debido a que la ML se deprecia respecto del dólar. Este pago representa un pasivo contingente para el gobierno.

<sup>33</sup>  $M_0$  estará expresado en dólares.

<sup>34</sup> *Swap* o permutas de divisas, opciones de tipo de cambio, *forward* de divisas y futuros de tipo de cambio.

## Gráfico 4.8. Activación de la garantía



Fuente: Elaboración propia.

- Cuando el tipo de cambio se encuentra por debajo de la banda  $((1 - \alpha)TC_0)$ , el inversionista privado debe compensar al gobierno porque la moneda local se aprecia con respecto al dólar. Este pago representa un activo contingente para el gobierno.

De la operatoria del mecanismo se generan dos casos para la modelación usando la analogía con las opciones financieras, donde  $TC_t$  es el tipo de cambio del período  $t$  (*spot*):

- Cuando  $TC_t > (1 + \alpha)TC_0$ , el  $TC_t$  es considerado muy alto y por lo tanto corresponde un pago del gobierno al inversionista privado. La forma en que se materializa este pago es análoga al pago representado a través de una opción de compra o *call*. Es decir, si el  $TC_t$  supera el umbral establecido en la relación anterior, la situación equivale a que el inversionista privado tenga la opción de comprar una cantidad de dólares preestablecida a un precio de ejercicio igual a  $(1 + \alpha)TC_0$ . En términos financieros, se puede modelar como si el inversionista privado fuera el propietario de una opción *call* con precio de ejercicio  $(1 + \alpha)TC_0$ . En este caso, al inversionista le “molesta” que suba el tipo de cambio.

De este modo, el monto en ML que deberá pagar el gobierno al inversionista privado viene dado por la siguiente expresión:

$$Pago_t = M_0 \times (TC_t - (1 + \alpha\%) \times TC_0)$$

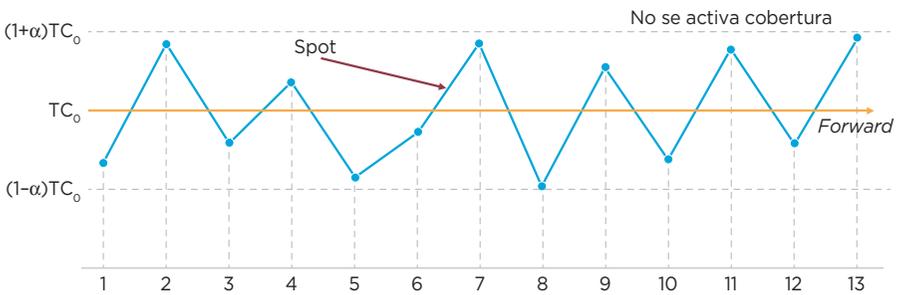
- Cuando  $TC_t < (1 - \alpha)TC_0$ , el  $TC_t$  es considerado muy bajo y por lo tanto corresponde que el inversionista le pague al gobierno. La forma en que

se materializa este pago es análoga al pago representado a través de una opción de venta o *put* del gobierno. Es decir, si el  $TC_t$  cae bajo el umbral establecido  $((1 + \alpha\%)TC_0)$ , es una situación equivalente a que el gobierno tenga la opción de vender cierta cantidad de dólares al inversionista privado a un precio determinado. En términos financieros, es como si el Estado fuera el propietario de una opción *put* con precio de ejercicio  $(1 - \alpha)TC_0$ .

Por lo tanto, el monto en ML que el inversionista privado retribuye al gobierno equivale a la siguiente expresión:

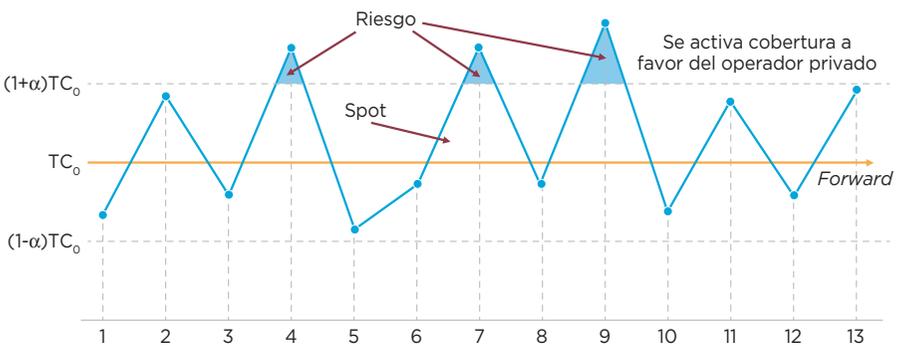
$$Pago_t = M_0 \times ((1 - \alpha\%) \times TC_0 - TC_t)$$

**Gráfico 4.9. La ML no se aprecia ni se deprecia**



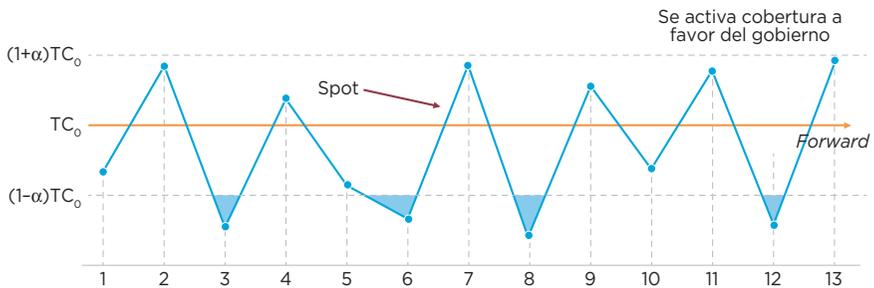
Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 4.10. La ML se deprecia**



Fuente: Elaboración propia.

## Gráfico 4.11. La ML se aprecia



Fuente: Elaboración propia.

### Caso 4.3. Cobertura garantizada por el gobierno al inversionista privado

Continuando con el caso anterior, supóngase que con la finalidad de establecer una cobertura al tipo de cambio se considera un  $\alpha = 10\%$ , por lo tanto, la banda superior para el tipo de cambio fijado será:

$$(1 + 10\%) \times 17,77 = 19,55 \frac{ML}{US\$}$$

Entonces, el gobierno paga en ML al inversionista privado la diferencia entre  $19,55 \frac{ML}{US\$}$  y el valor del tipo de cambio en ese momento, siempre y cuando el tipo de cambio *spot* ( $TC_{t,i}$ ) sea mayor a ese valor. En caso contrario, no paga nada.

De esta manera, si en el futuro el tipo de cambio sube a  $20 \frac{ML}{US\$}$ , la garantía se activa dado que  $20 \frac{ML}{US\$} > 19,55 \frac{ML}{US\$}$ . El gobierno tiene dos maneras de transferir este monto: se lo entrega al inversionista privado en dólares y el inversionista los intercambia en el mercado formal a un tipo de cambio  $20 \frac{ML}{US\$}$  o directamente le entrega en ML el monto garantizado.

El monto en ML asciende a:

$$\text{Pago en ML} = 1.000.000 \times (20 - 19,55) = 453.000$$

En caso de no estar vigente la cobertura del gobierno, el inversionista privado necesitaría 20 millones de ML para cubrir su obligación de US\$1 millón. Por el hecho de tener la cobertura, necesita  $20.000.000 - 453.000 = 19.547.000$ ,

(continúa en la página siguiente)

### Caso 4.3. Cobertura garantizada por el gobierno al inversionista privado *(continuación)*

lo que es equivalente a enfrentar un tipo de cambio de 19,45477 (ML/USD), que es justamente el límite superior de la banda.

*Nota:* Obsérvese que el inversionista privado ejerce la cobertura si  $\max\{Spot - 19,55, 0\}$  es positivo. En otras palabras: ejerce la cobertura (opción de compra) siempre que el tipo de cambio spot sea mayor que 19,55. El inversionista privado enfrenta un descalce cambiario, al tener sus ingresos en ML y sus costos, especialmente los del servicio de la deuda, en moneda extranjera, por lo tanto, cualquier subida del tipo de cambio le genera pérdidas. También es cierto que disminuciones del tipo de cambio le generan ganancias. De esta forma mientras más bajo es el tipo de cambio, o más se aprecia la moneda local, mayores serán las ganancias del inversionista privado por este concepto.

### Caso 4.4. Retribución del inversionista privado al gobierno

Continuando con el ejemplo anterior, supóngase que el tipo de cambio baja de 17,77 a 15. El monto de US\$1 millón ahora le cuesta 15 millones de ML en lugar de 17,77 millones de ML; por lo tanto el inversionista privado obtiene una ganancia de 2,77 millones de ML.

Teniendo presente lo anterior, el gobierno podría reducir su pasivo contingente al exigir compartir una parte o la totalidad de la ganancia privada cuando el tipo de cambio se aprecia. Esto en estricto rigor se transforma en un activo contingente para el gobierno.

Para lo anterior, el gobierno genera una banda inferior considerando un  $\alpha = 10\%$ . Por lo tanto, la banda inferior para este ejemplo es:  $(1 - 10\%) \times 17,77 = 15,99 \frac{ML}{US\$}$ . En este caso, el gobierno tiene el derecho a recibir por parte del operador privado la diferencia entre 15,99 y el tipo de cambio *spot*. Obsérvese que el gobierno puede ejercer la cobertura si  $\max\{15,99 - Spot, 0\}^a$  es mayor que cero. En otras palabras, ejerce la opción de venta, es decir, recibe de parte del inversionista privado un monto igual a toda la diferencia entre 15,99 y el tipo de cambio *spot*.

Continuando con el ejemplo anterior, si el tipo de cambio baja a  $15 \frac{ML}{US\$}$ , el inversionista privado tendría que hacer un pago al gobierno equivalente a:

$$\text{Pago en ML} = 1.000.000 \times (15,99 - 15) = 993.000$$

*Nota:*

<sup>a</sup> El gobierno puede ejercer la cobertura si  $\max\{15,99 - Spot, 0\}$  es mayor que cero. El gobierno ejerce la opción de venta si el tipo de cambio se aprecia a valores menores a 15,99.

## 4.5. Metodología de valoración

El modelo más utilizado para valorar opciones en divisas ha sido propuesto por Garman y Kohlhagen (1983). Este modelo es una variante de valoración de opciones de acciones de Black y Scholes (1973) y de acciones que pagan dividendo desarrollado por Merton (1973).<sup>35</sup>

En concreto, el valor de la opción de compra en el periodo  $t$  es igual a:

$$C_t = S_0 \times \exp(-r_{US\$} \times T) \times N(d_1) - K \times \exp(-r_{ML} \times T) \times N(d_2)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(r_{ML} - r_{US\$} + \frac{1}{2}\sigma^2\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

Donde

$S_0$ : es el precio *spot* en el tiempo  $t = 0$  (ML/US\$);

$K$ : es el precio de ejercicio de la opción de compra (ML/US\$), que es igual a  $(1 + \alpha)S_0$ ;

$r_{US\$}$ : es la tasa libre de riesgo en dólares;

$r_{ML}$ : es la tasa libre de riesgo en moneda local;

$T$ : es el plazo de vencimiento de la opción;

$\sigma$ : es la volatilidad del precio *spot*; y

$N(\cdot)$ : es la distribución acumulada normal estándar.

El valor de la opción de venta en el periodo  $t$  es:

$$P_t = K \times \exp(-r_{ML} \times T) \times N(-d_2) - S_0 \times \exp(-r_{US\$} \times T) \times N(-d_1)$$

Donde  $K$  es el precio de ejercicio para la opción de venta que es igual a  $(1 - \alpha)S_0$ . Los parámetros  $d_1$  y  $d_2$  deben volver a calcularse, tomando en cuenta este nuevo valor para  $K$ .

El valor de la garantía de tipo de cambio en el periodo  $t$  ( $FXG_t$ ) es la suma de las series emparejadas de opciones de compra y venta:

$$FXG_t = \sum_{t=1}^N M_0 \times (P_t - C_t)$$

<sup>35</sup> El modelo de Garman y Kohlhagen (1983) asume que solo una variable estocástica sigue un MBG para la dinámica del tipo de cambio *spot*, los mercados de divisas funcionan sin fricciones y las tasas de interés externas y domésticas se mantienen constantes en el tiempo. Es una opción europea dado que tiene una fecha fija de ejercicio.

## Caso 4.5. Cobertura según el modelo de Garman-Kohlhagen

Supóngase que se define una garantía de tipo de cambio como la indicada anteriormente, donde la banda se fija en  $\pm 10\%$  o sea  $\alpha = 0,1$ . A continuación, se obtendrá una expresión para el valor del pasivo contingente usando el modelo de Garman-Kohlhagen.

El gobierno realiza un pago al inversionista privado solo cuando el tipo de cambio *spot* en el periodo  $t$  es mayor al tipo de cambio fijado ( $TC_t > 1,1 \times TC_0$ ). En consecuencia, la cantidad que el gobierno le paga al inversionista en ML es igual a la cantidad garantizada en dólares multiplicada por el diferencial de tipo de cambio en  $t$ :

$$\text{Pago}_t = M_0 \times (TC_t - (1 + \alpha\%) \times TC_0)$$

Por consiguiente, la cobertura es equivalente a una opción de compra en dólares suscrita por el inversionista con el gobierno, con un precio de ejercicio de  $1,1 \times TC_0$ . El pago puede expresarse como:

$$M_0 \times \max\{S - K, 0\}$$

Donde  $S = TC_t$  y  $K = 1,1 \times TC_0$ .

## Caso 4.6. Cálculo de la garantía mediante el modelo de Garman-Kohlhagen

Para este caso se utilizará la información del caso 4.2, pero considerando una banda de cobertura del 10%.

### Cuadro 4.8. Supuestos de la valoración

Parámetro	Valor
Tipo de cambio inicial (ML/US\$)	17,77
M en ML	17.770.000
M en dólares	1.000.000
Volatilidad anual del tipo de cambio ( $\sigma$ )	4,3%
Tasa anual libre de riesgo en dólares ( $r_{us\$}$ )	4,4%
Tasa anual libre de riesgo en ML ( $r_{ML}$ )	5,0%

Fuente: Elaboración propia.

(continúa en la página siguiente)

## Caso 4.6. Cálculo de la garantía mediante el modelo de Garman-Kohlhagen *(continuación)*

En el cuadro 4.8 se presentan los supuestos para la valoración, asumiendo que solo se tiene una opción de compra de dólares o una opción de venta en ML (CAP).

Operacionalmente se tiene un paquete de 15 opciones de compra en dólares (o 15 opciones de venta en ML). Cada una con tiempo de expiración igual a un año calendario respecto del periodo inicial y precio de ejercicio igual a  $(1 + 10\%) \times 17,77 = 19,55$ . Cada año el monto M de referencia asciende a ML 17.770.000, el cual valorizado al tipo de cambio  $19,55 \frac{ML}{US\$}$  asciende a US\$1.000.000.

Donde  $S_0 = 17,77$  y  $K = 19,55$

De la fórmula de Garman-Kohlhagen, el valor de la opción de compra en el periodo  $t$  es igual a:

$$C_t = S_0 \times \exp(-r_{US\$} \times t) \times N(d_1) - K \times \exp(-r_{ML} \times t) \times N(d_2)$$

Al reemplazarlo en la fórmula se tiene:

$$C_1 = 17,77 \times \exp(-4,4\% \times 1) \times N(d_{1,1}) - 19,55 \times \exp(-1,25\% \times 1) \times N(d_{2,1})$$

$$C_2 = 17,77 \times \exp(-4,4\% \times 2) \times N(d_{1,2}) - 19,55 \times \exp(-1,25\% \times 2) \times N(d_{2,2})$$

$$C_3 = 17,77 \times \exp(-4,4\% \times 3) \times N(d_{1,3}) - 19,55 \times \exp(-1,25\% \times 3) \times N(d_{2,3})$$

⋮  
⋮  
⋮

$$C_{14} = 17,77 \times \exp(-4,4\% \times 14) \times N(d_{1,14}) - 19,55 \times \exp(-1,25\% \times 14) \times N(d_{2,14})$$

$$C_{15} = 17,77 \times \exp(-4,4\% \times 15) \times N(d_{1,15}) - 19,55 \times \exp(-1,25\% \times 15) \times N(d_{2,15})$$

Por ejemplo, los valores de  $d_{1,j}$  y  $d_{2,j}$  para  $j=3$  son los siguientes:

$$d_{1,3} = \frac{\ln\left(\frac{17,77}{19,55}\right) + \left(5\% - 4,4\% + \frac{1}{2} \times 4,3\%^2\right) \times 3}{4,3\% \times \sqrt{3}} \quad \text{Y } d_{2,3} = d_{1,3} - 4,3\% \times \sqrt{3}$$

El cuadro 4.9 muestra la valoración de la opción.

*(continúa en la página siguiente)*

## Caso 4.6. Cálculo de la garantía mediante el modelo de Garman-Kohlhagen

Cuadro 4.9. Valoración de la opción

Periodo	Monto garantizado (en dólares) (1)	Valor de la opción call según G-K [ML/US\$] (2)	Valor de la garantía anual [ML] (3) = (1) × (2)
1	1.000.000	0,0058	5.765
2	1.000.000	0,0431	43.105
3	1.000.000	0,0988	98.835
4	1.000.000	0,1599	159.881
5	1.000.000	0,2207	220.655
6	1.000.000	0,2787	278.715
7	1.000.000	0,3330	332.978
8	1.000.000	0,3830	382.998
9	1.000.000	0,4286	428.649
10	1.000.000	0,4700	469.979
11	1.000.000	0,5071	507.126
12	1.000.000	0,5403	540.277
13	1.000.000	0,5696	569.643
14	1.000.000	0,5954	595.447
15	1.000.000	0,6179	617.913

Fuente: Elaboración propia.

De esta forma el valor de la garantía total en ML asciende a:

$$FXG_t = \sum_{t=1}^{15} 1.000.000 \times C_{i,t} = 5.251.966$$

## Caso 4.7. Cálculo de la garantía, opción put

A continuación se presentan los supuestos para la valoración, asumiendo que ahora se trabaja operacionalmente con un paquete de 15 opciones de venta en dólares o 15 opciones de compra en ML (*floor*).

Cada una con tiempo de expiración igual a un año calendario respecto del año inicial y precio de ejercicio igual a  $(1 - 10\%) \times 17,77 = 15,99$ .

Donde  $S_0 = 17,77$  y  $K = 0,9 \times 17,77 = 15,99$

Con los datos anteriores es posible utilizar la siguiente expresión:

$$P_t = K \times \exp(-r_{ML} \times t) \times N(-d_{2,t}) - S_0 \times \exp(-r_{US\$} \times t) \times N(-d_{1,t})$$

Al reemplazarlo se tiene:

$$P_1 = 15,99 \times \exp(-5\% \times 1) \times N(-d_{2,1}) - 17,77 \times \exp(-4,4\% \times 1) \times N(-d_{1,1})$$

$$P_2 = 15,99 \times \exp(-5\% \times 2) \times N(-d_{2,2}) - 17,77 \times \exp(-4,4\% \times 2) \times N(-d_{1,2})$$

$$P_3 = 15,99 \times \exp(-5\% \times 3) \times N(-d_{2,3}) - 17,77 \times \exp(-4,4\% \times 3) \times N(-d_{1,3})$$

.  
.  
.

$$P_{14} = 15,99 \times \exp(-5\% \times 9) \times N(-d_{2,14}) - 17,77 \times \exp(-4,4\% \times 9) \times N(-d_{1,14})$$

$$P_{15} = 15,99 \times \exp(-5\% \times 10) \times N(-d_{2,15}) - 17,77 \times \exp(-4,4\% \times 10) \times N(-d_{1,15})$$

El cuadro 4.10 muestra la valoración de la opción.

*(continúa en la página siguiente)*

## Caso 4.7. Cálculo de la garantía, opción *put* (continuación)

Cuadro 4.10. Valoración de la opción

Periodo	Monto garantizado (en dólares) (1)	Valor de la opción <i>put</i> según G-K [ML/US\$] (2)	Valor de la garantía anual [ML] (3) = (1) × (2)
1	1.000.000	0,0011	1.122
2	1.000.000	0,0099	9.866
3	1.000.000	0,0226	22.586
4	1.000.000	0,0352	35.227
5	1.000.000	0,0464	46.369
6	1.000.000	0,0557	55.664
7	1.000.000	0,0632	63.152
8	1.000.000	0,0690	69.006
9	1.000.000	0,0734	73.434
10	1.000.000	0,0766	76.638
11	1.000.000	0,0788	78.807
12	1.000.000	0,0801	80.103
13	1.000.000	0,0807	80.670
14	1.000.000	0,0806	80.630
15	1.000.000	0,0801	80.090

Fuente: Elaboración propia.

De esta forma el valor de la garantía total en ML asciende a:

$$FXG_t = \sum_{t=1}^{15} 1.000.000 \times P_{t,t} = 853.363$$

## Caso 4.8. Cálculo de la garantía, opción collar

En el cuadro 4.11 se muestran las opciones de venta y las de compra. El valor de la resta de la opción de compra cap y la opción de venta *floor* es el valor de una opción *collar* (cilindro), que representa el pasivo contingente total para el gobierno por la cobertura cambiaria diseñada.

**Cuadro 4.11. Valoración de la garantía**

Periodo	Opción <i>call</i> según G-K valorada en ML (1)	Opción <i>put</i> según G-K valorada en ML (2)	Valor de la garantía anual neta [ML] (3) = (1) – (2)
1	5.765	1.122	4.643
2	43.105	9.866	33.240
3	98.835	22.586	76.249
4	159.881	35.227	124.654
5	220.655	46.369	174.286
6	278.715	55.664	223.052
7	332.978	63.152	269.827
8	382.998	69.006	313.992
9	428.649	73.434	355.216
10	469.979	76.638	393.341
11	507.126	78.807	428.320
12	540.277	80.103	460.174
13	569.643	80.670	488.973
14	595.447	80.630	514.817
15	617.913	80.090	537.823

Fuente: Elaboración propia.

El valor de la garantía de tipo de cambio en el periodo actual  $t=0$  ( $FXG_0$ ) en ML es la suma de las series emparejadas de opciones de compra y venta:

$$FXG_0 = \sum_{t=1}^{15} (C_t - P_t) = 4.398.603$$

## Caso 4.9. Comparación entre Monte Carlo y Garman-Kohlhagen

Para finalizar este capítulo, se resolverá el mismo caso anterior mediante la simulación de Monte Carlo. Los supuestos son los mismos del caso 4.2 pero con una banda de cobertura del 10%:

### Cuadro 4.12. Estadísticos del tipo de cambio mensual

Estadístico	Valor
Promedio (retorno mensual)	0,05%
Volatilidad (retorno mensual)	1,25% <sup>a</sup>

*Nota:*

<sup>a</sup> Esta volatilidad mensual es equivalente a la utilizada en el modelo de Garman-Kohlhagen, en el que se utilizaron datos anuales y donde resulta una volatilidad anual de 5,1% en tiempo continuo.

El monto garantizado en ML asciende a 17.770.000, lo cual origina la siguiente banda:

Valor mínimo: 15.993.000

Valor máximo: 19:547.000

Se debe generar el MBG a partir del último dato conocido del tipo de cambio: 17,77 [ML/US\$]:

$$Spot_0 = 17,77$$

$$Spot_1 = 17,77 \times \left(1 + 0,05\% \times 1 + 1,25\% \times INV.NORM(ALEATORIO( ); 0; 1 \times \sqrt{1})\right) = 17,59$$

$$Spot_2 = 17,59 \times \left(1 + 0,05\% \times 1 + 1,25\% \times INV.NORM(ALEATORIO( ); 0; 1 \times \sqrt{1})\right) = 17,31$$

$$Spot_3 = 17,31 \times \left(1 + 0,05\% \times 1 + 1,25\% \times INV.NORM(ALEATORIO( ); 0; 1 \times \sqrt{1})\right) = 17,33$$

.

.

.

$$Spot_{12} = 17,66 \times \left(1 + 0,05\% \times 1 + 1,25\% \times INV.NORM(ALEATORIO( ); 0; 1 \times \sqrt{1})\right) = 16,60$$

.

.

.

$$Spot_{179} = 20,52 \times \left(1 + 0,05\% \times 1 + 1,25\% \times INV.NORM(ALEATORIO( ); 0; 1 \times \sqrt{1})\right) = 20,57$$

$$Spot_{180} = 20,57 \times \left(1 + 0,05\% \times 1 + 1,25\% \times INV.NORM(ALEATORIO( ); 0; 1 \times \sqrt{1})\right) = 20,53$$

(continúa en la página siguiente)

## Caso 4.9. Comparación entre Monte Carlo y Garman-Kohlhagen *(continuación)*

Estos valores spot generan el siguiente cuadro de compensaciones:

**Cuadro 4.13. Compensación**

Periodo (mes)	Año de contrato	Spot	Forward	Monto garantizado [ML]	Compensación [ML]	Retribución [ML]
0	0	17,77	17,77	17.770.000	0	0
12	1	16,60	17,77	16.595.700	0	0
24	2	16,34	17,77	16.343.285	0	0
36	3	17,17	17,77	17.166.855	0	0
48	4	17,33	17,77	17.331.262	0	0
60	5	16,44	17,77	16.439.497	0	0
72	6	15,55	17,77	15.552.723	0	440.277
84	7	16,51	17,77	16.514.809	0	0
96	8	17,57	17,77	17.565.460	0	0
108	9	18,54	17,77	18.543.036	0	0
120	10	18,54	17,77	18.537.146	0	0
132	11	19,75	17,77	19.748.167	201.167	0
144	12	18,58	17,77	18.576.911	0	0
156	13	18,91	17,77	18.913.060	0	0
168	14	20,03	17,77	20.025.982	478.982	0
180	15	20,53	17,77	20.531.423	984.423	0

Fuente: Elaboración propia.

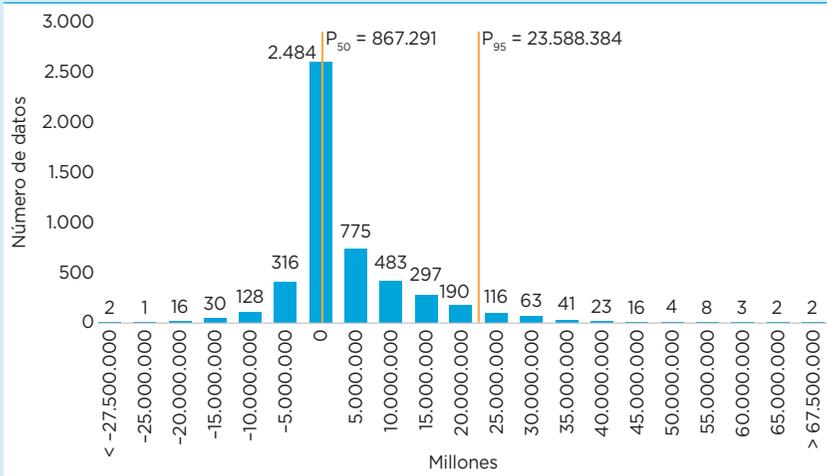
En esta iteración el valor presente del riesgo asciende a  $793.391 - 312.896 = \text{ML } 480.495$ . Para obtener el valor del pasivo contingente, se deben simular miles de casos y luego obtener el percentil 50 o el percentil 95, según sea el criterio adoptado. Luego de realizar 5.000 simulaciones se obtiene lo presentado en el gráfico 4.12.

Como esta distribución no es simétrica, el estadígrafo más apropiado para comparar con los resultados obtenidos con Garman-Kohlhagen no es P50, sino el valor esperado, cuyo monto asciende a 4.449.818, y resulta muy similar a los 4.398.603 obtenidos con Garman-Kohlhagen.

*(continúa en la página siguiente)*

## Caso 4.9. Comparación entre Monte Carlo y Garman-Kohlhagen *(continuación)*

**Gráfico 4.12. Simulación de Monte Carlo para 5.000 iteraciones**



Cuando se desee efectuar el análisis de pasivos contingentes con base en valores esperados, es mejor utilizar Garman-Kohlhagen, ya que no se requiere hacer simulaciones. No obstante, cabe recordar que, para aplicar esta fórmula, el tipo de cambio debe seguir un MBG. En cambio, cuando se desee trabajar con base en percentiles, se debe usar necesariamente la simulación de Monte Carlo.

# Pasivo contingente por litigios

## 5

### 5.1. Definiciones previas

Para el Estado los pasivos contingentes por litigios son producto del riesgo que se genera cuando este enfrenta procesos judiciales en su contra, debido a la incertidumbre de su desenlace, que potencialmente pueden llevar a unas indemnizaciones frente a terceros. Dichas acciones legales, que pueden ser iniciadas por empresas, individuos, inversionistas extranjeros u organizaciones, suelen estar motivadas en disputas sobre interpretaciones contractuales, demoras en el cumplimiento de obligaciones, denuncias contra servidores públicos, entre otros.

En el caso de proyectos de APP, los pasivos contingentes por litigios se originan usualmente debido a controversias en temas de inversión. Dichos procesos, que generalmente involucran pretensiones monetarias elevadas, suelen llegar a cortes internacionales como el Centro Internacional de Arreglo de Diferencias Relativas a Inversiones (CIADI).<sup>36</sup>

La exposición a los pasivos contingentes por litigios puede ser grande en relación con la economía del país involucrado (Banco Mundial, 2019). En particular, en economías emergentes los pasivos contingentes por litigios se han constituido algunas veces en los más importantes registrados (Bova et al., 2016). Destaca el caso de Argentina que en 2001 perdió un litigio por reconocimiento de deuda, con un impacto equivalente al

<sup>36</sup> El CIADI cuenta con 164 Estados miembros que han firmado el Convenio. Para más detalles, visítese <https://icsid.worldbank.org/es/acerca/estados-miembros>. Bolivia, Brasil, Cuba, Ecuador y Venezuela no son miembros del CIADI.

13,2% de su PIB; y también el de Bosnia y Herzegovina que en 2009 perdió un litigio que generó un impacto total equivalente al 15,3% de su PIB (Bova et al., 2016). Si bien el monto involucrado en los litigios puede ser elevado, el riesgo fiscal (materia de análisis de esta publicación) depende de la composición del portafolio de litigios en curso. El riesgo será menor en un portafolio con varios procesos judiciales independientes con pretensiones monetarias pequeñas en comparación con un portafolio con pocos procesos judiciales correlacionados entre sí con elevadas pretensiones monetarias.

Una forma de reducir la incertidumbre originada por los potenciales resultados de las demandas es utilizar herramientas del análisis de decisiones. En su artículo fundacional Howard (1966) desarrolla las bases del análisis de decisiones aplicado a temas gerenciales. A diferencia de la investigación clásica de operaciones que utiliza conceptos matemáticos complejos para ayudar en la toma de decisiones, el análisis de decisiones utiliza conceptos generales de probabilidad y lógica con el mismo fin.<sup>37</sup>

A partir de este desarrollo conceptual, las aplicaciones en análisis de litigios han cobrado cada vez más importancia. Victor (2015) expone una metodología que, utilizando un árbol de decisión con la representación gráfica de los posibles caminos del litigio y empleando herramientas del análisis probabilístico, permite la estimación del valor esperado del pasivo contingente por un litigio. Sobre la base de este fundamento teórico se desarrolla la presente metodología una vez que el litigio ha iniciado.

Cabe precisar que la metodología de valoración del pasivo contingente por litigios desarrollada se diferencia de las de los otros pasivos contingentes incluidos en esta publicación en lo que respecta al punto de partida del análisis. Esto es así porque la metodología considera como punto de partida el inicio del litigio, es decir, se evalúa el pasivo contingente a partir de la ocurrencia de un evento (una de las partes interpone el litigio), lo cual difiere de las otras metodologías de valoración de pasivos que no incluyen ese tipo de condición. Un análisis más amplio podría incluir la evaluación desde la

---

<sup>37</sup> En palabras de Howard (1966): "El análisis de decisiones no es más que un procedimiento para aplicar la lógica. La máxima limitación a su aplicabilidad no radica en su capacidad para hacer frente a los problemas, sino en el deseo del ser humano de ser lógico" (*Decision analysis is no more than a procedure for applying logic. The ultimate limitation to its applicability lies not in its ability to cope with problems but in man's desire to be logical*).

estructuración del proyecto, con incertidumbre en la ocurrencia y características del litigio, pero dicho análisis tiene problemas de medición por la variedad de causas posibles y la cantidad de supuestos necesarios para su medición, lo que aumenta la complejidad sin generar mejoras significativas en la evaluación del pasivo. Por eso, al considerar lo anterior y también las fuentes metodológicas sobre las cuales se trabajan los litigios, y sin pérdida de generalidad, se opta por desarrollar la metodología teniendo como punto de partida el inicio de un litigio.

Conceptualmente, un árbol de decisión es un diagrama compuesto de nodos y ramas. Se distinguen tres tipos de nodos: de decisión, de probabilidad (también conocido como nodo de azar o de evento) y terminal (también llamado hoja del árbol). De la raíz inicial se ramifican distintos caminos que pasan por nodos internos hasta llegar a los nodos terminales. Si las ramas se originan en nodos de decisión, estas representan las alternativas de decisión. Mientras que si se originan en nodos de probabilidad, estas representan los distintos eventos posibles. Gráficamente los nodos se suelen representar según el siguiente detalle:

- Nodo de decisión: □
- Nodo de probabilidad: ○
- Nodo terminal: ◁

En caso de procesos judiciales contra el Estado, un nodo de decisión puede representar la decisión de conciliar (antes de ir a un litigio) o de apelar un fallo determinado durante el mismo. Por su parte, un nodo de probabilidad puede representar la incertidumbre del tipo de fallo (favorable o no favorable). Finalmente, los nodos terminales suelen representar el resultado final de cada posible camino en el litigio, en términos monetarios. Dado el objetivo de esta publicación, para la cuantificación de los pasivos contingentes por litigios, las decisiones serán evaluadas como incertidumbres y las alternativas como eventos. Por este motivo, el árbol de decisiones se conoce como árbol de probabilidades.

En general, la normativa establece que cada contrato de APP incluye una cláusula referida a la vía arbitral como mecanismo de solución de controversias. Si bien antes de cada demanda hay intentos de solución de la controversia entre las partes (para no llegar a la vía judicial), la presentación de la demanda contra el Estado marca el fin de la vía extrajudicial y el inicio del litigio.

## Recuadro 5.1. Ejemplo de árbol de probabilidad

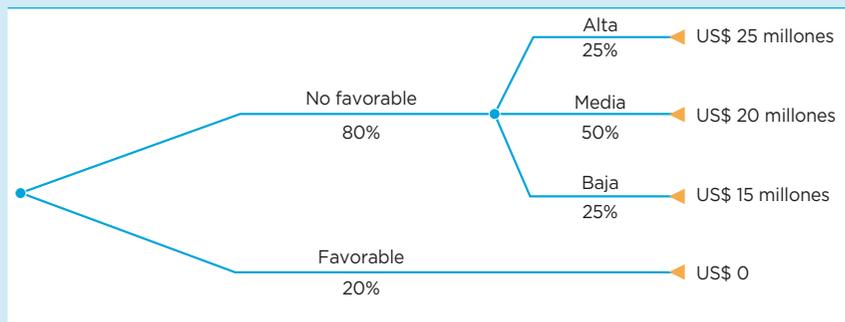
Supóngase que el Estado es demandado por US\$20 millones. De acuerdo con la información histórica y teniendo en cuenta las particularidades de este nuevo proceso judicial, se estima un 20% de probabilidad de obtener un fallo favorable y un 80% un fallo desfavorable. En el escenario de que el fallo resulte favorable, el Estado no incurre en obligaciones. En el escenario de fallo desfavorable, el Estado deberá pagar el monto designado en el fallo.

En el escenario de fallo no favorable, se estima que la compensación a pagar por el Estado sea establecida en US\$25 millones (alta) con 25% de probabilidad, US\$20 millones (media) con 50% de probabilidad y US\$15 millones (baja) con 25% de probabilidad.

Nótese que en este ejemplo sencillo no se tiene en cuenta la alternativa de conciliar. Considérese también por simplicidad que el tiempo entre la fecha de cuantificación del pasivo contingente y la fecha de pago de la compensación es de un año en todos los escenarios.

En el gráfico 5.1 se presenta el árbol de probabilidad de acuerdo con los supuestos de este ejemplo. Al ser un ejemplo introductorio, este árbol solo tiene dos escenarios iniciales y sobre uno de estos (fallo no favorable) se desarrollan tres escenarios distintos.

### Gráfico 5.1. Ejemplo de árbol de probabilidad



De acuerdo con los datos, la estimación del valor esperado del pasivo contingente por este litigio se realiza según el siguiente detalle:

80%	×	25%	×	US\$25 millones	=	US\$5 millones
80%	×	50%	×	US\$20 millones	=	US\$8 millones
80%	×	25%	×	US\$15 millones	=	US\$3 millones
20%	×		×	US\$0	=	US\$0
						<hr/>
						US\$16 millones

(continúa en la página siguiente)

### Recuadro 5.1. Ejemplo de árbol de probabilidad (continuación)

El valor esperado del pasivo contingente del litigio<sup>a</sup> es US\$16 millones, a valores del año uno.

Si se incorpora el concepto de valor en el tiempo, dado que el pago se realiza en un periodo posterior a la demanda, es necesario traer a valor presente el valor esperado resultante. Si la tasa de descuento anual es del 8%, el pasivo contingente del litigio a valor presente será como sigue:

$$\frac{\text{US\$ } 16.000.000}{(1+8\%)^1} = \text{US\$ } 14,81 \text{ millones}$$

El valor presente en términos esperados del pasivo contingente por este litigio se estima en US\$14.814.815.

*Nota:*

<sup>a</sup> La definición y fórmula del pasivo contingente por litigios se detalla en la sección siguiente.

## 5.2. Metodología de valoración

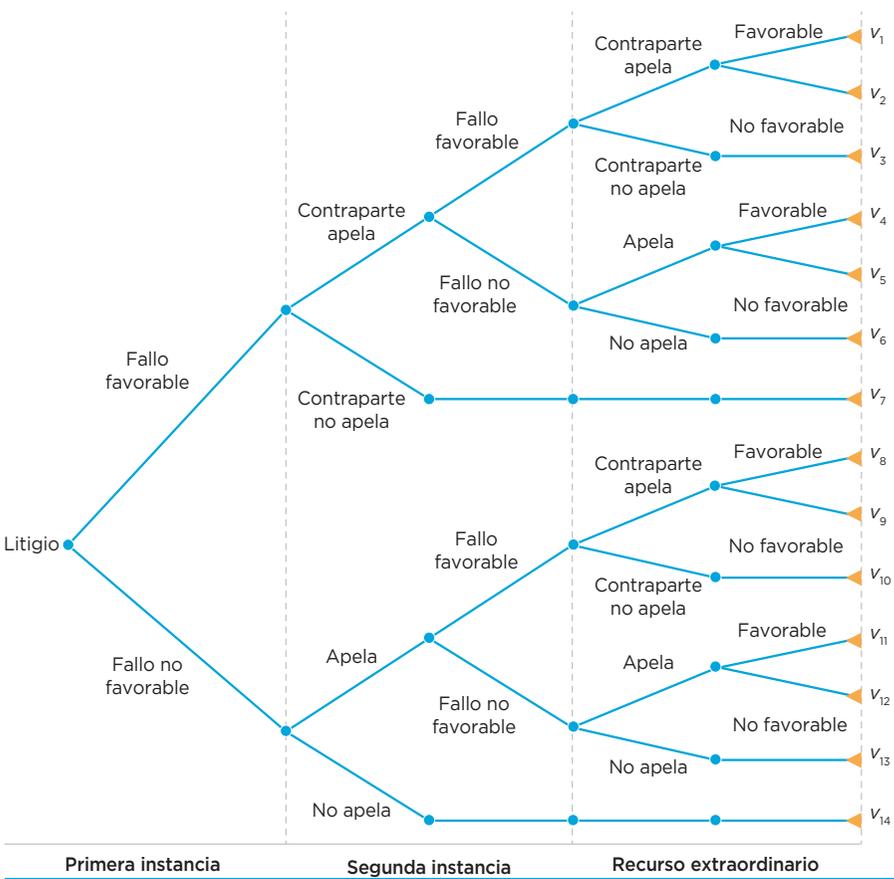
La propuesta metodológica para la cuantificación de pasivos contingentes por litigios se basa en el árbol de probabilidad previamente desarrollado e incorpora el elemento del valor del dinero en el tiempo para que el análisis sea más certero. Asimismo, considera que la decisión de afrontar el juicio ya fue tomada.<sup>38</sup>

Mediante la construcción del árbol de probabilidad se identifican los distintos caminos que puede seguir el litigio, junto con sus probabilidades de ocurrencia. De esta manera, cada camino del árbol termina en un resultado a partir del cual se valora el pasivo contingente del litigio. El valor esperado de este pasivo contingente se expresa a valor presente. El árbol general a partir del cual se puede realizar la valoración del pasivo contingente se presenta en el gráfico 5.2.

Este árbol de probabilidad general inicia con un litigio entre las partes que incluye la incertidumbre del tipo de fallo en primera instancia, el cual por su naturaleza puede ser favorable o no favorable. En el caso de fallo

<sup>38</sup> El análisis de la conveniencia o no de conciliar no es objeto de esta publicación. Dicho análisis requiere de otras herramientas, como el diagrama de influencia, y se enfoca en las estrategias para obtener un fallo favorable.

