

Análisis probabilístico de los riesgos asociados a los imprevistos en los flujos de caja de proyectos inmobiliarios de la ciudad de Medellín

Edwin Marino Betancur Díaz
Daniel Alexander Roldán Arango



Universidad EAFIT
Maestría en Gerencia de Proyectos
Medellín
2019

Análisis probabilístico de los riesgos asociados a los imprevistos en los flujos de caja de proyectos inmobiliarios de la ciudad de Medellín

Edwin Marino Betancur Díaz
Daniel Alexander Roldán Arango

Trabajo de grado para optar al título de
Magíster en Gerencia de Proyectos

Asesor: Elkin Arcesio Gómez Salazar MBA, MGP, PhD



Universidad EAFIT
Maestría en Gerencia de Proyectos
Medellín
2019

Contenido

Introducción.....	13
1. Problemática.....	14
1.1. Contextos que originan la problemática.....	14
1.1.1. Dimensión económica.....	14
1.1.2. Dimensión geopolítica y legal.....	16
1.1.3. Dimensión sociocultural.....	16
1.2. Antecedentes.....	17
1.3. Alcance.....	20
1.3.1. Información requerida.....	21
1.3.2. Características.....	21
1.4. Justificación.....	21
1.5. Formulación de la pregunta que permite abordar el problema en estudio.....	22
2. Objetivos.....	22
2.1. Objetivo general.....	22
2.2. Objetivos específicos.....	22
3. Marco de referencia teórico.....	23
3.1. Introducción al riesgo en proyectos.....	24
3.1.1. Concepto de riesgo.....	26
3.1.2. Incertidumbre.....	27
3.1.3. Probabilidad.....	27
3.1.4. Impacto.....	28
3.1.5. Imprevistos y AIU.....	29
3.2. Gestión del riesgo en proyectos.....	31
3.3. Riesgos en proyectos de construcción inmobiliarios.....	36
3.4. Tipos de modelos para la evaluación de proyectos.....	37
3.4.1. Modelo determinístico.....	37
3.4.2. Modelo probabilístico.....	38
3.4.3. Diferencia entre modelo determinístico y entre modelo probabilístico.....	38
3.4.4. Estudio de simulación.....	39
3.4.5. Tipos de métodos para análisis probabilístico.....	40
3.4.6. Bondad de ajuste.....	45

3.4.7	Software para modelamiento.....	46
3.5	Evaluación financiera.....	48
3.5.1	Estructura financiera.....	48
3.5.2	Costo de capital.....	49
3.5.3	Indicadores de evaluación financiera	51
3.5.4	Flujo de caja de proyectos inmobiliarios	55
4	Metodología.....	62
4.1	Carta metodológica.....	65
4.2	Recursos.....	68
4.3	Resultado esperado.....	68
5	Recolección de la información.....	68
5.1	Población objetivo.....	69
5.2	Obtención del tamaño muestral	70
5.3	Selección del estrato para el muestreo estadístico.....	74
5.4	Entrevistas en profundidad	78
5.5	Resultados del trabajo de campo.....	79
6	Caso de estudio.....	85
7	Evaluación financiera determinística para el caso de estudio	90
7.1	Ingresos	93
7.2	Costos directos	94
7.3	Costos indirectos	96
7.4	Gastos generales.....	97
7.5	AIU determinístico.....	98
7.6	Tasa de descuento	99
7.7	Flujo de caja libre determinístico.....	102
7.8	Indicadores determinísticos de evaluación financiera.....	105
7.8.1	Valor presente neto (VPN)	105
7.8.2	Tasa interna de retorno (TIR)	105
7.8.3	Tasa interna de retorno modificada (TIRM o TVR)	106
7.8.4	Valor/Costo anual uniforme equivalente (VAUE o CAUE).....	106
7.8.5	Relación beneficio costo (RBC)	107
7.8.6	Período de recuperación de la inversión descontado (PRID).....	107