**Gráfico 5.2. Árbol de probabilidad general para litigios**



Fuente: Elaboración propia.

favorable (para el Estado), la contraparte en una segunda instancia puede optar por apelar o no apelar el fallo, mientras que en el caso de fallo no favorable (para el Estado), el Estado dispone de los mismos escenarios. En caso de que alguna de las partes apele, surge nuevamente la incertidumbre con respecto al tipo de fallo en esta segunda instancia. Finalmente, en algunos casos es posible recurrir a una tercera instancia (recurso extraordinario) en donde se repite nuevamente la dinámica anterior.

En el árbol de probabilidad, los resultados se presentan en las hojas. En el gráfico 5.2 se observan 14 resultados posibles ( $V_i$ ), correspondientes a los 14 caminos posibles que puede tomar el litigio, y cada resultado se presenta en términos monetarios a valor presente. Para ello, el efecto monetario

estimado en cada camino debe ser traído a valor presente de acuerdo con el tiempo estimado entre la fecha de análisis y la de pago establecido en el fallo de dicho camino. Nótese que tanto el monto a ser descontado como el tiempo estimado entre la fecha de análisis y la de pago pueden variar según el camino del árbol bajo análisis. De forma general, se tiene lo siguiente:

$$V_i = \frac{M_i}{(1+r)^{t_i}}$$

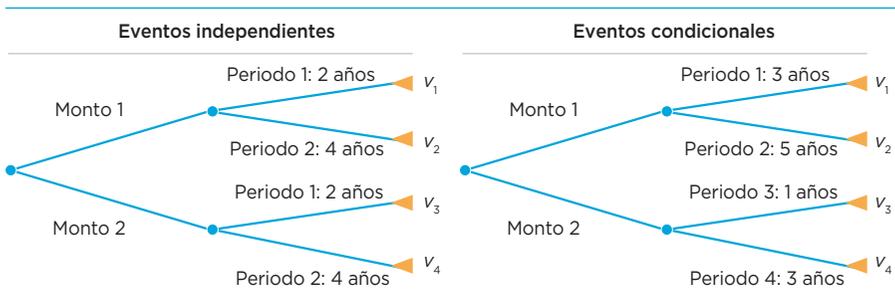
Donde:

$V_i$ : es el resultado monetario (esperado) a valor presente en el camino  $i$ ;  
 $M_i$ : es el monto que deberá pagar el Estado de acuerdo al evento resultante;  
 $t_i$ : es el periodo entre la fecha de análisis y la de pago establecido en el fallo; y  
 $r$ : es la tasa de descuento.

Dada la naturaleza del pasivo contingente en evaluación, la tasa de descuento  $r$  a utilizar puede ser equivalente al costo de la deuda soberana del Estado, en la misma moneda que  $M_i$ . Para su determinación, se pueden considerar los retornos de los bonos con duración igual a  $t_i$ , disponibles en la fecha de estimación del pasivo contingente.

Otro punto importante a considerar es el de la independencia o no de los eventos posibles después de cada fallo. Por ejemplo, cuando la incertidumbre con respecto al tiempo y monto de la condena son independientes (gráfico 5.3), el orden de estos nodos no afecta el resultado. Es decir, el resultado obtenido en los nuevos nodos terminales (debido a la incorporación de incertidumbre en el monto) no se ve afectada por el orden de estos nodos. Sin embargo, cuando la incertidumbre con respecto al tiempo

**Gráfico 5.3. Ejemplo de nodos adicionales al árbol general para litigios**



Fuente: Elaboración propia.

y monto no son independientes, se debe adicionar primero el nodo independiente que afecta al siguiente nodo.

En la parte derecha del gráfico 5.3, el monto establecido en la sentencia afecta a la fecha de pago establecida en el fallo, por lo que primero se adiciona el nodo de probabilidad de la condena y luego el nodo de probabilidad del periodo entre la fecha de análisis y la de pago establecida en el fallo. Esto es particularmente relevante cuando se analizan litigios con pretensiones muy elevadas, donde la magnitud del monto que deberá pagar el Estado es significativa y diferentes escenarios requieren distintos periodos de tiempo para poder ser pagados. Por otro lado, en algunos casos especiales la determinación del monto que deberá pagar el Estado se presenta como un flujo (imagínese que como resultado del fallo el Estado debe pagar cierta cantidad anual por  $n$  años). En dichos casos, el flujo de pagos es traído a valor presente a la tasa de descuento definida. Para el caso de  $n$  periodos en el flujo de caja, se tiene lo siguiente:

$$V_i = \frac{M_{i,1}}{(1+r)^{t_{i,1}}} + \frac{M_{i,2}}{(1+r)^{t_{i,2}}} + \dots + \frac{M_{i,n}}{(1+r)^{t_{i,n}}}$$

Donde:

- $V_i$ : es el resultado monetario (esperado) a valor presente en el camino  $i$ ;
- $M_{i,j}$ : es el  $j$ -ésimo monto que deberá pagar el Estado en el periodo  $t_{i,j}$  de acuerdo al evento resultante;
- $t_{i,j}$ : es el periodo entre la fecha de análisis y la del  $j$ -ésimo pago; y
- $r$ : es la tasa de descuento.

Si se consideran los supuestos previamente analizados, es posible definir el valor presente de un pasivo contingente por litigio, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$PCL_j \equiv \sum_{i=1}^k p_j V_i$$

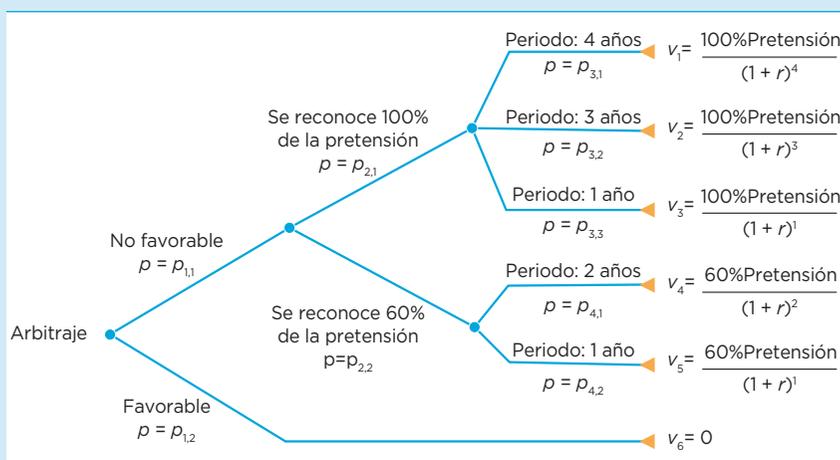
Donde:

- $PCL_j$ : es el valor presente esperado del pasivo contingente del litigio  $j$ ;
- $k$ : es el número de posibles caminos (número de hojas) del árbol;
- $p_j$ : es la probabilidad de ocurrencia del camino (o del resultado)  $i$ ;
- $V_i$ : es el valor del resultado monetario a valor presente en el camino  $i$ .

## Recuadro 5.2. Ejemplo de árbol de probabilidad en arbitraje internacional

En los casos más importantes, las controversias en temas de inversión suelen llevarse directamente a arbitraje internacional, ya que el Estado decide no conciliar y afrontar el litigio, lo que se asemeja al árbol de probabilidad general presentado en el gráfico 5.2. Sin embargo, dada la complejidad de este tipo de casos y la cuantía de las pretensiones de la contraparte demandante, es necesario incorporar incertidumbre con respecto al monto que deberá pagar el Estado y al periodo luego del cual se realizaría dicho pago. En el gráfico 5.4 se presenta un ejemplo de este tipo de árbol de probabilidad.

### Gráfico 5.4. Ejemplo de árbol de probabilidad



Fuente: Elaboración propia.

El proceso de construcción del árbol de probabilidad presentado en el gráfico 5.4 sigue una secuencia lineal, según el siguiente detalle:

**Paso 1:** se determina el primer nodo de probabilidad del árbol. Ante la demanda contra el Estado en instancias internacionales, se inicia un litigio por lo cual la raíz del árbol se establece como el nodo de probabilidad del cual se ramifican los posibles fallos (favorable y no favorable).

**Paso 2:** se determinan tanto las distintas ramas posibles del monto a pagar como de los periodos de pago. En este tipo de litigios no es posible apelar, por

(continúa en la página siguiente)

## Recuadro 5.2. Ejemplo de árbol de probabilidad en arbitraje internacional (continuación)

lo que no se incluye el nodo de probabilidad de apelación. Sin embargo, en caso de fallo no favorable para el Estado, existe incertidumbre tanto respecto del monto que este deberá pagar (100% o 60% de la pretensión) como del periodo hasta la realización del pago (vinculado principalmente a la duración del litigio).

**Paso 3:** se evalúa la condicionalidad o no de los eventos (periodos de pago). Se suponen periodos de pago condicionales al monto del fallo. En el escenario de reconocimiento del 100% de la pretensión se consideran tres escenarios (periodo de pago de 4, 3 y 1 año), y en el escenario de reconocimiento del 60% de la pretensión se consideran dos escenarios (periodo de pago de 2 y 1 año).

**Paso 4:** se determina el valor presente del pasivo contingente para cada rama del árbol. Para cada uno de los seis caminos posibles del árbol desarrollado en el gráfico 5.4, se presenta el resultado monetario asociado. Para ello, en cada camino se lleva a valor presente el monto asociado a dicho camino, con su respectivo periodo.

**Paso 5:** se establece el valor presente esperado del pasivo contingente por litigios bajo análisis. La probabilidad de ocurrencia de cada resultado (en cada hoja del árbol) se estima como el producto de las probabilidades (condicionales) de los escenarios que conforman el camino para llegar a dicho resultado.

Así, por ejemplo, la probabilidad de ocurrencia de  $V_1$  es como sigue:

$$p_1 = p_{1,1} \times p_{2,1} \times p_{3,1}$$

La probabilidad de ocurrencia de  $V_4$  es la siguiente:

$$p_4 = p_{1,1} \times p_{2,2} \times p_{4,1}$$

La probabilidad de ocurrencia de  $V_6$  es como sigue:

$$p_6 = p_{1,2}$$
$$p_{1,1} + p_{1,2} = 100\%, \quad p_{2,1} + p_{2,2} = 100\%, \quad p_{3,1} + p_{3,2} + p_{3,3} = 100\%, \quad p_{4,1} + p_{4,2} = 100\%$$
$$\Rightarrow p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 = 100\%$$

(continúa en la página siguiente)

## Recuadro 5.2. Ejemplo de árbol de probabilidad en arbitraje internacional (continuación)

El valor presente del pasivo contingente por litigios bajo análisis ( $PCL_1$ ) está dado por la siguiente expresión:

$$PCL_1 = \sum_{i=1}^6 p_i V_i = p_1 V_1 + p_2 V_2 + p_3 V_3 + p_4 V_4 + p_5 V_5 + p_6 V_6$$

$$PCL_1 = p_{1,1} p_{2,1} p_{3,1} V_1 + p_{1,1} p_{2,1} p_{3,2} V_2 + p_{1,1} p_{2,1} p_{3,3} V_3 + p_{1,1} p_{2,2} p_{4,1} V_4 + p_{1,1} p_{2,2} p_{4,2} V_5 + p_{1,2} V_6$$

De manera general, la exposición del Estado a pasivos contingentes por litigios se determina según la siguiente fórmula:

$$PCL \equiv \sum_{j=1}^n PCL_j$$

Donde:

$PCL_j$ : es el valor presente esperado del pasivo contingente del litigio  $j$ , y

$n$ : es el número de pasivos contingentes afrontados por el Estado.

### 5.3. Estimación de parámetros del árbol de probabilidad

Para estimar los parámetros del árbol de probabilidad, se suele combinar información de datos históricos (objetivos) con información obtenida a partir de factores subjetivos (prospectivos) que parten de la valoración *ad hoc* del equipo jurídico del Estado y sus asesores acerca de las fortalezas o debilidades de la defensa para el litigio en cuestión.

Por lo tanto, la probabilidad de obtener un fallo no favorable en un nodo de probabilidad se determina aplicando una ponderación a la probabilidad histórica y a la probabilidad prospectiva, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$p = w \times p_h + (1 - w) \times p_p$$

Donde:

$p$ : es la probabilidad de fallo no favorable;

$w$ : es la ponderación de la probabilidad histórica,  $w \in [0,1]$ ;

$p_h$ : es la probabilidad de fallo no favorable estimada con data histórica; y

$p_p$ : es la probabilidad de fallo no favorable estimada de manera prospectiva.

Inicialmente puede definirse  $w = 0,5$ . Sin embargo, cuando la información obtenida de datos históricos tenga más importancia,  $w$  deberá definirse entre 0,5 y 1. En caso contrario, deberá definirse entre 0 y 0,5. Por ejemplo, cuando el litigio esté próximo a concluir y el equipo de defensa jurídica tenga mayores certezas con respecto al resultado del litigio,  $w$  deberá definirse entre 0 y 0,5 de manera que la probabilidad prospectiva tenga mayor importancia.

### **Obtener información a partir de datos históricos**

Los parámetros que pueden ser estimados con información histórica son los siguientes:

- la probabilidad de ocurrencia de los eventos del árbol de probabilidad,
- la duración del periodo de pago (en caso de fallo no favorable para el Estado), y
- la proporción de las pretensiones de la demanda que serían reconocidas en el fallo (en caso de fallo no favorable para el Estado).

### **Determinación de eventos y probabilidad de ocurrencia**

El análisis para valorar el pasivo contingente esperado de un litigio se inicia identificando los distintos eventos posibles y sus respectivas probabilidades. Por ejemplo, al comienzo del litigio se identifican claramente dos posibles eventos: la obtención de fallo favorable para el Estado y la obtención de fallo no favorable. Para estimar la probabilidad de ocurrencia de cada evento, es necesario identificar la cantidad de casos históricos por nodo y por rama del árbol. De esta manera, la probabilidad de ocurrencia de un evento se estima como la cantidad de casos en que ocurrió un evento determinado, dividido por la cantidad de casos identificados en el nodo de origen de dicho evento.

En los casos en que no existan suficientes datos a nivel nacional de arbitrajes y/o litigios similares será necesario utilizar información lo más cercana posible para determinar las probabilidades de ocurrencia de cada evento (fallos favorables y no favorables). En esta situación se recomienda:

- Para el caso de arbitrajes internacionales, dado que son procesos de una sola instancia y con características particulares, se sugiere utilizar datos históricos de países similares. Dicha información a nivel general se puede encontrar en la base de datos del CIADI.<sup>39</sup>

---

<sup>39</sup> La base de datos de casos del CIADI, que está disponible en <https://icsid.worldbank.org/es/cases/search-cases>, permite identificar las características generales, el estado (pendiente

- En los casos de procesos judiciales en instancias locales (figura del litigio con varias instancias), se recomienda utilizar información de demandas de temas similares en el sector del proyecto o en sectores relacionados al caso en análisis.

#### ***Periodo entre fecha de análisis y fecha de pago establecida en el fallo***

En lo referido al periodo de pago, en caso de que no se considere incertidumbre sobre el periodo de pago, este se estima en cada hoja del árbol como el periodo promedio de los casos históricos que siguieron el mismo camino. En caso de que se incluya incertidumbre respecto del periodo de pago, se deben analizar los distintos periodos de pago registrados en los litigios que siguieron el mismo camino. A partir de ese análisis, así como de la opinión del equipo de defensa jurídica del Estado, se define el número de eventos posibles del periodo y se identifican los valores del periodo en cada escenario. Considerando dichos valores, se calcula la probabilidad histórica como la división del número de litigios con periodo igual o más cercano al definido en el escenario, con la cantidad de litigios identificados en el nodo de origen de la incertidumbre del periodo.

#### ***Proporción de las pretensiones de la demanda reconocida en el fallo***

La estimación de la proporción de las pretensiones de la demanda que sería reconocida en el fallo se estima de manera similar que en el caso del periodo de pago. En caso de que no se considere incertidumbre sobre la proporción, esta se estima en cada hoja del árbol como la proporción promedio de los casos históricos que siguieron el mismo camino. En caso de que se incluya incertidumbre respecto de la proporción, se deben analizar las distintas proporciones registradas en los litigios que siguieron el mismo camino. A partir de dicho análisis, así como de la opinión del equipo de defensa jurídica del Estado, se define el número de eventos posibles de la proporción y se identifican los valores en cada escenario. Considerando dichos valores, se calcula la probabilidad histórica como división entre el número de litigios con proporción igual o más cercana a la definida en el escenario, con la cantidad de litigios identificados en el nodo de origen de la incertidumbre de la proporción. Véase el caso 5.1 como ejemplo.

---

o concluido) y para aquellos concluidos se puede acceder a los documentos del proceso. También es posible acceder a los documentos del proceso, incluyendo la sentencia, en la base de datos italaw, disponible en <https://www.italaw.com/browse/respondent-state>. Al cierre de esta publicación Chile registra 4 casos: uno pendiente y tres concluidos; Colombia, 14 casos pendientes; Costa Rica, 12 casos: tres pendientes y nueve concluidos; México, 29 casos: 11 pendientes y 18 concluidos; y Perú, 28 casos: 13 pendientes y 15 concluidos.

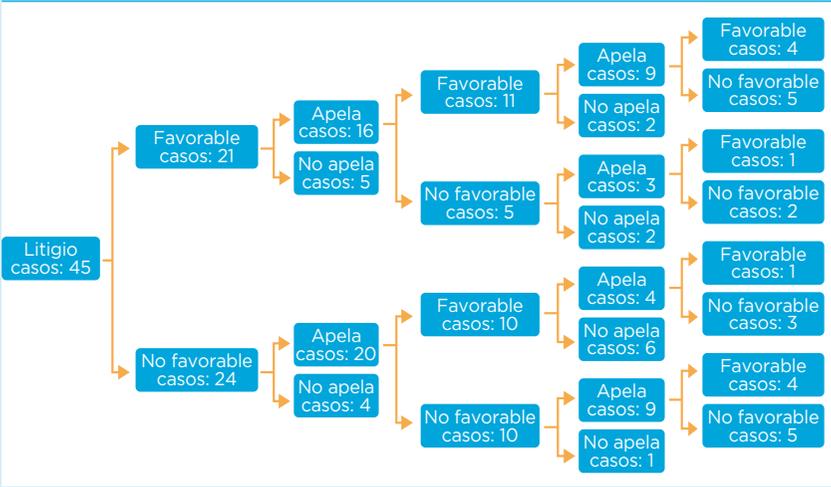
### Caso 5.1. Pasivo contingente por litigios a partir de información histórica

El cuadro 5.1 presenta el resumen de la base de datos del Estado sobre los litigios que ha afrontado en los últimos cinco años. De izquierda a derecha, las columnas muestran en forma secuencial las distintas etapas de un litigio general. La columna Favorable (primera instancia) muestra si el fallo del litigio fue favorable (F) o desfavorable (D) para el Estado; Apela muestra si se apeló el fallo en primera instancia. Cuando el fallo es favorable al Estado, la columna Apela se refiere a la contraparte, mientras que si el fallo es no favorable, se refiere al Estado. Finalmente, las columnas Periodo y Proporción muestran el periodo desde el inicio del litigio hasta la fecha de pago (en años) y la relación del total consignado en el fallo/total pretensión, respectivamente.

#### ¿Cómo estimar las probabilidades de los eventos y los parámetros en cada uno de los resultados del árbol de probabilidad general?

De acuerdo con la metodología propuesta (véase el gráfico 5.2), la probabilidad histórica se calcula como la división entre la cantidad de casos de un evento con respecto a la cantidad de casos en el nodo que origina el evento. Si se agrupan los casos por el tipo de evento que siguieron, se puede construir el gráfico 5.5.

**Gráfico 5.5. Ejemplo de árbol de probabilidad**



Fuente: Elaboración propia.

(continúa en la página siguiente)

## Caso 5.1. Pasivo contingente por litigios a partir de información histórica *(continuación)*

**Cuadro 5.1. Base de datos de litigios del Estado**

Litigio	Favorable (1ra instancia)	Apela	Favorable (2da instancia)	Apela	Favorable (3ra instancia)	Periodo	Proporción
1	F	Sí	F	No		—	—
2	D	Sí	D	Sí	F	—	—
3	D	Sí	F	Sí	F	—	—
4	D	Sí	F	No		—	—
5	F	No				—	—
6	D	Sí	F	No		—	—
7	D	Sí	D	Sí	D	3,6	77%
8	D	Sí	D	Sí	F	—	—
9	F	Sí	D	No		3,3	47%
10	D	Sí	D	Sí	D	3,1	99%
11	F	No				—	—
12	D	No				3,0	98%
13	D	Sí	D	No		2,3	81%
14	F	Sí	F	Sí	F	—	—
15	F	Sí	D	Sí	D	3,6	96%
16	D	Sí	F	No		—	—
17	D	Sí	F	No		—	—
18	D	Sí	D	Sí	D	3,8	95%
19	F	No				—	—
20	F	Sí	F	Sí	D	3,7	77%
21	D	Sí	D	Sí	F	—	—
22	D	Sí	F	Sí	D	5,2	94%
23	F	No				—	—
24	F	Sí	F	Sí	F	—	—
25	D	Sí	D	Sí	D	4,5	85%

*(continúa en la página siguiente)*

## Caso 5.1. Pasivo contingente por litigios a partir de información histórica *(continuación)*

**Cuadro 5.1. Base de datos de litigios del Estado**

Litigio	Favorable (1ra instancia)	Apela	Favorable (2da instancia)	Apela	Favorable (3ra instancia)	Periodo	Proporción
26	F	Sí	D	No		3,1	50%
27	D	Sí	D	Sí	D	3,8	91%
28	F	No				—	—
29	D	No				2,6	44%
30	F	Sí	D	Sí	F	—	—
31	D	Sí	F	Sí	D	4,5	56%
32	F	Sí	F	Sí	F	—	—
33	F	Sí	D	Sí	D	4,9	50%
34	F	Sí	F	Sí	D	3,8	70%
35	D	No				3,0	50%
36	D	Sí	F	No		—	—
37	F	Sí	F	Sí	D	3,9	52%
38	D	Sí	F	No		—	—
39	F	Sí	F	No		—	—
40	F	Sí	F	Sí	D	4,0	70%
41	D	No				1,2	76%
42	D	Sí	D	Sí	F	—	—
43	F	Sí	F	Sí	F	—	—
44	D	Sí	F	Sí	D	5,0	52%
45	F	Sí	F	Sí	D	3,0	52%

*Fuente:* Elaboración propia.

Comenzado el litigio, la probabilidad (histórica) de obtener un fallo favorable (en primera instancia) se estima en un 47% y la de obtener un fallo no favorable se estima en un 53%.

*(continúa en la página siguiente)*

## Caso 5.1. Pasivo contingente por litigios a partir de información histórica *(continuación)*

**Cuadro 5.2. Estimación de parámetros**

Favorable (1ra instancia)	Apela	Favorable (2da instancia)	Apela	Favorable (3ra instancia)	Periodo promedio	Proporción promedio
Sí	Sí	Sí	Sí	No	3,68	64%
Sí	Sí	No	Sí	No	4,25	73%
Sí	Sí	No	No	—	3,20	49%
No	Sí	Sí	Sí	No	4,90	67%
No	Sí	No	Sí	No	3,76	89%
No	Sí	No	No	—	2,30	81%
No	No	—	—	—	2,45	67%

*Fuente:* Elaboración propia.

En caso de obtener un fallo favorable en primera instancia, la probabilidad (histórica) de que la contraparte apele se estima en un 76% y la probabilidad de que no apele en un 24%.

Por su parte, en caso de obtener un fallo no favorable, la probabilidad (histórica) de que el Estado apele se estima en un 83% y la probabilidad de que no apele en un 17%.

Este análisis detallado se repite hasta obtener el resultado final de cada camino del árbol.

El cuadro 5.2 presenta el periodo de tiempo promedio (entre la fecha de inicio de litigio y la fecha de pago establecida en el fallo) y la proporción promedio de las pretensiones de la demanda que son reconocidas en el fallo, para cada camino posible del árbol de probabilidad con fallo final no favorable al Estado.

Por ejemplo, los litigios que son favorables en las dos primeras instancias, pero no favorables en la tercera tienen un periodo promedio de pago de:

$$\frac{3,7 + 3,8 + 3,9 + 4,0 + 3,0}{5} = 3,68 \text{ años}$$

La proporción (histórica) de las pretensiones a ser reconocidas en este escenario se estima en:

$$\frac{77\% + 70\% + 52\% + 70\% + 52\%}{5} = 64\%$$

En conclusión, la estimación de parámetros a partir de información histórica dependerá del registro de los litigios afrontados por el Estado y de la existencia de una adecuada base de datos. Cuando la información sea suficiente, los parámetros se deberán estimar a partir de una muestra compuesta por litigios similares al litigio en evaluación.

### **Obtener información a partir de percepción de riesgos (prospectiva)**

Además de la estimación realizada con información histórica, es necesario considerar las particularidades del litigio en análisis bajo un enfoque prospectivo. Para ello, cuando es posible, se llevan a cabo valoraciones sobre los parámetros requeridos en el árbol de probabilidad. Estas valoraciones se realizan con el equipo de defensa jurídica del Estado que maneja el litigio en evaluación, respecto de:

- la probabilidad de ocurrencia de los eventos del árbol de probabilidad,
- la duración del periodo de pago (en caso de fallo no favorable), y
- la proporción de las pretensiones de la demanda que serían reconocidas en el fallo.

Para la valoración de la probabilidad prospectiva de fallo no favorable, se considera la siguiente ecuación:

$$p_p = -(\lambda_1\beta_1 + \lambda_2\beta_2 + \lambda_3\beta_3 + \lambda_4\beta_4)$$

Donde:

$p_p$ : es la probabilidad prospectiva de fallo no favorable (del nodo en análisis);

$\beta_i$ : es la probabilidad prospectiva de fallo favorable con base en el criterio  $i$ ; y

$\lambda_i$ : es la ponderación del criterio  $i$ ,  $\lambda_i \in [0,1] \forall i \in \{1,2,3,4\}, \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 = 1$ .

Los cuatro criterios considerados en la valoración de la probabilidad prospectiva son los siguientes:

1. fortaleza de la defensa,
2. fortaleza probatoria de la defensa,

3. presencia de riesgos procesales, y
4. nivel de jurisprudencia.

La fortaleza de la defensa corresponde a la expectativa de éxito del Estado frente a la demanda; la fortaleza probatoria de la defensa se vincula con la consistencia y solidez de los hechos y las pruebas del Estado; la presencia de riesgos procesales se relaciona con posibles eventos adversos a la defensa del Estado (por ejemplo, cambio de titular del despacho, arribo no oportuno de pruebas solicitadas, entre otras); y nivel de jurisprudencia corresponde a los antecedentes procesales similares con fallos favorables para el Estado (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2012).

El equipo de defensa jurídica del Estado asigna una probabilidad de ganar considerando cada uno de los criterios mencionados de manera individual. Esta probabilidad refleja las particularidades del litigio bajo análisis y la evaluación especializada del equipo con respecto al potencial desenlace del mismo. Para ello, en cada nodo con incertidumbre en relación con el fallo, el equipo de defensa jurídica deberá asignar valores a  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ , y  $\beta_4$ . Estas probabilidades se ponderan para obtener la probabilidad prospectiva de fallo favorable, a partir de la cual se estima la probabilidad prospectiva de fallo no favorable.

Para la asignación de valores a  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ , y  $\beta_4$ , el equipo de defensa jurídica del Estado deberá responder la siguiente pregunta para cada uno de los cuatro criterios: **considerando el criterio (x), ¿cuál es la probabilidad de obtener un fallo favorable?** Donde (x) es cada uno de los cuatro criterios detallados anteriormente. En el caso de que la defensa jurídica del Estado cuente con varios expertos, el valor de  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ , y  $\beta_4$  se estima como el promedio de las valoraciones realizadas por ellos.

Para el cálculo de  $p_p$ , inicialmente pueden definirse pesos iguales  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 25\%$ . Sin embargo, en caso de que alguno de los criterios sea más (o menos) importante que los demás, los pesos deberán ser asignados reflejando dicha particularidad.

En caso de que exista incertidumbre con respecto al periodo de pago, se deben analizar los distintos periodos de pago registrados (históricos) en los litigios que siguieron el mismo camino. A partir de dicho análisis, así como de la opinión del equipo de defensa jurídica del Estado, se define el número de eventos posibles para el periodo de pago y se identifican los valores del periodo en cada escenario. Considerando dichos valores, se realizan valoraciones sobre la probabilidad prospectiva en cada escenario definido de los periodos de pago.

En caso de incertidumbre con respecto a la proporción de las pretensiones que podrían ser reconocidas en el fallo, se deben analizar las distintas proporciones registradas (históricas) en los litigios que siguieron el mismo camino. A partir de dicho análisis, así como de la opinión del equipo de defensa jurídica del Estado, se define el número de escenarios posibles para la proporción y se identifican los valores en cada escenario. Considerando dichos valores, se realizan valoraciones sobre la probabilidad prospectiva en cada escenario definido de las proporciones.

## 5.4. Caso práctico

En la presente sección se desarrolla a modo de ejemplo un caso hipotético que incluye un nivel de complejidad avanzado, en el que se incorporan todos los puntos detallados en la metodología de estimación de pasivos contingentes por litigios.

### Caso 5.2. Pasivo contingente por litigios a partir de la percepción de riesgos

Un año después de iniciado un arbitraje internacional contra el Estado por una controversia en temas de inversión en APP por US\$30 millones, el área de riesgos fiscales se encuentra evaluando el pasivo contingente asociado a dicha demanda.

Para ello, se recopiló la base de datos de arbitrajes internacionales enfrentados por el Estado en los últimos 10 años que se presenta en el cuadro 5.3. La columna Favorable registra si la resolución fue favorable (F) o desfavorable (D) para el Estado; Periodo muestra el periodo desde el inicio del litigio hasta la fecha de pago (en años); y Proporción, la relación del total consignado en la resolución/total pretensión.

#### ¿Cómo construir el árbol de probabilidad?

Debido al tipo de demanda y su estado actual, el árbol no incluirá nodos sobre la probabilidad de conciliar o apelar. Por lo tanto, el nodo inicial corresponde al tipo de fallo (favorable o no favorable).

Asimismo, dada la magnitud de la demanda, se prevé considerar incertidumbre con respecto al valor del monto a pagar por parte del Estado (en caso de fallo no favorable) e incertidumbre con respecto al periodo desde el inicio del litigio hasta la fecha de pago. Para ello, es necesario definir los escenarios y sus respectivos valores.

*(continúa en la página siguiente)*

## Caso 5.2. Pasivo contingente por litigios a partir de percepción de riesgos *(continuación)*

**Cuadro 5.3. Base de datos de litigios del Estado**

Litigio	Favorable	Periodo	Proporción	Litigio	Favorable	Periodo	Proporción
1	D	3,5	85%	21	D	2,7	89%
2	D	2,3	87%	22	D	4,0	68%
3	D	3,0	85%	23	F	—	—
4	D	2,7	55%	24	F	—	—
5	D	2,3	90%	25	D	5,0	68%
6	D	4,0	92%	26	D	4,6	86%
7	D	2,4	92%	27	D	2,7	88%
8	F	—	—	28	D	2,6	66%
9	D	3,0	87%	29	D	2,0	86%
10	D	4,8	68%	30	D	5,0	60%
11	D	2,1	97%	31	D	2,8	90%
12	D	3,0	60%	32	D	3,6	61%
13	D	2,2	69%	33	D	2,6	70%
14	D	3,4	99%	34	D	4,7	88%
15	D	2,7	88%	35	D	4,8	90%
16	D	3,3	94%	36	D	2,1	91%
17	F	—	—	37	F	—	—
18	D	4,8	73%	38	D	3,1	77%
19	F	—	—	39	D	3,6	99%
20	D	4,2	96%	40	D	4,7	64%

*Fuente:* Elaboración propia.

A partir de la base de datos detallada en el cuadro 5.3, es posible analizar el comportamiento histórico de los valores registrados para la proporción y el periodo. Una primera aproximación es analizar los estadísticos descriptivos presentados en el cuadro 5.4.

Antes de la definición de los nodos y escenarios, es preciso evaluar la dependencia o independencia entre los registros de proporción (de las pretensiones

*(continúa en la página siguiente)*

## Caso 5.2. Pasivo contingente por litigios a partir de percepción de riesgos *(continuación)*

### Cuadro 5.4. Estadísticos descriptivos

Estadístico	Proporción	Periodo
Mínimo	55,0%	2,00
Máximo	99,0%	5,00
Promedio	81,1%	3,36
Mediana	86,5%	3,05
Desviación estándar	13,0%	0,98
Datos	34	34

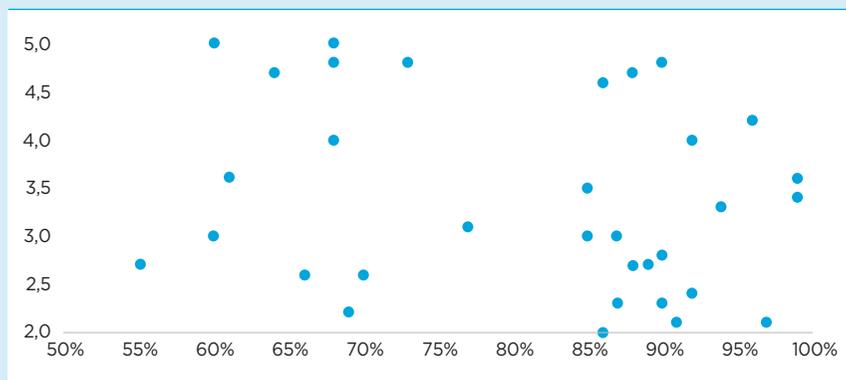
*Fuente:* Elaboración propia.

reconocidas) y el periodo (entre el inicio del litigio y la fecha de pago). Para ello, se puede evaluar gráficamente el diagrama de dispersión y estimar el coeficiente de correlación de Pearson.<sup>a</sup>

En el diagrama de dispersión presentado en el gráfico 5.6 no se observan marcadas tendencias de agrupamiento por proporción (eje horizontal) ni por periodo (eje vertical), por lo que gráficamente no hay indicios de dependencia.

El coeficiente de correlación de Pearson se estima en  $-0,24$ . Este valor refuerza la idea de independencia entre los registros de proporción y periodo. Al consultar con el equipo de defensa jurídica del Estado, ellos

### Gráfico 5.6. Diagrama de dispersión de proporción y periodo de pago

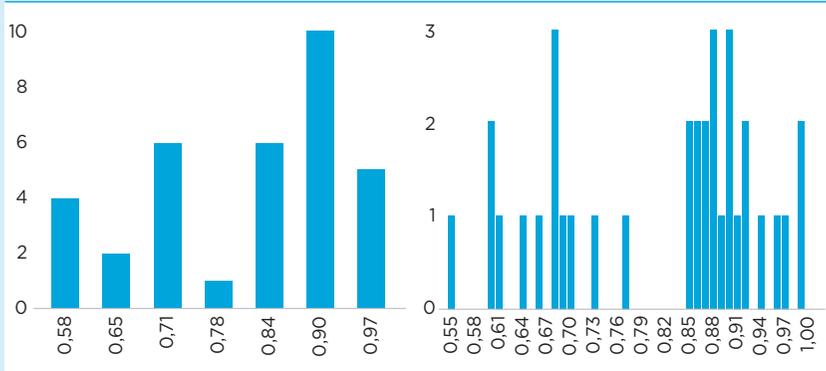


*Fuente:* Elaboración propia.

*(continúa en la página siguiente)*

## Caso 5.2. Pasivo contingente por litigios a partir de percepción de riesgos (continuación)

Gráfico 5.7. Histograma de proporción



Fuente: Elaboración propia.

consideran razonable este supuesto. Por ello se definen ambos nodos como independientes.

A continuación corresponde evaluar el número de escenarios a considerar y los valores en cada uno para la proporción y el periodo. Para ello, es útil evaluar el histograma.<sup>b</sup> Para no perder información, se considera un histograma de siete intervalos y otro con el máximo número de intervalos.

A partir de la información histórica, en el **histograma de la variable proporción** se observa que esta variable tiene una distribución multimodal, donde se pueden identificar entre dos y cuatro modas.<sup>c</sup> La primera y más importante es la que se encuentra entre los valores 88%-90%, y la segunda en 68%. La tercera y cuarta se encuentran en los valores 60% y 99%.

A partir de la información obtenida en el histograma, en coordinación con el equipo de defensa jurídica del Estado, se definen cuatro escenarios para la variable "proporción", con los valores 60%, 68%, 89% y 100%. El último escenario considera la moda local histórica en 99%, pero la estresa para considerar el escenario de que se reconozca el 100% de la pretensión en la demanda. Para efectos de agrupamiento alrededor de la moda, se consideran los intervalos [55%,64%>, [64%,79%>, [79%,95%>, y [95%,100%].

A partir de la información histórica, en el **histograma de la variable periodo** se observa que esta variable tiene una distribución multimodal, donde se pueden identificar hasta tres modas. La primera se encuentra en 2,7, la segunda en 4,8 y la tercera entre los valores 3,6 y 4,0.

(continúa en la página siguiente)

## Caso 5.2. Pasivo contingente por litigios a partir de percepción de riesgos *(continuación)*

A partir de la información obtenida en el histograma, en coordinación con el equipo de defensa jurídica del Estado, se definen tres escenarios, con los valores 2,7, 3,8 y 4,8. El segundo escenario considera el promedio de los valores 3,6 y 4,0. Para efectos de agrupamiento alrededor de la moda, se consideran los intervalos  $[2,0; 3,3>$ ,  $[3,3; 4,3>$ , y  $[4,3; 5,0]$ .

Del análisis previo se define el nodo de probabilidad sobre la proporción de las pretensiones que pagaría el Estado con cuatro escenarios: 60%, 68%, 89% y 100%, así como el nodo de probabilidad sobre el periodo entre el inicio del litigio y la fecha de pago, con tres escenarios: 2,7, 3,8 y 4,8 años.

De acuerdo con los nodos de probabilidad considerados, y teniendo en cuenta que el litigio en análisis se inició hace un año, se define la estructura del árbol de probabilidad con 13 posibles caminos, según se detalla en el gráfico 5.9. Nótese que para el cálculo del resultado a valor presente se ajusta el periodo de cada escenario en un año menos, dado que el litigio en análisis inició hace un año.

Aunque no sucede en este ejemplo, nótese que sería posible obtener un número negativo al restar el valor del periodo en un escenario con el periodo transcurrido desde el litigio en análisis (por ejemplo, si el litigio inició hace tres años, ya que no es posible que el periodo entre el litigio y la fecha de pago sea de 2,7 años). En este caso hipotético, de acuerdo con la definición del árbol de probabilidad, dicho escenario de la variable periodo en cuestión ya no sería posible, por lo que corresponde eliminar las ramas correspondientes. Esto se toma en consideración al calcular las probabilidades históricas, restando esos casos eliminados del denominador, de manera que las probabilidades de las otras ramas con un mismo nodo de origen sumen 100%.

El siguiente paso es la estimación del pasivo contingente por el litigio bajo análisis, para lo cual es necesario estimar los parámetros del modelo.

### **¿Cómo realizar la estimación de los parámetros a partir de datos históricos?**

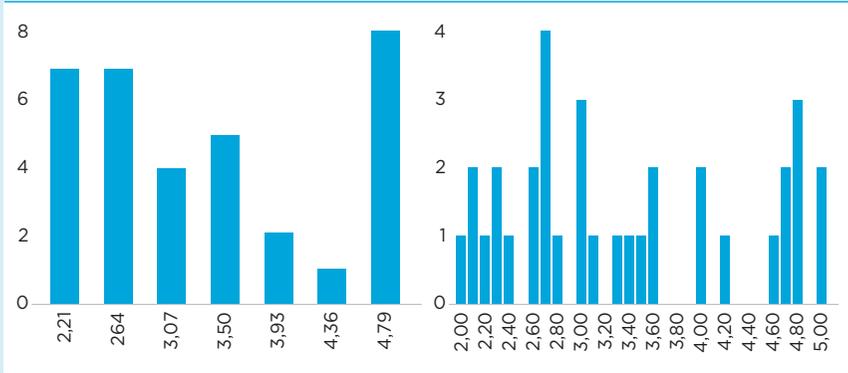
Con la información histórica disponible, se puede fácilmente observar que de los 40 casos registrados, seis tuvieron fallos favorables y 34 fallos no favorables. Por lo tanto, la probabilidad histórica de fallo favorable para el Estado se estima en un 15%, mientras que la probabilidad de fallo no favorable se estima en un 85%.

Partiendo de una situación de fallo desfavorable para el Estado, la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los escenarios definidos para la variable proporción (60%, 68%, 89% y 100%) se obtiene dividiendo el número de casos con

*(continúa en la página siguiente)*

## Caso 5.2. Pasivo contingente por litigios a partir de percepción de riesgos *(continuación)*

**Gráfico 5.8. Histograma de periodo**



Fuente: Elaboración propia.

proporción igual (o cercana) a la de dicho escenario (intervalo definido) sobre el número total de casos con fallo no favorable. En el caso práctico bajo análisis, del total de 34 casos con fallo desfavorable, hay cuatro casos en los que la proporción se ubica en el intervalo [55%,64%) y cuatro en los que se ubica en el intervalo [95%,100%]. Por lo tanto, la probabilidad de ocurrencia de los escenarios con proporción igual a 60% y 100% se estima calculando  $4/34 = 11,8\%$ . Siguiendo el mismo procedimiento, en los intervalos [64%,79%) y [79%,95%) se cuentan 9 y 17 casos respectivamente, por lo tanto, la probabilidad de ocurrencia de los escenarios con proporción igual a 68% y 89% se estima en 26,4% y 50,0%, respectivamente.

Un procedimiento análogo se utiliza para estimar las probabilidades de ocurrencia de los escenarios definidos para la variable periodo. En los 34 casos con fallos no favorables para el Estado, se observan 18 casos en los intervalos [2,0; 3,3), ocho en [3,3; 4,3) y ocho en [4,3; 5,0]. Por lo tanto, la probabilidad de ocurrencia de los escenarios con periodo (desde el inicio del litigio hasta la fecha de pago) de 2,7, 3,8 y 4,8 años se estiman en 52,94%, 23,53% y 23,53%, respectivamente.

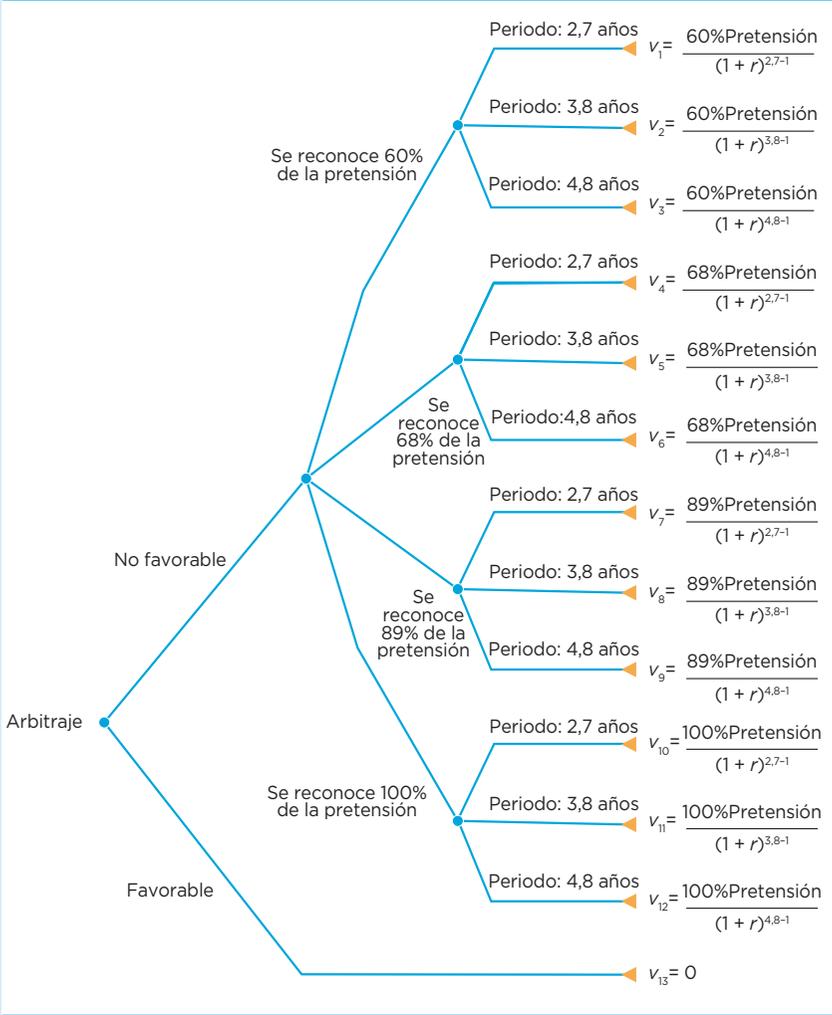
### ¿Cómo realizar la estimación a partir de la percepción de riesgos?

En caso de ser posible, además de estimar los parámetros a partir de datos históricos, es conveniente realizar la estimación de estos parámetros a partir de la percepción de riesgos del litigio con un enfoque prospectivo.

*(continúa en la página siguiente)*

## Caso 5.2. Pasivo contingente por litigios a partir de percepción de riesgos (continuación)

Gráfico 5.9. Estructura del árbol de probabilidad



Fuente: Elaboración propia.

(continúa en la página siguiente)

## Caso 5.2. Pasivo contingente por litigios a partir de percepción de riesgos *(continuación)*

Para el caso de la duración del periodo de pago y de la proporción de las pretensiones de la demanda que serían reconocidas en el fallo, los escenarios y valores de cada escenario ya han sido definidos. Supóngase que al consultar con el equipo de defensa jurídica del Estado, este manifiesta que no se ha avanzado lo suficiente en el caso como para poder definir la probabilidad de ocurrencia de los escenarios definidos para estas dos variables. Por ello, las probabilidades de los escenarios de proporción y periodo se definen solo con información histórica.

Para el caso de la probabilidad de fallo favorable (y no favorable), el equipo de defensa jurídica realiza cuatro valoraciones de la probabilidad de obtener fallo favorable con base en cuatro criterios:

1. fortaleza de la defensa,
2. fortaleza probatoria de la defensa,
3. presencia de riesgos procesales y
4. nivel de jurisprudencia.

Con base en el criterio (1), el equipo de defensa jurídica en consenso estima una probabilidad de fallo favorable del 30%; con base en el criterio (2), del 26%; con base en el criterio (3), del 20%; y con base en el criterio (4), del 24%. Es decir, el equipo de defensa jurídica estima  $\beta_1=30\%$ ,  $\beta_2=26\%$ ,  $\beta_3=20\%$  y  $\beta_4=24\%$ .

El equipo de defensa jurídica del Estado manifestó que los cuatro criterios mencionados tienen similar importancia. Por lo que se definen los pesos  $\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4 = 25\%$ . Con ello se estima la probabilidad prospectiva de fallo no favorable igual a  $1-(0,25 \times 30\% + 0,25 \times 26\% + 0,25 \times 20\% + 0,25 \times 24\%) = 75\%$ , y la probabilidad de fallo favorable en 25%.

### Cálculos finales

Al no haber argumentos para asignar mayor peso al enfoque histórico o al enfoque prospectivo, en el cálculo de la probabilidad de fallo no favorable, se asigna el mismo peso a ambas probabilidades. Por consiguiente, la probabilidad de fallo no favorable a utilizar en el árbol se estima igual a  $0,5 \times 85\% + 0,5 \times 75\% = 80\%$  y la probabilidad de fallo favorable en 20%.

Considerando una tasa de descuento del 8%, la estimación del valor esperado del pasivo contingente por este litigio se realiza a partir del siguiente detalle:

*(continúa en la página siguiente)*

## Caso 5.2. Pasivo contingente por litigios a partir de percepción de riesgos *(continuación)*

$$\begin{aligned}
 80\% \times 11,76\% \times 52,94\% &\times \frac{60\% \times 30}{(1+8\%)^{1,7}} = 0,79 \\
 80\% \times 11,76\% \times 23,53\% &\times \frac{60\% \times 30}{(1+8\%)^{2,8}} = 0,32 \\
 80\% \times 11,76\% \times 23,53\% &\times \frac{60\% \times 30}{(1+8\%)^{3,8}} = 0,30 \\
 80\% \times 26,47\% \times 52,94\% &\times \frac{68\% \times 30}{(1+8\%)^{1,7}} = 2,01 \\
 80\% \times 26,47\% \times 23,53\% &\times \frac{68\% \times 30}{(1+8\%)^{2,8}} = 0,82 \\
 80\% \times 26,47\% \times 23,53\% &\times \frac{68\% \times 30}{(1+8\%)^{3,8}} = 0,76 \\
 80\% \times 50,00\% \times 52,94\% &\times \frac{89\% \times 30}{(1+8\%)^{1,7}} = 4,96 \\
 80\% \times 50,00\% \times 23,53\% &\times \frac{89\% \times 30}{(1+8\%)^{2,8}} = 2,03 \\
 80\% \times 50,00\% \times 23,53\% &\times \frac{89\% \times 30}{(1+8\%)^{3,8}} = 1,88 \\
 80\% \times 11,76\% \times 52,94\% &\times \frac{100\% \times 30}{(1+8\%)^{1,7}} = 1,31 \\
 80\% \times 11,76\% \times 23,53\% &\times \frac{100\% \times 30}{(1+8\%)^{2,8}} = 0,54 \\
 80\% \times 11,76\% \times 23,53\% &\times \frac{100\% \times 30}{(1+8\%)^{3,8}} = 0,50 \\
 20\% &\times 0 = \frac{0}{16,20}
 \end{aligned}$$

Como resultado, el valor esperado del pasivo contingente del litigio es US\$16,20 millones, a valor presente.

### Notas:

<sup>a</sup> Este coeficiente mide la dependencia lineal entre dos conjuntos de datos cuantitativos y toma valores entre -1 y 1. Un valor de 1 indica correlación positiva (lineal) perfecta, 0 señala que no hay correlación y -1 indica correlación negativa perfecta. En Excel se calcula mediante la función COEF.DE.CORREL(datos1, datos2).

<sup>b</sup> Un histograma es una representación gráfica de un conjunto de datos en forma de barras proporcionales a la frecuencia de los datos. En Excel se puede graficar con el gráfico de columnas. Véase <https://support.microsoft.com/es-es/office/crear-un-histograma-85680173-064b-4024-b39d-80f17ff2f4e8>.

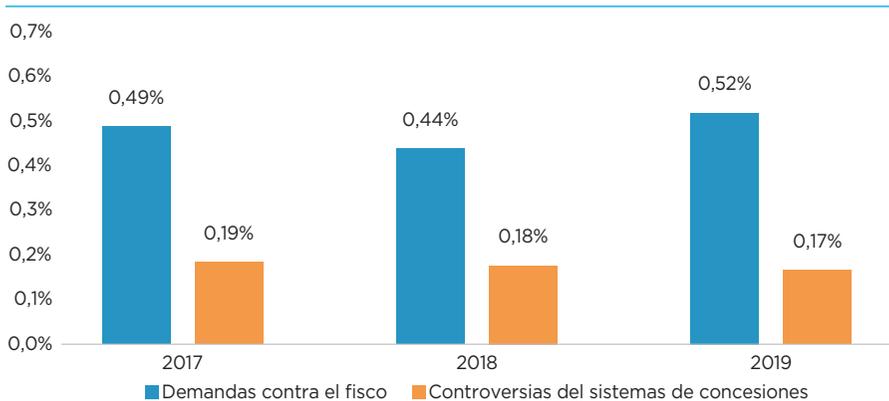
<sup>c</sup> La moda es el valor con mayor frecuencia (ocurrencia) en la distribución de datos. En Excel se calcula mediante la función MODA(datos).

## 5.5. Elementos de la experiencia en ALC para el reporte de pasivos contingentes por litigios

En ALC, países como Chile, Colombia y Perú reportan anualmente su exposición al riesgo de litigios. Cada país estima las cifras reportadas de acuerdo a su propia metodología, por lo que no son directamente comparables entre ellos.

- **Chile:** el Ministerio de Hacienda de Chile publica cada año el Informe de Pasivos Contingentes,<sup>40</sup> el cual incluye todos los pasivos contingentes que soporta el Estado (ingreso mínimo por concesiones, garantía a la deuda de empresas públicas, garantía de crédito a la educación superior, garantía a los depósitos, etc.) reportados en valores estimados como porcentaje del PIB. Entre estos se encuentran los pasivos contingentes originados por demandas contra el fisco (relacionado con demandas de particulares y empresas ante tribunales de justicia, incluyendo el CIADI), que a 2019 tienen un valor esperado del 0,52% del PIB. Asimismo, incluye de manera diferenciada los pasivos contingentes derivados de controversias pendientes del sistema de concesiones de obras públicas, usualmente

**Gráfico 5.10. Reporte de pasivos contingentes por litigios en Chile (porcentaje del PIB)**



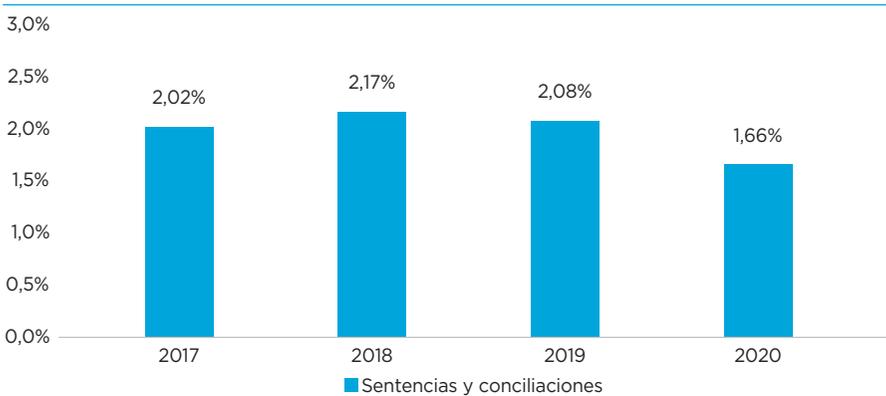
*Fuente:* Elaboración propia con base en el Informe de Pasivos Contingentes.

<sup>40</sup> Los Informes de Pasivos Contingentes se encuentran disponibles en: <https://www.dipres.gob.cl/598/w3-propertyvalue-16136.html>.

resueltas mediante comisiones conciliadoras y arbitrajes del Sistema de Concesiones de obras públicas. A 2019 estos pasivos se reportan como exposición máxima y representan el 0,17% del PIB (gráfico 5.10).

- **Colombia:** el Ministerio de Hacienda y Crédito Público de Colombia publica el Marco Fiscal de Mediano Plazo,<sup>41</sup> el cual incluye el reporte de pasivos contingentes de Colombia y, entre ellos, el pasivo contingente por procesos judiciales en contra del Estado. Dicho pasivo contingente mide la exposición de las entidades del Presupuesto General de la Nación y se reporta en valor esperado. A 2020 se estima en el 1,66% del PIB de Colombia (gráfico 5.11).
- **Perú:** el Ministerio de Economía y Finanzas de Perú publica cada año el Marco Macroeconómico Multianual,<sup>42</sup> el cual incluye el reporte de pasivos contingentes, en el que se diferencian los pasivos contingentes por procesos judiciales, administrativos y arbitrajes de aquellos derivados de controversias en temas de inversión en el CIADI. Los pasivos contingentes por procesos judiciales, administrativos y arbitrajes se reportan como exposición máxima y a 2019 representan el 7,11% del PIB de Perú.

**Gráfico 5.11. Reporte de pasivos contingentes por litigios en Colombia (porcentaje del PIB)**

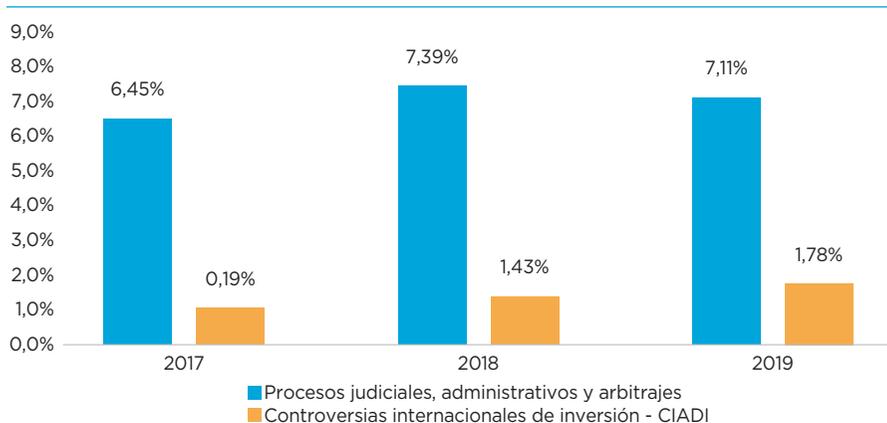


*Fuente:* Elaboración propia con base en el Marco Fiscal de Mediano Plazo.

<sup>41</sup> El Marco Macro Fiscal de Mediano Plazo 2020, se encuentra disponible en: [https://www.minhacienda.gov.co/webcenter/portal/EntidadesFinancieras/pages\\_EntidadesFinancieras/PoliticaFiscal/MarcoFiscalMedianoPlazo/marcofiscaldemedianoplazo2020](https://www.minhacienda.gov.co/webcenter/portal/EntidadesFinancieras/pages_EntidadesFinancieras/PoliticaFiscal/MarcoFiscalMedianoPlazo/marcofiscaldemedianoplazo2020).

<sup>42</sup> El Marco Macroeconómico Multianual 2021-2024, está disponible en: <https://www.mef.gob.pe/es/marco-macroeconomico/marco-macroeconomico-multianualmmm>.

**Gráfico 5.12. Reporte de pasivos contingentes por litigios en Perú (porcentaje del PIB)**



*Fuente:* Elaboración propia con base en el Marco Macroeconómico Multianual.

Los pasivos contingentes por controversias en temas de inversión en el CIADI también se reportan como exposición máxima y a 2019 representan el 1,78% (gráfico 5.12).

Adicionalmente, Perú reporta la contingencia esperada (materialización esperada) de los pasivos contingentes mencionados para el año de publicación del respectivo Marco Macroeconómico Multianual. Para 2020 la contingencia esperada de procesos judiciales, administrativos y arbitrajes se estima en el 0,66% del PIB, mientras que para controversias en temas de inversión en el CIADI se estima en el 0,00% del PIB.



# Pasivo contingente derivado de riesgos de renegociaciones



## 6.1. Antecedentes

Este capítulo tiene por objetivo contribuir al diseño de una metodología de análisis y cuantificación del impacto fiscal de las renegociaciones de contratos bajo la modalidad de APP.

Como se mencionó anteriormente, uno de los elementos distintivos de un contrato de APP es que, a diferencia de lo que ocurre en los contratos bajo modalidades tradicionales de contratación de obra pública, el Estado tiene la posibilidad de transferir algunos riesgos (o una fracción de ellos) al operador privado. Esta propiedad, sumada a que la APP se materializa a través de un contrato de largo plazo, determina de manera inevitable que el contrato esté por su naturaleza expuesto a riesgos.

Algunos de estos riesgos y también otros, como los macroeconómicos, políticos o de gobernanza, afectarán directamente al proyecto a desarrollarse independientemente de la modalidad de contratación, ya sea un contrato de APP o cualquier otra modalidad de inversión pública tradicional. Pero también habrán riesgos derivados específicamente de la modalidad de contratación, en este caso un contrato de APP.

Esta conjunción de elementos —contrato de largo plazo con transferencia de riesgos—, hace que las renegociaciones se produzcan de forma natural como consecuencia inherente a un contrato de APP. Debe

recordarse que los contratos de APP presentan al menos dos características distintivas:

- La primera es que, pese a operar en el contexto de industrias con fuertes características de monopolio natural, permite la activación de un mecanismo competitivo. En efecto, la licitación se ubica en el contexto de la modalidad de competencia *por el mercado* y no *en el mercado*.<sup>43</sup>
- La segunda particularidad es que las obligaciones del privado y las condiciones económicas de la prestación del servicio no están reguladas por una ley general, sino por un contrato de largo plazo, que solo encuentra sus fundamentos generales en la ley. Esta circunstancia tiene como consecuencia que el ente público y el operador privado convergen como partes iguales en la relación contractual.

Por estas razones, y a diferencia de la regulación de otros servicios públicos, las normas, incentivos y condiciones económicas de las obras públicas sujetos del contrato se definen, fundamentalmente, en el proceso de licitación.

Sin embargo, en la práctica se ha hecho evidente que la licitación resulta insuficiente para resolver de una vez y para siempre la economía de la APP. Dada la naturaleza incompleta de los contratos y la imposibilidad asociada a ella de prever todas las situaciones que ocurrirán en el futuro, se ha hecho necesario introducir modificaciones contractuales que permitan resolver problemas no previstos y adecuaciones de las obras como producto de crecimientos importantes de demandas y otras eventualidades. A diferencia de la licitación, estos procesos generalmente se caracterizan por operar sobre bases no competitivas y quedan sujetos a la capacidad de negociación entre el Estado y el privado.

La experiencia internacional deja en evidencia que la licitación como mecanismo de competencia por el mercado se debilita por la alta incidencia de renegociaciones de contratos, muchas de ellas realizadas poco tiempo después de su adjudicación, lo que según Guasch (2004) afecta negativamente el proceso competitivo, el bienestar del consumidor y el desempeño del sector. Más específicamente, según el mismo especialista, la pronta renegociación de contratos transforma la licitación inicial en una negociación bilateral entre el oferente ganador y el gobierno, lo que debilita la disciplina competitiva de la licitación. Una vez adjudicado el contrato, el operador tiene una ventaja significativa pues el gobierno no puede rechazar la renegociación

---

<sup>43</sup> Véase Demsetz (1968).

y es reacio a declarar fracasado el proceso y dejar que el operador abandone la concesión por miedo a retrocesos políticos y nuevos costos de transacción. En esos casos, a través de renegociaciones, el operador puede eliminar todos los beneficios del proceso de licitación competitivo.

Para la construcción de la metodología que permita analizar y cuantificar el efecto de las renegociaciones, se debe comenzar con la presentación de un marco metodológico y de contexto que desde la perspectiva económico-jurídica justifica la existencia de las renegociaciones como un elemento que le aporta flexibilidad al contrato de APP. A continuación, se revisa la experiencia internacional y de países de la región que han tenido que hacer frente a procesos de renegociación en forma sustantiva, principalmente en los primeros años de implementación de sus sistemas de APP.

El capítulo incluye tres secciones, además de esta. En la 6.2 se presentan los aspectos conceptuales de la literatura económica que fundamentan la existencia de las renegociaciones. Luego, en la 6.3 se revisan los resultados de los principales ejercicios empíricos y aplicaciones que se usan como base para caracterizar las renegociaciones en contratos de APP, con especial énfasis en lo que ha sido la experiencia en ALC. En la sección 6.4 se presenta la propuesta de metodología para la cuantificación y análisis de las renegociaciones vistas bajo una perspectiva de riesgo fiscal.

## 6.2. Elementos conceptuales acerca de las renegociaciones

### *De la literatura económico-regulatoria*

Uno de los antecedentes fundamentales para entender dónde se originan los fundamentos que explican la existencia de un proceso de renegociación de un contrato de APP —entendida como modificaciones que afectan el equilibrio económico del mismo— es el hecho de que estos contratos de largo plazo serían por definición **contratos incompletos**.

Demsetz (1968) introdujo un resultado fundamental para las APP: una licitación competitiva para una actividad monopolística puede replicar el escenario competitivo. Así mismo, Demsetz argumentó para el caso de las industrias de servicios públicos que esta competencia durante la licitación podría reducir la necesidad de una regulación más estricta. La mayoría de los países donde se han implementado APP han seguido las ideas de Demsetz y lo han hecho a través de procesos de licitación competitivos. Sin embargo, la competencia de mercado como la descrita por Demsetz se ve amenazada por el hecho de que el marco regulatorio se basa principalmente (si no

únicamente) en la regulación a través de los contratos. Este último hecho, sumado al supuesto de incompletitud de estos, genera presiones para que el gobierno permita que el contrato sea renegociado después de haber sido adjudicado.

De esta forma, tanto el gobierno como el operador privado estarían sujetos a la “transformación fundamental” propuesta por Williamson (1985) de una licitación competitiva, puesto que una vez adjudicado y firmado el contrato de APP, la relación se transforma en un monopolio bilateral entre el regulador y el operador privado, lo cual, a la vez, se convierte en un tema de preocupación al considerar hechos particulares relacionados con proyectos de infraestructura, ya que los activos están hundidos y es muy difícil y costoso para el gobierno cambiar al operador. De acuerdo con Rivera (2008), existe un poder de negociación asimétrico a favor del privado ya que la amenaza por parte del gobierno de terminar el contrato no es creíble y muchas veces en la práctica este se ve obligado a renegociar. Con base en lo anterior, añade el autor citando a Williamson, la regulación contractual en el caso de APP sería “una forma incompleta de regulación a largo plazo que asegura ganancias generalmente justas a cambio de ajustes sucesivos frente a circunstancias cambiantes, sin la costosa negociación que ocurre si las partes del contrato disfrutaban de una mayor autonomía”, y por lo tanto sería una herramienta subóptima, aunque más efectiva que otros mecanismos informales para ajustar el contrato original cuando ocurren cambios imprevistos.

Hart y Moore (1988) fueron de los primeros en estudiar el vínculo entre el contrato incompleto y las renegociaciones en un escenario de información completa. Dewatripont (1988) desarrolla un ejemplo que extiende el análisis de Hart y Moore (1988) hacia una situación más interesante en la que se asume información incompleta. En tal escenario Dewatripont (1988) investiga la utilidad de los contratos con terceros como medio de compromiso estratégico y muestra que la naturaleza del proceso de renegociación influye en el grado de compromiso derivado del contrato de manera que cuando están abiertos al público pueden producir ineficiencias predecibles de asignación sistemática. Ho y Liu (2004) amplían los resultados de Anderlini y Felli (2001), Dewatripont (1988) y Hart y Moore (1988), entre otros, analizando renegociaciones en contratos de APP y tratando de rastrear el comportamiento oportunista en la licitación. Sugieren que la solución de equilibrio de un reclamo de construcción es negociar y resolver, lo que confirma la evidencia empírica en términos de que ambas partes parecen beneficiarse de la negociación. Estas cuatro publicaciones destacan el hecho de que, dado que

los proyectos de infraestructura implican contratos a largo plazo, la incompletitud del contrato surge como un tema de preocupación porque existe la necesidad de encontrar contratos flexibles o establecer un contrato, pero asumiendo que este se puede cambiar en el futuro. Además, existe una visión coincidente que enfatiza el efecto negativo derivado de las renegociaciones en términos que perjudican los beneficios potenciales del proceso de licitación como alternativa a la replicación de la competencia.

Guasch, Laffont y Straub (2003, 2006 y 2008), Guasch (2004), Guasch y Straub (2005) y Engel, Fischer y Galetovic (2009a y 2009b, 2019) han realizado aportes relevantes en materia de renegociaciones de contratos en APP. En particular, existe consenso en que la renegociación de contratos es un tema de preocupación y que el incumplimiento del contrato es probablemente el principal impulsor de las renegociaciones. Sin embargo, también se argumenta que existe la necesidad de que el sector público desempeñe un papel más activo en la regulación de la relación con el concesionario a fin de reducir el comportamiento oportunista durante el proceso de licitación, en el cual algunos postores tienen los incentivos para jugar agresivamente a fin de ganar el proyecto con la expectativa de recuperar la rentabilidad del corte mediante una renegociación del contrato en el futuro.

En particular, Guasch, Laffont y Straub (2006) construyen un enfoque teórico de las renegociaciones en los que la motivación para la renegociación proviene del concesionario. Con base en un modelo que considera la incompletitud contractual, los autores muestran que los aspectos primarios que afectan la probabilidad de renegociaciones son: un mayor costo de los fondos públicos, un mayor grado de captura estatal, shocks económicos negativos, la existencia de las reglas de arbitraje y una deficiente calidad institucional. Las predicciones derivadas de este modelo son consistentes con los resultados empíricos que encontraron previamente y que se muestran en Guasch, Laffont y Straub (2003). De forma similar, Guasch y Straub (2005) consideran el caso en el que la motivación para renegociar el contrato proviene del gobierno.

Guasch (2004) también sugiere que, en principio, la renegociación puede ser un instrumento positivo cuando aborda la naturaleza inherentemente incompleta de los contratos de concesión. De hecho, las renegociaciones pueden mejorar el bienestar. Sin embargo, este grado deseable de flexibilidad puede verse fácilmente socavado cuando la alta incidencia excede los niveles esperados y razonables y genera preocupaciones sobre la validez del modelo de concesión. Lo anterior incluso podría indicar un comportamiento excesivamente oportunista por parte de nuevos operadores o

de gobiernos, ya que la renegociación se da únicamente entre el gobierno y el operador, por lo que no está sujeta a presiones competitivas y su disciplina asociada. Cuando un operador o un gobierno la utiliza de manera oportunista o estratégica para asegurar beneficios adicionales, y no impulsada por la falta de cumplimiento de un contrato, la renegociación puede socavar la integridad de una concesión, reducir el bienestar y amenazar el programa de reforma estructural en infraestructura deseado.

Por último, otro factor adverso de las renegociaciones son los costos añadidos y las pérdidas de bienestar que induce. El proceso de renegociaciones puede ser bastante largo y costoso para ambos lados: el privado y el regulador o gobierno. Requiere una buena cantidad de recopilación y análisis de información y la ejecución de costos y modelos financieros. A menudo dura de tres a doce meses y puede inmovilizar los recursos limitados del regulador durante todo ese periodo, a expensas de las otras tareas y operaciones de las que es responsable el regulador. Para las renegociaciones en las que es evidente un beneficio de bienestar claro, las compensaciones pueden estar justificadas, pero para las oportunistas, el impacto de esos costos y el bloqueo de esos recursos pueden ser bastante perjudiciales.

## Aplicaciones

Los altos costos de transacción de realizar contratos completos y la teoría de la imprevisión llevan a suponer que los contratos de APP son incompletos y, como tal, la introducción de la renegociación bajo el argumento de la flexibilidad lleva a que se realicen procesos de perfeccionamiento de los contratos frente a los cuales resulta importante conocer el ámbito y escenario de estas modificaciones, las fuentes de modificaciones, las fuentes de controversias y los métodos de resolución.

Al aplicarse a las APP, el término renegociación puede tener una connotación negativa, aunque no siempre deba ser el caso. El fundamento de las APP como sustitutos de la regulación es la existencia de una instancia de competencia *ex ante* —ya sea de manera directa al momento de presentar ofertas con más de un licitante o de manera indirecta con un solo licitante que se ha consorciado con otros participantes o un número adecuado de empresas precalificadas que van quedando en el camino conforme avanza el proceso licitatorio—, y la aceptación de que la competencia *ex post* no solo no es posible, sino que innecesaria, pues todo lo que debe ser establecido quedaría claro en el proceso de competencia *ex ante*. Sin embargo, cuando la competencia *ex ante* no resuelve todos los aspectos relevantes, es decir, cuando los contratos

son incompletos, existe la necesidad de superar problemas cuando hay un solo operador en el mercado. La relación de un operador con el regulador no está disciplinada por la competencia y puede surgir entonces toda la gama de resultados, mayoritariamente contrarios a la eficiencia económica, que se desprenden de relaciones de monopolio bilateral.

Una pregunta que se plantea respecto de los contratos de APP gira en torno a la posibilidad de renegociar el contrato y por lo tanto invocar la requerida flexibilidad para adecuar la ruta planeada tanto para el Estado como para el privado: ¿Es adecuado modificar *ex post* un contrato que en su nacimiento tuvo cláusulas de adhesión impuestas por la autoridad? Lo que se negocia no es el contrato *per se*, sino cuánto le afecta al privado el cambio en las condiciones inicialmente establecidas en las bases de la licitación y en la oferta del licitante, por lo que la administración conserva siempre la facultad de determinar las obras y servicios contratados. En el caso específico de las APP y en particular por el largo tiempo que conlleva la relación contractual, siempre el regulador deberá tener la posibilidad de interpretar elementos con base en criterios no perfectamente objetivos en el contrato. Además, debe evaluar y pronunciarse sobre los aspectos técnicos, pronunciarse en función de criterios de calidad de servicio, evaluar conductas anticompetitivas, monitorear reglas de tarificación y renegociar con los adjudicatarios.

En síntesis, como resulta infructuoso pretender que es posible eliminar toda contingencia futura a través de contratos, el problema del regulador es conciliar la flexibilidad necesaria para aplicar el marco regulatorio y renegociar, con la credibilidad que debe tener un programa de esta naturaleza para atraer inversionistas privados. Aun cuando esta es una materia absolutamente aceptada en teoría de contratos, la discusión en general parece ignorarla. Los analistas, tanto del sector público como del privado, parecen focalizarse en descubrir todos los elementos contrarios que tiene la renegociación *ex post* pero sin entender que ella es consustancial a la naturaleza de los contratos.

El punto no es si debe haber o no una renegociación, sino determinar el marco para que esta ocurra de la mejor manera.

En consecuencia, y bajo la aproximación al concepto de lo que se entiende por pasivo contingente según se discutió en el capítulo 1, se podría definir el pasivo contingente relativo a renegociaciones como **el pago que tendrá que realizar el Estado —la compensación— tras la ocurrencia de una modificación contractual —o renegociación—, producto de que dicha modificación afectó el equilibrio económico del contrato**, entonces, la metodología propuesta pasa a ser una valoración de un pasivo contingente.

### 6.3. Características prácticas y revisión de la experiencia de las renegociaciones

#### *Deconstrucción de las renegociaciones*

Se han revisado los fundamentos detrás de la existencia de las renegociaciones y las cuestiones que desde un punto de vista económico-regulatorio afectarían el contrato original. Lo principal es que, a diferencia del proceso competitivo que conlleva la licitación, la renegociación se materializa a partir de un acuerdo bilateral entre el Estado y el privado, o bien, como resultado de un fallo o decisión judicial o de un sistema de resolución de disputas.

Desde el punto de vista práctico, el problema de las renegociaciones no es en sí mismo el hecho de que estas ocurran, sino que dados los elementos señalados anteriormente existan asimetrías en el poder de negociación de una parte (el Estado) frente a la otra (el privado) y que, por lo tanto, el resultado tenga un efecto negativo sobre la optimización del contrato o bien afecte negativamente a alguna o a ambas partes. En otras palabras, suele escucharse el comentario de que en una renegociación generalmente el Estado tendría más que perder que de ganar, mientras que el privado tiene más que ganar que lo que podría perder.

En cualquier caso, para poder analizar una renegociación y entender sus distintos componentes, se deben conocer los elementos y postulados que permitan caracterizarla y entender como los distintos actores se relacionan a lo largo del proceso que conduce y produce una renegociación. Los postulados básicos son los siguientes:

- **Una renegociación puede originarse por iniciativa pública o privada.** En efecto, la mayoría de las legislaciones relativas a APP permiten que una renegociación se inicie tanto por iniciativa del Estado como del operador privado. Así mismo, la legislación suele considerar el procedimiento y condiciones que regularán la renegociación en cada caso, lo que genera incentivos a ambas partes para utilizar las renegociaciones según su propia conveniencia.
- **Una renegociación puede originarse en cualquier fase del proyecto/contrato.** La necesidad de modificar el contrato puede originarse en cualquier fase del proyecto (ya sea durante la etapa de construcción o la de operación). Dependiendo de las situaciones que afectan el contrato

en cada caso, la renegociación podría ocurrir en cualquiera de ellas. En el cuadro 6.1 se muestra un resumen de las principales razones por las que en cada etapa se podría llegar a renegociar el contrato.

- **La compensación puede tomar distintas formas.** Además, debería ser prerrogativa del Ministerio de Finanzas (o de Hacienda en algunos países) determinar la forma en que se hará esta compensación. En el cuadro 6.2 se presenta una serie de alternativas que suelen utilizarse como formas de compensación en las renegociaciones de contratos de APP.

### Cuadro 6.1. Principales causas o eventos que dan origen a una renegociación

Fase en que ocurre	Causa(s) más común(es)
Construcción	El Estado solicita obras adicionales. El privado presenta la necesidad de obras adicionales. Atrasos de parte del Estado en la entrega de los terrenos para el proyecto. Atrasos de parte de terceros que afectan el desarrollo del proyecto. Problemas con la relocalización de comunidades. Desastre natural que afecta el proyecto.
Operación	El Estado solicita obras adicionales. El privado presenta la necesidad de obras adicionales. Desastre natural que afecta el proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

### Cuadro 6.2. Formas de compensación comúnmente utilizadas en una regulación

Forma de compensación	Etapas en la que principalmente se utiliza
Pagos desde el tesoro	Construcción y/u operación
Aumentos del plazo del contrato	Construcción y/u operación
Autorización de aumentos de tarifas	Mucho más en operación
Autorización anticipada de cobro de peajes	Construcción
Pagos del Estado tipo "peaje sombra"	Operación

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Esta lista no es exhaustiva y tiene por finalidad mostrar ejemplos de las modalidades de compensación más utilizadas. Una renegociación puede incluir más de una forma de compensación.

Lo más importante en un proceso de renegociación es acordar la tasa de descuento. Al haber diferentes formas de compensación, se debe encontrar una expresión equivalente que permita comparar lo que se requiere compensar con la modalidad elegida para tales efectos. Así mismo, se deben poder comparar las distintas alternativas de compensación a fin de que la autoridad pueda elegir la modalidad que afecte lo menos posible la sostenibilidad fiscal.

### ***Evidencia empírica en países de la región***

La publicación de Bitran, Nieto-Parra y Robledo (2013) constituye una importante referencia de la experiencia de países de ALC con las renegociaciones de contratos de APP. Este documento revisa la experiencia de Chile, Colombia y Perú. Estos tres países son al mismo tiempo los de mayor madurez en sus sistemas de APP y los que han registrado un mayor número de renegociaciones de contratos de APP en la región. Por lo tanto, es predecible que quienes acumulan más experiencia y mayor número de proyectos en fases más avanzadas muestren renegociaciones de forma más recurrente. A continuación, se resumen los principales hallazgos de este trabajo.

Las renegociaciones en los países de la muestra se originan mayoritariamente a partir de un acuerdo bilateral entre el Estado y el privado (en más de un 90%) y no como resultado de un fallo o dictamen de arbitraje.

Las renegociaciones en Chile y Perú han sido principalmente solicitadas por el gobierno mientras que en el caso de Colombia un número importante de renegociaciones ha sido resultado de un acuerdo común entre ambas partes.

En cuanto a la etapa en la que se producen, la frecuencia de las renegociaciones en los países de la muestra es similar durante la fase de construcción y durante la fase de operación.

Respecto de las causas que motivan la renegociación del contrato, la experiencia es variada. En Chile el principal motivo tiene que ver con solicitudes de obras adicionales y en menor medida con cambios en las condiciones económicas. En Colombia y Perú es a la inversa, ya que se ha renegociado principalmente para hacer frente a cambios en las condiciones económicas.

En cuanto a la fuente de los fondos para la compensación la experiencia también es variada. En el caso de Chile se han utilizado distintos mecanismos para hacer frente a estas compensaciones, pero el más utilizado es el del

### Cuadro 6.3. Renegociación según su origen: acuerdo bilateral vs arbitraje

Origen	Chile	Colombia	Perú
Acuerdo bilateral	83%	98%	100%
Arbitraje	17%	2%	0%

Fuente: Bitran, Nieto-Parra y Robledo (2013).

### Cuadro 6.4. Renegociaciones según su origen: iniciativa pública o privada

Origen	Chile	Colombia	Perú
Gobierno	84%	40%	64%
Empresa	12%	20%	23%
Acuerdo común	4%	40%	13%

Fuente: Bitran, Nieto-Parra y Robledo (2013).

### Cuadro 6.5. Renegociaciones según el momento en que ocurren

Momento de ocurrencia	Chile	Colombia	Perú
Fase de construcción	53%	51%	62%
Fase de operación	47%	49%	38%

Fuente: Bitran, Nieto-Parra y Robledo (2013).

*Nota:* Si bien en el caso de Perú el peso de las renegociaciones que ocurren en fase de construcción es mayor, cabe señalar que en este país los proyectos fueron adjudicados más tarde y, por lo tanto, tienen menos proyectos en etapas avanzadas de operación. Una vez que se corrige por este hecho, el comportamiento es más parecido al de Chile y Colombia.

pago del Estado con fondos fiscales. En menor medida se empleó el mecanismo de aumentos de tarifa o aumentos de plazo del contrato. En el caso de Colombia la principal fuente de fondos para las compensaciones por renegociaciones han sido los pagos presentes del Estado, mientras que en Perú una parte importante de las renegociaciones no han significado un costo para el Estado. Cuando esto no ha sido posible, se han usado otros mecanismos de compensación y como última alternativa los pagos con fondos fiscales.

Por último, respecto de la forma de compensación, se observa también que la experiencia es variada. Mientras en el caso de Chile se usa principalmente la transferencia fiscal y, en menor medida, el aumento de tarifas, en Colombia se han utilizado de forma similar la transferencia fiscal y otras

modalidades sin costo directo para el Estado. En el caso de Perú esta última categoría ha sido la más importante y solo en una fracción menor se han usado las transferencias fiscales como alternativa de pago de las compensaciones.

Estas frecuencias observadas para los países de la muestra servirán más adelante como probabilidades teóricas en la construcción de la metodología de análisis de las renegociaciones.

## 6.4. Propuesta metodológica para el análisis de renegociaciones

### *Elementos para el diseño de la metodología de análisis de renegociaciones*

#### *Definición del marco analítico*

**¿Es la renegociación un pasivo contingente o un pasivo firme con valor incierto?** Para responder a esta pregunta, vale recordar que un pasivo contingente es una obligación frente a un tercero, cuya existencia se produce cuando ocurre un evento o se cumple una condición que la activa, el cual se conoce como evento contingente.<sup>44</sup> La diferencia con un pasivo firme con valor incierto es que en este último la existencia de la obligación no está en duda, es cierta (por eso es un pasivo firme), aunque su valor depende de ciertas condiciones (valor incierto).

En primer lugar, como se ha señalado anteriormente, es claro que las renegociaciones tienen que ver con la existencia de elementos de riesgo derivados de la relación de largo plazo entre el Estado y el privado. Sin embargo, a diferencia de los pasivos contingentes, las renegociaciones no necesariamente se relacionan con la etapa de asignación de los riesgos, sino que, por ser inherentes a la naturaleza de una APP, pueden vincularse con cualquiera de las etapas del análisis de riesgos. Más aún, por ser propio de esta modalidad de contratación no es un riesgo que el Estado pueda transferir, dado que nadie podría renegociar el contrato en su nombre o hacer frente al cumplimiento de la compensación en nombre del Estado.

Si un riesgo es retenido en su totalidad por el Estado se sabe que si algún evento adverso ocurre, el Estado deberá responder por los daños que se hayan ocasionado. Análogamente, si un riesgo es transferido en su

---

<sup>44</sup> Estrictamente, este evento es totalmente exógeno para ambas partes. En otras palabras, el Estado no puede controlar por sí solo la ocurrencia del evento contingente.