7.8.7	Recuperación de la inversión y valor agregado (IRVA).....	108
8	Modelo propuesto.....	110
8.1	Riesgos modelados como variables aleatorias.....	111
8.1.1	Atrasos compensables.....	111
8.1.2	Incremento de costos.....	115
8.1.3	Nula o baja velocidad de ventas.....	127
8.2	Riesgos modelados con la matriz de probabilidad - impacto.....	133
8.2.1	Escalas de probabilidad e impacto.....	134
8.2.2	Estimación de probabilidades de ocurrencia.....	137
8.2.3	Estimación del impacto.....	144
8.2.4	Ensamble de la matriz de probabilidad-impacto.....	149
9	Simulación mediante el método de Montecarlo.....	155
9.1	Tasa de descuento.....	155
9.2	Indicadores probabilísticos de evaluación financiera.....	157
9.2.1	Valor presente neto (VPN).....	157
9.2.2	Tasa interna de retorno (TIR).....	158
9.2.3	Tasa interna de retorno modificada (TIRM o TVR).....	160
9.2.4	Valor/Costo anual uniforme equivalente (VAUE o CAUE).....	161
9.2.5	Relación beneficio costo (RBC).....	163
9.2.6	Período de recuperación de la inversión descontado (PRID).....	165
9.3	Simulación de riesgos de la matriz probabilidad-impacto.....	168
9.4	AIU probabilístico.....	172
9.5	Impacto final de los riesgos.....	180
9.6	Resumen comparativo determinístico vs probabilístico.....	182
10	Ecuaciones propuestas.....	183
10.1	Valor presente neto (VPN).....	183
10.2	Tasa interna de retorno (TIR).....	184
10.3	Administración, imprevistos y utilidades (AIU).....	185
11	Conclusiones.....	186
12	Recomendaciones.....	189
	Referencias.....	190

Lista de tablas

Tabla 1. Comportamiento de la actividad construcción 4° Trimestre 2017.....	15
Tabla 2. Matriz de riesgos	29
Tabla 3. Estrategias para afrontar amenazas y oportunidades	35
Tabla 4. Tipos de distribuciones de probabilidad	41
Tabla 5. Tipos de parámetros y características de las distribuciones de probabilidad..	43
Tabla 6. Estructura de ingresos y egresos proyecto inmobiliario	59
Tabla 7. Flujo de caja de un proyecto inmobiliario	60
Tabla 8. Estructura de flujo de caja general	61
Tabla 9. Cálculo del tamaño muestral estratificado.....	71
Tabla 10. Cálculo de estadísticos del estrato 2	72
Tabla 11. Cálculo de estadísticos del estrato 3	72
Tabla 12. Cálculo de estadísticos del estrato 4	73
Tabla 13. Cálculo de estadísticos del estrato 5	73
Tabla 14. Cálculo de estadísticos del estrato 6.....	74
Tabla 15. Proyectos objeto de estudio en la ciudad de Medellín	77
Tabla 16. Datos básicos para la construcción del FCL.....	90
Tabla 17 Ventas de apartamentos	94
Tabla 18. Ingresos discriminados.....	94
Tabla 19. Costos directos de urbanismo	95
Tabla 20. Costos directos de edificaciones	95
Tabla 21. Costos indirectos de honorarios, impuestos y derechos de conexión	96
Tabla 22. Gastos de gerencia, ventas y financieros.....	97
Tabla 23. Seguros y garantías	98
Tabla 24. Cálculo de Beta apalancado industria construcción usa	99
Tabla 25. Cálculo de Beta no apalancado proyecto en USA	99
Tabla 26. Cálculo de ke proyecto en Colombia.....	100
Tabla 27. Vista parcial del flujo de caja determinista (3 primeros períodos)	104
Tabla 28. Indicadores determinísticos de evaluación financiera	105
Tabla 29. Análisis IRVA determinístico	109
Tabla 30. Parámetros de la función sigmoide	115
Tabla 31. Precio unitario por proyecto.....	129
Tabla 32. Comportamiento del porcentaje de cuota inicial.....	131
Tabla 33. Ritmo de ventas	132
Tabla 34. Definiciones de probabilidad e impacto	134
Tabla 35. Matriz de probabilidad - impacto generalizada	136
Tabla 36. Matriz de probabilidad - impacto negativo	136
Tabla 37. Cuantificación monetaria del impacto.....	136
Tabla 38. Principales eventos en proyectos inmobiliarios y frecuencia relativa	138
Tabla 39. Estimación de probabilidad del experto "A"	140
Tabla 40. Estimación de probabilidad del experto "B"	141

Tabla 41. Valor final probabilidades ponderadas	143
Tabla 42. Estimación de impacto del experto "A"	146
Tabla 43. Estimación de impacto del experto "B"	147
Tabla 44. Valor final de impactos ponderados	148
Tabla 45. Matriz de probabilidades de ocurrencia proyectadas	150
Tabla 46. Matriz de frecuencias proyectadas	151
Tabla 47. Matriz de impactos proyectados (cualitativos).....	153
Tabla 48. Matriz de impactos proyectados (cuantitativos).....	153
Tabla 49. Matriz de probabilidad-impacto si ocurre.....	154
Tabla 50. Análisis IRVA probabilístico	167
Tabla 51. Resumen del VPN en riesgo.....	169
Tabla 52. Flujo de caja del AIU probabilístico	174
Tabla 53. Cálculo del AIU probabilístico.....	175
Tabla 54. Resumen de indicadores de evaluación financiera	182
Tabla 55. Resumen de indicadores del AIU	183

Lista de figuras

Figura 1. Variación de riesgo, incertidumbre y costos de los cambios en el tiempo	24
Figura 2. Diagrama de burbujas.....	34
Figura 3. Tipos de modelos probabilísticos	40
Figura 4. Metodología para el desarrollo del modelo matemático	63
Figura 5. Carta metodológica	65
Figura 6. Ejemplo Árbol de falla	67
Figura 7. Unidades licenciadas en Medellín período sep. 2017 – sep. 2018	70
Figura 8. Unidades vendidas en el Valle de Aburrá durante el año 2017.....	75
Figura 9. Estándares para la identificación y gestión de los riesgos	80
Figura 10. Metodologías para la identificación cualitativa de los riesgos	80
Figura 11. Metodologías para la identificación cuantitativa de los riesgos.....	81
Figura 12. Medición de la incertidumbre en los costos debido a los imprevistos	82
Figura 13. Método de valoración o cuantificación del AIU.....	83
Figura 14. Riesgos asociados a imprevistos comunes en proyectos inmobiliarios	84
Figura 15. Riesgos que impactan los objetivos estratégicos de la organización	85
Figura 16. Planta arquitectónica general del proyecto	87
Figura 17. Sección longitudinal	88
Figura 18. Planta típica de apartamentos.....	88
Figura 19. Planta típica de parqueaderos	89
Figura 20. Flujo de caja neto determinístico.....	102
Figura 21. VPN vs tasa análisis TIR	106
Figura 22. VPN vs tiempo análisis PRID determinístico	107
Figura 23. Curva “S” de avance determinístico vs probabilístico	113
Figura 24. Utilización de la función de probabilidad Pert (RiskPert).....	114
Figura 25. Función de probabilidad Pert (RiskPert) para el parámetro T_0	114
Figura 26. Variación mensual histórica del ICCV general.....	117
Figura 27. Variación histórica del ICCV para el insumo concreto	118
Figura 28. Ajuste de distribución Laplace para el insumo concreto	118
Figura 29. Variación histórica del ICCV para el acero, la mampostería y enchapes.....	119
Figura 30. Ajuste de distribución Loglogistic para el insumo acero.....	120
Figura 31. Ajuste de distribución Loglogistic para el insumo mampostería	120
Figura 32. Ajuste de distribución Weibull para el insumo enchapes	121
Figura 33. Variación del IPC en Colombia.....	122
Figura 34. Ajuste de distribución Gamma para el IPC.....	123
Figura 35. Comportamiento del UVR en Colombia.....	124
Figura 36. % de variación anual del UVR en Colombia	125
Figura 37. Ajuste de distribución Gamma para la variación del UVR	125
Figura 38. Tasa para créditos en UVR para construcción no VIS.....	126
Figura 39. Ajuste de distribución Logistic para la tasa de colocación	127
Figura 40. Ajuste de distribución Normal para el precio unitario de venta.....	130