## Cuadro 6.6. Situaciones derivadas del análisis de riesgos que podrían motivar una renegociación

Etapa del análisis de riesgos	Evento que podría justificar una modificación contractual
Identificación	Si un riesgo no fue identificado o bien definido en el proceso de identificación, una vez en desarrollo se deberá modificar el contrato para determinar quién deberá asumir la responsabilidad por la activación de ese riesgo. <sup>a</sup>
Jerarquización	Si un riesgo fue subvalorado y, por lo tanto, no se establecieron los mecanismos de mitigación apropiados para hacerle frente, una vez en desarrollo se deberá modificar el contrato para determinar la forma de hacer frente a la activación de ese riesgo.
Cuantificación	Si un riesgo fue mal valorado o cuantificado, se podría haber transferido más o menos riesgo al privado (no en términos de la fracción transferida, sino por problemas en el cálculo). Lo anterior podrá repercutir en la suscripción de una renegociación en el futuro.
Asignación (o distribución)	Si un riesgo fue supuestamente transferido en una cierta proporción al privado (o retenido en cierta fracción por el Estado), pero la asignación de riesgos dejó fuera elementos que no podían ser transferidos, en caso de activación del riesgo el Estado se deberá hacer responsable y acceder a la modificación del contrato.

Fuente: Elaboración propia.

Nota:

<sup>a</sup> Un ejemplo claro fue el caso de las Torres Gemelas en 2001 y su efecto en el sector aeroportuario.

totalidad al privado, este deberá asumir esa responsabilidad. El problema es que si bien en los contratos de APP hay riesgos transferidos y otros retenidos (*ex ante*), es prácticamente imposible hacer cumplir esa distribución de riesgos en un 100% y para todos los eventos, lo que da lugar a que se generen incentivos a modificar el contrato (cuadro 6.6).<sup>45</sup>

En resumen, cuando se define un pasivo contingente, se identifica la variable expuesta al riesgo y lo que tendría que ocurrir para que se genere una obligación de pago para el Estado. Entendida de esa forma, una renegociación se puede definir como un pasivo contingente donde el elemento en riesgo es la matriz de riesgos y el evento contingente es que ante la ocurrencia de determinado evento sea necesario modificar la matriz de riesgos original.

<sup>45</sup> Nótese que en el contexto de esta discusión modificar el contrato es equivalente a modificar el equilibrio económico-financiero del contrato y a modificar la distribución de riesgos de la matriz de riesgos.

**En otras palabras, se podría decir que las renegociaciones son un pasivo contingente cuyo evento o condición activadora es que alguna de las partes decidiera actuar fuera de lo que establece la matriz de riesgos original.**

### *Hacia una taxonomía de las renegociaciones*

Según lo expuesto en el apartado anterior, podría establecerse una taxonomía de renegociaciones según la etapa del análisis de riesgos donde se generó el problema que dio origen a la renegociación. En efecto, según esta identificación podría establecerse en qué casos o a través de qué aproximación metodológica o procedimiento podría cuantificarse la posibilidad de una renegociación (cuadro 6.7).

Más allá de la distinción conceptual entre un pasivo contingente y uno firme de valor incierto, el análisis de ambos tipos de pasivos es similar y puede ser abordado desde dos perspectivas: una primera aproximación es estimar la probabilidad de ocurrencia multiplicada por el impacto, y una segunda opción —usualmente utilizada cuando no hay suficiente información histórica para estimar las probabilidades— consiste en simular distintos escenarios y calcular el valor esperado de un número grande de simulaciones.

Adicionalmente, se observa que hay al menos dos enfoques respecto de qué es lo que significaría calcular la probabilidad de renegociación del contrato: un primer enfoque que obedece a un análisis **estático-retroactivo (ER)** y otro que corresponde a un análisis **dinámico-prospectivo (DP)**.

El enfoque ER se aplica cuando, estando en la fase de estructuración del contrato, es decir, antes de su firma, y con base en otros proyectos similares de la cartera de contratos, se busca responder la pregunta acerca de cuál sería la probabilidad de que haya renegociaciones. Con la información del estudio de Bitran, Nieto-Parra y Robledo (2013) se podrían estimar fácilmente estas probabilidades usando las frecuencias realizadas para un conjunto importante de proyectos en Chile, Colombia y Perú. El enfoque

### **Cuadro 6.7. Taxonomía de las renegociaciones**

Tipo	Fuente
Tipo 1	Ocurren como consecuencia de un problema en la etapa de identificación de riesgos.
Tipo 2	Ocurren como consecuencia de un problema en la etapa de jerarquización de riesgos.
Tipo 3	Ocurren como consecuencia de un problema en la etapa de cuantificación de riesgos.
Tipo 4	Ocurren como consecuencia de un problema en la etapa de asignación de riesgos.

*Fuente:* Elaboración propia.

DP es más complejo ya que se refiere a que en cualquier momento durante la vida del contrato se podría estimar la probabilidad de que ocurra una renegociación. A continuación, se presenta un ejemplo de esta segunda situación:

Supóngase que se tiene un contrato de APP a 20 años, donde la fase de construcción es de tres años y la fase de operación ocupa los restantes 17 años. Considérese también que es el año siete del contrato (o año cuatro de operación) y se quiere conocer, en este momento, la probabilidad de que ocurra una renegociación del contrato. Entre otras cosas, esta probabilidad es condicional a lo que haya sucedido entre el año uno y el siete.

A diferencia del primer caso, la probabilidad de que ocurra una renegociación en un enfoque DP es muy difícil de estimar, pues requiere que sea calculada como parte de un ejercicio dinámico, es decir, para cualquier momento  $t$  (mes o año) a lo largo de la vida del contrato. Como se menciona en el ejemplo, al ser una probabilidad condicional, por un lado, se requiere saber lo que ya ha ocurrido entre el año uno y el siete y, por el otro, conocer el universo de cosas posibles que podrían suceder, lo cual resulta incluso más difícil. Más aún, como las condiciones de activación toman en consideración lo que ha ocurrido al momento de la activación, resulta metodológicamente contraproducente querer estimar la probabilidad de ocurrencia de una renegociación para un periodo más allá del año siguiente.<sup>46</sup>

## **Metodología propuesta**

### **Metodología de análisis bajo un enfoque estático**

El enfoque estático o ER es simple dado que toma los datos históricos de una serie de proyectos similares y utiliza las frecuencias de renegociación observadas para aproximar las probabilidades teóricas de ocurrencia de una renegociación. Análogamente, los valores observados en una muestra se pueden utilizar como proxy para estimar el valor esperado con base en algún

---

<sup>46</sup> Es fácil notar que si para estimar la probabilidad de activación en el año  $T$  se necesita saber lo que ha ocurrido hasta  $T - 1$ , no tendría sentido estimar la probabilidad para  $T + 1$ , ya que para ello se necesitaría saber lo que pasó efectivamente en  $T$  y no lo que se estima que pasará en  $T$  y así para cada año en adelante.

estadístico de tendencia (el promedio o el valor a un cierto percentil), de manera similar a la metodología propuesta para estimar el riesgo de sobrecostos.

Es preciso definir los parámetros que se presentan en el cuadro 6.8.

También se pueden definir otros parámetros. En todo caso, la probabilidad de ocurrencia conjunta de los parámetros que se definan será igual a la multiplicación de las probabilidades de ocurrencia independientes de los parámetros definidos.

Por ejemplo, supóngase que se quiere conocer la probabilidad de que una renegociación haya sido originada por el Estado, durante la fase de operación.

$$\mathbb{P}(\text{Probabilidad}(X = \text{Renegociación originada por el Estado durante la fase de operación}) = q_1 r_2$$

Y así para todos los parámetros definidos para caracterizar las renegociaciones:

$$\mathbb{P}(\text{Probabilidad}(X = p, q, r, s, u, v, \dots)) = p \times q \times r \times s \times u \times v \times \dots$$

**Cuadro 6.8. Probabilidad de ocurrencia de las distintas características de una renegociación**

Definición del parámetro	Valores
$p_i$ Probabilidad de que la renegociación se haya originado por acuerdo bilateral o como resultado de un fallo o dictamen arbitral.	$p_1, p_2$
$q_i$ Probabilidad de que la renegociación se haya originado por el gobierno, por el privado o por acuerdo común.	$q_1, q_2, q_3$
$r_i$ Probabilidad de que la renegociación se haya originado durante la fase de construcción o de operación.	$r_1, r_2$
$s_i$ Probabilidad de que la renegociación sea para incluir obras adicionales, por cambios en las condiciones, para agregar nuevos tramos o por más de uno de los fines anteriores.	$s_1, s_2, s_3, s_4$
$u_i$ Probabilidad de que la compensación haya sido cubierta con fondos fiscales (en el año corriente), en pagos diferidos, mediante otros mecanismos de pagos a <i>posteriori</i> o no haya tenido un costo directo para el Estado.	$u_1, u_2, u_3, u_4$
$v_i$ Probabilidad de que la compensación haya sido cubierta vía aumento del plazo del contrato, aumento de tarifas, por transferencia fiscal, mediante otra forma o no haya tenido un costo directo para el Estado.	$v_1, v_2, v_3, v_4, v_5$

Fuente: Elaboración propia.

### *Metodología de análisis bajo un enfoque dinámico*

Como se señaló en el apartado sobre la taxonomía de las renegociaciones (sección 6.4) en relación con un enfoque dinámico, si bien matemáticamente se puede generalizar la estadística usada en el enfoque estático y estimar un valor para la probabilidad de que ocurra una renegociación (enfoque tipo I de valoración de pasivos contingentes presentado en la sección 1.1), el ejercicio requiere adoptar muchos supuestos, lo que termina por minar la eventual aplicabilidad y pertinencia de realizar el ejercicio sabiendo que el poder predictivo es muy limitado.

Utilizar un modelo de simulación (Monte Carlo, por ejemplo) para generar una gran cantidad de muestras para todas las variables con exposición al riesgo, a fin de obtener como resultado una distribución de probabilidad de las variables de interés —incluyendo el resultado esperado— (enfoque tipo II de valoración de pasivos contingentes de la sección 1.1), podría llevar a un resultado mejor, pero todavía sin mucha seguridad respecto de su poder predictivo.

Indudablemente, si las variables en riesgo fueran relativamente pocas y los escenarios posibles estuvieran limitados, el poder predictivo aumentaría con respecto a una situación con muchas variables susceptibles a riesgo y donde los escenarios posibles pudieran ser muy variados.

#### **¿Por qué en una situación con muchas variables susceptibles a riesgo y donde los escenarios posibles son variados ninguno de los dos enfoques para valorar pasivos contingentes tendría un valor predictivo significativo?**

La respuesta a esta pregunta radica en que en el caso de los pasivos contingentes lo único que se requiere es definir supuestos sobre el **comportamiento** de la variable: su distribución de probabilidad y/o su función de densidad. Es decir, ¿esta variable se comporta como una normal, como una chi-cuadrado o más bien como una PERT? Una vez respondido esto, se busca conocer los parámetros de la distribución respectiva. Sin embargo, todo el ejercicio se realiza para aquel riesgo que es retenido por el Estado, asumiendo que la fracción retenida (representada generalmente por el parámetro de distribución de riesgos **lambda** [ $\lambda$ ]) es constante. En otras palabras, los enfoques establecidos para valorar pasivos contingentes asumen la matriz de riesgos como algo **cierto e invariante**.

Por lo tanto, nunca se podrá predecir la ocurrencia de una renegociación del tipo 1, 2 o 3 ya que, por la forma de modelar, el presente ejercicio considera la matriz de riesgos como algo invariante (es decir, que nunca cambia).

En el caso de las renegociaciones de tipo 4, solo se podrían predecir pasivos contingentes explícitos donde la responsabilidad del riesgo transferido (con un parámetro lambda definido y fijo) incluya algo respecto de la renegociación. Por ejemplo, supóngase un contrato donde se incluye una cláusula como la siguiente:

En caso de que los ingresos caigan a valores que pongan en peligro la sostenibilidad financiera del operador privado —SPE o concesionario—, y habiendo demostrado [...] que las razones de esto son totalmente exógenas y fuera de la responsabilidad de gestión de la SPE, el Estado deberá acceder [o el privado tendrá el derecho a...] renegociar las condiciones económicas originales, de manera de garantizar su estabilidad, de forma que le permita, al menos, servir la deuda y desarrollar las actividades necesarias para la operación y mantenimiento de la infraestructura objeto de la APP.

En este ejemplo, la cláusula establece claramente un pasivo contingente explícito para el Estado, el cual debe ser considerado en el cálculo del parámetro lambda pues representa un riesgo retenido por el Estado.

No obstante, no es claro que en el caso de las renegociaciones del tipo 4 un enfoque típico de valoración de pasivos contingentes —basado en un modelo de evaluación de riesgos—, pudiera utilizarse para predecir renegociaciones que entren en cuestionamiento con la asignación de la matriz de riesgos. En otras palabras, nuevamente se observa que la matriz de riesgos se percibe como invariante, no susceptible de ser cambiada ni ajustada de acuerdo a las condiciones efectivas de realización. De esta forma, en caso de ocurrir una activación de un riesgo ya distribuido y por tener el Estado el rol de último recurso (*last resource*), este deberá hacer frente a dicha activación del pasivo contingente implícito mediante una renegociación.

Para subsanar esta dificultad metodológica, se propone un enfoque alternativo, en el que, en lugar de estimar la probabilidad de que ocurra una renegociación o proyectar escenarios de variables en riesgo, se dirija la atención hacia estimar los efectos que tendría la renegociación, ya sea en términos de los pagos que deba hacer el Estado (como si se hubiera activado un pasivo contingente) o en términos de cómo se afecta la optimización del contrato. En otras palabras, **la idea es redefinir el pasivo contingente, no en términos de la renegociación, sino en términos de la compensación.**

En efecto, si se define el pasivo contingente como **el pago que tendrá que realizar el Estado —la compensación— tras la ocurrencia de una modificación contractual —o renegociación—, producto de que dicha modificación afectó el equilibrio económico del contrato**, entonces, la metodología propuesta pasa a ser una valoración de un pasivo contingente.

### **Estimación del efecto fiscal de la renegociación**

Indudablemente, al momento de fijar una compensación la responsabilidad del Estado es buscar algún mecanismo (o alguna combinación de formas) para cubrir el pago de aquella. Cabe recordar que el hecho de que se deba realizar una compensación se produce porque se estaría afectando el equilibrio económico-financiero del contrato y, por lo tanto, se requiere que la parte afectada sea compensada de manera de reestablecer el equilibrio original.

En algunas legislaciones, se establece o se promueve que a través de las propias cláusulas del contrato se establezca de manera explícita la responsabilidad sobre la vigilancia permanente de este equilibrio (véase el ejemplo de Ecuador presentado en el caso 6.1).

Por otra parte, como se mencionó más arriba, el problema más grave de las renegociaciones muchas veces no es el hecho de que ocurran, sino que afecten negativamente la optimización del contrato o la calidad de los servicios que se entregan a los usuarios. Esta idea es propia de los pasivos contingentes (el mayor problema de un pasivo contingente es que produzca shocks que afecten el presupuesto). En otras palabras, uno de los aspectos clave (sino el más importante) en una renegociación es que la compensación se haya establecido de manera correcta y, desde una mirada más bien operativa, cuál será la forma en que se producirá la compensación. Con base en esta aproximación, surgen preguntas como las siguientes:

- Si se solicitan obras adicionales, ¿es el monto indicado de la compensación el correcto? ¿Se debe compensar por los mayores gastos administrativos en que incurra el privado para ejecutar estos trabajos? ¿Se debe compensar por los eventuales mayores gastos financieros en caso de que el privado deba refinanciarse para hacer frente a la construcción de tales obras?
- Si se va a compensar al privado a través de la autorización para aumentos de tarifa, ¿cómo se calcula dicho aumento? ¿Se conocen las elasticidades? En caso negativo, ¿debe encargarse un estudio? ¿Debe pagarlo el Estado? ¿Puede incluirlo en el monto a compensar?
- Si se va a compensar con aumentos de plazo, ¿qué estimación de ingresos se debe utilizar para calcular el aumento de plazo adecuado: las estimaciones originales del Estado, las estimaciones originales del modelo financiero de la SPE o las estimaciones efectivas proyectadas por un tercero imparcial?

## Caso 6.1. Ejemplo de Ecuador sobre cláusula de reequilibrio del contrato

En un proyecto de APP de carreteras de Ecuador, el contrato establece que el equilibrio económico-financiero debe mantenerse a lo largo de todo el periodo del contrato, a la vez que se fija un valor de ingresos máximos y otros mínimos para lograr una rentabilidad objetivo. En otras palabras, desde el punto de vista de la sociedad gestora, los valores mencionados actúan en la práctica como:

- un piso a los ingresos ante escenarios de ingresos bajos (el gestor privado sabe que aunque la recaudación de ingresos por peajes caiga, el monto que recibirá por este concepto más el PPD es el mencionado como mínimo); y
- un techo a los ingresos extraordinarios ante escenarios de ingresos altos (el gestor privado no tendrá derecho a gozar del beneficio de recibir ingresos por sobre los máximos indicados).

El contrato establece además que, en caso de que ocurran eventos exógenos que afecten el equilibrio económico-financiero original del contrato (órdenes de variación de la entidad contratante, fuerza mayor, cambios del marco jurídico, entre otros), el Estado deberá compensar al gestor privado en la medida en que se produce una afectación del equilibrio económico original.

- Si se va a compensar con pagos diferidos, ¿qué tasa de descuento se debe utilizar para estimar el valor de distintas alternativas de compensación?

El ejercicio de renegociación se realiza en un punto intermedio dentro del ciclo de vida del proyecto, donde hay ciertos elementos que ya se conocen y otros cuya verificación se realizará en el futuro y, por lo tanto, corresponden a proyecciones de distintas variables.

La importancia de la proyección radica en que los efectos de las modificaciones o exigencias adicionales impuestas al privado tienen una magnitud distinta dependiendo del valor que toman determinadas variables en el tiempo. Por ejemplo, si la exigencia adicional impuesta a través de una renegociación corresponde a la provisión de un servicio determinado, el servicio por lo general tendrá un costo de provisión que depende del número de servicios prestados. En este caso, la inclusión objetiva de una modificación

en el contrato determina un efecto que *a priori* no se conoce y que, consecuentemente, debe ser estimado. La magnitud real de las modificaciones contractuales o costo adicional en que debe incurrir el privado estará determinado por el número de servicios que efectivamente se presten durante el periodo entre la fecha en que se hace efectiva la modificación del contrato y la fecha de término del mismo, que puede ser la original o una fecha posterior en el caso de haberse modificado además el plazo del contrato.

Una distinción útil es separar las variables de predicción en tres categorías:

- variables macroeconómicas,
- variables internas no afectadas por la modificación y
- variables internas afectadas por la modificación.

En el primer grupo se encuentran todas aquellas variables relacionadas con el desempeño de la economía en el tiempo, como pueden ser la inflación, el crecimiento del PIB, el tipo de cambio, entre otras.

En el segundo grupo están aquellas variables que involucran un costo o un beneficio para el privado, pero que no están directamente afectadas por la modificación contractual que se implementa por la vía de la renegociación, sino que dependen del valor efectivo que puedan tener variables macroeconómicas o externas al proyecto. El principal ejemplo de este tipo de variables es la demanda por los servicios de la APP/concesión. Por ejemplo, si se analiza una autopista interurbana, la demanda se refiere al flujo vehicular para los distintos tipos de vehículo desde el momento de la modificación y hasta el término del plazo contractual. En general se acepta que la demanda vehicular está principalmente determinada por la actividad económica, esto es, por el crecimiento o nivel absoluto del PIB.

En el tercer grupo se encuentran finalmente los costos de inversión, operación y mantenimiento asociados a la modificación contractual propiamente tal. Si se piensa en la realización de obras adicionales, estas variables se refieren al costo de inversión de las obras y su costo de OyM. Si se trata de la inclusión de un nivel de servicio como responsabilidad del privado, estas variables se refieren al costo de provisión del servicio en el tiempo y al costo de inversión inicial necesario para prestar el servicio. En este sentido, se deben analizar las proyecciones utilizadas en un modelo de restablecimiento del régimen económico-financiero del contrato desde dos perspectivas distintas: pertinencia y criterio de restablecimiento del régimen económico-financiero del contrato.

Para establecer la pertinencia cabe recordar dos elementos:

- El primero se relaciona con los elementos que bajo la legislación respectiva son susceptibles de ser reconocidos como una responsabilidad adicional del privado, a partir de lo cual se justifica su compensación por parte del Estado.
- El segundo elemento se vincula con la verificación de si en el contrato la responsabilidad está explícitamente asignada al privado (en cuyo caso no sería pertinente) o explícitamente asignada al concedente o al Estado (por lo que sí procede la pertinencia).

La segunda perspectiva corresponde al establecimiento de una mezcla compensatoria que al ser analizada junto al costo de las modificaciones cumpla la condición de configurar un VAN igual a cero. Sobre este punto, se requieren mecanismos metodológicos para determinar la tasa de descuento.

Si tras modificar las variables económicas del contrato, analizar las exigencias adicionales al privado y modificar las variables económicas según corresponda se tiene que el VAN del conjunto de modificaciones y exigencias, descontados a la tasa adecuada, es igual a cero, conceptualmente indica que **el efecto de las nuevas exigencias fue adecuadamente compensado por el conjunto de modificaciones compensatorias**. Es decir, el régimen económico-financiero del contrato fue restituido.

**¿Qué proyecciones son entonces necesarias para restablecer el régimen económico-financiero del contrato?** Bajo los argumentos anteriores, deberían ser todas aquellas que influyen en forma directa en los costos de inversión, costos de OyM o en los beneficios asociados a una obra adicional o nivel de servicio adicional, que cumpla los criterios de pertinencia para su compensación y tenga efectos en el periodo comprendido entre la fecha de la modificación y la de terminación del contrato. En otras palabras, se debe cumplir con:

- relación directa con las obras o nivel de servicios adicionales,
- pertinencia y
- periodo de influencia.

Los métodos contemplados para considerar estas proyecciones se agrupan en dos categorías: exógenos y endógenos:

- Los exógenos se refieren a la carga al sistema de proyecciones que provienen de fuentes externas, como informes de economistas, estudios de demanda, proyecciones del Banco Central, entre otras.
- Los endógenos se refieren a la posibilidad de realizar estimaciones al interior del modelo, las que estarán restringidas a la información histórica o real disponible a la fecha y a los métodos usuales de proyección, esto es: proyectar la misma tasa de crecimiento de los últimos periodos para la variable, anclar la proyección de la variable a un polinomio basado en otras proyecciones, como las macroeconómicas, entre otras.

En conclusión, lo que se requiere para poder analizar una renegociación y estimar su efecto tanto sobre la sostenibilidad fiscal como sobre la optimización del contrato es disponer de mecanismos simples que permitan:

- verificar que el monto estimado para las obras adicionales es el correcto,
- estimar la tasa de descuento para establecer la compensación,
- estimar el efecto de un aumento de tarifa sobre los ingresos dada la elasticidad de la demanda y
- estimar el efecto de un aumento de plazo sobre los ingresos en función de las proyecciones.



# Pasivo contingente por terminación anticipada del contrato



## 7.1. Antecedentes

La terminación anticipada (TA) de un contrato APP se refiere a su finalización antes de la fecha prevista. Hay múltiples causas que pueden producir una TA: algunas pueden ser por razones imputables al inversionista privado o concesionario y otras por responsabilidad del sector público. También puede haber TA por causales atribuibles a eventos de fuerza mayor. En cualquier caso, se deben valorar compensaciones por los perjuicios que la TA genera a cada una de las partes involucradas.

No obstante la existencia de una gran cantidad de causales para la TA en los contratos APP, este fenómeno no tiene una alta probabilidad de ocurrencia. La base de datos del Banco Mundial sobre la participación privada en infraestructura para el periodo 1980-2020 (Banco Mundial, 2020), reporta que 624 de los 10.664 proyectos desarrollados con participación del sector privado, registrados y llevados a cabo en países emergentes, se terminaron antes del plazo contractual, lo cual representa el 5,9%, tal como se muestra en el cuadro 7.1.

Las TA hacen referencia a proyectos APP que han sido cancelados, ya sea por el gobierno, el inversionista privado o eventos de fuerza mayor. También incluye a aquellos proyectos APP que se encuentra con dificultades, es decir, en los que el gobierno o el inversionista privado solicitan la cancelación del contrato o el arbitraje internacional. El cuadro 7.1 muestra que las terminaciones anticipadas se han dado en todas las regiones del mundo.

## Cuadro 7.1. TA en proyectos APP en países emergentes

Región	Terminación anticipada	Total	Porcentaje
Asia Oriental y el Pacífico	104	2.946	3,5%
Europa y Asia Central	44	1.379	3,2%
ALC	367	3.897	9,4%
Oriente Medio y África del Norte	7	234	3,0%
Asia Meridional	43	1.560	2,8%
África Subsahariana	59	648	9,1%
<b>Total</b>	<b>624</b>	<b>10.664</b>	<b>5,9%</b>

Fuente: Adaptado de Banco Mundial (2020).

Existen diversos mecanismos para valorar la TA y en muchos contratos se establece de manera explícita la metodología de cálculo que determina el monto a pagar en caso de producirse un evento que gatille la TA. Es decir, se conoce el monto a pagar en caso de ocurrencia del evento, pero se desconoce cuál es su probabilidad de ocurrencia. La metodología aquí propuesta pretende estimar dicha probabilidad, con base en la ocurrencia de *default* financiero.

Para un inversionista privado, el impacto de una TA implica que deja de percibir ingresos por concepto de tarifas cobradas a los usuarios y/o pagos desde el gobierno y, por lo tanto, no es posible obtener la rentabilidad esperada por la inversión realizada. En esta misma línea, para los financiadores del componente de deuda del proyecto, una TA incrementa la probabilidad de no contar con los recursos para el repago completo de la deuda dado que esta generalmente se acelera.

Por el lado de la autoridad (o concedente), significa hacerse cargo de un proyecto de infraestructura pública, que, dependiendo de la etapa en que se produzca la TA, puede estar inconcluso o no contar con un operador y consecuentemente generar pérdidas de beneficios sociales para la población al retrasarse la puesta en operación plena del proyecto. En este contexto la autoridad se debe hacer cargo de una compensación con base en la regulación establecida en el contrato.

Por lo tanto, el riesgo de una TA, es decir: la probabilidad de que ocurra y su consecuencia, debe ser analizado en las distintas etapas del proyecto APP con el objeto de valorar el pasivo contingente que la autoridad incurriría producto de una TA. Generalmente, la regulación de la TA en los contratos de APP implica que los efectos de una TA en términos de desembolsos

a realizar quedan bajo responsabilidad de la autoridad y, en consecuencia, constituye un riesgo fiscal.

## 7.2. Causas de la TA

Una gran variedad de causas pueden provocar la TA de un contrato APP, las cuales pueden clasificarse según la etapa del contrato APP en la que la TA ocurre:

- etapa de diseño,
- durante la construcción y
- durante la operación.

También pueden clasificarse según su origen en los siguientes grupos:

- causas atribuibles al inversionista privado o concesionario,
- decisión de la autoridad y/o causas imputables a la autoridad o concedente, y
- eventos de fuerza mayor.

La TA también puede tener su origen en una combinación de factores, como por ejemplo, la ocurrencia de un evento de fuerza mayor, como es la pandemia por la COVID-19, puede provocar que algunos contratos de aeropuertos vean reducidos sus ingresos de tal forma que les impida hacer frente a sus obligaciones financieras y esto lleve a que de común acuerdo entre el concesionario y el concedente se decida poner término de manera anticipada al contrato APP.

Dentro de las causas imputables al inversionista privado o concesionario se pueden señalar las siguientes:

- Quiebra de la SPE, lo que genera insolvencia e imposibilidad para cumplir sus compromisos con las instituciones financieras y la operación del proyecto.
- Incumplimiento en los niveles de servicios (KPI, por sus siglas en inglés) de acuerdo a la regulación contractual establecida.
- Acumulación de sanciones o penalidades en el periodo de un año calendario de la fase de explotación, superior al monto máximo permitido en el contrato.
- Incumplimiento en constituir el capital inicial en el plazo estipulado en el contrato.

- Imposibilidad de cumplir ciertos hitos constructivos obligatorios y terminar en tiempo y forma la etapa de construcción del proyecto, de acuerdo a la regulación contractual.
- Incumplimiento reiterado de las medidas ambientales señaladas en el contrato.
- No constitución de las garantías de construcción o explotación en las condiciones establecidas en el contrato.
- Cesión del contrato sin autorización expresa del concedente.
- Incumplimiento de las normas de conservación y mantenimiento de la obra en un número establecido en el contrato.

La TA por responsabilidad o decisión unilateral de la autoridad o concedente se produce por las siguientes causales:

- Decisión política: el gobierno de turno puede no estar de acuerdo con las APP en un determinado sector y decide poner término en forma anticipada a todos los contratos de APP en este sector.
- Interés público: necesidad de satisfacer demandas colectivas representadas por el Estado.
- Cambio de normativa: cambios en las leyes o normativas internas de un país, como por ejemplo la regulación ambiental, pueden impedir que sigan en funcionamiento ciertos proyectos u obligar a la adopción de nuevas tecnologías cuyo costo afecta el equilibrio económico de los contratos APP.

También la TA se puede originar por incumplimientos de la autoridad y en esos casos es el inversionista privado o concedente el que la invoca. Ejemplos de este tipo de situaciones pueden ser los reiterados atrasos en los pagos, no otorgamiento de los permisos y autorizaciones de construcción u operación establecidas en los contratos o incumplimiento de una obligación contractual por parte de la autoridad que le impida al inversionista privado proveer el servicio.

En cualquiera de estos casos es importante tener presente los siguientes principios:

- Principio de compensación: el inversionista privado o concesionario debería ser compensado de manera que no se encuentre en una posición “ni mejor ni peor” que si siguiese con el contrato APP.
- Principio de enriquecimiento injusto: la autoridad no debe enriquecerse de forma injusta por medio de la TA del contrato APP. En este

sentido, la compensación pagada al inversionista tendría que estar relacionada al valor del proyecto en el momento de la TA. La autoridad no podría quedarse con un activo cuyo valor es mayor a lo pagado.

- Principio de compensación a los terceros interesados: la autoridad debe evaluar las compensaciones que deben realizarse y que afectan a diversas partes interesadas del proyecto, especialmente proveedores y financistas.

Por último, los eventos de fuerza mayor son situaciones completamente ajenas a las partes, los cuales impiden el desarrollo de las labores acordadas en el contrato. Algunos ejemplos son terremotos, inundaciones, pandemias y guerra.

### 7.3. Metodología para estimar el pasivo contingente

Como se mencionó en la sección anterior, hay una gran cantidad de causas que pueden llevar a la TA de un contrato. Esto hace poco práctico aproximarse al problema a través de la metodología de árboles de probabilidad utilizada en la valoración de pasivos contingentes de litigios y arbitrajes, ya que se requeriría contar con una base de datos enorme para poder estimar la probabilidad de ocurrencia de cada una de las ramas y cada rama tendría una probabilidad de ocurrencia pequeña, ya que la suma de la probabilidad de todas las ramas es inferior al 10%, como se mostró en el cuadro 7.1.

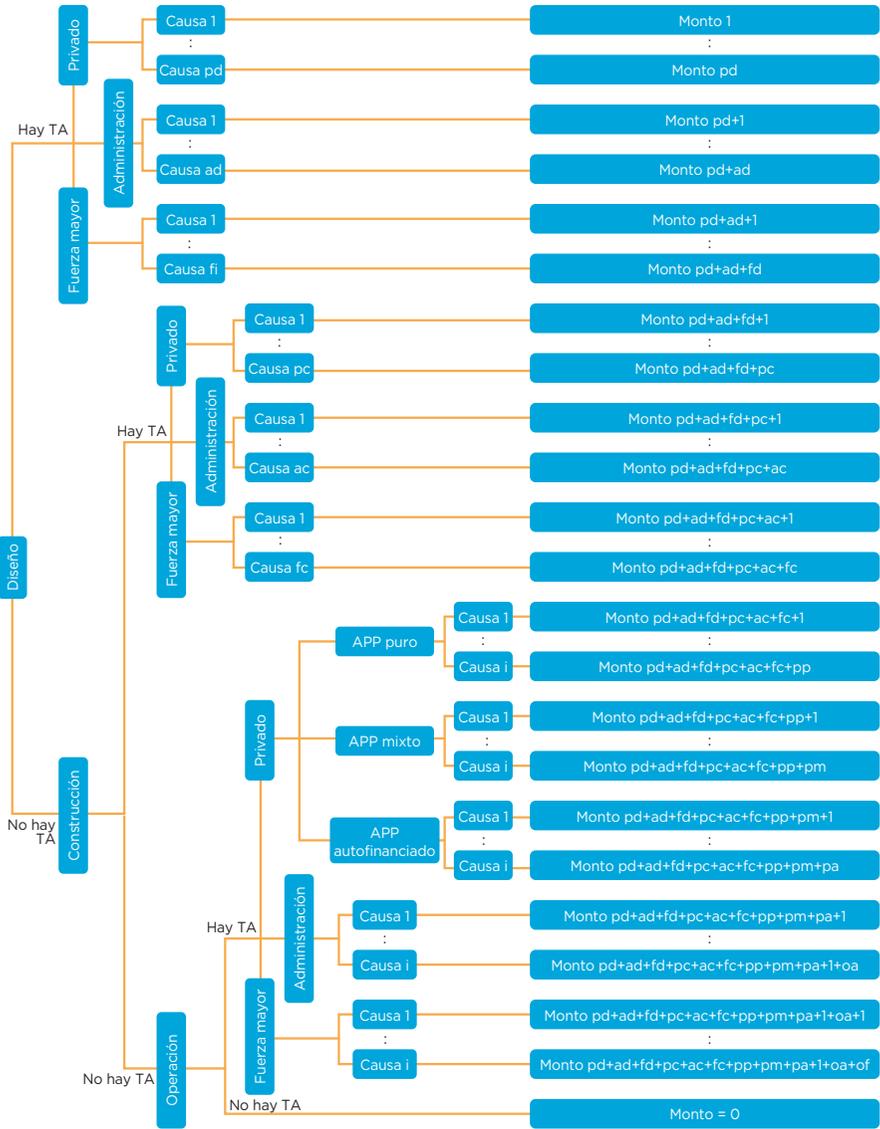
Incluso si se llegase a disponer de toda la información requerida, permanecería el problema del cuándo. Es como el caso de los terremotos, se sabe que van a ocurrir, pero no cuándo ni en qué magnitud. Afortunadamente, en este caso es posible conocer o al menos estimar la magnitud, ya que en muchos contratos APP aparece regulado en forma explícita el monto a pagar por TA o bien alguna metodología para calcularlo.

En efecto, tal como se describe en el recuadro 7.1, actualmente hay tres metodologías predominantes para valorar la TA, asumiendo que esta ocurre en un determinado año:

- basada en el valor libro o contable,
- basada en la deuda remanente y
- basada en el valor de mercado.

Las tres metodologías se utilizan para estimar el valor del contrato APP y con base en esto estimar la compensación que debe entregarse al inversionista

**Gráfico 7.1. Árbol de probabilidades aplicado a TA**



Fuente: Elaboración propia.

## Recuadro 7.1. Método de valoración de la TA

Tomando como referencia a Deloitte (2021), a continuación se presenta un resumen de los métodos de valoración de la TA.

### i. Valor libro o contable (*Book Value*)

La compensación se determina en función del valor en libros (valor contable) del activo objeto de la TA, es decir, se toma como punto de partida el valor de la inversión en la infraestructura en el momento de la TA. La forma de calcular este valor puede variar dependiendo del momento en que ocurra la TA (fase de construcción o de operación).

Cuando la TA tiene lugar durante la fase de **construcción** el cálculo de la compensación se basa en el grado de avance de las obras y/o equipamiento e importe de la inversión efectivamente realizada hasta la fecha.<sup>a</sup> El cálculo para determinar el monto de la inversión a compensar o restituir suele estar definido en el contrato APP. Como norma general, este cálculo incluye los siguientes conceptos: inversión certificada por ingeniero independiente, gastos financieros y de estructuración hasta la fecha y otros gastos vinculados a la construcción y puesta en funcionamiento de la infraestructura.

Durante la fase de construcción, la forma de aplicar el método del *Book Value* es la misma para los activos inmovilizados materiales e inmovilizados intangibles: no obstante, cuando la TA tiene lugar durante la fase de operación pueden existir diferencias en la metodología al llevar a cabo la valoración.

Una vez que la concesión está en **operación**, el importe de la compensación se calcula a partir del valor del activo inmovilizado neto. El activo inmovilizado neto equivale al importe total de la inversión<sup>b</sup> menos la amortización (depreciación) acumulada hasta la fecha de la TA. Es común que en los pliegos se defina cómo calcular la amortización del activo fijo (infraestructura) a efectos del cálculo de la TA y este método no siempre coincide con la amortización contable del activo. Por ejemplo, en una concesión de carreteras se puede amortizar en función de los tráficos a efectos contables, pero en lo que respecta a la TA se aplica una amortización lineal.

Una de las limitaciones de esta metodología es que los criterios contables empleados para el cálculo de la amortización pueden variar a lo largo del plazo de la concesión, lo que puede dar pie a disputas entre las partes y variaciones en el importe de la compensación. Esto es particularmente relevante cuando en los pliegos no se define de forma clara cómo calcular la amortización a efectos del cálculo de la TA.

*(continúa en la página siguiente)*

## Recuadro 7.1. Método de valoración de la TA *(continuación)*

Una vez definido el *Book Value* del activo, es necesario ajustar dicho valor en función de la causa de la TA para definir la compensación final.

### II. Monto de deuda remanente (*Financing Based*)

El método de *Financing Based* valora el importe de la compensación por TA con base en el valor del pasivo o de deuda y del *capital de riesgo aportado* por el concesionario, en lugar de su activo. En este sentido, en el momento de la TA se toman como punto de partida los saldos pendientes de pago de las diferentes fuentes de financiación a las que ha recurrido el concesionario para llevar a cabo el proyecto.

Cabe destacar que en el método de *Financing Based*, la financiación de terceros<sup>c</sup> y el capital de riesgos (*equity*) se valoran empleando metodologías diferentes. Asimismo, dependiendo de la casuística de la TA, el importe de la compensación incluirá tanto el valor de la financiación de terceros como del *equity* o únicamente el de la financiación de terceros a efectos de considerar como compensación o costo, según el caso, los daños y perjuicios ocasionados por la TA.

#### *Financiación de terceros*

Por una parte, se valoran los recursos aportados por terceros, lo que incluye, entre otros, deudas senior y subordinadas de terceros, así como líneas de crédito (para el impuesto de valor añadido, por ejemplo). A este nivel, es importante que en el contrato APP se definan claramente qué conceptos ligados a la financiación de terceros quedan cubiertos por la autoridad contratante en caso de TA. Como norma, los acreedores exigirán que la autoridad contratante asegure los siguientes conceptos:

- Saldo insoluto de la deuda en el momento de la TA.
- Intereses devengados y pendientes de pago en el momento de la TA.
- Cualquier otro gasto financiero (intereses retrasados, penalidades, *fees*, etc.) pendiente de pago en el momento de la TA.
- Costes de ruptura de los contratos de financiación como los *fees* por amortización anticipada de la deuda o los costes/ingresos de ruptura de derivados.

La ruptura de los derivados contratados para cubrir riesgos financieros del proyecto puede dar lugar a un coste o un ingreso relativamente altos. Por ese motivo, es importante que en los contratos quede claro cómo se consideran a

*(continúa en la página siguiente)*

## Recuadro 7.1. Método de valoración de la TA *(continuación)*

efectos de la compensación o restitución. En caso de que la ruptura del derivado genere un ingreso, este se deducirá de la compensación a pagar por la autoridad contratante. Del mismo modo, la autoridad contratante y sus asesores deben revisar los contratos de financiación para entender cabalmente a qué se enfrentan en caso de TA.

### *Capital de riesgo (equity)*

Por otra parte, se valoran los recursos aportados por los accionistas de la concesión, entre los que se incluyen el capital aportado, reservas acumuladas, beneficios no distribuidos o préstamos subordinados de accionistas. En este caso, no se parte del saldo de estas cuentas para cuantificar el importe del pago, sino que se emplea uno de los tres métodos que se presentan a continuación.

- I. *Original Return*: se toman los flujos de caja de los accionistas desde el inicio de la concesión hasta el momento de la TA y se calcula el pago de manera que, junto con estos flujos, permita alcanzar a los accionistas la rentabilidad de capital definida en el caso base del modelo económico-financiero de oferta (MEF) (rentabilidad del contrato en equilibrio económico y financiero).

La principal ventaja de este método es que es fácil de implementar. La información necesaria está disponible en los estados financieros de la SPE y en el MEF de oferta. Por este motivo, también deja un menor margen para la aparición de disputas entre las partes.

Una de sus principales limitaciones es que no está alineada con el principio de riesgo y ventura del concesionario, ya que penaliza a aquellos concesionarios que han sido capaces de conseguir una rentabilidad superior a la de oferta y favorece a los que no han sido capaces de gestionar el proyecto de acuerdo a lo estimado en la oferta. Esta limitación también podría resultar en un incentivo perverso para que la autoridad contratante termine voluntariamente concesiones en operación donde el concesionario esté obteniendo una rentabilidad sustancialmente superior a la prevista en la oferta.

- II. *Valor de mercado (Market Value)*: la compensación se basa en el precio al que podrían venderse las acciones de la concesionaria en el momento de la TA, bajo el supuesto que la TA no hubiera tenido lugar y el contrato APP se hubiera desarrollado con normalidad. En el caso de una concesión, como el plazo es limitado, lo más habitual es que para la valoración

*(continúa en la página siguiente)*

## Recuadro 7.1. Método de valoración de la TA (continuación)

se emplee el método de descuento de flujos de caja. Es decir, que el *Market Value* o precio de la acción se calcula descontado estos flujos al momento de la TA. Al aplicar este método lo más complicado es definir la tasa de descuento a emplear. A diferencia del *Original Return* y el *Future Return*, donde los flujos se actualizan a la rentabilidad del caso base, con este método es necesario definir una tasa de descuento de mercado. Al aplicar este método, también será necesario estimar los flujos de caja futuros que pueda generar el proyecto dado que es probable que estos difieran de las proyecciones incluidas en el MEF de oferta.

Cuando se aplica correctamente, este método se suele considerar más justo que el *Original Return* y *Future Return* dado que tiene en cuenta el estado del proyecto en el momento de la TA y se calcula como el valor razonable que estaría dispuesto a pagar un tercero por entrar en el accionariado de la empresa concesionaria. Sin embargo, también es el más complicado de aplicar, lo que implica que existe una mayor probabilidad de disputas entre las partes (la autoridad contratante puede considerar que el importe de la compensación es excesivo mientras que el concesionario puede no sentirse cómodo con el grado de incertidumbre implícito de este método).

- III. *Future Return*: el cálculo de la compensación es el mismo que para el *Market Value* con la diferencia de que, en lugar de descontar los flujos de caja esperados por el concesionario (obtenidos del MEF de oferta) a una tasa de mercado, estos se descuentan con la rentabilidad del caso base. A diferencia del *Original Return*, esta opción penaliza en menor medida al concesionario que esté llevando a cabo una buena gestión del proyecto, puesto que no parte de la rentabilidad pasada, aunque tampoco tiene en cuenta esta rentabilidad a la hora de descontar los flujos futuros. Además, es un cálculo relativamente sencillo de implementar y menos propenso a generar disputas entre las partes que el *Market Value* (siempre y cuando se parta de la rentabilidad y los flujos futuros definidos en el MEF de oferta).

Otro punto a tener en cuenta cuando se aplica este método es que el concesionario pueda haber refinanciado el proyecto antes de la TA, lo que podría dar lugar a una compensación que no se ajuste con la realidad del proyecto, debido al cambio de las condiciones del financiamiento logrado con el refinanciamiento. En este caso, es importante regular

(continúa en la página siguiente)

## Recuadro 7.1. Método de valoración de la TA (continuación)

de antemano el efecto de cualquier refinanciación o reequilibrio a la hora de aplicar este método.

Si la TA tiene lugar **durante la fase de construcción**, el empleo del método *Financing Based* presenta algunas particularidades. En el caso de la valoración de la financiación de terceros, se opta por la aportación de recursos de la deuda hecha hasta la fecha junto con los conceptos anteriormente descritos y, de darse el caso, los gastos financieros que se hayan generado fruto de la capitalización de intereses generados durante la etapa de construcción. En lo que respecta al *equity*, en el momento de la TA no se habrán realizado distribuciones de dividendos a los accionistas y, a su vez, es posible que no se haya dispuesto de la totalidad del *equity*. Por estos motivos, las opciones de valoración se limitan al *Market Value* y al *Original Return* tomando como punto de partida el *equity* realmente desembolsado. Emplear el método de *Future Return* que parte de los flujos proyectados en el caso base del MEF puede dar un resultado que no se corresponda con la realidad de la concesión.

Adicionalmente, en este caso la base del cálculo de la compensación es el pasivo de la concesión, por lo tanto, la metodología se aplica de la misma forma con independencia de que contablemente el proyecto esté clasificado como un activo financiero, activo inmovilizado material o un inmovilizado intangible.

Por último, en lo que respecta a la financiación de terceros, cuando *Financing Based* asegura el repago de todos los saldos pendientes, la bancabilidad del proyecto mejora notablemente al eliminarse el riesgo de impago de la deuda en caso de TA. Esto último genera que el proyecto se vuelva más atractivo y de más confianza al mercado (para *sponsors*, entidades financieras, inversores, etc.) lo que aumenta la concurrencia.

### III. Valor de mercado (*Market Value*)

A diferencia de los dos métodos descritos anteriormente, el *Market Value* no toma como punto de partida los estados financieros de la SPE, sino que en este enfoque la compensación se basa en el valor de mercado (valor razonable) del proyecto en el momento de la TA. Es decir, en el valor presente de los flujos de caja que puede generar el proyecto desde el momento de la TA hasta el final del contrato APP descontados a una tasa de descuento de mercado.

El valor de mercado real se determina volviendo a licitar el proyecto, instancia en la que la oferta de mayor importe determina su valor de mercado. Sin

(continúa en la página siguiente)

## Recuadro 7.1. Método de valoración de la TA *(continuación)*

embargo, existen situaciones en las que la relicitación no es posible: en estos casos habrá que estimar el valor de mercado a partir de la versión más actualizada del modelo financiero del proyecto.

Este método de valoración se suele considerar más preciso que el *Book Value* y el *Financing Based* dado que el pago de la autoridad contratante es igual al valor real del proyecto en el momento de la TA. De la misma forma, el cálculo es más complicado y genera una mayor incertidumbre para las partes en lo que respecta al monto de la compensación. Por lo tanto, si el cálculo no está bien definido en el contrato APP, genera incertidumbre lo que aumenta el riesgo de los proyectos APP e incrementa su coste.

La relicitación no es siempre una opción viable puesto que es necesario que el proyecto se encuentre en un mercado concesional lo suficientemente líquido y maduro, lo cual, en la práctica, puede resultar difícil. Así mismo, los acreedores pueden ser reacios a este tipo de valoraciones dado que no se asegura el repago de las deudas. También hay que tener en cuenta que una relicitación implica costes de transacción<sup>4</sup> muy elevados a los que tendrá que hacer frente la autoridad contratante y que, en su caso, pueden repercutir al concesionario al descontarlos de la compensación final.

Para reducir el riesgo de impago, es habitual que los acreedores financieros estipulen en los contratos de financiación que el pago de la compensación tendrá prelación sobre otros conceptos. En este sentido, no se podrán hacer repartos de dividendos a los accionistas hasta que no se liquiden la totalidad de los saldos pendientes con las entidades financieras y otras terceras partes vinculadas al proyecto.

Cuando el mercado no reúna las condiciones necesarias para relicitar la concesión, deberá realizarse una estimación de su valor de mercado. Este método no implica incurrir en gastos de transacción y es más simple y rápido, aunque puede no reflejar el valor real del proyecto. En este caso, lo más habitual es partir del MEF de oferta. Con esta herramienta se proyectan los flujos de efectivo del proyecto y se descuentan hasta el momento de la TA, lo que permite determinar el importe de la compensación. A la hora de aplicar este método es necesario tener en cuenta lo siguiente:

- Es muy probable que el MEF de oferta no se haya actualizado desde la oferta y que, desde entonces, la concesión haya sufrido cambios importantes. En este contexto, sobre todo si se va a rescindir el contrato,

*(continúa en la página siguiente)*

## Recuadro 7.1. Método de valoración de la TA (continuación)

será necesario actualizar las proyecciones del MEF para que se ajusten a la realidad del proyecto. Por ejemplo, en una concesión de carreteras con riesgo de demanda, si los tráficos históricos han sido inferiores a los previstos en el MEF de oferta, deberían recalcularse las proyecciones actualizando los tráficos en línea con la curva real y no mantener los datos originales.

- Para realizar esta estimación, es necesario actualizar el MEF, llevar a cabo debidas diligencias (*Due Diligences*), revisar los aspectos legales de los contratos, etc., para lo cual se contratarán diferentes asesores (legales, técnicos, financieros, etc.). Esto implica un coste de transacción, que si bien inferior al de relícitar el contrato, deberá tenerse en cuenta en la valoración final.
- Se debe definir qué tasa de descuento emplear. La rentabilidad de oferta puede no corresponderse con el perfil de riesgo del proyecto en el momento de la TA, lo que implica que habrá que actualizarla, al igual que la proyección de los flujos de efectivo.

Fuente: Deloitte (2021).

Notas:

<sup>a</sup> Existen contratos donde el importe de la inversión efectivamente realizada se limita a los bienes reversibles o transferibles a la autoridad contratante, y se excluyen conceptos como el equipo y maquinaria adquiridos para llevar a cabo los trabajos (por ejemplo, la tuneladora).

<sup>b</sup> Se incluyen, como norma, todos aquellos gastos directamente vinculados a la puesta en funcionamiento de la infraestructura (gastos financieros, gastos de estructura durante construcción, etcétera).

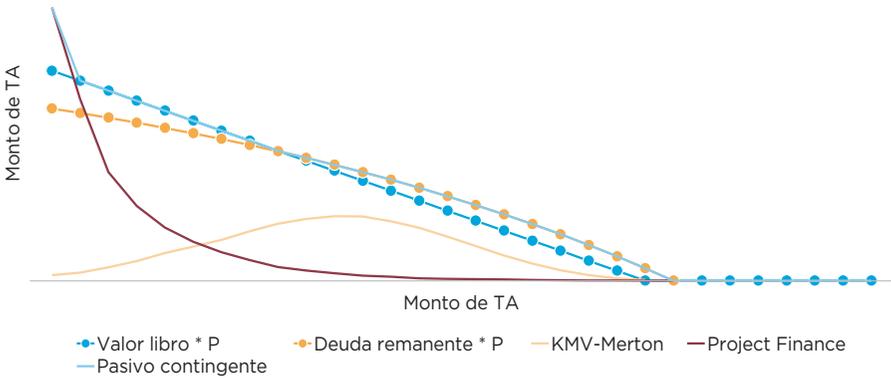
<sup>c</sup> Todos aquellos financiadores que no forman parte del accionariado de la concesión.

<sup>d</sup> Son los costes resultantes de volver a licitar el proyecto, tales como asesores en la estructuración y definición de los pliegos, etcétera.

privado para terminar en forma anticipada al contrato. Esto constituiría el monto a desembolsar en caso de que ocurriese la TA, por lo que cabe preguntarse: ¿cuánto debe considerarse como pasivo contingente?

Para responder a dicha pregunta se plantea la presente metodología, que consiste en analizar todas aquellas ramas del gráfico 7.1 para las cuales se tenga información y asumir que la TA ocurrirá por dicha causa, dejando de lado por un momento la probabilidad de ocurrencia de la rama bajo análisis. Finalmente, la TA será la envolvente de todos los cálculos efectuados. Gráficamente se puede visualizar como se muestra en el gráfico 7.2.

## Gráfico 7.2. Metodología propuesta para TA



Fuente: Elaboración propia.

En términos generales se tiene lo siguiente:

$$PC_i = \max[p \times TA_i; PCDF_i; PC_j^1; \dots \dots ; PC_j^n]$$

Donde:

- $PC_i$ : es el valor del pasivo contingente por TA para el año  $i$  del proyecto.
- $p$ : es la probabilidad de ocurrencia de la TA en el país de emplazamiento del proyecto. Se puede usar la probabilidad del 9,4% que se muestra en el cuadro 7.1.
- $TA_i$ : es el monto por compensar al inversionista privado o concesionario en caso de ocurrencia de la TA en el año  $i$ , obtenido del contrato APP y/o de la regulación vigente.
- $PCDF_i$ : es el pasivo contingente por *default* financiero correspondiente al año  $i$  del proyecto. Este monto proviene de la multiplicación de la probabilidad de ocurrencia de la TA del año  $i$  ( $\tilde{p}_i$ ), obtenida de la simulación de Monte Carlo, por el monto de la consecuencia de la TA correspondiente al año  $i$  del proyecto; es decir:  $PCDF_i = \tilde{p}_i \times \tilde{TA}_i$  donde  $\tilde{TA}_i$  puede ser el monto de deuda remanente en el año  $i$  del proyecto, el mismo monto utilizado en el primer término ( $p \times TA_i$ ) u otro monto de la TA que se considere pertinente analizar.
- $PC_j^j$ : es el pasivo contingente por la causa  $j$  correspondiente al año  $i$  del proyecto, con  $j=1$  a  $n$ .

Esta metodología se puede ir perfeccionando en el tiempo, al agregar más causales al análisis y quedarse siempre con la envolvente resultante. Mientras más información se tenga sobre el proyecto, mayor será el poder de predicción sobre la probabilidad de ocurrencia de la TA y su impacto.

Por ejemplo, la causal de completamiento de la obra<sup>47</sup> tiene una relación directa con la TA dado que si el proyecto no se termina en un periodo establecido en el contrato APP, entonces se constituye en incumplimiento grave imputable al inversionista privado o concesionario y, por lo tanto, es una causal de TA del contrato. Dentro de las causas de no completamiento del proyecto, se encuentran los sobrecostos o sobreplazos de una magnitud tal que los mitigadores que se establecen en el contrato y con los prestamistas del proyecto no son suficientes para cubrir el mayor sobrecosto.

En este sentido, la práctica muestra que, desde el punto de vista de los acreedores y prestamistas del proyecto, el riesgo de completamiento tiene un procedimiento riguroso en su tratamiento y mitigación. En primer lugar, cualquier sobrecosto hasta un monto K, derivado de mayores costos constructivos por aumentos en las cantidades de obra, aumento de precios de los insumos o sobre plazos, es cubierto generalmente con una carta de crédito (*standby*)<sup>48</sup>, que entregan los patrocinadores del proyecto. Un monto adicional igual a Z es cubierto por un seguro especializado,<sup>49</sup> y cualquier monto superior a Z se cubre a través de un contrato de apoyo entregado por los patrocinadores del proyecto y tratado como capital contingente desde el punto de vista del financiamiento del proyecto. El contrato de apoyo se suscribe entre los accionistas de la SPE, que tiene firmado el contrato APP con el gobierno, y los financistas del proyecto.<sup>50</sup> Bajo este contrato se asegura al banco o financista(s) que si las contingencias que se prevé puedan producir efectos que coloquen en riesgo la viabilidad del proyecto llegasen a concretarse, los socios realizarán todas aquellas diligencias necesarias para subsanarlas o mitigar el impacto económico que pudieran tener sobre el desarrollo del proyecto. El contrato de apoyo usualmente establece las

---

<sup>47</sup> Conocido como *completion risk* en inglés.

<sup>48</sup> Las cartas de crédito *standby* (SBLC, por sus siglas en inglés) son documentos, generalmente bancarios, que se utilizan para el evento de incumplimiento de una o más obligaciones de los deudores. Estas obligaciones quedan hasta un determinado monto garantizadas por la SBLC, con lo que el banco emisor contrae la obligación de pagarla en caso de ocurrir el incumplimiento a solo requerimiento del beneficiario que en dicho instrumento queda designado.

<sup>49</sup> Un seguro especializado es *Subguard Insurance*, el cual se utiliza en grandes contratos de construcción para ayudar a manejar el riesgo de incumplimiento de subcontratistas o proveedores.

<sup>50</sup> Este tipo de contratos también se complementa con cartas de resguardo (*Comfort Letters*) que entrega la casa matriz de la empresa deudora (*Parent Guarantee*) a favor de los financistas.

condiciones en virtud de las cuales los patrocinadores estarán obligados a contribuir con fondos adicionales a la SPE. En el contrato de apoyo se establecen de forma explícita los eventos y situaciones en los cuales se gatilla la obligación de aportación de fondos adicionales por parte de los patrocinadores, en la forma de aportes de capital y/o deuda subordinada.

En el ámbito de las empresas clasificadoras, el riesgo de completamiento de obras se analiza bajo enfoques cualitativos. Por ejemplo, Fitch Ratings (2020) toma en consideración cuatro atributos cualitativos: (i) complejidad, escala y plazo del proyecto, (ii) experiencia del contratista para implementar la etapa de construcción del proyecto, (iii) disponibilidad de contratistas de reemplazo y (iv) diseño del contrato de construcción firmado entre la SPE y el constructor.

Por su parte Moody's (2019) analiza cinco elementos: (i) la manera como el riesgo de construcción está asignado entre el sector público y el privado, (ii) la complejidad del proyecto, (iii) el grado de desarrollo de los estudios de ingeniería para su desarrollo (*project readiness*), (iv) el grado de resiliencia del constructor a los sobrepazos y sobrecostos y (v) la capacidad del proyecto de adaptarse y ser resiliente a un cambio en el cronograma que se ha producido por sobrepazos.

Ambos clasificadores emplean un esquema de niveles (*notches*) para clasificar los distintos aspectos del riesgo de construcción indicados y poder así incorporar dicho riesgo en la clasificación de riesgo global del proyecto.

Para la valoración e inclusión del pasivo contingente por TA derivado de un riesgo de completamiento de obras dentro de sus análisis, lo más importante es que el gobierno considere la complejidad del proyecto, la forma de asignación del riesgo de construcción, las cláusulas específicas que han sido diseñadas y la experiencia del constructor en proyectos de características similares. Para lo anterior es importante clasificar los proyectos según sus grados de complejidad como sigue:

1. Edificios estándares. Son proyectos de una complejidad baja que no requieren especificaciones de diseño especiales ni distintas a las definidas como normales en el mercado. Dentro de esta tipología se encuentran los edificios de oficinas públicas, y para cuidado médico de mediana y baja complejidad, las prisiones de mediana y baja seguridad y los terminales aeroportuarios, entre otros.
2. Edificios complejos. Son proyectos de una complejidad alta que precisan especificaciones de diseño arquitectónico especiales, cuyo sitio es de topografía complicada y tienen restricciones de espacio para construir.

Se incluyen los hospitales y prisiones de alta complejidad y seguridad, y la rehabilitación y restauración de edificios antiguos, entre otros.

3. **Infraestructuras estándares.** Son proyectos de una complejidad baja que no consideran especificaciones de ingeniería especiales ni geología difícil de abordar. Dentro de esta tipología se encuentran las carreteras nuevas, ciclovías y parques, incluyendo la revitalización de espacios públicos.
4. **Infraestructuras complejas.** Son proyectos de una complejidad alta que consideran especificaciones técnicas de ingeniería especiales, geología difícil de abordar, tiempo de construcción superior a los tres años y muchos elementos interactivos con la comunidad. Dentro de esta tipología se encuentran los túneles, puentes y carreteras en terrenos con dificultades para construir, represas y, en general, megaproyectos con alto impacto en la población.

Los proyectos en los cuales el gobierno debe colocar especial atención para el análisis del pasivo contingente por causas de riesgos constructivos son los de las tipologías 2 y 4.

También se puede incorporar al análisis el desempeño del inversionista privado o concesionario, en la medida que vayan transcurriendo los años de operación del proyecto y se puedan recolectar suficientes datos para hacer un análisis probabilístico basado en los indicadores de niveles de servicio. En efecto, los contratos APP regulados por niveles de servicio son cada vez más en ALC. De manera general, la contratación por niveles de servicio<sup>51</sup> es una forma de contratación pública basada en la compra de servicios y no de activos. Se trata de un contrato de gestión de largo plazo en donde el sector público como mandante define qué necesita y el sector privado determina cómo satisfacer dichas necesidades. Es decir, el primero especifica las tareas a ser desempeñadas y/o los resultados a ser alcanzados por un producto o activo, sin describir necesariamente el método para lograrlo sino orientándose al servicio que el activo proporciona al usuario; por su parte, el sector privado se compromete en el largo plazo a proporcionar los servicios y dar cumplimiento a los indicadores que se establecen para lograrlo. De esta forma, la regulación del sector público se centra en definir los servicios que se compran y en supervisar que dichos servicios sean provistos de acuerdo a los estándares e indicadores preestablecidos en los contratos.

---

<sup>51</sup> Puede entenderse también como un contrato por especificaciones funcionales, por estándares o por resultados.

En la mayoría de los contratos regulados por niveles de servicio se establece como causal de incumplimiento grave del inversionista privado o concesionario que los indicadores de niveles de servicio no sean provistos en la forma como el contrato los regula. Si hay periodos sucesivos de incumplimiento de los indicadores, entonces el contrato se termina anticipadamente y se procede a liquidar el contrato según la cláusula establecida para tal fin.

En la siguiente sección se aborda la TA causada por *default* financiero o quiebra del inversionista privado o concesionario (*PCDF<sub>i</sub>*).

#### 7.4. TA por incumplimiento (*default*) financiero

La TA por incumplimiento financiero ocurre en la etapa de operación del proyecto y será estimada siguiendo dos enfoques (Aragonés, Blanco e Iniesta, 2012). Uno se basa en la liquidez del proyecto y su capacidad para cumplir con los ratios de cobertura de la deuda, que se conoce como enfoque *Project Finance*. El otro se basa en la robustez del proyecto para hacer frente al repago de la deuda, por lo que no interesa la liquidez, sino la capacidad del proyecto de repagar la deuda. Es decir importa que el valor presente de los flujos futuros del proyecto sea superior al monto de deuda remanente. Este enfoque se conoce como KMV-Merton.<sup>52</sup>

Por lo tanto, la fórmula genérica mostrada anteriormente queda reducida a lo siguiente:

$$PC_i = \max[p \times TA_i; PCDF_i] \quad (1)$$

Donde:

- $PC_i$ : es el pasivo contingente por TA para el año  $i$  del proyecto.
- $p$ : es la probabilidad de ocurrencia de TA en el país de emplazamiento del proyecto.
- $TA_i$ : es el monto por compensar a la sociedad concesionaria en caso de ocurrencia de TA en el año  $i$ , obtenido del contrato de concesión.
- $PCDF_i$ : es el valor del pasivo contingente por *default* financiero correspondiente al año  $i$  del proyecto. Este monto se obtiene de la

---

<sup>52</sup> Su nombre proviene de las iniciales de los apellidos de los fundadores en 1989 de la empresa KMV: Stephen Kealhofer, John McQuown y Oldrich Vasicek. La empresa fue pionera en el uso de herramientas de gestión cuantitativa con aplicaciones a riesgos de crédito y fue adquirida en 2002 por la clasificadora de riesgos Moody's Corporation. Véase Moody's (2002)

multiplicación de la probabilidad de ocurrencia, obtenida a través de una simulación de Monte Carlo utilizando alguna de las dos metodologías señaladas anteriormente, por el monto de la consecuencia de la TA, que puede ser aquella especificada en el contrato APP o bien el monto de deuda remanente al momento de producirse la TA.

Para estimar la probabilidad de ocurrencia, lo ideal es contar con información histórica propia de cada país sobre los casos de TA. No obstante, si esa información no estuviese disponible, se sugiere utilizar información histórica de la región en la que se enmarca el proyecto (por ejemplo, ALC).

Por lo tanto, a falta de más información, el término  $p \times TA_i$  para un proyecto en ALC corresponde a la compensación por terminación anticipada según lo regulado en el contrato APP multiplicado por 9,4%. Si en el contrato APP o concesión no se especifica una metodología de valoración para la compensación de terminación anticipada, se puede utilizar cualquiera de las metodologías indicadas anteriormente: valor libro o contable, valor de mercado o monto de deuda remanente.

Por otra parte, el término  $PCDF_i$  se estimará según los dos enfoques que se presentan a continuación.

### **Project Finance**

Esta metodología se basa en el financiamiento a largo plazo de proyectos APP, mediante una estructuración económico-financiera con recursos limitados y donde la deuda es repagada con los flujos futuros del proyecto que este genera, sin la necesidad de emplear garantías. Esta metodología permite a las sociedades de proyecto o SPE obtener el financiamiento necesario para ejecutar el proyecto en función de su viabilidad y su capacidad para generar ingresos, de tal manera que permita cubrir los compromisos de deuda que se derivan de la inversión inicial, los costos de OyM, las tasas impositivas y la rentabilidad de los accionistas de la SPE.

La metodología del *Project Finance* se enfoca en la liquidez del proyecto, ya que cada año se debe verificar si los flujos del proyecto son suficientes para cumplir con los ratios de cobertura del servicio de la deuda (DSCR, por sus siglas en inglés)<sup>53</sup> exigidos por los financistas para el otorgamiento del crédito que posibilitó la materialización del proyecto. Si algún año no se cumple con el DSCR especificado, se recurre a la cuenta de reserva del servicio de deuda

---

<sup>53</sup> *Debt Service Coverage Ratio.*

y si incluso así no es posible cumplir con el DSCR especificado, se materializa la TA del contrato.<sup>54</sup> El monto del pasivo contingente es igual a la probabilidad de *default* multiplicado por la consecuencia, que puede ser el monto de la deuda remanente o bien un monto exógeno establecido en el contrato APP.

El DSCR para un año cualquiera se define como el cociente entre flujo de caja libre para el servicio de la deuda en dicho año y el cupón de la deuda respectivo:

$$DSCR_j = \frac{EBITDA_j - Impuesto_j}{I_j + A_j}$$

Donde:

$EBITDA_j$ : son las utilidades del año  $j$  antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización.<sup>55</sup>

$Impuesto_j$ : es el impuesto a las utilidades en el año  $j$ .

$I_j$ : es el pago de intereses de deuda en el año  $j$ .

$A_j$ : es el pago de amortizaciones de deuda en el año  $j$ .

Para llevar a cabo esta metodología, se modelan los ingresos/demanda del proyecto (EBITDA incluye los ingresos), a través de un MBG, el cual se representa mediante la siguiente ecuación diferencial estocástica:

$$x_{t+1} = x_t + \lambda\mu x_t + \lambda\sigma x_t N(0,1) = x_t \left(1 + \lambda \left[ \mu + \sigma \times \varepsilon \sim N(0,1) \right] \right)$$

Donde:

$x_t$ : es el valor del subyacente en el instante  $t$ .

$\lambda$ : es la elasticidad de la demanda respecto del PIB.

$\mu$ : es la tasa de crecimiento de la economía.

$\sigma$ : es la desviación estándar del crecimiento de la economía.

$\varepsilon$ : es la variable aleatoria que se distribuye según una distribución Normal estándar.

El MBG permite generar un perfil de ingresos/demanda del proyecto, que refleja un posible escenario que podría ocurrir. Mediante el método de

<sup>54</sup> Un *default* operacional ocurre cuando el  $DSCR < 1$ . En este caso se está asumiendo un *default* cuando no es posible cumplir un nivel de DSCR mínimo acordado en los contratos de financiamiento.

<sup>55</sup> Earnings Before Interests Tax Depreciation and Amortizations (EBITDA).

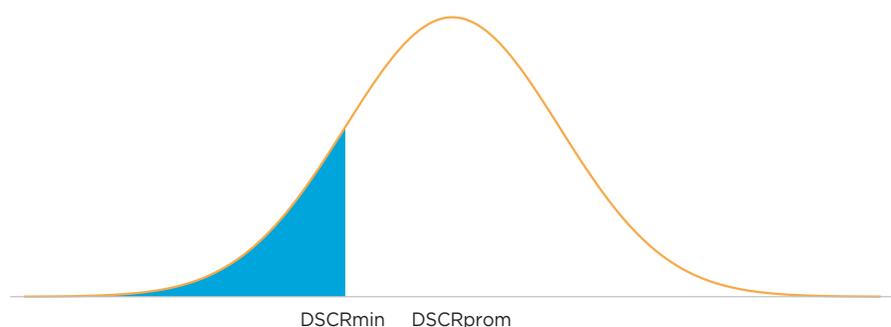
Monte Carlo es posible generar distintos escenarios<sup>56</sup> de ingresos, y dado que el resto de los componentes son fijos (deuda) o dependen de estos, el flujo de caja para el servicio de la deuda se verá influenciado por la aleatoriedad del proceso estocástico y, por consiguiente, se obtendrá un perfil de flujos de caja para servir la deuda, con el cual será posible determinar si cumple con el DSCR exigido por los financistas.

Por lo tanto, para cada año de proyecto se dispondrá de tantos datos como simulaciones de escenario se hayan efectuado. La probabilidad de ocurrencia se puede estimar de dos maneras.

### **Si la muestra obtenida se distribuye Normal**

La probabilidad de ocurrencia de TA en cada año corresponde al área bajo la curva marcada en el gráfico 7.3, que representa la probabilidad de que el DSCR sea inferior al mínimo especificado.

**Gráfico 7.3. Probabilidad de TA bajo Project Finance**



Fuente: Elaboración propia.

La probabilidad de ocurrencia de *default* del año *j* se puede obtener utilizando la siguiente fórmula de Excel:

$$P_j = \text{DISTR.NORM.N}(\text{Default Point}; \text{DSCRprom}_j; \text{DE}_j; \text{VERDADERO})$$

<sup>56</sup> Un escenario está compuesto de un perfil, que es un flujo de ingresos/demanda que generaría un proyecto dado el comportamiento de la economía (media y desviación estándar del PBI), durante la etapa de explotación.

Donde  $DSCR_{prom_j}$  y  $DE_j$  son, respectivamente, el promedio y la desviación estándar de todas las simulaciones efectuadas para el DSCR del año  $j$  de operación del proyecto. El punto de *default* (*Default Point*) es el evento que gatilla la TA; en este caso, el  $DSCR_{min}$ .

### **Si la muestra no se distribuye Normal**

La probabilidad se estimará a través de la frecuencia: esto es, el número de casos en que el  $DSCR$  fue menor que el  $DSCR$  mínimo exigido dividido por el total de casos simulados.

Luego de obtener las probabilidades en la forma mencionada, se debe hacer la siguiente corrección para reflejar el hecho de que solo puede ocurrir la TA en el año  $j$  si en todos los años previos no ha ocurrido:

$$\tilde{P}_j = \prod_{i=1}^{j-1} (1 - P_i) \times P_j \quad \forall j > 1$$

Este vector de probabilidades corregidas se multiplica por los valores exógenos de la TA, obtenidos por alguna de las metodologías señaladas al inicio de esta sección: valor libro o contable, valor de mercado o deuda remanente, para obtener el valor esperado de la TA de cada año. Estos valores esperados se deben comparar con los montos obtenidos al utilizar una probabilidad de ocurrencia local o regional multiplicada por una compensación exógena: valor libro, valor de mercado o deuda remanente. El monto global del pasivo contingente por TA es el valor presente de dichos flujos.

### **KMV-Merton**

Esta metodología proviene del trabajo seminal de Merton (1974) y pertenece a los denominados modelos estructurales, que permiten cuantificar el riesgo de crédito de las inversiones de activos que se cotizan en los mercados financieros. Los modelos estructurales provienen de la teoría de opciones y uno ampliamente usado es el modelo KMV que se enfoca en determinar si el valor de los activos en la fecha de vencimiento es mayor o no que el valor de la deuda (Vasicek, 1984).

A diferencia de la metodología anterior, aquí no importa la liquidez puntual de un año sino la capacidad del proyecto de pagar sus obligaciones financieras. El fundamento detrás de esta metodología es que el proyecto vale en función de su capacidad de generar ganancias; por lo tanto, mientras el valor presente de su flujo de caja sea mayor que la deuda remanente, siempre habrá

alguien dispuesto a cubrir el *default* de un año en particular, ya que en el límite los financistas estarán dispuestos a cubrir la deuda con tal de quedarse con la posesión del activo.

Dado lo anterior, esta metodología tiende a predecir una probabilidad de TA menor a la que estima la metodología de *Project Finance*.

Para llevar a cabo esta metodología se modelan los ingresos/demanda del proyecto a través de un MBG, idéntico al utilizado en la metodología *Project Finance*:

$$x_{t+1} = x_t \left( 1 + \lambda \left[ \mu + \sigma \times \varepsilon \sim N(0,1) \right] \right)$$

Donde:

$x_t$ : es el valor del subyacente en el instante  $t$ .

$\lambda$ : es la elasticidad de la demanda respecto del PIB.

$\mu$ : es la tasa de crecimiento de la economía.

$\sigma$ : es la desviación estándar del crecimiento de la economía.

$\varepsilon$ : es la variable aleatoria que se distribuye según una distribución Normal estándar.

Al igual que en la metodología de *Project Finance*, se utiliza el método de Monte Carlo para generar distintos escenarios de ingresos, pero a diferencia de *Project Finance* que analiza la liquidez anual para servir el cupón correspondiente (análisis de flujo), aquí se hace un análisis de stock porque interesa establecer si el valor del activo, determinado por el valor presente de los futuros flujos de caja libres para el servicio de la deuda, es superior a la deuda remanente. El *default* financiero se produce si en cualquier año de ejecución del proyecto ocurre que el valor del activo es inferior al monto de deuda remanente en dicho año.

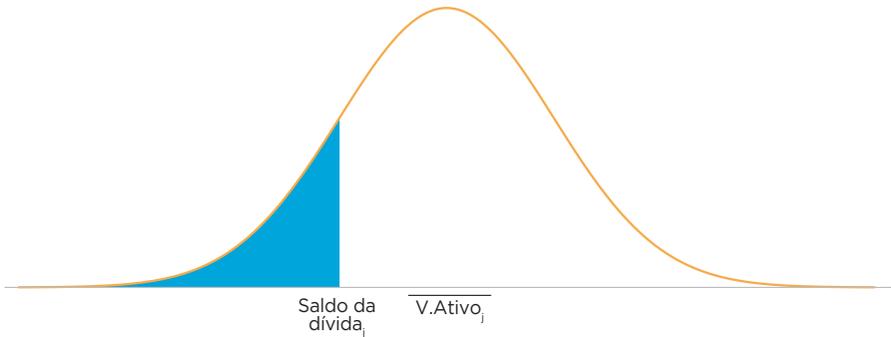
Para determinar el valor del activo se debe utilizar como tasa de descuento el costo promedio ponderado del capital (WACC, por sus siglas en inglés), el cual va cambiando año tras año en función de la relación deuda-capital propio que va teniendo el proyecto.

Como se puede apreciar, es una metodología prácticamente igual a la de *Project Finance* y solo cambia la condición que gatilla la TA. En consecuencia, también se utiliza el método de Monte Carlo para generar miles de escenarios de flujos libres para servir la deuda, con los cuales se obtiene igual cantidad de resultados para la TA. Al igual que con el enfoque de *Project Finance*, la probabilidad de ocurrencia de la TA se puede estimar de dos maneras:

### Si hay evidencia de Normalidad

La probabilidad de ocurrencia de TA en cada año corresponde al área bajo la curva marcada en el gráfico 7.4.

**Gráfico 7.4. Probabilidad de TA bajo KMV-Merton**



Fuente: Elaboración propia.

La probabilidad de ocurrencia de *default* del año  $j$  se puede obtener utilizando la siguiente fórmula de Excel:

$$P_j = \text{DISTR.NORM.N}(\text{Default Point}; \overline{V.Activo_j}; DE_j; \text{VERDADERO})$$

Donde  $\overline{V.Activo_j}$  y  $DE_j$  son, respectivamente, el promedio y la desviación estándar de las simulaciones efectuadas para el valor del activo en el año  $j$  de operación del proyecto. El punto de *default* es el evento que gatilla la TA; en este caso, el monto de deuda remanente en el año  $j$ .

### Si no hay evidencia de Normalidad

La probabilidad de ocurrencia debe estimarse a través de la frecuencia; esto es: el número de casos en que el valor del activo fue menor que el monto de deuda remanente dividido por el total de casos simulados.

Luego de obtener las probabilidades en la forma mencionada, se debe hacer la misma corrección efectuada en el caso de *Project Finance* para reflejar el hecho que solo puede ocurrir TA en el año  $j$ , si en todos los años previos no ha ocurrido:

$$\tilde{P}_j = \prod_{i=1}^{j-1} (1 - P_i) \times P_j \quad \forall j > 1$$

Este vector de probabilidades corregidas se multiplica por los valores exógenos de la TA, obtenidos por alguna de las metodologías señaladas al inicio de esta sección: valor libro o contable, valor de mercado o deuda remanente, para obtener el valor esperado de la TA de cada año. Estos valores esperados se deben comparar con los montos obtenidos de utilizar una probabilidad de ocurrencia local o regional multiplicada por una compensación exógena: valor libro, valor de mercado o deuda remanente. El monto global del pasivo contingente por TA es el valor presente de dichos flujos.

## Recuadro 7.2. Ejemplo de aplicación

### Antecedentes generales

Se considera un proyecto vial con una inversión total de 500 millones [ML] implementado mediante la modalidad APP, con un plazo de concesión de 30 años y un plazo de construcción de 4 años. El aporte de capital propio del inversionista privado es del 25% y debe ser colocado al inicio (*up-front*). El cronograma de la construcción del proyecto es el siguiente:

**Cuadro 7.2. Cronograma de ejecución de obras**

Año	1	2	3	4
Porcentaje CAPEX	12%	25%	37%	26%

- La tasa de descuento es del 10%.
- Del estudio de demanda se obtiene que el ingreso esperado para el primer año de operación del proyecto (2025) es 120 millones [ML] y tienen una tasa de crecimiento esperada del 4,7% anual durante los primeros 10 años para luego continuar con un crecimiento anual del 2% hasta el término del proyecto. La elasticidad de los ingresos respecto del PIB se estima en 1,0.
- El crecimiento promedio de la economía en los últimos 20 años ha sido de un 4,7% anual y presenta una desviación estándar del 7,5%.
- Por otra parte, la estructura de costos del proyecto presenta un costo fijo de 40 millones [ML] y un costo variable equivalente al 30% de los ingresos.
- El proyecto será financiado con una deuda bancaria a 23 años, con 2 años de gracia y cupones iguales. La tasa de interés *all in* para el periodo de construcción es del 6,5% y para el periodo de operación es del 5%.
- El DSCR mínimo exigido por los financistas es 1,00x.
- Se considera un impuesto a las utilidades del 30% y una tasa libre de riesgo del 3,5%.

El primer paso de la simulación de Monte Carlo es establecer las variables estocásticas; en este caso, los ingresos del proyecto. El ingreso será modelado como un MBG con una tasa de crecimiento igual a la del PIB, multiplicada por

(continúa en la página siguiente)

## Recuadro 7.2. Ejemplo de aplicación (continuación)

la elasticidad y desviación estándar, también igual a la del PIB multiplicada por la elasticidad de los ingresos respecto del PIB.

En consecuencia:

$$x_{t+1} = x_t \left( 1 + \lambda [r + \sigma \times \varepsilon \sim N(0,1)] \right)$$
$$x_{t+1} = x_t \left( 1 + 1,0 \times [4,7\% + 7,5\% \times N(0,1)] \right)$$

El primer punto conocido es  $x_0 = 120.000.000$  y de allí se calculan el resto de los valores aplicando la fórmula anterior en forma recursiva:

$$x_1 = 120.000.000 \times (1 + 4,7\% + 7,5\% \times \varepsilon \sim N(0,1)) = 120.402.020$$
$$x_2 = 120.402.020 \times (1 + 4,7\% + 7,5\% \times \varepsilon \sim N(0,1)) = 111.929.386$$
$$x_3 = 111.929.386 \times (1 + 4,7\% + 7,5\% \times \varepsilon \sim N(0,1)) = 116.739.544$$

Con este sistema, los ingresos de todos los años varían con excepción de  $x_0$  que siempre es 120.000.000. Para el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de *default* financiero en el primer año de operación, esto es un problema, ya que dicho dato no presentaría variación y, por lo tanto, la probabilidad de ocurrencia sería cero o uno, dependiendo del valor del ingreso esperado para el primer año de operación.