Figura 41. Función RiskGeneral para modelar el porcentaje de cuota inicial.....	131
Figura 42. Función RiskDiscrete para modelar el ritmo de ventas	133
Figura 43. Distribución Weibull de probabilidades, concepto 2, experto "A"	140
Figura 44. Distribución Weibull de probabilidades, concepto 3, experto "B"	142
Figura 45. Distribución Gamma evento 12, para todos los conceptos 1, 2 y 3.....	144
Figura 46. Distribución uniforme de impacto, concepto 2, experto "A"	146
Figura 47. Distribución uniforme de impacto, concepto 3, experto "B"	147
Figura 48. Distribución Beta General evento 10, conceptos 1, 2 y 3.....	149
Figura 49. Simulación del número de eventos totales que ocurren.....	152
Figura 50. Tasa de descuento probabilista	156
Figura 51. Bondad de ajuste para la tasa de descuento	156
Figura 52. VPN probabilista	157
Figura 53. Bondad de ajuste para el VPN	158
Figura 54. TIR probabilista	159
Figura 55. Bondad de ajuste para la TIR.....	159
Figura 56. TIRM probabilista.....	160
Figura 57. Bondad de ajuste para la TIRM	161
Figura 58. VAUE o CAUE probabilista	162
Figura 59. Bondad de ajuste para VAUE/CAUE.....	163
Figura 60. RBC probabilista.....	164
Figura 61. Bondad de ajuste para RBC	165
Figura 62. VPN vs tiempo análisis PRID probabilístico	166
Figura 63. VPN de los riesgos asociados a imprevistos	168
Figura 64. VPN real	170
Figura 65. Bondad de ajuste para el VPN real.....	171
Figura 66. VPN real vs VPN probabilístico.....	172
Figura 67. Bondad de ajuste para "A" final.....	175
Figura 68. Bondad de ajuste para "I" final	176
Figura 69. Bondad de ajuste para "U" final.....	176
Figura 70. Bondad de ajuste para "AIU" final	177
Figura 71. Comparación metodología 1 vs metodología 2 para la variable A	179
Figura 72. Comparación metodología 1 vs metodología 2 para la variable U.....	180
Figura 73. Gráfico de tornado sobre el VPN.....	181
Figura 74. Gráfico de tornado sobre la TIR	182

Resumen

Durante el desarrollo de un proyecto de inversión inmobiliario, suelen presentarse eventos inesperados que, de materializarse, pueden ocasionar efectos adversos o beneficiosos para el proyecto y para la compañía que lo emprende. Por lo tanto, se hace necesario una adecuada identificación y manejo de los riesgos, con el fin de disminuir los impactos negativos y tomar ventaja de los positivos, para tomar las decisiones acertadas y alcanzar los objetivos estratégicos.

En este trabajo se presenta principalmente la influencia de los riesgos negativos, asociados a los imprevistos de proyectos inmobiliarios de estrato 4 de la ciudad de Medellín, en la etapa de preinversión, a partir de la evaluación financiera, con el fin de estudiar cómo se podrían obtener los resultados de prefactibilidad con un método racional, a través de un análisis probabilístico, en contraste con el método tradicional que no toma en consideración los riesgos.

Se utiliza la metodología PESTEL, la cual, a través de un estudio del entorno y del análisis de factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales, permite la identificación y el análisis cualitativo y cuantitativo de los riesgos. Este trabajo, a su vez, se apoya en el estudio de las 10 áreas del conocimiento definidas por el Project Management Institute (PMI), en su guía PMBOK para la identificación de los riesgos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se propone construir un modelo probabilístico a partir del flujo de caja de los proyectos inmobiliarios objeto de estudio, para su posterior simulación computacional a través del método Montecarlo, con la finalidad de obtener los indicadores de evaluación financiera y el factor AIU (Administración, Imprevistos y Utilidades) bajo condiciones de incertidumbre. El método permitirá obtener ecuaciones y gráficas de dichos indicadores para su comparación con el método tradicional.

Palabras claves: Riesgos, Identificación de Riesgos, Análisis cualitativo, Análisis cuantitativo, Modelo probabilístico, Método Montecarlo, Indicadores financieros.