Para subsanar esta situación, es posible extrapolar el comportamiento del ingreso esperado hasta un año antes del primer año de operación, utilizando la fórmula de valor esperado para el MBG:

$$E[x_{t+1}] = E[x_t (1 + \lambda [r + \sigma \times \varepsilon \sim N(0,1)])] = E[x_t (1 + \lambda r)]$$

Utilizando esta fórmula hacia atrás para obtener el valor de  $x_{-1}$  se tiene lo siguiente:

$$E[x_{-1}] = \frac{E[x_0]}{1 + \lambda r}$$

Por lo tanto, para los valores de este ejemplo, se tiene que:

$$E[x_{-1}] = \frac{120.000.000}{1 + 4,7\%} = 114.613.181$$

(continúa en la página siguiente)

## Recuadro 7.2. Ejemplo de aplicación (continuación)

### Cuadro 7.3. Ingresos y costos OyM modelados

Año	Periodo	Ingresos modelados	Costos OyM	Número aleatorio	$\varepsilon \sim N(0, 1)$	$4,7\% + 7,5\% \times \varepsilon$
2024	0	114.613.181				
2025	1	117.566.875	75.270.063	0,3886	-0,2831	2,58%
2026	2	109.197.836	72.759.351	0,0575	-1,5758	-7,12%
2027	3	108.704.617	72.611.385	0,2461	-0,6869	-0,45%
2028	4	106.900.014	72.070.004	0,1982	-0,8480	-1,66%
2029	5	127.779.817	78.333.945	0,9760	1,9776	19,53%
2030	6	124.920.256	77.476.077	0,1775	-0,9251	-2,24%
2031	7	134.555.066	80.366.520	0,6560	0,4017	7,71%
2032	8	154.345.937	86.303.781	0,9090	1,3345	14,71%
2033	9	154.566.519	86.369.956	0,2717	-0,6076	0,14%
2034	10	154.244.317	86.273.295	0,2564	-0,6545	-0,21%
2035	11	170.080.760	91.024.228	0,7710	0,7423	10,27%
2036	12	187.025.690	96.107.707	0,7586	0,7017	9,96%
2037	13	191.868.002	97.560.400	0,3892	-0,2815	2,59%
2038	14	186.291.716	95.887.515	0,1552	-1,0142	-2,91%
2039	15	197.542.068	99.262.620	0,5709	0,1785	6,04%
2040	16	189.427.490	96.828.247	0,1201	-1,1744	-4,11%
2041	17	189.691.611	96.907.483	0,2716	-0,6081	0,14%
2042	18	213.784.235	104.135.271	0,8570	1,0668	12,70%
2043	19	230.844.417	109.253.325	0,6691	0,4373	7,98%
2044	20	240.189.214	112.056.764	0,4654	-0,0869	4,05%
2045	21	254.479.372	116.343.811	0,5662	0,1666	5,95%
2046	22	252.477.899	115.743.370	0,2322	-0,7315	-0,79%
2047	23	223.828.123	107.148.437	0,0162	-2,1397	-11,35%
2048	24	223.303.826	106.991.148	0,2553	-0,6579	-0,23%
2049	25	261.754.340	118.526.302	0,9525	1,6692	17,22%
2050	26	242.684.449	112.805.335	0,0550	-1,5981	-7,29%

(continúa en la página siguiente)

## Recuadro 7.2. Ejemplo de aplicación *(continuación)*

**Cuadro 7.4. Financiamiento de los flujos en la etapa de construcción**

Año	Porcentaje de inversión	Monto de inversión	Capital propio	Desembolsos del crédito	Intereses capitalizados
2021	12%	60.000.000	60.000.000	0	0
2022	25%	125.000.000	65.000.000	60.000.000	0
2023	37%	185.000.000	0	185.000.000	3.900.000
2024	26%	130.000.000	0	130.000.000	16.178.500

En consecuencia, un posible escenario para el flujo de ingresos y costos del proyecto es el siguiente:

$$x_1 = 114.613.181 \times (1 + 4,7\% + 7,5\% \times \varepsilon \sim N(0,1)) = 117.566.875$$

$$x_2 = 117.566.875 \times (1 + 4,7\% + 7,5\% \times \varepsilon \sim N(0,1)) = 109.197.836$$

$$x_3 = 109.197.836 \times (1 + 4,7\% + 7,5\% \times \varepsilon \sim N(0,1)) = 108.704.617$$

·  
·

El costo de OyM tiene un costo fijo de 40 millones y un costo variable equivalente al 30% de los ingresos, en consecuencia:

$$OyM_1 = 117.566.875 \times 30\% + 40.000.000 = 75.270.063$$

$$OyM_2 = 109.197.836 \times 30\% + 40.000.000 = 72.759.351$$

$$OyM_3 = 108.704.617 \times 30\% + 40.000.000 = 72.611.385$$

·  
·

Ahora se debe estimar el monto de deuda que requiere el proyecto, para así determinar el pago de intereses como se muestra en el cuadro 7.4

El requerimiento de desembolsos del crédito durante la etapa de construcción implica que al término de dicha etapa se tenga una deuda total por 395.078.500 ML. El plazo total del crédito es de 23 años, por lo que queda un periodo de repago de la deuda de 21 años, con una tasa de interés del 5% anual. Con estos parámetros se obtiene una cuota de deuda de 30.814.585 ML.

*(continúa en la página siguiente)*

## Recuadro 7.2. Ejemplo de aplicación (continuación)

Por otra parte, el costo total del proyecto asciende a 520.078.500 (monto de inversión total más intereses capitalizados), por lo que le corresponde una depreciación anual de 20.003.019 ML.

Con estos antecedentes es posible construir el flujo de caja para determinar el impuesto a las utilidades que corresponderá pagar en cada año de esta primera simulación (cuadro 7.5).

El impuesto a las utilidades es del 30%, que se paga siempre y cuando haya utilidades en el periodo y estas cubran las pérdidas acumuladas de periodos anteriores. Por ejemplo, para el perfil de ingresos y costos mostrados en el cuadro 7.3, se obtiene el flujo EBT del cuadro 7.5, que implica el pago de impuestos en el primer año de operación. En el segundo año el EBITDA es insuficiente para hacer frente a la depreciación y el flujo de caja resulta negativo, lo que implica que dicho año no se pagarán impuestos a las utilidades y la pérdida se arrastra al periodo siguiente.

En el tercer y cuarto año ocurre algo similar, ya que tampoco hay pago de impuestos y la pérdida se acumula con la del año anterior.

En el quinto año, el EBITDA ya es suficiente para pagar la deuda, cubrir la depreciación y las pérdidas acumuladas de los periodos anteriores, por lo que hay pago de impuestos este año. De aquí en adelante, el EBITDA es siempre superior al pago de intereses más depreciación y ya no hay más pérdidas acumuladas, por lo que corresponde el pago de impuestos todos los años.

El pago de intereses mostrado en el cuadro 7.5 se obtiene del desarrollo de la deuda que figura en el cuadro 7.6.

### Cuadro 7.5. Determinación del flujo de impuestos a las utilidades

Año	EBITDA	Intereses	Depreciación	EBT	Pérdidas acumuladas	Impuesto	Flujo de caja libre
2025	42.296.813	19.753.925	20.003.019	2.539.868	0	761.961	41.534.852
2026	36.438.485	19.200.892	20.003.019	-2.765.426	-2.765.426	0	36.438.485
2027	36.093.232	18.620.207	20.003.019	-2.529.995	-5.295.421	0	36.093.232
2028	34.830.010	18.010.488	20.003.019	-3.183.498	-8.478.918	0	34.830.010
2029	49.445.872	17.370.284	20.003.019	12.072.569	0	1.078.095	48.367.777
2030	47.444.179	16.698.069	20.003.019	10.743.092	0	3.222.927	44.221.252

(continúa)

(continúa en la página siguiente)

## Recuadro 7.2. Ejemplo de aplicación (continuación)

**Cuadro 7.5. Determinación del flujo de impuestos a las utilidades (cont.)**

Año	EBITDA	Intereses	Depreciación	EBT	Pérdidas acumuladas	Impuesto	Flujo de caja libre
2031	54.188.546	15.992.243	20.003.019	18.193.284	0	5.457.985	48.730.561
2032	68.042.156	15.251.126	20.003.019	32.788.011	0	9.836.403	58.205.752
2033	68.196.564	14.472.953	20.003.019	33.720.592	0	10.116.177	58.080.386
2034	67.971.022	13.655.871	20.003.019	34.312.131	0	10.293.639	57.677.382
2035	79.056.532	12.797.935	20.003.019	46.255.578	0	13.876.673	65.179.859
2036	90.917.983	11.897.103	20.003.019	59.017.861	0	17.705.358	73.212.625
2037	94.307.601	10.951.229	20.003.019	63.353.353	0	19.006.006	75.301.595
2038	90.404.201	9.958.061	20.003.019	60.443.121	0	18.132.936	72.271.265
2039	98.279.447	8.915.235	20.003.019	69.361.193	0	20.808.358	77.471.089
2040	92.599.243	7.820.267	20.003.019	64.775.956	0	19.432.787	73.166.456
2041	92.784.128	6.670.551	20.003.019	66.110.557	0	19.833.167	72.950.961
2042	109.648.965	5.463.350	20.003.019	84.182.596	0	25.254.779	84.394.186
2043	121.591.092	4.195.788	20.003.019	97.392.285	0	29.217.685	92.373.406
2044	128.132.450	2.864.848	20.003.019	105.264.583	0	31.579.375	96.553.075
2045	138.135.560	1.467.361	20.003.019	116.665.180	0	34.999.554	103.136.006
2046	136.734.529	0	20.003.019	116.731.510	0	35.019.453	101.715.076
2047	116.679.686	0	20.003.019	96.676.667	0	29.003.000	87.676.686
2048	116.312.678	0	20.003.019	96.309.659	0	28.892.898	87.419.781
2049	143.228.038	0	20.003.019	123.225.019	0	36.967.506	106.260.533
2050	129.879.115	0	20.003.019	109.876.095	0	32.962.829	96.916.286

Con la información de los cuadros 7.5 y 7.6 es posible construir el cuadro 7.7, que se utiliza para estimar la probabilidad de ocurrencia de la TA debido a *default* financiero. Este cuadro también se usará para estimar la probabilidad de ocurrencia de TA con la metodología KMV Merton.

Con el EBITDA neto del impuesto a las utilidades (flujo de caja libre), es posible calcular el DSCR:

(continúa en la página siguiente)

## Recuadro 7.2. Ejemplo de aplicación (continuación)

Cuadro 7.6. Desarrollo de la deuda

Año	Deuda remanente	Intereses	Principal
2025	395.078.500	19.753.925	11.060.660
2026	384.818.110	19.200.892	11.613.693
2027	374.044.701	18.620.207	12.194.378
2028	362.732.622	18.010.488	12.804.097
2029	350.854.938	17.370.284	13.444.301
2030	338.383.371	16.698.069	14.116.516
2031	325.288.225	15.992.243	14.822.342
2032	311.538.321	15.251.126	15.563.459
2033	297.100.923	14.472.953	16.341.632
2034	281.941.655	13.655.871	17.158.714
2035	266.024.423	12.797.935	18.016.650
2036	249.311.329	11.897.103	18.917.482
2037	231.762.581	10.951.229	19.863.356
2038	213.336.396	9.958.061	20.856.524
2039	193.988.901	8.915.235	21.899.350
2040	173.674.031	7.820.267	22.994.318
2041	152.343.418	6.670.551	24.144.034
2042	129.946.275	5.463.350	25.351.235
2043	106.429.274	4.195.788	26.618.797
2044	81.736.423	2.864.848	27.949.737
2045	55.808.930	1.467.361	29.347.224

$$DSCR_j = \frac{EBITDA_j - Impuesto_j}{I_j + A_j} = \frac{Flujo de caja libre_j}{I_j + A_j}$$

En este caso la deuda se repaga con cupones iguales, por lo que  $I_j + A_j$  es siempre igual a 30.814.585 [ML]. Por lo tanto, se tiene lo siguiente:

$$DSCR_{2025} = \frac{Flujo de caja libre_{2025}}{Intereses_{2025} + Amortización_{2025}} = \frac{41.861.854}{30.814.585} = 1,39$$

$$DSCR_{2026} = \frac{Flujo de caja libre_{2026}}{Intereses_{2026} + Amortización_{2026}} = \frac{41.861.854}{30.814.585} = 1,40$$

$$DSCR_{2027} = \frac{Flujo de caja libre_{2027}}{Intereses_{2027} + Amortización_{2027}} = \frac{37.656.855}{30.814.585} = 1,25$$

(continúa en la página siguiente)

## Recuadro 7.2. Ejemplo de aplicación *(continuación)*

### Cuadro 7.7. DSCR y valor del activo

Año	Flujo de caja libre	DSCR	Año de la TA	Deuda remanente	WACC	Factor de actualización	Valor del activo
2025	41.534.852	1,35		395.078.500	6,2%	0,9416	732.718.509
2026	36.438.485	1,18		384.017.840	6,2%	0,8864	693.609.120
2027	36.093.232	1,17		372.404.147	6,3%	0,8342	661.310.032
2028	34.830.010	1,13		360.209.769	6,3%	0,7849	631.200.769
2029	48.367.777	1,57		347.405.673	6,3%	0,7382	603.864.245
2030	44.221.252	1,44		333.961.371	6,4%	0,6940	568.160.109
2031	48.730.561	1,58		319.844.855	6,4%	0,6523	537.469.332
2032	58.205.752	1,89		305.022.513	6,5%	0,6127	505.684.766
2033	58.080.386	1,88		289.459.053	6,5%	0,5753	470.021.493
2034	57.677.382	1,87		273.117.421	6,6%	0,5398	436.609.483
2035	65.179.859	2,12		255.958.707	6,6%	0,5062	405.474.823
2036	73.212.625	2,38		237.942.057	6,7%	0,4743	372.481.243
2037	75.301.595	2,44		219.024.575	6,8%	0,4440	337.755.793
2038	72.271.265	2,35		199.161.219	6,9%	0,4153	304.318.831
2039	77.471.089	2,51		178.304.695	7,1%	0,3879	274.306.714
2040	73.166.456	2,37		156.405.345	7,2%	0,3618	244.256.967
2041	72.950.961	2,37		133.411.027	7,4%	0,3368	217.788.223
2042	84.394.186	2,74		109.266.993	7,7%	0,3128	193.220.056
2043	92.373.406	3,00		83.915.758	8,0%	0,2896	166.822.239
2044	96.553.075	3,13		57.296.961	8,4%	0,2671	140.066.784
2045	103.136.006	3,35		29.347.224	9,0%	0,2450	114.274.598
2046	101.715.076				10,0%	0,2227	
2047	87.676.686				10,0%	0,2024	
2048	87.419.781				10,0%	0,1840	
2049	106.260.533				10,0%	0,1673	
2050	96.916.286				10,0%	0,1521	

*(continúa en la página siguiente)*

## Recuadro 7.2. Ejemplo de aplicación *(continuación)*

En el escenario mostrado el DSCR se mantiene siempre por sobre 1,0 por lo que no ocurre la TA. Por otra parte, el valor del activo se mantiene siempre por sobre el monto de deuda remanente, por lo que la metodología KMV-Merton tampoco indica la presencia de TA.

A continuación, se revisarán los resultados bajo ambas metodologías, después de simular 10.000 escenarios de ingresos.

### **Metodología *Project Finance***

Por medio de la simulación de Monte Carlo se generan 10.000 escenarios como el mostrado en los cuadros anteriores, lo que permite tener 10.000 valores de DSCR para cada año de operación del proyecto en que la deuda está vigente.

Los datos simulados no se distribuyen en forma Normal, por lo tanto, la probabilidad de ocurrencia debe estimarse con base en la frecuencia, contando el número de casos en que DSCR fue menor que el punto de *default*, que en este caso corresponde a un DSCR de 1,00 y, luego, dividiendo por el total de escenarios modelados.

En el cuadro 7.8 se muestran las probabilidades de ocurrencia obtenidas y la valoración del pasivo contingente para cada año de vigencia de la deuda.

Los montos de pasivo contingente deben compararse con los montos obtenidos por otras causales para quedarse con la envolvente que se ha indicado en la expresión presentada en la página 155 de la sección 7.3. El monto de pasivo contingente resultante es 39.297.590 [ML].

### **Metodología KMV-Merton**

Por medio de la misma simulación de Monte Carlo utilizada en *Project Finance*, se obtienen 10.000 valores del activo para cada año de vigencia de la deuda. Dichos montos se comparan con el monto de deuda remanente para el respectivo año para determinar si existe TA. Debe recordarse que el valor del activo viene dado por el valor presente del flujo de caja libre.

Los datos simulados no se distribuyen en forma Normal, por lo tanto, la probabilidad de ocurrencia debe estimarse con base en la frecuencia, contando el número de casos en que el valor del activo fue menor que el punto de *default*, que en este caso corresponde al monto de deuda remanente para ese mismo año y, luego, dividiendo por el total de escenarios modelados.

Por ejemplo, para el primer año de operación, se tienen nueve casos en los que el valor del activo fue menor que la deuda remanente y, por lo tanto, la probabilidad de ocurrencia de TA para el primer año de operación es 0,1%.

*(continúa en la página siguiente)*

## Recuadro 7.2. Ejemplo de aplicación *(continuación)*

**Cuadro 7.8. Pasivo contingente estimado según *Project Finance***

Año	Probabilidad	Probabilidad corregida	Deuda remanente	Pasivo contingente
2025	1,4%	1,4%	395.078.500	5.649.623
2026	2,5%	2,4%	384.017.840	9.311.749
2027	2,3%	2,2%	372.404.147	8.342.533
2028	2,2%	2,0%	360.209.769	7.340.133
2029	2,1%	1,9%	347.405.673	6.606.448
2030	2,0%	1,8%	333.961.371	5.858.782
2031	1,5%	1,3%	319.844.855	4.316.730
2032	1,3%	1,1%	305.022.513	3.364.834
2033	1,1%	0,9%	289.459.053	2.680.946
2034	0,9%	0,8%	273.117.421	2.108.395
2035	0,7%	0,6%	255.958.707	1.420.054
2036	0,6%	0,5%	237.942.057	1.112.691
2037	0,4%	0,3%	219.024.575	745.681
2038	0,4%	0,4%	199.161.219	708.215
2039	0,3%	0,2%	178.304.695	440.458
2040	0,3%	0,2%	156.405.345	321.002
2041	0,2%	0,1%	133.411.027	196.650
2042	0,2%	0,1%	109.266.993	160.771
2043	0,1%	0,1%	83.915.758	82.165
2044	0,1%	0,1%	57.296.961	56.034
2045	0,1%	0,1%	29.347.224	28.666

En el cuadro 7.9 se muestran las probabilidades de ocurrencia obtenidas y la valoración del pasivo contingente para cada año de vigencia de la deuda.

Los montos de pasivo contingente deben compararse con los montos obtenidos por otras causales para quedarse con la envoltente.

El monto de pasivo contingente resultante de la modelación es 39.229.019 [ML].

*(continúa en la página siguiente)*

## Recuadro 7.2. Ejemplo de aplicación *(continuación)*

### Cuadro 7.9. Pasivo contingente estimado según KMV-Merton

Año	Probabilidad	Probabilidad corregida	Deuda remanente	Pasivo contingente
2025	0,2%	0,2%	395.078.500	750.649
2026	0,3%	0,3%	384.017.840	1.034.878
2027	0,4%	0,4%	372.404.147	1.593.980
2028	0,6%	0,6%	360.209.769	2.177.778
2029	0,9%	0,9%	347.405.673	3.079.998
2030	1,2%	1,2%	333.961.371	3.977.414
2031	1,6%	1,5%	319.844.855	4.811.469
2032	2,0%	1,9%	305.022.513	5.877.779
2033	2,4%	2,2%	289.459.053	6.379.901
2034	2,8%	2,6%	273.117.421	6.992.947
2035	3,2%	2,8%	255.958.707	7.227.008
2036	3,5%	3,0%	237.942.057	7.194.299
2037	3,8%	3,1%	219.024.575	6.784.877
2038	4,0%	3,2%	199.161.219	6.284.992
2039	3,9%	3,0%	178.304.695	5.321.419
2040	3,6%	2,6%	156.405.345	4.141.634
2041	2,9%	2,0%	133.411.027	2.727.647
2042	2,2%	1,5%	109.266.993	1.653.099
2043	1,3%	0,9%	83.915.758	735.914
2044	0,3%	0,2%	57.296.961	124.920
2045	0,0%	0,0%	29.347.224	0

*(continúa en la página siguiente)*

## Recuadro 7.2. Ejemplo de aplicación *(continuación)*

Cabe señalar que mientras mayor sea la cantidad de años de concesión remanentes después de haber pagado la deuda de construcción, que en este ejemplo son cinco, menor será la probabilidad de ocurrencia de TA bajo la metodología KMV-Merton, debido justamente al valor presente que aportan estos años adicionales.

Un efecto similar se puede dar con la metodología *Project Finance*, si se modela con una cuenta de reserva para el pago de los cupones. Si en un año cualquiera se tiene que  $DSCR < 1$ , se puede recurrir a la cuenta de reserva para cubrir el faltante, lo que disminuye la probabilidad de ocurrencia de TA.

La elección entre un método u otro dependerá de las preferencias por liquidez o cobertura del gobierno, tomando en consideración no solo una visión de corto plazo del proyecto sino el plazo total del contrato.



# Referencias

- Anderlini, L. y L. Felli. 2001. Costly Bargaining and Renegotiation. *Econometrica*, 69(2), 377-411.
- Aragonés, J. R., C. Blanco y F. Iniesta. 2012. Modelización del riesgo de crédito en proyectos de infraestructuras. *Innovar*, 19(35) 65-80.
- Ashuri, B., H. Kashani, K. R. Molenaar, S. Lee y J. Lu. 2012. Risk-Neutral Pricing Approach for Evaluating BOT Highway Projects with Government Minimum Revenue Guarantee Options. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 138, No. 4 (abril 2012). DOI: 10.1061/CO.1943-7862.0000447.
- Banco Mundial, 2019. Assessing and Managing Credit Risk from Contingent Liabilities: A Focus on Government Guarantees. Washington, D.C.: Banco Mundial.
- \_\_\_\_\_. 2020. PPI Projects Database. *Infrastructure Finance, PPPs & Guarantees*. Disponible en: <https://ppi.worldbank.org/en/ppidata>.
- \_\_\_\_\_. 2003. Management of Contingent Liabilities from Transport Concessions. Technical Assistance Chile. Washington D.C.: Banco Mundial.
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo) y CII (Corporación Interamericana de Inversiones). 2021. Visión 2025. Reinvertir en las Américas: una década de oportunidades. Washington, D. C.: Grupo BID. Disponible en: <https://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=EZSHARE-328957462-89>.
- Bitran, E., S. Nieto-Parra y J. S. Robledo. 2013. Opening the Black-Box of Contract Renegotiations: An analysis of Road Concessions in Chile, Colombia and Peru, París, Francia: OCDE.

- Black, F. y M. Scholes. 1973. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *The Journal of Political Economy*, Mayo-Junio, 81(3), 637-654.
- Bova, E., M. Ruiz-Arranz, F. Toscani y H. E. Ture. 2016. The Fiscal Costs of Contingent Liabilities: A New Dataset, Washington, D.C.: FMI.
- Boyle, PP. 1977. Options A Monte Carlo Approach. *Journal of Financial Economics*, 4, 323-338.
- Brandao, L. E. y E. Saraiva. 2008. The Option Value of Government Guarantees in Infrastructure Projects. *Construction Management and Economics*, 26(11): 1171-1180.
- Carbonara, N. y R. Pellegrino. 2018. Revenue Guarantee in Public-Private Partnerships: A Win-Win Model. *Construction Management and Economics*, 36:10, 584-598. DOI: 10.1080/01446193.2018.1467028.
- Cavallo, E. y A. Powell (Coords.). 2021. Oportunidades para un mayor crecimiento sostenible tras la pandemia. Informe macroeconómico de América Latina y el Caribe 2021. Washington, D. C.: BID. Disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Informe-macro-economico-de-America-Latina-y-el-Caribe-2021-Oportunidades-para-un-mayor-crecimiento-sostenible-tras-la-pandemia.pdf>.
- Contreras, C. y J. Angulo. 2017. Valuing Governmental Support in Road PPPs. *Hacienda Pública Española / Review of Public Economics*, 223-(4/2017): 37-66.
- Cox, J., S. Ross, y M. Rubinstein. 1979. Option Pricing: A Simplified Approach. *Journal of Financial Economics* (7) 229-263.
- Davis, R. 2008. Teaching Project Simulation in Excel Using PERT-Beta Distributions. *Informes Transactions on Education*, Mayo, 8(3), 139-148.
- Deloitte. 2021 Evaluación financiera pública del riesgo de terminación anticipada en contratos APP. Documento preparado para el BID. Marzo.
- Demsetz, H. 1968. Why Regulate Utilities. *Journal of Law and Economics*, 11(1), 55-65.
- Dewatripont, M. 1988. Commitment Through Renegotiation-Proof Contracts with Third Parties. *The Review of Economic Studies*, 55(3), 377-389.
- Dirección General de Crédito Público y Tesoro Nacional. 2020. Metodología de valoración de obligaciones contingentes para proyectos de infraestructura: El caso colombiano. Bogotá, Colombia: MHCP. Disponible en: [http://www.irc.gov.co/webcenter/ShowProperty?nodeId=%2FConexion-Content%2FWCC\\_CLUSTER-135626%2F%2FidcPrimaryFile&revision=latestreleased](http://www.irc.gov.co/webcenter/ShowProperty?nodeId=%2FConexion-Content%2FWCC_CLUSTER-135626%2F%2FidcPrimaryFile&revision=latestreleased).

- Dirección General de Política de Promoción de la Inversión Privada. 2016. Lineamientos para la asignación de riesgos en los contratos de asociaciones público privadas. Lima, Perú: Ministerio de Economía y Finanzas.
- Duarte, D. 2016. Estimación y valoración de pasivos contingentes derivados de contratos de asociación público-privada. Tesis de Maestría. Economía y Negocios, Universidad de Chile.
- Engel, E., R. Fischer y A. Galetovic. 1996. Licitación de carreteras en Chile. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- \_\_\_\_\_. 2009a. Public-Private Partnerships: When and How. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- \_\_\_\_\_. 2009b. Soft Budgets and Renegotiations in Public-Private Partnerships. Stanford King Center on Global Development Working Paper, Junio, 1(389), 1-29.
- \_\_\_\_\_. 2019. Soft Budgets and Endogenous Renegotiations in Transport PPPs: An Equilibrium Analysis. *Economic of Transportation* 17, 40-50.
- EPEC (European PPP Expertise Centre). 2011. State Guarantees in PPPs: A Guide to Better Evaluation, Design, Implementation and Management. Ciudad de Luxemburgo, Luxemburgo: EPEC.
- Fitch Ratings. 2020. Completion Risk Rating Criteria: Cross Sector Criteria. Disponible en: <https://www.fitchratings.com/research/us-public-finance/completion-risk-rating-criteria-24-03-2020>.
- FMI (Fondo Monetario Internacional). 2011. Estadísticas de la deuda del sector público: Guía para compiladores y usuarios. Washington, D.C.: FMI.
- \_\_\_\_\_. 2014. Manual de estadísticas de finanzas públicas 2014. Washington, D.C.: FMI. Disponible en: [https://www.imf.org/external/Pubs/FT/GFS/Manual/2014/GFSM\\_2014\\_SPA.pdf](https://www.imf.org/external/Pubs/FT/GFS/Manual/2014/GFSM_2014_SPA.pdf).
- FMI (Fondo Monetario Internacional) y Banco Mundial. 2019. PPP Fiscal Risk Assessment Model PFRAM 2.0 User Manual (Septiembre). Disponible en: <https://www.imf.org/external/np/fad/publicinvestment/pdf/PFRAM2.pdf>.
- Garman, M. B. y S. W. Kohlhagen. 1983. Foreign Currency Option Values. *Journal of International Money and Finance*, 2(3), 231-237.
- Guasch, J. L. 2004. Granting and Renegotiating Infrastructure Concessions: Doing it Right, Washington, D.C.: Banco Mundial.
- Guasch, J. L., J. J. Laffont y S. Straub. 2003. Renegotiation of Concession Contracts in Latin America. World Bank Policy Research Working Paper. Washington, D.C.: Banco Mundial.
- \_\_\_\_\_. 2006. Renegotiation of Concession Contracts: A Theoretical Approach. *Review of Industrial Organization*, 29(1), 55-73.

- \_\_\_\_\_. 2008. Renegotiation of Concession Contracts in Latin America: Evidence from the water and transport sectors. *International Journal of Industrial Organization*, 26(2), 421-442.
- Guasch, J. L. y S. Straub. 2005. Infrastructure Concessions in Latin America: Government-led Renegotiations. Policy Research Working Paper, 1(3749), 1-45.
- Hart, O. y J. Moore. 1988. Incomplete Contracts and Renegotiation. *Econometrica*, 56(4), 755-785.
- Hawas, F. y A. Cifuentes. 2016. Valuation of Projects with Minimum Revenue Guarantees: A Gaussian Copula-Based Simulation Approach. *The Engineering Economist*, 62:1, 90-102 DOI: 10.1080/0013791X.2016.1153178.
- Hinojosa, S. y H. Roque. 2011. El calor de las finanzas. Publicación IKONS ATN
- Ho, S. P. y L. Y. Liu. 2004. Analytical Model for Analyzing Construction Claims and Opportunistic Bidding. *Journal of Construction Engineering and Management*, 130(1), 94-104.
- Howard, R. A. 1966. Decision Analysis: Applied Decision Theory. Nueva York, NY: Wiley-Interscience, 97-113.
- Hull, J. C. 2018. Options, Futures, and other Derivatives. 10 ed. Nueva York, NY: Pearson Education.
- Irwin, T. 2007. Government Guarantees. Allocating and Valuing Risk in Privately Financed Infrastructure Projects. Series Directions in Development: Infrastructure. Washington, D.C.: Banco Mundial.
- Irwin, T. y T. Mokdad. 2010. Managing Contingent Liabilities in Public-Private Partnerships. Practice in Australia, Chile and South Africa. Reporte del Banco Mundial 101491. Washington, D.C.: Banco Mundial y PPIAF.
- Izquierdo, A., C. Pessino y G. Vuletin (Eds.). 2018. Mejor gasto para mejores vidas: cómo América Latina y el Caribe puede hacer más con menos. Washington, D. C. BID. Disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Mejor-gasto-para-mejores-vidas-C%C3%B3mo-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-puede-hacer-m%C3%A1s-con-menos.pdf>.
- Kokkaew, N. y N. Chiara. 2013. A Modeling Government Revenue Guarantees in Privately Built Transportation Projects: A Risk-Adjusted Approach. *Transport*, 28(2): 186-192.
- Kou, S. 2002. A Jump Diffusion Model for Option Pricing. *Management Science*, Vol. 48, No. 8, agosto, 1086-1101.
- Merton, R. C. 1973. Theory of Rational Option Pricing. *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 4(1), 141-183.

- \_\_\_\_\_. 1974. On the Pricing of Corporate Debt: The Risk Structure of Interest Rates. *The Journal of Finance*, Mayo, 29(2), 449-470.
- \_\_\_\_\_. 1977. On the Pricing of Contingent Claims and the Modigliani-Miller Theorem. *Journal of Financial Economics* 5, 241-249.
- Ministerio de Economía y Finanzas. 2017. Metodología para estimar pasivos contingentes de proyectos PPP en Uruguay. Montevideo, Uruguay: Unidad de Participación Público-Privada.
- Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2012. Obligaciones contingentes. Metodologías del Caso Colombiano. Bogotá D.C. Dirección General de Crédito Público y Tesoro Nacional.
- Mirzadeh, I. y B. Birgisson. 2015. Evaluation of Highway Projects under Government Support Mechanisms Based on an Option-Pricing Framework. *Journal of Construction Engineering and Management*, 141.
- Moody's Inverstors Services. 2002. Moody's Corporation Completes Acquisition of KMV; Purchase of Pioneer in Quantitative Credit Tools Complements Moody's Core Credit Ratings Business, abril, Nueva York, NY: Moody's.
- \_\_\_\_\_. 2019. Construction Risk in Privately Financed Public Infrastructure (PFI/PPP/P3) Projects. Rating Methodology. Disponible en: [https://www.moodys.com/research/Moodys-updates-its-methodology-for-rating-construction-risk-in-privately--PR\\_404943](https://www.moodys.com/research/Moodys-updates-its-methodology-for-rating-construction-risk-in-privately--PR_404943).
- Ornstein, L. S. y G. E. Uhlenbeck. 1930. On the Theory of the Brownian Motion. *Physical Review*, Vol. 36. University of Michigan, Ann Arbor y Physisch Laboratorium der R. U. Utrecht.
- Regnier, E. 2005. Activity Completion Times in PERT and Scheduling Network Simulation, Part II. *DRMI Newsletter*, Abril, 8(1), 4-9.
- Rivera, E. 2008. La regulación económica como complemento de las licitaciones en las concesiones de obras públicas. *Revista de la CEPAL* 95 - agosto.
- Roumboutsos, A. y A. Pantelias. 2014. Allocating Revenue Risk in Transport Infrastructure Public Private Partnership Projects: How it Matters. *Transport Reviews*, 35:2, 183-203. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/01441647.2014.988306>.
- Shan, L., M. J. Garvin y R. Kumar. 2010. Collar Options to Manage Revenue Risks in Real Toll Public-Private Partnership Transportation Projects. *Construction Management and Economics*, 28(10): 1057-1069.
- Thorsten, T. y H. Büning. 2004. Jarque-Bera Test and its Competitors for Testing Normality: A Power Comparison, Berlín, Alemania: Econstor.
- Vasicek, O. A., 1984. *Credit Valuation*. San Francisco, California: KMV.

- Victor, M. B. 2015. Decision Tree Analysis: A Means of Reducing Litigation Uncertainty and Facilitating Good Settlements. *Georgia State University Law Review*, 31(4), 715-739.
- Wang, Y., P. Cui y J. Lui. 2018. Analysis of the Risk-Sharing Ratio in PPP Projects Based on Government Minimum Revenue Guarantees. *International Journal of Project Management*, Vol. 36, No. 6, agosto, 899-909. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2018.01.007>.
- Williamson, O. E. 1985. *The Economic Institutions of Capitalism*. 1a ed. Nueva York, NY: The Free Press.
- Wibowo, A. 2004. Valuing Guarantees in a BOT Infrastructure Project. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 11(6): 395-403.
- Zapata, C., C. Mejía y N. Lopes. 2018. Minimum Revenue Guarantees Valuation in PPP Projects under a Mean Reverting Process. *Construction Management and Economics*, 37:3, 121-138. DOI: 10.1080/01446193.2018.1500024.
- Zhang, S., J. Li, Y. Li y X. Zhang. 2020. Revenue Risk Allocation Mechanism in Public-Private Partnership Projects: Swing Option Approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 147, No. 1. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001952.
- Zhao, T., S. K. Sundararajan y C. L. Tseng. 2004. Highway Development Decision-Making under Uncertainty: A Real Options Approach. *Journal of infrastructure systems*: 10(1): 23-32.

# Anexo 1.

## Herramientas estadísticas para la valoración de pasivos contingentes

### Promedio

Dado un conjunto de datos numéricos, el promedio o media de los datos que se denota por  $\bar{x}$  y pertenece al conjunto de estadísticos de tendencia central se define como:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

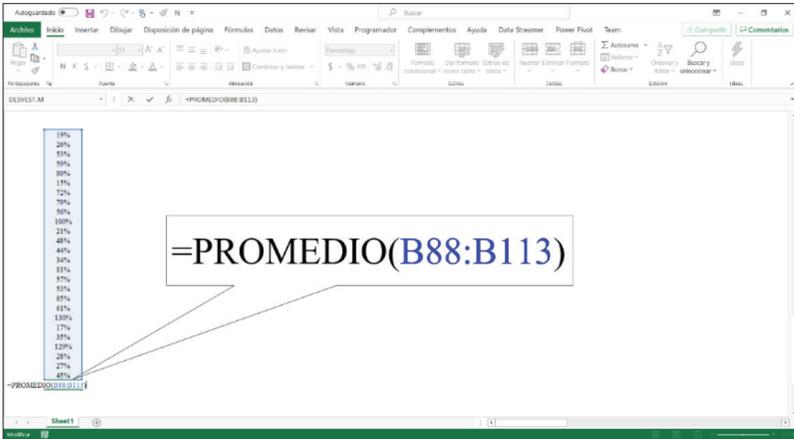
Donde cada elemento de los datos numéricos es representado por  $x_i$  para un conjunto de  $n$  elementos. En Excel el cálculo del promedio de un conjunto de datos numéricos se calcula mediante la función PROMEDIO (número1,[número2],...). A continuación se muestra cómo usar esta función para calcular el promedio de los datos (imagen A1.1).

**Cuadro A1.1. Serie de datos: promedio**

19%	26%	53%	59%	80%	15%	72%	79%	56%	100%	21%	48%	44%
34%	81%	57%	53%	85%	61%	130%	17%	35%	129%	28%	27%	45%

Fuente: Elaboración propia.

## Imagen A1.1. Cálculo del promedio



Fuente: Elaboración propia.

## Desviación estándar

La desviación estándar es un estadístico que mide la variabilidad que existe entre los elementos del conjunto de datos numéricos con respecto a su valor promedio. Se denota como  $\sigma$  y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

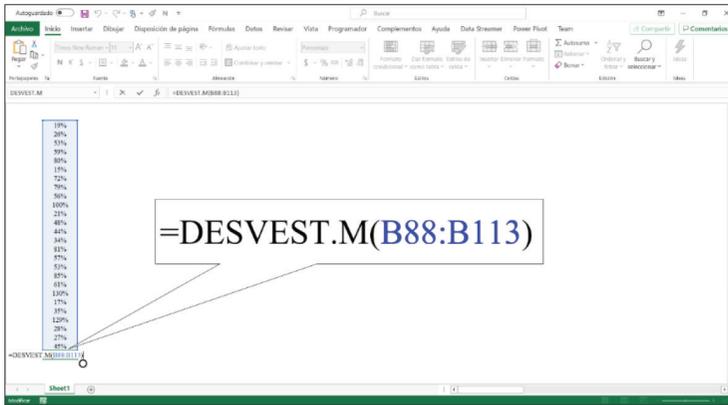
En Excel el cálculo de la desviación estándar se realiza por medio de la función DESVEST.M(número1,[número2],...). A continuación se muestra cómo usar esta función para calcular la desviación estándar de los datos (imagen A1.2).

## Cuadro A1.2. Serie de datos: desviación estándar

19%	26%	53%	59%	80%	15%	72%	79%	56%	100%	21%	48%	44%
34%	81%	57%	53%	85%	61%	130%	17%	35%	129%	28%	27%	45%

Fuente: Elaboración propia.

## Imagen A1.2. Cálculo de la desviación estándar



Fuente: Elaboración propia.

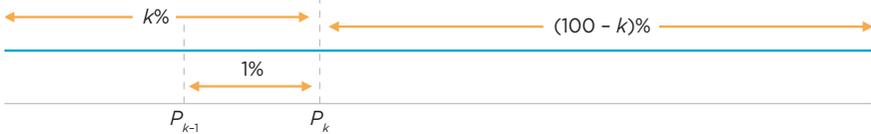
## Percentiles

El percentil es una medida de posición que puede variar entre 1% y 100%. Por lo general es representada de la forma  $P_k$ , donde  $k$  denota el porcentaje de datos acumulados hasta el valor de  $P_k$ .

Los percentiles se emplean para indicar la posición que se toma frente al riesgo como una medida de la aversión al riesgo, que es expresada por lo general mediante los percentiles: 50 y 95.

En Excel el cálculo se realiza mediante la función: PERCENTIL.INC(matriz,k). A continuación se muestra cómo usar esta función para calcular el percentil 95 de los datos (imagen A1.3).

## Gráfico A1.1. Definición de percentil



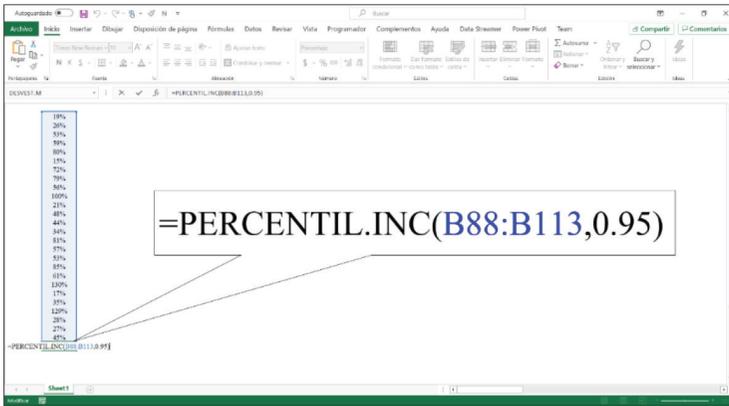
Fuente: Elaboración propia.

## Cuadro A1.3. Serie de datos: percentil

19%	26%	53%	59%	80%	15%	72%	79%	56%	100%	21%	48%	44%
34%	81%	57%	53%	85%	61%	130%	17%	35%	129%	28%	27%	45%

Fuente: Elaboración propia.

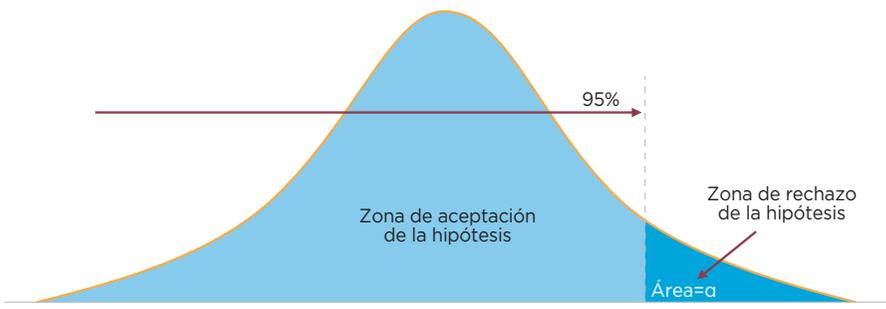
### Imagen A1.3. Cálculo del percentil 95



Fuente: Elaboración propia.

La literatura estadística a menudo menciona la significancia con la cual se toma la decisión de medir cierto efecto (por ejemplo, el impacto del riesgo sobre un proyecto de inversión). En este sentido un nivel de significancia ( $\alpha$ ) indica la probabilidad de rechazar la hipótesis nula inicial siendo esta cierta (error tipo I o falso positivo). Por ejemplo, si se toma un nivel de significancia igual al 5%, significa que se tiene una probabilidad igual al 5% de que la hipótesis nula que se intenta probar sea falsa. En términos del percentil, resulta equivalente a que para cualquier valor superior al percentil 95 se rechaza la hipótesis nula inicial que se intenta probar (gráfico A1.2).

### Gráfico A1.2. Percentil y nivel de significancia



Fuente: Elaboración propia.

Nota: No debe confundirse percentil con nivel de significancia.

## Distribución de la información

La distribución de la información histórica o conjunto de datos es una lista de todos los posibles valores (o intervalos de valores) y con qué frecuencia ocurren. Su representación gráfica permite examinar la forma, el centro y su variabilidad.

Dentro del ámbito de la estadística existen distintas distribuciones según el tipo de información que se desee analizar. Una de las distribuciones más conocidas es la normal, que tiene una distribución en forma de campana.

Actualmente Excel cuenta con un comando que permite la construcción del histograma o distribución de la información de forma directa, con solo seleccionar la información del cuadro A1.4.