Abstract

During the development of a real estate investment project, unexpected events usually happen, in such way that, if materialized, can cause adverse or beneficial effects for the project and for the company that undertakes it. Therefore, an adequate identification and management of the risks is necessary, in order to diminish the negative impacts and take advantage of the positive ones, to make the right decisions and reach the strategic objectives.

This paper mainly presents the influence of negative risks, associated with the unforeseen events of stratum 4 real estate projects in the city of Medellín, in the preinvestment phase, based on the financial valuation, in order to study how to obtain the pre-feasibility results with a rational method through a probabilistic analysis, in contrast to the traditional method that does not take risks into consideration.

PESTEL methodology is used, which, through a study of the environment and the analysis of political, economic, social, technological, ecological and legal factors, allows the identification and qualitative and quantitative analysis of risks. This work, in turn, is based on the study of the 10 knowledge areas defined by the Project Management Institute (PMI), in its PMBOK guide for the identification of risks.

Considering the above, it is proposed to build a probabilistic model from the cash flow of the real estate projects under study, for subsequent computational simulation through the Monte Carlo method, in order to get the financial valuation indicators and the AIU (Administration, Incidentals and Utilities) factor under conditions of uncertainty. The method will allow obtaining equations and graphs of said indicators for comparison with the traditional method.

Key words: Risk, Risk Identification, Quantitative Analysis, Qualitative Analysis, Probabilistic Model, Montecarlo Method, Financial Indicators.

Introducción

Los proyectos inmobiliarios se valoran en la actualidad mediante enfoques determinísticos, en los cuales los ingresos, costos y gastos son representados por valores numéricos únicos y tomados como ciertos. No obstante, la realidad es que todos los proyectos se basan en supuestos y no hay un conocimiento certero del comportamiento de las variables que le dan sustento (Gómez, 2005).

La incertidumbre y la naturaleza del riesgo van cambiando continuamente en cada una de las fases del proyecto, siendo mayores en la etapa de preinversión y con tendencia a la disminución en la etapa de inversión (García, Echeverry y Mesa, 2017).

Por lo tanto, la inadecuada identificación y cuantificación de los riesgos en las etapas iniciales de preparación y adquisición generan la mayoría de los problemas que afectan a los proyectos inmobiliarios en la fase de ejecución. Se deduce que mientras más rápido se traten los riesgos, mejor se contribuirá a la toma de decisiones y priorización de los proyectos en el portafolio (Wanner, 2013).

Desde aspectos técnicos, tales como el desconocimiento del terreno de fundación que puede hacer incrementar los costos para poder cimentar un edificio en un estrato de suelo adecuado, estimación de plazos irreales o incoherentes con las eventualidades del proyecto, retrasos en el cronograma que igualmente incrementan los costos, baja velocidad de ventas, entre otros aspectos, son algunos de los riesgos que apremian a los proyectos inmobiliarios. Un ejemplo reciente es el edificio BD Bacatá en la ciudad de Bogotá D.C., donde los inversionistas, a la fecha de esta publicación, aun no perciben los beneficios esperados (Bohórquez, 2018).

Por esta misma razón, numerosos proyectos han sido denominados “Elefantes Blancos” en la ciudad de Medellín, tales como el edificio Space, Asensi y Continental Towers, entre otros (Loaiza, 2015).

La mayoría de empresas constructoras o promotoras de proyectos asignan una partida presupuestal para tener en cuenta la incertidumbre, aplicando ciertas variaciones en el presupuesto base y en las proyecciones del flujo de caja, mediante la utilización de

factores multiplicadores aritméticos o geométricos, obtenidos empíricamente a partir de experiencias de proyectos anteriores o según el criterio y conocimientos del evaluador (Téllez, 2013).

Estos factores inflan el presupuesto base, ya que su objetivo es contar con una contingencia para tratar de compensar falencias que dependen de la naturaleza de cada proyecto de construcción y de la experiencia de cada una de las empresas constructoras (Shrivastava, 2014).

Estos números bien calculados, pueden convertirse en una variable estratégica para obtener ventaja competitiva, ya que pueden ser cruciales para posicionarse en el mercado local (Rojas y Bohórquez, 2010).