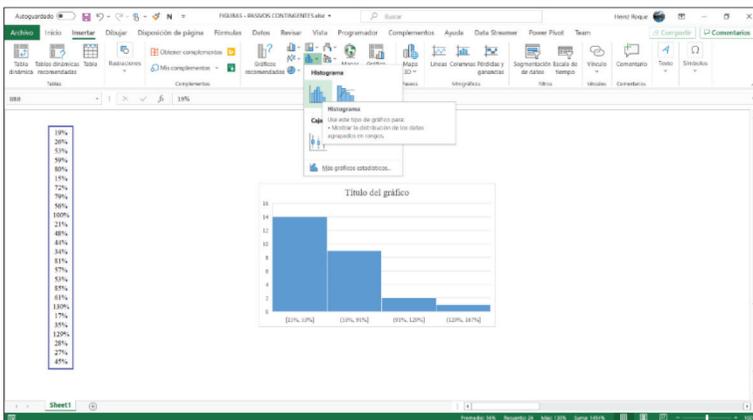
### Cuadro A1.4. Serie de datos: distribución

19%	26%	53%	59%	80%	15%	72%	79%	56%	100%	21%	48%	44%
34%	81%	57%	53%	85%	61%	130%	17%	35%	129%	28%	27%	45%

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera se obtiene su distribución, tal como muestra la imagen A1.4.

### Imagen A1.4. Distribución de la información



Fuente: Elaboración propia.

## Método Bootstrap

El método Bootstrap aprovecha el potencial computacional para comprobar el grado de precisión de un análisis estadístico.

Analíticamente, el método Bootstrap se explica a continuación. Dado un conjunto de datos  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  de tamaño  $n$ , la metodología Bootstrap sobre el conjunto de datos se realiza mediante los siguientes pasos:

- Se construye una muestra del mismo tamaño  $n$ , con los elementos de la muestra original. A esta nueva muestra se le conoce como muestra Bootstrap.
- La muestra Bootstrap puede estar compuesta de elementos repetidos, porque se realizan extracciones con reemplazo de la muestra original, hasta completar los  $n$  elementos.
- Este proceso se repite una cantidad finita de veces. Para cada muestra Bootstrap se calcula su valor promedio.
- Por último, se procede a calcular el valor promedio de los promedios obtenidos de cada una de muestras Bootstrap.

En el cuadro A1.5 se considera la información histórica de sobrecostos (porcentaje) obtenida de proyectos de infraestructura pública, donde todos los proyectos considerados son de similares características al proyecto bajo análisis.

### Cuadro A1.5. Ejemplo del método Bootstrap

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
20%	30%	45%	25%	15%	55%	70%	40%	60%

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, al aplicar los pasos de la metodología se obtienen las siguientes muestras Bootstrap del cuadro A1.5, donde los elementos son extraídos con reposición:<sup>57</sup>

- {40%, **70%**, **55%**, **70%**, **30%**, **30%**, **55%**, **55%**, 15%}
- {40%, **20%**, **30%**, **20%**, 15%, **60%**, 55%, **30%**, **60%**}
- {**15%**, 55%, **15%**, 25%, 60%, **30%**, **30%**, 40%, **30%**}

<sup>57</sup> Es decir, como el número extraído se devuelve a la muestra original, entonces en una siguiente extracción se puede volver a extraer el mismo número, por consiguiente, pueden existir números repetidos en la muestra Bootstrap que se desea formar.

Los elementos en negrita en cada muestra Bootstrap han sido tomados aleatoriamente con repetición. Además, se debe tener en cuenta que cada nuevo conjunto conserva el tamaño de la muestra original. Al repetir el proceso una cantidad finita (10.000) de veces se obtiene el resultado que se muestra en el cuadro A1.6.

**Cuadro A1.6. Muestras Bootstrap**

Nº	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	Promedio
1	40%	70%	55%	70%	30%	30%	55%	55%	15%	46,67%
2	40%	20%	30%	20%	15%	60%	55%	30%	60%	36,67%
3	15%	55%	15%	25%	60%	30%	30%	40%	30%	33,33%
4	15%	40%	55%	70%	55%	45%	55%	70%	60%	51,67%
5	30%	15%	25%	20%	70%	55%	45%	15%	20%	32,78%
6	70%	15%	60%	40%	25%	55%	40%	40%	70%	46,11%
7	40%	20%	55%	20%	40%	15%	45%	70%	15%	35,56%
8	25%	25%	60%	40%	45%	30%	60%	55%	40%	42,22%
9	40%	70%	70%	25%	15%	70%	60%	60%	20%	47,78%
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
10.000	55%	25%	30%	45%	45%	20%	25%	60%	15%	35,56%

Fuente: Elaboración propia.

La columna promedio contiene los valores promedio para cada una de las 10.000 muestras Bootstrap. El proceso iterativo para la realización de todas las muestras se lleva a cabo mediante simulaciones de Monte Carlo. Por lo tanto, del histograma de los promedios se obtiene los resultados estadísticos que se presentan en el cuadro A1.7.

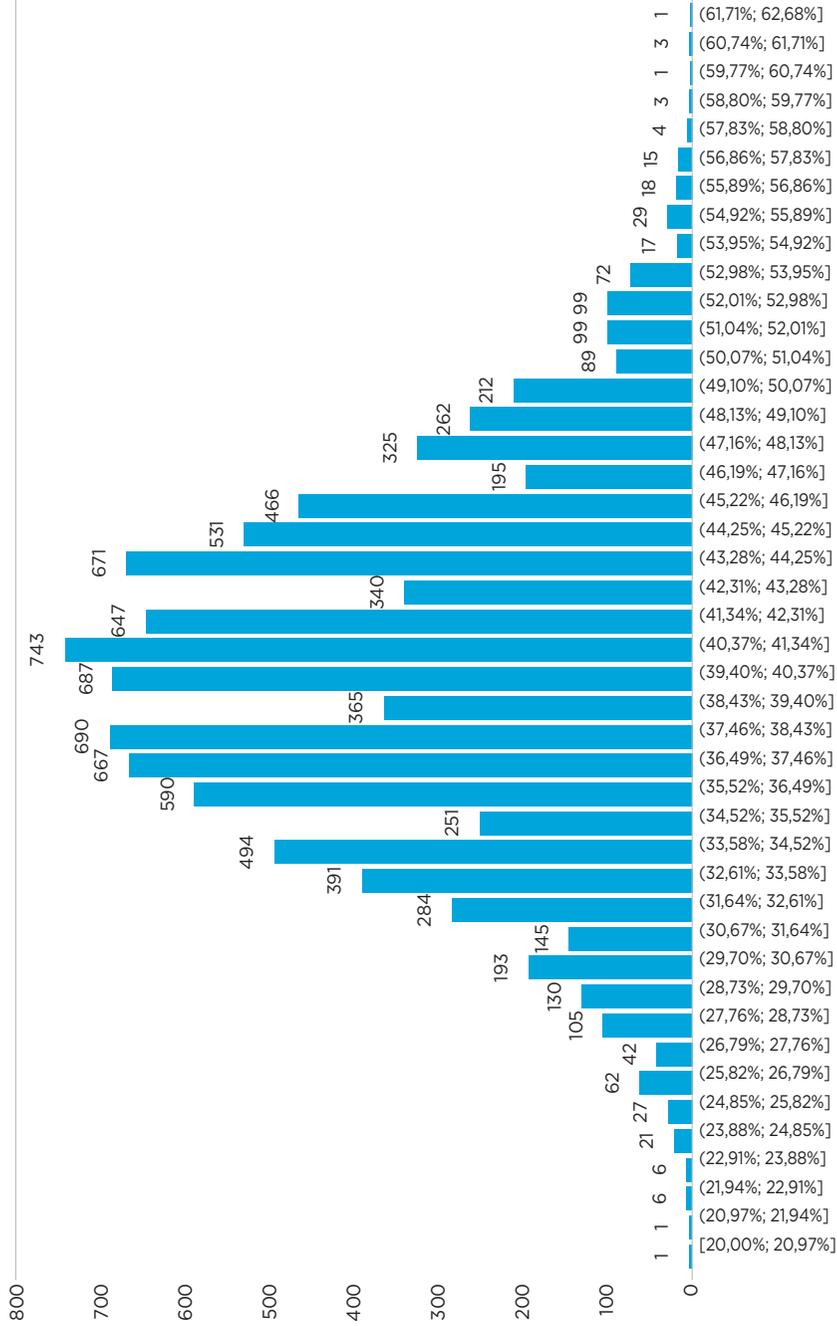
**Cuadro A1.7. Estadísticos obtenidos mediante el método Bootstrap**

Parámetro	Valor
Percentil 50 (promedio Bootstrap)	40,06%
Percentil 95	49,89%

Fuente: Elaboración propia.

El gráfico A1.3 muestra la distribución de las medias de cada una de las muestras Bootstrap.

**Gráfico A1.3. Distribución de las medias de las muestras Bootstrap**



Fuente: Elaboración propia.

El método Bootstrap permite inferir que las medias obtenidas de cada una de las muestras se distribuyen como una normal. En este sentido, los percentiles se obtienen por medio de la fórmula del percentil para una distribución Normal que se desarrolla en el siguiente apartado.

En consecuencia, los resultados obtenidos en el cuadro A1.7 se pueden interpretar de la siguiente manera: dada la información histórica de sobrecostos, para una aversión neutral al riesgo de sobrecostos se tiene un 40,06% de sobrecosto; sin embargo, si toma una aversión alta al riesgo se tiene un 49,89% de sobrecosto.

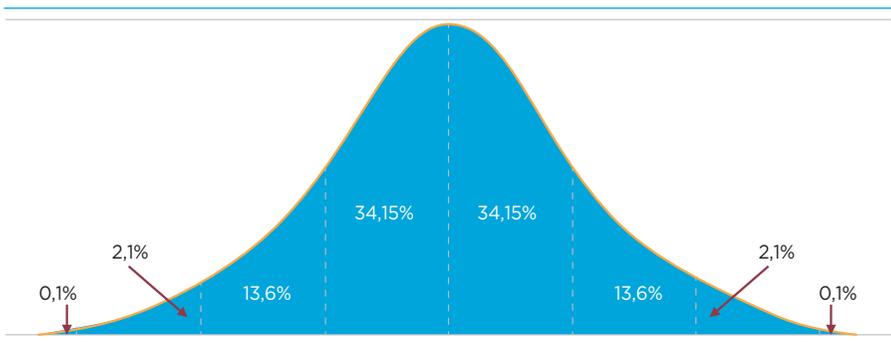
### Distribución Normal

La distribución Normal se basa en datos numéricos continuos; todos sus posibles valores se encuentran sobre la recta numérica real. Cuando los datos están organizados en forma de gráfico, su forma general es de campana simétrica. Es decir, la mayoría (aproximadamente el 68%) de la información se encuentra alrededor de la media (lo que le da la forma de campana), y a medida que se aleja hacia sus extremos se encuentran cada vez menos valores (que representan los lados inclinados a cada lado de la campana).

La distribución Normal depende de dos parámetros: promedio ( $\mu$ ) y desviación estándar ( $\sigma$ ). Por lo tanto, el promedio (y por tanto su mediana y moda) se encuentra en el centro de la distribución Normal debido a la simetría, y la desviación estándar se mide por la distancia desde la media hasta el punto de inflexión (donde la curvatura de la campana cambia de cóncava hacia arriba a cóncava hacia abajo).

La función de probabilidad de la distribución Normal es la que se muestra en el gráfico A1.4.

#### Gráfico A1.4. Distribución Normal



Fuente: Elaboración propia.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad x \in \mathbb{R}$$

Cuando la variable se distribuye normalmente el cálculo de los percentiles dependen del valor de su promedio ( $\mu$ ) y de la desviación estándar ( $\sigma$ ) (cuadro A1.8).

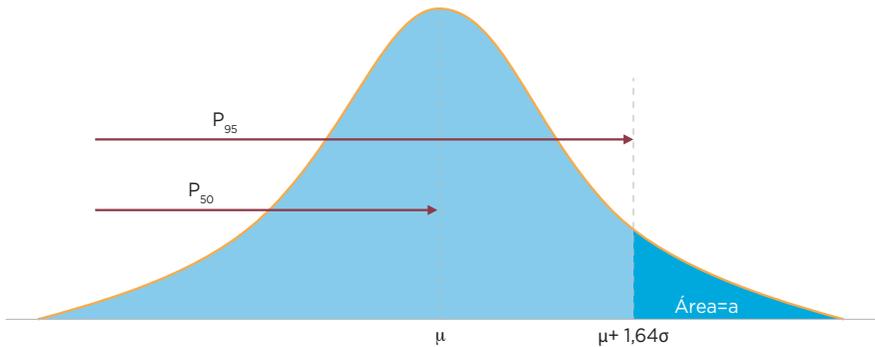
**Cuadro A1.8. Percepción frente al riesgo cuando los datos tienen distribución Normal**

Riesgo de impacto	Percentil	Posición frente al riesgo
$\mu$	50	Media o neutral al riesgo
$\mu + 1,645\sigma$	95	Alta

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico A1.5 se observa que los percentiles son valores sobre el eje horizontal, el cual representa a todos los valores de la variable aleatoria que se encuentran a la izquierda de ese valor, tal como se muestra mediante las zonas sombreadas.

**Gráfico A1.5. Cálculo de percentil en distribución Normal**



Fuente: Elaboración propia.

**Distribución triangular**

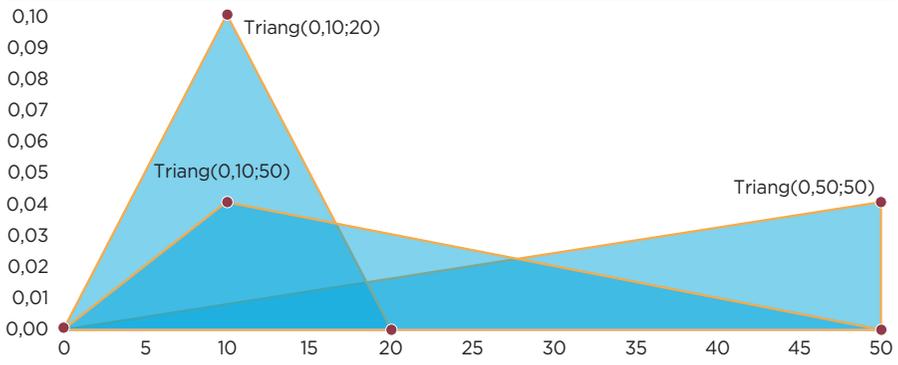
Se caracteriza por contar con tres parámetros, puede ser sesgada o simétrica y es fácil de entender porque es intuitiva. Los parámetros que la definen

son: mínimo ( $a$ ), más probable ( $c$ ) y máximo ( $b$ ), de modo que la distribución de probabilidad se determina de la siguiente manera:

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

En situaciones en las que el máximo sea difícil de establecer, la distribución triangular no suele ser la más adecuada, ya que este parámetro influye bastante en la determinación de los percentiles.

### Gráfico A1.6. Distribuciones triangulares



Fuente: Elaboración propia.

Los valores promedio y desviación estándar para una distribución triangular a partir de sus parámetros se expresan como sigue:

$$\mu = \frac{a+b+c}{3} \quad \sigma^2 = \frac{a^2 + b^2 + c^2 - ab - bc - ca}{18}$$

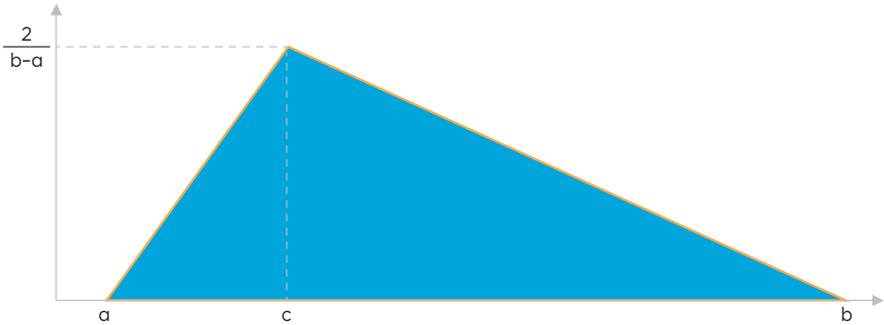
La expresión para el cálculo del percentil en una distribución triangular, que muestra el impacto del riesgo se calcula como:

$$P_k = \begin{cases} \text{si } k \leq I & X = \text{mínimo} + \sqrt{\frac{k(\text{máximo} - \text{mínimo})}{(\text{más probable} - \text{mínimo})}} \\ \text{si } k > I & X = \text{máximo} - \sqrt{\frac{(1-k)(\text{máximo} - \text{mínimo})}{(\text{máximo} - \text{más probable})}} \end{cases}$$

Donde el punto de inflexión ( $I$ ) se define como:

$$I = \frac{\text{m\u00e1s probable} - \text{m\u00ednimo}}{\text{m\u00e1ximo} - \text{m\u00ednimo}}$$

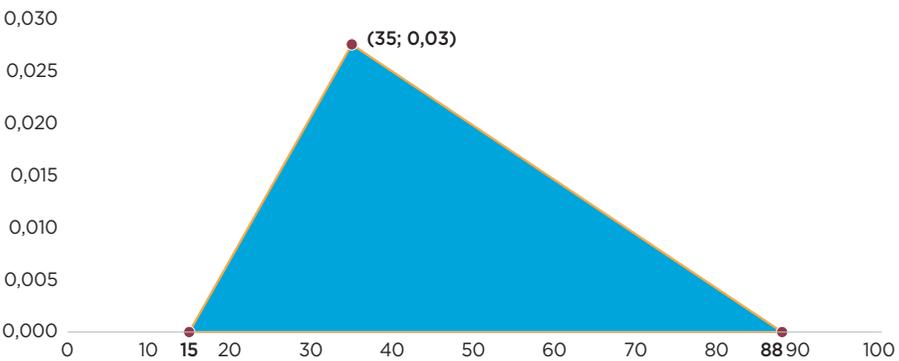
**Gr\u00e1fico A1.7. Distribuci\u00f3n triangular**



Fuente: Elaboraci\u00f3n propia.

Por ejemplo, si se desea calcular los percentiles 20 y 99 de una distribuci\u00f3n triangular de par\u00e1metros 15, 35 y 88, se tiene lo que muestra el gr\u00e1fico A1.8.

**Gr\u00e1fico A1.8. Distribuci\u00f3n triangular 15, 35 y 88**



Fuente: Elaboraci\u00f3n propia.

Primero se procede a calcular el punto de inflexi\u00f3n, que permitir\u00e1 decidir cu\u00e1l de las expresiones para el percentil emplear:

$$I = \frac{35 - 15}{88 - 15} = \frac{20}{73} = 0,274$$

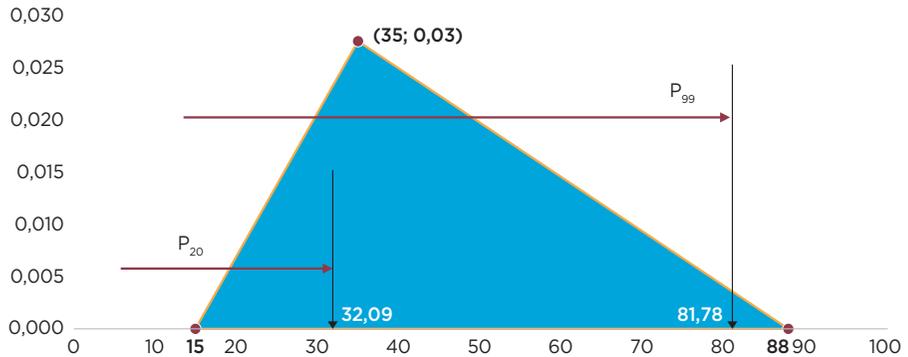
Pero los percentiles 20 y 99 se representan como 0,20 y 0,99, respectivamente. Por lo tanto, para el cálculo del percentil 20 se tiene:

$$\text{Percentil } 20 = 15 + \sqrt{0,20 \times (88 - 15)(35 - 15)} = 32,09$$

Para el caso del percentil 99, se procede de la siguiente manera: se emplea la segunda expresión definida para el percentil por ser mayor que el valor de la inflexión:

$$\text{Percentil } 99 = 88 - \sqrt{(1 - 0,99) \times (88 - 15)(88 - 35)} = 81,78$$

### Gráfico A1.9. Percentiles 20 y 99 en la distribución triangular



Fuente: Elaboración propia.

### Distribución Beta-PERT

Para una distribución Beta definida sobre el intervalo  $[a, b]$  con los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  se tiene lo siguiente:

$$\text{Media: } \mu = a + (b - a) \times \left( \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \right)$$

$$\text{Varianza: } \sigma^2 = \left( \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \right) \left( \frac{\beta}{\alpha + \beta} \right) \left( \frac{(b - a)^2}{\alpha + \beta + 1} \right)$$

Donde  $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros de forma.

La distribución Beta-PERT corresponde a un caso particular de la familia de distribuciones Beta, donde sus parámetros de forma quedan definidos por los tres parámetros PERT: valor mínimo, valor máximo y valor más probable.

En el caso general, la media de la distribución Beta-PERT viene dada por la siguiente expresión:

$$\text{PERT media: } \mu = \frac{a + kc + b}{k + 2}$$

Donde:

$$k = \sqrt{\frac{2}{m(1-m)}} \quad \text{con} \quad m = \frac{c-a}{b-a}$$

Para la distribución Beta-PERT se cumple lo siguiente:

$$\begin{aligned}\alpha &= 1 + km \\ \beta &= 1 + k(1-m)\end{aligned}$$

Al sustituir el valor de  $k$  en las fórmulas de  $\alpha$  y  $\beta$  se obtiene:

$$\begin{aligned}\alpha &= 1 + \sqrt{\frac{2(c-a)}{b-c}} \\ \beta &= 1 + \sqrt{\frac{2(b-c)}{c-a}}\end{aligned}$$

A partir de los parámetros de forma se pueden generar números aleatorios que describan el plazo de una actividad de un proyecto, por medio del generador de números aleatorios uniforme ALEATORIO() y la función percentil INV.BETA.N(ALEATORIO();  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $a$ ,  $b$ ) en Microsoft Excel.

Aplicar el método de Monte Carlo permite analizar la distribución de la duración del proyecto dado por la distribución Beta-PERT, de modo que se logra obtener resultados estadísticos que convergen a los valores de los parámetros teóricos de la distribución Beta-PERT a medida que el número de simulaciones se hace más grande. La distribución Beta-PERT enfatiza el valor “más probable” sobre las estimaciones mínimo y máximo. Por esta razón, a veces se le critica que entrega pronósticos demasiado optimistas, a diferencia de la distribución triangular, donde los valores extremos tienen mayor incidencia en los resultados.

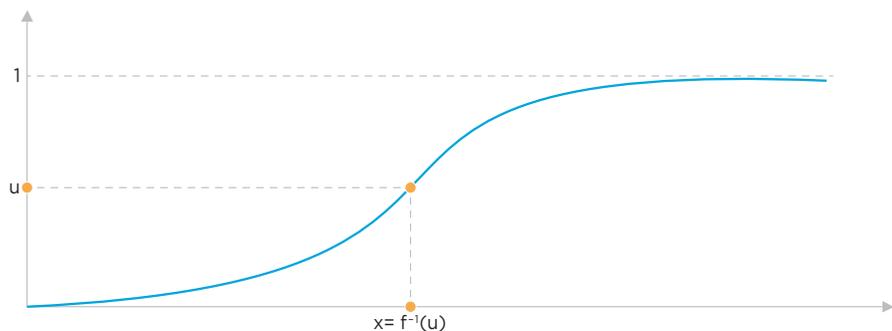
## Simulación de Monte Carlo

La simulación de Monte Carlo permite recrear distintos escenarios que son útiles al momento de realizar análisis de riesgos por medio de una distribución de probabilidad que describe el comportamiento de la variable que se desea modelar. De esta manera, la simulación de Monte Carlo proporciona una visión mucho más amplia de lo que podría suceder o de la forma en la cual es más probable que suceda. Para entender el proceso de la generación de números aleatorios a partir de una distribución de probabilidad  $f(x)$ , se emplea su función acumulada, que tiene como rango el intervalo entre 0 y 1:

$$F(a) = \mathbb{P}(X \leq a) = \int_{-\infty}^a f(t) dt$$

Si se elige  $a$  con densidad de probabilidad  $f(a)$ , entonces la probabilidad integrando hasta el punto  $a$ ,  $F(a)$  es en sí misma una variable aleatoria que se producirá con densidad de probabilidad sobre  $[0, 1]$ . Si  $x$  puede tomar cualquier valor, e ignorando los valores extremos, se encuentra un único  $x$  elegido de la función de densidad de probabilidad  $F(\cdot)$  para algún valor de su dominio. Si se define  $u = F(x)$ , siempre es posible encontrar la inversa de  $F$ , definido por  $x = F^{-1}(u)$ . Este método se muestra en el gráfico A1.10.

### Gráfico A1.10. Distribución continua

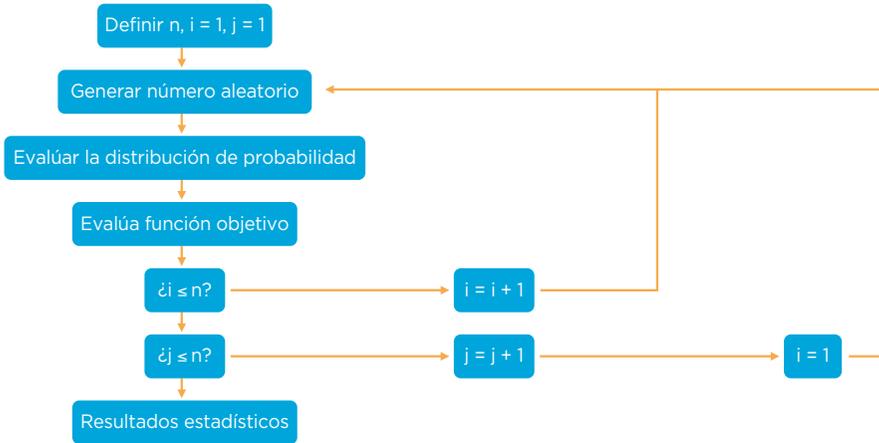


Fuente: Elaboración propia.

Es decir, para un único valor de probabilidad en su rango ( $[0, 1]$ ) es posible obtener un único valor en su dominio ( $x$ ), donde  $u$  es generado mediante una distribución uniforme  $(0, 1)$  para encontrar un número aleatorio  $x$  de

una función acumulada  $F$ . En la actualidad, existen muchos *softwares* estadísticos que permiten realizar simulaciones de Monte Carlo para un número amplio de distribuciones de probabilidad. También se puede desarrollar en Microsoft Excel, mediante la programación en Visual Basic for Applications para Microsoft Excel (gráfico A1.11).

**Gráfico A1.11. Algoritmo del método de Monte Carlo**



Fuente: Elaboración propia.

### Desigualdad de Chebyshev

La desigualdad de Chebyshev<sup>58</sup> se aplica cuando no se tiene conocimiento de la distribución de la probabilidad asociada a la variable aleatoria bajo análisis. Sea  $X$  una variable aleatoria con media  $\mu$  y volatilidad  $\sigma$ . Para  $k$  un número mayor que 1, entonces la probabilidad de que una variable aleatoria

<sup>58</sup> La regla empírica de la desigualdad, también conocida en la literatura estadística como teorema de Chebyshev, aparece cuando se trata de responder la siguiente inquietud: ¿Siempre que se conoce la distribución de probabilidad de una variable aleatoria es posible conocer su valor promedio y su varianza; sin embargo, si se da el caso contrario, es decir, si se conoce su valor promedio y su varianza, no es posible construir la distribución de probabilidad asociada a dicha variable aleatoria? Por consiguiente, no es posible realizar el siguiente cálculo:  $\mathbb{P}(|X - \mu| \leq C)$ . El teorema de Chebyshev permite obtener una cota superior a la probabilidad de que los valores caigan fuera de esa distancia respecto de su valor promedio, independiente de la distribución de probabilidad asociada a la variable aleatoria.

se encuentre a una distancia de su promedio menor que  $k$  veces la desviación estándar no puede ser menor que  $1 - 1/k^2$ . Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$\mathbb{P}[|X - \mu| \leq k\sigma] \geq 1 - \frac{1}{k^2}$$

En otras palabras: dado un número  $k > 1$  y un conjunto de  $n$  observaciones, al menos  $(1-1/k^2) * n$  de las observaciones caen dentro de  $k$  desviaciones estándares alrededor de la media.

A continuación, en el cuadro A1.9 se muestran algunos resultados para distintos valores de  $k$ .

### Cuadro A1.9. Distancia con respecto a la media aplicando la regla empírica de la desigualdad

$k$	$\mathbb{P}[ X - \mu  \leq k\sigma] \geq 1 - \frac{1}{k^2}$
$\sqrt{2}$	Se puede asegurar que el 50% de las observaciones caen dentro de $\sqrt{2}$ volatilidades con respecto a la media
2	Se puede asegurar que el 75% de las observaciones se encuentra a una distancia de 2 volatilidades con respecto a la media.
3	Se tiene la certeza de que el 89% de la muestra está a una distancia de 3 volatilidades con respecto a la media.

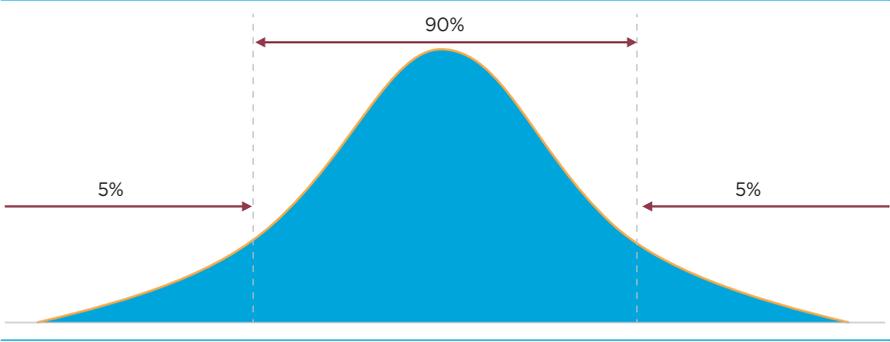
Fuente: Elaboración propia.

Es decir, hay un 89% de probabilidad de encontrar a la variable aleatoria en el intervalo  $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$  y un 11% de probabilidad fuera de dicho intervalo. Por lo tanto, para un intervalo de confianza del 90%, la distribución de los datos tendrá colas que representan el 10%. Si se asume que los datos se distribuyen de forma simétrica, entonces cada una de las colas representará el 5% del total de los datos (gráfico A1.12). Por consiguiente, aplicando la regla empírica de la desigualdad para un intervalo al 90% de confianza, se obtiene el valor de  $k$ , es decir lo siguiente:

$$1 - \frac{1}{k^2} = 90\% \Rightarrow k = 3,162$$

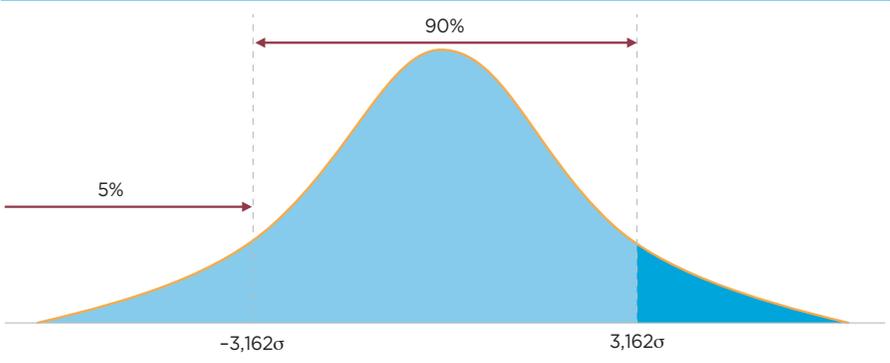
Por consiguiente, se puede afirmar que el 5% del total de los datos se encuentra 3,162 veces la desviación estándar por debajo de la media y, además, teniendo en cuenta el intervalo de confianza del 90%, se puede inferir

**Gráfico A1.12. Representación del intervalo de confianza mediante la regla empírica de la desigualdad**



Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico A1.13. Representación de los percentiles: regla empírica de la desigualdad**



Fuente: Elaboración propia.

que el 95% de los datos se encuentra como máximo a 3,162 veces la desviación estándar por encima de la media. Si se considera la definición del percentil, tal como se presentó en la sección anterior, se tiene lo siguiente:

**Cuadro A1.10. Regla percentil 5-50-95 por la regla empírica de la desigualdad**

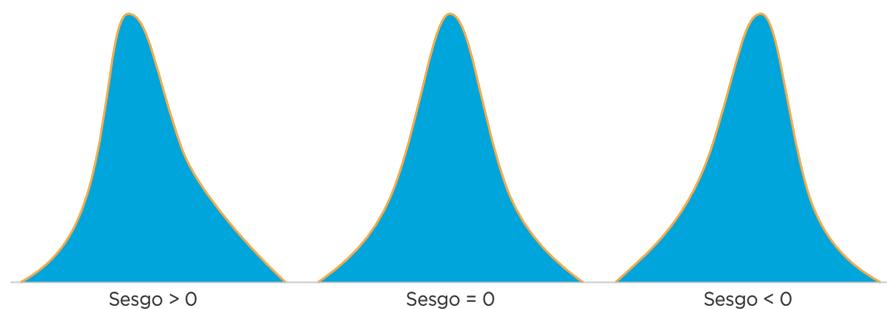
Regla percentil 5-50-95	Percentiles
$\mu - 3,162\sigma$	$P_5$
$\mu$	$P_{50}$
$\mu + 3,162\sigma$	$P_{95}$

Fuente: Elaboración propia.

## Coeficiente de asimetría

El coeficiente de asimetría, también conocido como sesgo, mide la forma de la distribución con respecto a su valor promedio. Para un valor positivo, se entiende que la distribución se encuentra sesgada hacia la izquierda; un resultado negativo indica que se encuentra sesgada a la derecha.

**Gráfico A1.14. Coeficiente de asimetría o sesgo**



Fuente: Elaboración propia.

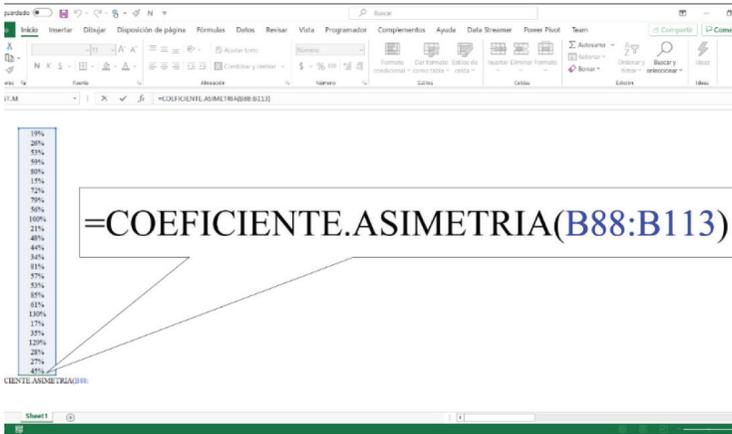
En Excel el cálculo del coeficiente de asimetría de un conjunto de datos se obtiene por medio de la función `COEFICIENTE.ASIMETRÍA (número1,[número2],...)`. Considérese la información del cuadro A1.11.

**Cuadro A1.11. Serie de datos: coeficiente de asimetría**

19%	26%	53%	59%	80%	15%	72%	79%	56%	100%	21%	48%	44%
34%	81%	57%	53%	85%	61%	130%	17%	35%	129%	28%	27%	45%

Fuente: Elaboración propia.

## Imagen A1.5. Cálculo del coeficiente de asimetría



Fuente: Elaboración propia.

## Curtosis

La curtosis también es un estadístico de forma para la distribución Normal. Mide qué tan concentrados se encuentran los datos con respecto a la media y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$K = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{\left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right]^2}$$

Debido a que la distribución normal tiene una curtosis igual a 3, se define el exceso de curtosis como el valor de la curtosis disminuido en tres unidades, es decir:

$$\text{Exceso de curtosis} = K - 3$$

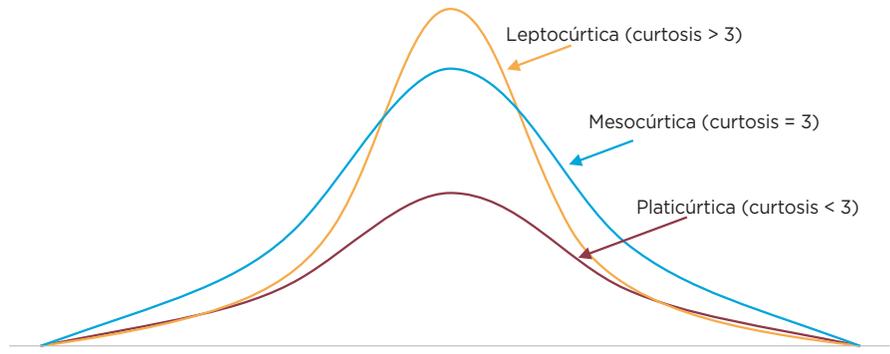
La curtosis puede ser: leptocúrtica, platicúrtica y mesocúrtica (gráfico A1.15).

- **Leptocúrtica:** los datos se encuentran muy concentrados alrededor de la media.
- **Mesocúrtica:** los datos se distribuyen alrededor de la media y los extremos (colas).<sup>59</sup>
- **Platicúrtica;** los datos se distribuyen en mayor proporción en las colas (colas pesadas).

<sup>59</sup> La distribución normal tiene una curtosis igual a 3.

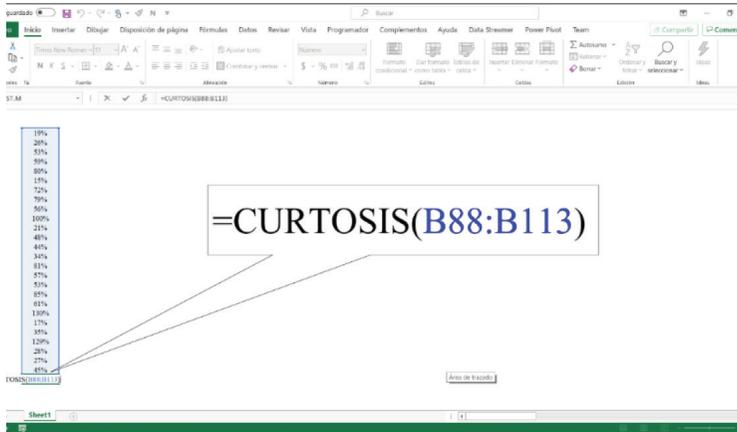
Es conveniente aclarar que en Excel la función  $CURTOSIS(número1, [número2], ...)$  devuelve como resultado un estimador del exceso de curtosis. Considérese la información del cuadro A1.12.

### Gráfico A1.15. Curtosis



Fuente: Elaboración propia.

### Imagen A1.6. Cálculo de la curtosis



Fuente: Elaboración propia.

### Cuadro A1.12. Serie de datos: curtosis

19%	26%	53%	59%	80%	15%	72%	79%	56%	100%	21%	48%	44%
34%	81%	57%	53%	85%	61%	130%	17%	35%	129%	28%	27%	45%

Fuente: Elaboración propia.

## Prueba de Shapiro-Wilk

Esta prueba de normalidad es recomendable cuando se cuenta con muestras reducidas ( $3 \leq n \leq 50$ ). Este estadístico mide de qué manera los datos observados se ajustan a la recta<sup>60</sup> (recta de 45°) y no la distancia a la distribución Normal. Este estadístico se formula de la siguiente forma:

$$W = \frac{1}{\sum_{j=1}^n (x_j - \mu)^2} \left[ \sum_{j=1}^n (a_{j,n} \times (x_{n-j+1} - x_j)) \right]^2$$

**Cuadro A1.13. Valores críticos para la prueba de Shapiro-Wilk**

n	1%	2%	5%	10%	50%	90%	95%	98%	99%
3	0,753	0,756	0,767	0,789	0,959	0,998	0,999	1,000	1,000
4	0,687	0,707	0,748	0,792	0,935	0,987	0,992	0,996	0,997
5	0,686	0,715	0,762	0,806	0,927	0,979	0,986	0,991	0,993
6	0,713	0,743	0,788	0,826	0,927	0,974	0,981	0,986	0,989
7	0,730	0,760	0,803	0,838	0,928	0,972	0,979	0,985	0,988
8	0,749	0,778	0,818	0,851	0,932	0,972	0,978	0,984	0,987
9	0,764	0,791	0,829	0,859	0,935	0,972	0,978	0,984	0,986
10	0,781	0,806	0,842	0,869	0,938	0,972	0,978	0,983	0,986
11	0,792	0,817	0,850	0,876	0,940	0,973	0,979	0,984	0,986
12	0,805	0,828	0,859	0,883	0,943	0,973	0,979	0,984	0,986
13	0,814	0,837	0,866	0,889	0,945	0,974	0,979	0,984	0,986
14	0,825	0,846	0,874	0,895	0,947	0,975	0,980	0,984	0,986
15	0,835	0,855	0,881	0,901	0,950	0,975	0,980	0,984	0,987
16	0,844	0,863	0,887	0,906	0,952	0,976	0,981	0,985	0,987
17	0,851	0,869	0,892	0,910	0,954	0,977	0,981	0,985	0,987
18	0,858	0,874	0,897	0,914	0,956	0,978	0,982	0,986	0,988
19	0,863	0,879	0,901	0,917	0,957	0,978	0,982	0,986	0,988
20	0,868	0,884	0,905	0,920	0,959	0,979	0,983	0,986	0,988
21	0,873	0,888	0,908	0,923	0,960	0,980	0,983	0,987	0,989
22	0,878	0,892	0,911	0,926	0,961	0,980	0,984	0,987	0,989

(continúa en la página siguiente)

<sup>60</sup> Recta probabilística normal.