Sin embargo, una incorrecta o inadecuada designación de estos números puede significar grandes pérdidas para la compañía, al tomar decisiones apresuradas sin un plan o estrategia acorde con la teoría de gestión de riesgos y buenas prácticas de gerencia de proyectos, como las especificadas por el PMI (Project Management Institute), por lo que se hace necesario que estos valores se determinen en un escenario real y ajustado a los riesgos, que permitan saber cómo afectan directamente los flujos de caja y sus indicadores financieros (Bunni, 2003).

1. Problemática

En la etapa de preinversión y, específicamente en una prefactibilidad, como es el caso del presente estudio, la incertidumbre y el riesgo son altos, ya que los inversionistas deben tomar la decisión entre proveer grandes sumas de dinero para invertir en un proyecto o dejarlo seguro en sus cuentas bancarias o portafolios de inversión.

El estado del arte en evaluación financiera de proyectos inmobiliarios indica que ésta se realiza comúnmente bajo condiciones de certidumbre, esto es, los ingresos, costos y gastos son representados con valores únicos y tomados como ciertos durante todo el horizonte de evaluación. El problema radica entonces en no disponer de una metodología para poder estimar cuantitativamente y, de una manera racional, la incertidumbre y los riesgos.

Para comprender el problema, se requiere estudiar el comportamiento socioeconómico de los proyectos inmobiliarios desde diferentes puntos de vista, partiendo de un análisis macroeconómico del país, para adentrarse en el sector económico de la construcción como uno de los principales artífices del PIB¹ colombiano, pasando luego a un nivel más profundo en el subsector de la construcción de edificios residenciales, diferenciando concretamente el fenómeno en la región de estudio.

1.1. Contextos que originan la problemática

Para el caso del presente estudio, éste se enmarca en el subsector de la construcción, específicamente en edificaciones residenciales. Los ámbitos que afectan los proyectos inmobiliarios se pueden catalogar como se explica a continuación.

1.1.1. Dimensión económica

Los últimos años han sido los más complicados por los que ha pasado el país en materia económica. Los principales problemas que enfrentó la economía colombiana durante el año 2017 tuvieron su origen principalmente en el efecto que produjo los términos de intercambio, los problemas asociados con el fenómeno de El Niño y el aumento de la

¹ Producto Interno Bruto.

tasa de interés en los Estados Unidos, los cuales conllevaron a la desaceleración del crecimiento económico, al incremento de la inflación y al déficit de la cuenta corriente de la balanza de pagos. El mal momento de nuestros principales socios comerciales y la reducción del precio de los barriles de crudo son efectos heredados de años anteriores, pero a unas tasas negativas cada vez menores. Aun así, en el 2017 se consiguió que la economía colombiana siguiera adelante (Portafolio, 2017).

Según el DANE², el crecimiento del PIB nacional durante el año 2017 fue solo del 1,8%. Esto representa el menor crecimiento de la economía del país en los últimos años. Durante este año, el valor agregado de la rama construcción disminuyó en 0,7% respecto al mismo periodo del año anterior, explicado por la caída en la construcción de edificaciones en 10,4% (DANE, 2018b).

Tabla 1. Comportamiento de la actividad construcción 4° Trimestre 2017

Ramas de actividad / Productos	Variación porcentual - Series desestacionalizadas		
	Variación porcentual (%)		
	Anual	Trimestral	Año Total
Construcción de edificaciones, reparación y mantenimiento de edificaciones [†]	-12,4	0,6	-10,4
Edificaciones residenciales	-2,9	-3,1	-6,2
Edificaciones no residenciales	-22,4	0,6	-16,2
Mantenimiento y reparación de edificaciones	1,4	0,4	0,9
Construcción de obras civiles [†]	8,7	0,1	7,1
Construcción[†]	-0,6	0,0	-0,7

Fuente: DANE - Dirección de Síntesis y Cuentas Nacionales

†: Comportamiento del valor agregado por ramas de actividad económica.

Al interior, se desagrega por comportamiento de la producción por productos.

Fuente: (DANE, 2018b).