**Cuadro A1.13. Valores críticos para la prueba de Shapiro-Wilk** (cont.)

n	1%	2%	5%	10%	50%	90%	95%	98%	99%
23	0,881	0,895	0,914	0,928	0,962	0,981	0,984	0,987	0,989
24	0,884	0,898	0,916	0,930	0,963	0,981	0,984	0,987	0,989
25	0,888	0,901	0,918	0,931	0,964	0,981	0,985	0,988	0,989
26	0,891	0,904	0,920	0,933	0,965	0,982	0,985	0,988	0,989
27	0,894	0,906	0,923	0,935	0,965	0,982	0,985	0,988	0,990
28	0,896	0,908	0,924	0,936	0,966	0,982	0,985	0,988	0,990
29	0,898	0,910	0,926	0,937	0,966	0,982	0,985	0,988	0,990
30	0,900	0,912	0,927	0,939	0,967	0,983	0,985	0,988	0,990
31	0,902	0,914	0,929	0,940	0,967	0,983	0,986	0,988	0,990
32	0,904	0,915	0,930	0,941	0,968	0,983	0,986	0,988	0,990
33	0,906	0,917	0,931	0,942	0,968	0,983	0,986	0,989	0,990
34	0,908	0,919	0,933	0,943	0,969	0,983	0,986	0,989	0,990
35	0,910	0,920	0,934	0,944	0,969	0,984	0,986	0,989	0,990
36	0,912	0,922	0,935	0,945	0,970	0,984	0,986	0,989	0,990
37	0,914	0,924	0,936	0,946	0,970	0,984	0,987	0,989	0,990
38	0,916	0,925	0,938	0,947	0,971	0,984	0,987	0,989	0,990
39	0,917	0,927	0,939	0,948	0,971	0,984	0,987	0,989	0,991
40	0,919	0,928	0,940	0,949	0,972	0,985	0,987	0,989	0,991
41	0,920	0,929	0,941	0,950	0,972	0,985	0,987	0,989	0,991
42	0,922	0,930	0,942	0,951	0,972	0,985	0,987	0,989	0,991
43	0,923	0,932	0,943	0,951	0,973	0,985	0,987	0,990	0,991
44	0,924	0,933	0,944	0,952	0,973	0,985	0,987	0,990	0,991
45	0,926	0,934	0,945	0,953	0,973	0,985	0,988	0,990	0,991
46	0,927	0,935	0,945	0,953	0,974	0,985	0,988	0,990	0,991
47	0,928	0,936	0,946	0,954	0,974	0,985	0,988	0,990	0,991
48	0,929	0,937	0,941	0,954	0,974	0,985	0,988	0,990	0,991
49	0,929	0,937	0,947	0,955	0,974	0,985	0,988	0,990	0,991
50	0,930	0,938	0,947	0,955	0,974	0,985	0,988	0,990	0,991

Fuente: Elaboración propia.

Donde:  $n$  es el número de datos,  $x_j$  es el dato en orden ascendente de la muestra que ocupa el lugar  $j$ ,  $\mu$  es la media,  $h$  es  $n/2$  si  $n$  es par, o  $(n - 1)/2$  si  $n$  es impar y  $a_{j,n}$  es un valor tabulado. La hipótesis nula se acepta cuando el valor de  $W$  es superior al valor crítico que se encuentra tabulado en el cuadro A1.13.

## Prueba de Jarque-Bera

Esta prueba analiza la normalidad<sup>61</sup> o la no normalidad de un conjunto de datos, donde el número de observaciones mínimas es igual a 30. El proceso se realiza comparando la diferencia entre los coeficientes de asimetría y curtosis de las observaciones, con respecto a los de una distribución Normal. Esta es una prueba asintótica o de grandes muestras. La expresión de este estadístico es la siguiente:

$$JB = n \left[ \frac{S^2}{6} + \frac{(K-3)^2}{24} \right] \sim \underbrace{\chi^2_2 = 5,99}_{\text{Valor crítico}}$$

Donde:  $S$  es la asimetría y  $K$  la curtosis (por lo tanto  $k - 3$  es el valor del exceso de curtosis). Bajo la hipótesis nula de distribución normal, el estadístico Jarque Bera se distribuye como una Chi-cuadrado con dos grados de libertad. En Excel se calcula mediante la función de Microsoft Excel: INV.CHICUAD.CD(*probabilidad, grados\_de\_libertad*). Esta prueba contrasta la siguiente hipótesis nula: la distribución es normal, de las tablas correspondientes se tiene que con un 95% de confianza se obtiene el valor de 5,99, es decir, se puede concluir que para valores menores a 6 del  $JB$  no se rechaza el supuesto de normalidad.

Por ejemplo, si para una muestra  $n = 97$  de sobrecostos se tienen los siguientes estadísticos:

*Simetría* = 0,149, *Curtosis* = 2,942, *Exceso de curtosis* = -0,058

$$JB = 97 \left[ \underbrace{\frac{0,149^2}{6} - \frac{(2,942-3)^2}{24}}_{0,374} \right] < \underbrace{INV.CHICUAD.CD(0,05,2)}_{5,99}$$

Esto permite aceptar la hipótesis nula de la normalidad, con un grado de confianza superior al 95%.

<sup>61</sup> Para mayores detalles sobre la prueba véase Thorsten y Büning (2004).

## Anexo 2.

# Procesos estocásticos para modelar riesgos de ingresos<sup>62</sup>

A continuación se presentan procesos estocásticos para modelar la dinámica de la variable ingresos. Además se presenta la descomposición de Cholesky para procesos estocásticos correlacionados.

### Movimiento browniano geométrico

El primer supuesto en los modelos de valoración de pasivos contingentes y riesgos de ingresos es la manera en la cual se genera la dinámica los ingresos en el tiempo. Generalmente, se asume un MBG. Este movimiento se construye sobre la base de los procesos de difusión (Wiener) en tiempo continuo y los retornos de los ingresos siguen una distribución lognormal. La distribución lognormal del retorno de los ingresos implica que el logaritmo neperiano de la diferencia de los ingresos  $\ln\left(\frac{Y_t}{Y_{t-1}}\right)$  sobre cualquier periodo tiene una distribución normal con media y varianza proporcional a la longitud del periodo. En este modelo se asume que los ingresos siguen un MBG, el cual satisface la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta Y_t}{Y_t} = \mu \Delta t + \sigma \sqrt{\Delta t} \Delta W_t, \quad \Delta W_t \sim \mathcal{N}(0,1)$$

---

<sup>62</sup> Se agradece la revisión realizada por Giancarlo Oviedo, analista cuantitativo de IKONS ATN.

Donde:

- $Y_t$ : es el ingreso por tarifas en el período  $t$ ;
- $\mu$ : es la tasa de crecimiento esperado de los ingresos;
- $\Delta t$ : es el incremento del tiempo;
- $\sigma$ : es la volatilidad de los ingresos; y
- $W$ : es el proceso Wiener con media cero.

Una propiedad importante del proceso de Wiener ( $W$ ) es que los incrementos ( $\Delta W_t = W_t - W_{t-1}$ ) tienen una distribución normal con media cero y varianza uno, lo cual debe tenerse en cuenta al realizar simulaciones con base en la ecuación anterior.

La solución de la ecuación diferencial estocástica anterior es equivalente a la siguiente expresión:

$$Y_t = Y_0 \times \exp \left[ \left( \mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) t + \sigma W_t \right]$$

### Movimiento browniano geométrico ajustado por riesgo

El modelo comienza con los niveles de ingresos por concepto de tarifas y hace supuestos acerca de cómo estos evolucionan en el tiempo, las tasas esperadas de crecimiento, la volatilidad de los ingresos por los servicios prestados. La formulación del modelo para el ingreso es la siguiente:

$$\Delta Y_t = \mu Y_t \Delta t + \sigma Y_t \sqrt{\Delta t} \Delta W_t, \quad \Delta W_t \sim N(0,1) \quad (1)$$

Donde:

- $Y_t$ : es el ingreso por tarifas en el período  $t$ ;
- $\mu$ : es la tasa de crecimiento esperada de los ingresos;
- $\Delta t$ : es el incremento del tiempo;
- $\Delta W_t$ : es la variable aleatoria normal estándar; y
- $\sigma$ : es la volatilidad de los ingresos.

Mediante el lema de Itô, es posible obtener la solución de la ecuación diferencial estocástica (1) que describe el modelo de ingresos, la cual se expresa en la siguiente ecuación:

$$Y_t = Y_0 \exp \left[ \left( \mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) t + \sigma W_t \right]$$

Que también puede expresarse en forma recursiva según:

$$Y_{t+1} = Y_t \exp\left[\left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)t + \sigma\Delta W_t\right]$$

Una alternativa de valoración es que las garantías de ingresos se valoren por medio de la simulación de los flujos ajustados por riesgo en lugar de los flujos reales. Esto se hace simulando ingresos ajustados por riesgo y, en seguida, calculando los pagos que deberían realizarse. Luego se descuentan los pagos resultantes a la tasa libre de riesgo para incorporar el valor temporal del dinero y obtener así un valor para las garantías en valor presente.

Si el ingreso sigue un MBG con crecimiento esperado  $\mu t$ , el proceso ajustado por riesgo apropiado para el ingreso por tráfico es:

$$\Delta Y_t = (\mu - \Omega\sigma)Y_t\Delta t + \sigma Y_t\sqrt{\Delta t}\Delta W_t \quad (2)$$

Donde  $\Omega$  es un parámetro que representa el precio de mercado del riesgo de ingreso. Estimar el valor de  $\Omega$  es problemático y requiere adoptar un método de valoración de activos, como el modelo de valoración de activos financieros (CAPM, por sus siglas en inglés). A efectos prácticos y de simplicidad, se asume que el CAPM se aplica, es decir:

$$\Omega = \rho_Y \left( \frac{\mathbb{E}(R_m) - r}{\sigma_m} \right)$$

Donde:

$R_m$ : es el rendimiento esperado del mercado;

$\sigma_m$ : es la desviación estándar del rendimiento de mercado;

$\rho_Y$ : es el coeficiente de correlación entre el exceso de rendimiento en el mercado (el rendimiento de mercado menos la tasa libre de riesgo) y el ingreso; y

$r$ : es la tasa de interés libre de riesgo.

Para estimar  $\Omega$ , la metodología recomienda seguir el siguiente procedimiento:

- Conocer la correlación entre los cambios anuales en el ingreso del proyecto y el exceso de retornos en el mercado.
- Se sugiere emplear una estimación del premio de riesgo de mercado

calculado como el retorno promedio del mercado menos el promedio de la tasa libre de riesgo. Para la estimación de la tasa de retorno del portafolio de mercado generalmente se puede utilizar el Índice Standard & Poor's 500 (S&P 500).

- Se debe emplear una estimación de la desviación estándar de los retornos en el mercado.

La solución de la ecuación diferencial estocástica (2) se expresa de la siguiente manera:

$$Y_t = Y_0 \exp \left[ \left( (\mu - \Omega\sigma) - \frac{1}{2}\sigma^2 \right) t + \sigma W_t \right]$$

En su forma recursiva se expresa según:

$$Y_{t+1} = Y_t \exp \left[ \left( (\mu - \Omega\sigma) - \frac{1}{2}\sigma^2 \right) t + \sigma \Delta W_t \right]$$

### Movimiento browniano geométrico con shock de persistencia<sup>63</sup>

Dada la relación de volatilidad entre los ingresos y el PIB es posible asumir un modelo estocástico del PIB en el cual los shocks persisten en el tiempo y, de manera consistente, también los ingresos, es decir:

$$\frac{\Delta Y_t}{Y_t} = \mu \Delta t + \sigma \sqrt{\Delta t} (\Delta W_t + \beta \Delta W_{t-1}) \quad (3)$$

Donde:

$Y_t$ : son los ingresos en el período  $t$ ;

$\mu$ : es la tasa de crecimiento esperado de los ingresos;

$\Delta t$ : es el incremento del tiempo;

$W$ : es el proceso de Wiener con media cero;

$\sigma$ : es la volatilidad de los ingresos; y

$\beta$ : es el parámetro que mide la persistencia de los shocks.

La solución de la ecuación diferencial estocástica (3) es la siguiente:

<sup>63</sup> Propuesto por Banco Mundial (2003).

$$Y_t = Y_0 \exp \left[ \left( \mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) t + \sigma (W_t - \beta W_{t-1}) \right]$$

## Movimiento browniano con reversión a la media

Este modelo fue desarrollado por Ornstein y Uhlenbeck (1930) con el fin de modelar la velocidad del movimiento de una partícula en intervalos de tiempo pequeños. Luego de un shock, una partícula no se detiene después de cambiar de posición, sino que se mueve de forma continua a medida que pierde velocidad. A diferencia de un movimiento browniano simple, el modelo Ornstein-Uhlenbeck es capaz de capturar esta pérdida de velocidad. Se trata de un proceso estocástico que, en términos generales, describe la velocidad de una partícula browniana bajo la influencia de una fricción. Puede considerarse como una modificación de un camino aleatorio (*random walk*) en tiempo continuo, o proceso de Wiener, donde las propiedades del proceso han sido cambiadas, de modo que hay una tendencia por la cual el camino se mueve hacia una posición central, con una mayor atracción cuando el proceso está más lejos del centro. En finanzas es ampliamente usado para estudiar el precio de las materias primas (*commodities*), como el precio del petróleo, la tasa de interés y otras variables que se consideren que pueden revertir a la media.

El proceso se representa como sigue:

$$dY_t = \theta(\mu - Y_t) \Delta t + \sigma \sqrt{\Delta t} \Delta W_t$$

Donde:

- $Y_t$ : son los ingresos en el período  $t$ ;
- $\mu$ : es la tasa de crecimiento esperado de los ingresos;
- $\Delta t$ : es el incremento del tiempo;
- $W$ : es el proceso de Wiener con media cero;
- $\sigma$ : es la volatilidad de los ingresos; y
- $\theta$ : es el parámetro que mide la velocidad con la que la variable revierte a su media.

## Modelo de saltos de Kou

Kou (2002) plantea un modelo de difusiones doble exponencial con salto, que tiene solución analítica para valoración de opciones, incluyendo opciones de compra (*call*) y venta (*put*).

Kou (2002) propone un modelo donde asume que la variable aleatoria<sup>64</sup> sigue un movimiento browniano estándar más un proceso compuesto de Poisson con tamaños de salto que se distribuyen doble exponencial. El cálculo explícito es posible debido a la propiedad de la pérdida de memoria de la distribución doble exponencial.

La dinámica propuesta para los ingresos es la siguiente:

$$\frac{\Delta Y_t}{Y_t} = \mu \Delta t + \sigma \sqrt{\Delta t} \Delta W_t + \Delta \left( \sum_{i=1}^{N_t} (V_i - 1) \right) \quad (4)$$

Donde  $W_t$  es un movimiento browniano estándar,  $N_t$  es un proceso de Poisson con intensidad (tasa)  $\lambda$ , y  $\{V_i\}$  es una sucesión de variables aleatorias no negativas que se distribuye idéntica e independientemente, de modo que  $\gamma = \ln(V)$  tiene una distribución doble exponencial<sup>65</sup> con función de distribución de probabilidad:

$$f_Y(y) = p\eta_1 e^{-\eta_1 y} 1_{\{y \geq 0\}} + q\eta_2 e^{-\eta_2 y} 1_{\{y < 0\}}, \quad \eta_1 > 1, \eta_2 > 0$$

Donde  $p, q \geq 0$ ,  $p + q = 1$  representan las probabilidades de los saltos hacia arriba o hacia abajo. Además, todas las fuentes de aleatoriedad son independientes, es decir:  $N_t$ ,  $W_t$  y  $Y$ .

La solución de la ecuación diferencial estocástica (4) es la siguiente:

$$Y_t = Y_0 \exp \left[ \left( \mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) t + \sigma (W_t) \right] \prod_{i=1}^{N_t} V_i$$

Este tipo de procesos puede aplicarse a proyectos de energía, donde por ejemplo los periodos de sequías pueden ser saltos a la baja para la generación energética y los periodos de lluvias fuertes pueden ser saltos positivos. Lo mismo se aplica para proyectos de APP de embalses orientados al riego.

## Dependencia entre variables aleatorias: descomposición de Cholesky

Cuando en un sector en particular hay más de un proyecto donde se deben valorar pasivos contingentes se debe considerar una cartera sectorial de

<sup>64</sup> La tasa de crecimiento de los ingresos.

<sup>65</sup> Es decir:

$$\ln(V) = Y = \begin{cases} \xi^+, & \text{con probabilidad } p \\ -\xi^-, & \text{con probabilidad } q \end{cases}$$

Donde  $\xi^+$  y  $\xi^-$  son variables aleatorias exponenciales con medias  $1/\eta_1$  y  $1/\eta_2$ , respectivamente; la relación de igualdad es en distribución.

proyectos, y necesariamente debe incluirse el análisis de correlación serial entre el proceso estocástico de cada uno de los proyectos. En efecto, una correcta modelación del pasivo contingente no solo debe reflejar la aleatoriedad de sus variables, sino también sus dependencias. Es decir, los escenarios que se generen deberán mantener una estructura de correlaciones. En este sentido, se debe incorporar una estructura de dependencia entre las distintas variables aleatorias del pasivo contingente, con la finalidad de obtener escenarios más realistas. Para lo anterior se debe utilizar una técnica denominada descomposición de Cholesky<sup>66</sup> la cual genera números aleatorios correlacionados, que se pueden emplear para generar escenarios de simulación a partir de números normalmente distribuidos y de su matriz de varianzas-covarianza. Por consiguiente, se generan escenarios más consistentes como producto de la simulación. A continuación se explica esta metodología.

En el caso del MBG,<sup>67</sup> modelar variables aleatorias correlacionadas significa correlacionar variables aleatorias normales. Antes de plantear el problema de forma general, se hará un breve repaso de los conceptos de correlación y otros afines.

- Sean  $X_1$  y  $X_2$  dos variables aleatorias, entonces la covarianza  $X_1$  y  $X_2$  de y se define como:

$$\text{Cov}(X_1, X_2) = \mathbb{E}[X_1 X_2] - \mathbb{E}[X_1] \mathbb{E}[X_2]$$

Y la correlación de  $X_1$  y  $X_2$  será entonces definida como:

$$\text{Corr}(X_1, X_2) = \rho(X_1, X_2) = \frac{\text{Cov}(X_1, X_2)}{\sqrt{\mathbb{V}(X_1) \mathbb{V}(X_2)}}$$

Si  $X_1$  y  $X_2$  son independientes, entonces  $\rho = 0$ , aunque su recíproco no siempre se cumple. Además,  $-1 \leq \rho \leq 1$ .

- Supóngase que  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$  es un vector aleatorio y que además  $\Sigma$  representa la matriz de covarianzas de  $X$ , que es una matriz cuadrada de orden  $n$  y donde el  $(i, j)$ -ésimo valor está dado por  $\sum_{i,j} = \text{Cov}(X_i, X_j)$ .
- La matriz de covarianza  $\Sigma$  tiene las siguientes propiedades:
  - Es simétrica, de modo que  $\Sigma^t = \Sigma$ .
  - Los elementos de la diagonal satisfacen  $\Sigma_{i,i} \geq 0$ .
  - Es semidefinida positiva de modo que  $x^t \Sigma x \geq 0$  para todo  $x \in \mathbb{R}^n$ .

<sup>66</sup> Existen otros métodos de dependencia, por ejemplo, la estructura de cascada, el método de Iman-Conover, la cópula de Gumbel y la cópula de Clayton, entre otros.

<sup>67</sup> Y otros modelos basados en el movimiento browniano.

- Las matrices simétricas definidas positivas pueden factorizarse dos veces más rápido que cualquier matriz en general, tomando ventaja de la simetría. El algoritmo estándar para este fin es una versión especializada de la eliminación Gaussiana, llamada descomposición de Cholesky.
- Una matriz  $A_{(n \times n)}$  es simétrica si  $A = A^t$ . Tales matrices satisfacen:  $x^t A y = y^t A x$  para todo  $x, y \in \mathbb{R}^n$ .
- Una matriz  $A_{(n \times n)}$  se define positiva simétrica si además se verifica:  $x^t A x > 0$  para todo  $0 \neq x \in \mathbb{R}^n$ .

### Generación de variables aleatorias normales correlacionadas

El problema, entonces, es generar un vector aleatorio  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ , donde  $X \sim MN(0, \Sigma)$ . Nótese que es fácil de manejar el caso donde  $\mathbb{E}[X] \neq 0$ . A modo de motivación, supóngase que  $Z_i \sim N(0, 1)$  son independiente e idénticamente distribuidas (iid) para todo  $i = 1, \dots, n$ . Entonces,

$$c_1 Z_1 + \dots + c_n Z_n \sim N(0, \sigma^2)$$

Donde  $\sigma^2 = c_1^2 + \dots + c_n^2$ . Es decir, la combinación lineal de variables aleatorias normales es también normal. En general, sea  $C$  una matriz de orden  $n \times n$  y sea  $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_n)^t$  un vector de variables aleatorias  $N(0, 1)$  iid. Entonces,

$$CZ \sim MN(0, CC^t)$$

Por lo tanto, el problema se reduce a encontrar una matriz  $C$  tal que:

$$CC^t = \Sigma \quad (*)$$

Para encontrar la matriz  $C$  en (\*) se requiere el cálculo de la descomposición de Cholesky de  $\Sigma$ .

### Descomposición de Cholesky de una matriz simétrica definida positiva

Como se ha indicado, la descomposición o factorización de Cholesky genera números aleatorios correlacionados, que se pueden emplear para generar escenarios de simulación, a partir de números normalmente distribuidos y de su matriz de varianza-covarianza. Por consiguiente, se generen escenarios más consistentes como producto de la simulación.

Sea  $\Sigma$  la matriz de varianzas-covarianzas de las variables que se desea correlacionar. La matriz se caracteriza por ser una matriz cuadrada de orden  $n$ , simétrica y con valores reales; por consiguiente, se puede descomponer mediante el producto de una matriz por su transpuesta:

$$= \underbrace{\begin{pmatrix} \text{Var}(x_1) & \cdots & \text{Cov}(x_1, x_i) & \cdots & \text{Cov}(x_1, x_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{Cov}(x_i, x_1) & \cdots & \text{Var}(x_i) & \cdots & \text{Cov}(x_i, x_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{Cov}(x_n, x_1) & \cdots & \text{Cov}(x_n, x_i) & \cdots & \text{Var}(x_n) \end{pmatrix}}_{\Sigma_{(n \times n)}} = \underbrace{\begin{pmatrix} C_{11} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{n1} & \cdots & C_{nn} \end{pmatrix}}_{C_{(n \times n)}} \underbrace{\begin{pmatrix} C_{11} & \cdots & C_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & C_{nn} \end{pmatrix}}_{C_{(n \times n)}^t}$$

Donde  $C_{(n \times n)}$  es la matriz de Cholesky (matriz triangular inferior) y  $n$  es el número de variables aleatorias que se desea correlacionar.

Si se considera  $m$  como el número de simulaciones para cada una de las variables aleatorias, entonces a partir de una matriz de variables aleatorias independientes<sup>68</sup>  $\bar{Z}_{(m \times n)}$  es posible generar una matriz de variables aleatorias correlacionadas:

$$\bar{X} = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

Sea  $\bar{X}$  la matriz que representa las nuevas variables correlacionadas, esta se calcula como:

$$\underbrace{\begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix}}_{\bar{X}_{(m \times n)}} = \underbrace{\begin{pmatrix} z_{11} & \cdots & z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{m1} & \cdots & z_{mn} \end{pmatrix}}_{\bar{Z}_{(m \times n)}} \underbrace{\begin{pmatrix} C_{11} & \cdots & C_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & C_{nn} \end{pmatrix}}_{C_{(n \times n)}^t}$$

<sup>68</sup> Por ejemplo, en Excel es posible construir la matriz mediante la fórmula: =DISTR.NORM.ESTAND.INV(ALEATORIO()).

La matriz  $X$  representa las variables aleatorias correlacionadas por medio de su estructura de varianzas-covarianzas, es decir:

$$\text{Var}(X) = \bar{X}^t \bar{X} = (\bar{Z}C^t)^t \bar{Z}C^t = C \underbrace{\bar{Z}^t \bar{Z}}_I C^t = C I C^t = C C^t = \Sigma$$

Considérese el siguiente ejemplo para tres variables aleatorias que se distribuyen normal estándar con correlaciones entre ellas 0,8, 0,6 y 0,5, tal como se muestra en el cuadro A2.1.

**Cuadro A2.1. Información estadística de las variables aleatorias**

	X1	X2	X3
Media	0	0	0
Desviación	1	1	1
Correlación X1-X2		0,8	
Correlación X1-X3		0,6	
Correlación X2-X3		0,5	

Por consiguiente, la matriz de varianzas-covarianzas se construye de la siguiente manera:

$$\Sigma_{(3 \times 3)} = \begin{pmatrix} 1,0 & 0,8 & 0,6 \\ 0,8 & 1,0 & 0,5 \\ 0,6 & 0,5 & 1,0 \end{pmatrix}$$

Por medio de generadores de números aleatorios se construye la matriz  $D_{(1.000 \times 3)}$ , donde el subíndice 1.000 denota el número de simulaciones que se desean realizar. Para la construcción de la matriz se empleó la función =DISTR.NORM.ESTAND.INV(ALEATORIO()) de Microsoft Office Excel 2010. A continuación, en el cuadro A2.2, se presenta un resumen de los valores de la matriz  $D_{(1.000 \times 3)}$ .

A partir de los datos del cuadro A2.2, se proporciona la siguiente lectura con respecto a las variables aleatorias X1, X2 y X3:

*En la simulación 10, la variable aleatoria  $Z_1$  toma el valor de -0,38755997, la variable aleatoria  $Z_2$  toma el valor de -1,05368322 y la variable aleatoria  $Z_3$  toma el valor de 0,27273163.*

## Cuadro A2.2. Valores aleatorios de la matriz $\bar{Z}_{(1.000 \times 3)}$

Simulación	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$
1	1,69367162	0,89656085	0,64100272
2	-0,50846834	-0,06217082	-0,65076026
3	2,90772035	0,94734915	0,27250958
4	0,2871354	-0,80155191	0,2918316
5	-0,61374729	0,75299414	-0,42695517
6	-0,87723408	0,91890668	1,01414554
7	-1,55871275	0,65832729	1,44571504
8	-0,91394482	-0,05431544	-1,12677444
9	1,223297	0,60599161	-0,98093329
10	-0,38755997	-1,05368322	0,27273163
11	0,06091841	-0,19300211	1,60000518
12	-0,83225383	-0,93917132	0,06363852
13	-0,35295384	0,4956514	-0,16360984
14	2,18893754	-0,12022795	-0,78415951
15	0,9333267	-0,18140237	0,6343235
⋮	⋮	⋮	⋮
1.000	-0,26073294	0,70326356	0,54735338

Adicionalmente se descompone la matriz  $\Sigma_{(3 \times 3)}$  como producto de dos matrices cuadradas del mismo orden siguiendo la descomposición de Cholesky:<sup>69</sup>

$$C_{(3 \times 3)} = \begin{pmatrix} 1,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,8 & 0,6 & 0,0 \\ 0,6 & 0,033 & 0,799 \end{pmatrix} \text{ y } C_{(3 \times 3)}^t = \begin{pmatrix} 1,0 & 0,8 & 0,6 \\ 0,0 & 0,6 & 0,033 \\ 0,0 & 0,0 & 0,799 \end{pmatrix}$$

Por consiguiente, el producto de las matrices  $\bar{Z}_{(1.000 \times 3)}$  y  $C_{(3 \times 3)}^t$  da como resultado la matriz  $\bar{X}_{(1.000 \times 3)}$  de variables aleatorias correlacionadas, tal como se aprecia en el cuadro A2.3.

En el cuadro A2.3 se puede observar que los valores iniciales de la variable  $X_1$  permanecen iguales; sin embargo, los valores de las variables

<sup>69</sup> La descomposición de la matriz  $\Sigma_{(3 \times 3)}$  se realizó por medio de: <https://www.omnicalculator.com/math/cholesky-decomposition>.

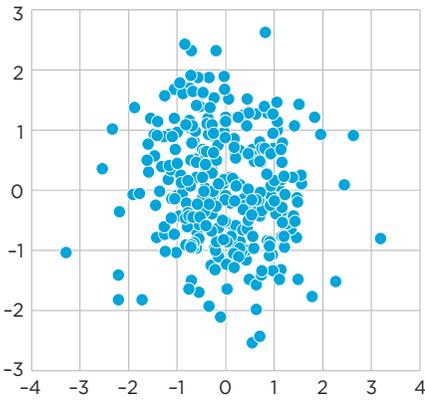
**Cuadro A2.3. Matriz  $\bar{X}$  (1.000×3) de variables aleatorias correlacionadas**

Simulación	$X_1$	$X_2$	$X_3$
1	1,69367162	2,25149814	1,70701463
2	-0,50846834	-0,46894549	-0,9592952
3	2,90772035	3,27352543	2,06977229
4	0,2871354	-0,57184358	0,41958218
5	-0,61374729	0,2619963	-0,75337054
6	-0,87723408	0,21711941	0,53885546
7	-1,55871275	-0,58864291	0,54706113
8	-0,91394482	-0,78547129	-1,67815886
9	1,223297	1,58462921	-0,21328889
10	-0,38755997	-1,3637312	-0,0183423
11	0,06091841	-0,14426739	1,62583388
12	-0,83225383	-1,60497439	-0,48788996
13	-0,35295384	0,21328833	-0,34784595
14	2,18893754	1,63092208	0,52252368
15	0,9333267	0,56525899	1,18424161
⋮	⋮	⋮	⋮
1.000	-0,26073294	1,3598738	0,27132845

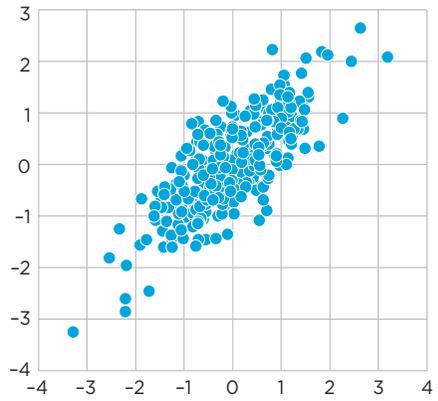
aleatorias  $X_2$  y  $X_3$  han cambiado con la finalidad de conseguir que estén correlacionadas. Para el caso de dos variables aleatorias, la correlación de las variables se muestra mediante un conjunto de puntos que siguen una tendencia, tal como se muestra en el gráfico A2.1.

## Gráfico A2.1. Variables aleatorias antes y después de la descomposición de Cholesky

Variables no correlacionadas



Variables correlacionadas





## Anexo 3

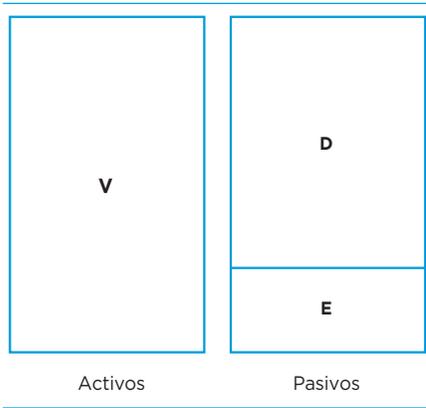
# Análisis de demandas contingentes

Algunos pasivos contingentes pueden ser valorados a través de los fundamentos que provee la teoría de demandas contingentes, la que es presentada de manera sintetizada a continuación.

Black y Scholes (1973) y Merton (1973) en sus artículos seminales entregaron un resultado significativo. Ellos demuestran que los pasivos corporativos pueden ser vistos como una simple combinación de contratos de opciones. En cualquier mercado que la compañía se endeude, es posible crear una opción. La razón se debe a que el deudor no está obligado a realizar el pago hasta la madurez del instrumento. Si el valor de los activos de la compañía es menor que el monto de la deuda, la compañía puede elegir la opción del *default* del bono y los tenedores de los bonos toman el control de los activos para venderlos pagándose parcialmente el valor de los cupones. Entonces cuando la firma pide prestado, el prestamista adquiere la compañía y los accionistas obtienen la opción de venta sobre los activos de la empresa. El valor de la opción de venta es el valor de la responsabilidad limitada. Esta generalización de valoración de las opciones aplicadas a la valoración de empresas, bonos, deuda riesgosa y otros activos que están sujetos a contingencias fue rápidamente extendida por Merton (1974, 1977), y es conocida como análisis de demandas contingentes (CCA, por sus siglas en inglés).

El análisis CCA establece que, del balance general de una empresa, se observa que en el lado derecho del balance, el pasivo está compuesto de acciones con valor de mercado igual a  $E$  y la emisión de una deuda por medio de un bono cupón cero  $D$ . Las acciones ( $E$ ) no reciben dividendos y la empresa no emitirá nuevos valores mientras la deuda se encuentre

### Gráfico A3.1. Balance general de una empresa



pendiente. El lado izquierdo representa el valor económico de la empresa, con valor de mercado  $V$ . De la ecuación fundamental del balance general de una empresa se tiene  $V = E + D$ .

Lo anterior puede ser representado en la forma de *payoff* que tienen las opciones financieras:

- $V > B$ : si el valor de la firma excede el valor de la deuda, entonces, los tenedores de los bonos recibirán el pago  $D = B$  y los accionistas recibirán el valor de  $E = V - B$ .
- $V < B$ : si el valor del bono excede el valor de mercado de los activos, entonces, los accionistas preferirán ejercer sus derechos de responsabilidad limitada, declararse en **incumplimiento** del bono y no recibir ninguna cantidad de su capital  $E = 0$ . De esta manera los tenedores de la deuda adquieren la empresa,  $D = V$ , y los accionistas obtienen la opción de recompra pagando la deuda.

Por consiguiente, los accionistas han comprado una opción *call* sobre los activos de la compañía y los tenedores de la deuda:

$$E(V, B) = \text{máx} \{0, V - B\} \quad (1)$$

De la ecuación anterior se puede concluir que, en la fecha de ejercicio, el valor de mercado de las acciones es el máximo de la diferencia entre el valor de la empresa y el pago del principal,  $V - B$  y 0.

El valor de mercado de las acciones en presencia de una deuda riesgosa cupón cero es análogo a una opción *call* europea con un valor de la empresa  $V$ , con precio de ejercicio  $B$ , igual al principal de la deuda comprometida, y una fecha de vencimiento igual a la fecha de vencimiento de la deuda.

De la relación paridad *call-put* para opciones, aplicado a la caracterización de los pasivos contingentes como opciones, el valor de la empresa  $V$  es el valor del activo subyacente de la opción financiera; el principal de

la deuda comprometida  $B$  representa el precio de ejercicio; y la fecha de maduración de la deuda es la fecha de vencimiento de la opción. Por consiguiente, puede ser reformulado como sigue:

$$\underbrace{V}_{\text{Valor de la empresa}} + \underbrace{P(V, B)}_{\text{Valor de la opción put}} = \underbrace{C(V, B)}_{\text{Valor de la opción call}} + \underbrace{Be^{-rT}}_{\text{Valor presente del precio de ejercicio}} \quad (2)$$

Pero, de la ecuación fundamental del balance general de una empresa, se tiene que el valor de la empresa es la suma del pago a los accionistas y el valor de la deuda,

$$\underbrace{V}_{\text{Valor de la empresa}} = \underbrace{E}_{\text{Pago a los accionistas}} + \underbrace{D}_{\text{Valor de la deuda}} \quad (3)$$

Como el pago a los accionistas viene dado por (3), entonces, se concluye que:

$$D(V, B) = Be^{-rT} - P(V, B)$$

Se observa que un bono con riesgo ( $D$ ) se ha transformado en un bono libre de riesgo menos el valor de la opción *put*.

$$\underbrace{D(V, B)}_{\text{Deuda riesgosa}} + \underbrace{P(V, B)}_{\text{Precio opción put valor de la empresa}} = \underbrace{Be^{-rT}}_{\text{Precio bono libre de riesgo}}$$

De la ecuación anterior, se tiene una interpretación intuitiva, de la estructura del garante de una deuda ante el riesgo de incumplimiento se tiene:

$$\text{Garantía} = \frac{\text{Deuda}}{\text{libre de riesgo}} - \frac{\text{Deuda}}{\text{riesgosa}}$$

El *payoff* de la venta en la fecha de vencimiento se puede expresar como  $\max\{0, B - V\}$  y es por lo tanto la expresión analítica de una opción *put*, y como tal puede ser valorada usando instrumental diseñado para valoración de opciones financieras.

Los mecanismos de valoración de opciones y en consecuencia de garantías pueden ser clasificados en tres categorías:

- Valoración a través de la solución de una ecuación diferencial parcial. Este método es el más elegante y genera una solución analítica al

problema de valoración de opciones. La fórmula más conocida de valoración de opciones es la de Black y Scholes (1973), la cual se muestra más adelante junto con una adaptación para valorar las opciones de tipo de cambio. No obstante, debido a las particularidades de cada problema, no siempre es posible encontrar soluciones analíticas o verificar el cumplimiento de los supuestos y es necesario intentar analizar algunos de los otros procedimientos.

- Valoración por programación dinámica. Este método es esencialmente numérico y está basado en la optimalidad de las decisiones de los agentes en cada momento del tiempo. El método más común dentro de esta clase es el de árboles binomiales desarrollado por Cox, Ross y Rubinstein (1979).
- Valoración por simulaciones. En este caso se generan múltiples trayectorias posibles para las variables y se estiman los valores esperados incorporando las opciones que existen “en el camino”. El método más usual en esta clase de mecanismos es el de Monte Carlo, que en su aplicación a valoración de opciones ha sido propuesto por Boyle (1997). Este método se ha popularizado en los últimos años por la existencia de computadores de alto poder de memoria y rapidez.

## Modelo de Black-Scholes

Desarrollado por Black y Scholes (1973) y en paralelo por Merton (1973), estos autores consideraron los siguientes supuestos para la construcción del modelo para valorar opciones financieras (en lo sucesivo, opción) de compra europea:

- No existen costos de transacción, es decir, la información está disponible para todos y sin costo.
- La tasa de interés de corto plazo es constante en el tiempo, es decir, los participantes pueden endeudarse o prestar a esta tasa.
- Las acciones no pagan dividendos.
- Son continuas en el tiempo.
- La distribución de probabilidad del retorno de las acciones es normal.
- La varianza de los retornos se mantiene constante en el tiempo y es conocido por los participantes del mercado.

Se asume que el precio de las acciones sigue un MBG, de modo que:

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dW_t$$

Donde  $W_t$  es un movimiento browniano estándar. El valor de la opción de compra europea viene expresado mediante la siguiente dinámica:

$$\frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 C}{\partial S^2} - rC + rS_t \frac{\partial C}{\partial S} + \frac{\partial C}{\partial t} = 0$$

Esta se conoce como la ecuación diferencial parcial de Black-Scholes. Si se consideran las siguientes condiciones de frontera:

$$C(S, T) = \max\{S_T - K, 0\}, C(0, t) = 0 \quad \forall t, \lim_{S \rightarrow \infty} C(S, t) = S$$

Se obtiene la siguiente solución:

$$C(S, T) = S_0 N(d_1) - K \exp(-r(T)) N(d_2)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right)(T)}{\sigma\sqrt{T}}, d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

$$P(S, T) = K \exp(-r(T)) N(-d_2) - S_0 N(-d_1)$$

Donde:

- C: es el precio de la opción de compra;
- P: es el precio de la opción de venta;
- $S_0$ : es el valor del activo subyacente al momento de la firma del contrato ( $t=0$ );
- T: es el tiempo en el cual se ejerce la opción;
- K: es el precio de ejercicio de la opción;
- r: es la tasa libre de riesgos; y
- $\sigma$ : es la volatilidad del precio del activo subyacente.

## Modelo de Garman-Kohlhagen

Este modelo fue planteado por Garman y Kohlhagen (1983). Tomando como referencia el modelo de Black y Scholes (1973) y el modelo de Merton (1973) para el caso de una acción que paga dividendos, Garman y Kohlhagen derivan la siguiente ecuación diferencial parcial:

$$\frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 C}{\partial S^2} - r_d C + (r_d S - r_r S) \frac{\partial C}{\partial S} + \frac{\partial C}{\partial t} = 0$$

Donde  $r_f$  es la tasa libre de riesgo extranjera y  $r_d$  es la tasa libre de riesgo local. Esta ecuación gobierna el precio de una opción de compra de divisas. Cuando la función de pago en la fecha de vencimiento

$$C_T = \text{máx}\{0, S_T - K\}$$

se impone como una condición de frontera, la ecuación diferencial parcial puede resolverse para obtener el valor de una opción de compra,

$$C = S_0 \times \exp(-r_f T) \times N(x + \sigma\sqrt{T}) - K \times \exp(-r_d T) \times N(x)$$

$$P = S_0 \times \exp(-r_f T) \times (N(x + \sigma\sqrt{T}) - 1) - K \times \exp(-r_d T) \times (N(x) - 1)$$

$$x = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(r_d - r_f - \frac{1}{2}\sigma^2\right)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

Si se emplea la notación del modelo de Black-Scholes, se tiene que  $x = d_1$ . Además, considerando que  $N(-x) = 1 - N(x)$ , donde  $N$  representa la distribución normal estándar, entonces se tiene la siguiente expresión para el modelo de Garman-Kohlhagen con la notación del modelo de Black-Scholes de forma equivalente y que se utiliza en esta publicación.

$$C_T = S_0 \times \exp(-r_{US\$} \times T) \times N(d_1) - K \times \exp(-r_{ML} \times T) \times N(d_2)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(r_{ML} - r_{US\$} + \frac{1}{2}\sigma^2\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