La relevancia de la industria de la construcción es transversal para las economías, ya que moviliza gran cantidad de insumos, impulsa de manera significativa la generación de empleos directos e indirectos y ayuda a la formación de capital de los países, así, con

² Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

miras a contribuir con un crecimiento económico del país y a obtener los mejores beneficios económicos, las empresas tiene que generar modelos que permitan mejorar de manera considerable la gestión de proyectos, modelos que se adapten a sus características como organización y permitan obtener los mejores beneficios en el mercado y consolidarse un puesto en el mercado colombiano (CAMACOL, 2008).

Se concluye, por lo tanto, que los fenómenos económicos descritos anteriormente en el ámbito nacional constituyen el dinamismo en el que se mueven los proyectos de tipo inmobiliario y los comportamientos del sector de la construcción, por lo que se hace necesario una adecuada administración de los riesgos, que al final de la cadena se ven reflejados en los indicadores de las compañías dedicadas a la gestión de proyectos inmobiliarios.

1.1.2. Dimensión geopolítica y legal

Históricamente la postura de las entidades del Estado ha delegado en los dueños de los proyectos inmobiliarios y en los contratistas, la estimación de la variable imprevisto, entendiendo que la misma está asociada con un riesgo empresarial, cuyo análisis les corresponde exclusivamente a ellos como expertos en su oficio.

En Colombia, solo los contratos estatales de obra, regulados en la Ley 80 de 1993 (Congreso de la República, 1993), Ley 1150 de 2007 (Congreso de la República, 2007), y sus decretos reglamentarios, enuncia que debe incluirse una partida que se destine a cubrir los riesgos previsible del contrato, pero solo en referencia a la contratación con el Estado y que intervengan recursos públicos.

1.1.3. Dimensión sociocultural

El ámbito socio-cultural también influye de manera directa a este tipo de proyectos con miras a la obtención de la mayor cantidad de beneficios posibles, y todo bajo un principio fundamental que es la educación, por lo que, si no cambiamos la manera de actuar, de pensar y si no educamos sobre las consecuencias generadas por un inadecuado manejo de los riesgos, no se generarán cambios significativos con miras al desarrollo sostenible (Mitjavila, 1999).

1.2. Antecedentes

Desde los comienzos de la gestión de proyectos en los años 50's con la invención de la técnica PERT³ y CPM⁴, la creación de organismos como el PMI⁵ y el PRINCE2⁶, pasando por la adopción del PMBOK⁷ como estándar de buenas prácticas en la gerencia de proyectos, se ha venido estructurando la gestión de los riesgos como un método para reducir la incertidumbre y mejorar la calidad del proyecto y su producto único (Hillier y Lieberman, 2015).

Desastres en algunos proyectos, como el viaje tripulado en el transbordador espacial Challenger en 1986, hizo que los directores de proyectos y las organizaciones de estandarización pusieran énfasis en la gestión de riesgos (Frame, 2005).

Todos los proyectos están sometidos a riesgos e incertidumbres, principalmente por la variabilidad de éstos (no hay dos proyectos iguales, aunque se parezcan y tengan ciertas características comunes), por su grado de complejidad, por su localización geográfica, por las condiciones del mercado y por las condiciones socioculturales del medio en el que se desarrolla, entre otros aspectos (Buchtik, 2012).

Los términos riesgo e incertidumbre se encuentran relacionados con la ciencia estadística y la teoría de probabilidades, pero difieren en su definición. El riesgo se define como una desviación positiva o negativa de una variable de su valor esperado (Schieg, 2006).

Según la definición clásica adoptada por el Project Management Institute o PMI a través de su estándar PMBOK (PMI, 2017), un riesgo es un evento o condición incierta, que si ocurre, afecta negativa o positivamente a uno o más de los objetos del proyecto.

³ Program Evaluation and Review Technique.

⁴ Critical Path Method.

⁵ Project Management Institute.

⁶ Projects in Controlled Environments.

⁷ Project Management Body of Knowledge.

Existe riesgo cuando es probable encontrar más de un resultado posible y se conoce su probabilidad de ocurrencia. Por otra parte, la incertidumbre es la falta de información sobre la probabilidad de ocurrencia de un evento (Gómez y Díez, 2015).

La metodología PESTEL⁸ y DOFA⁹ se han utilizado en la fase de preinversión de proyectos para la identificación de los riesgos, analizando el entorno externo e interno de la organización.

Por su parte, la metodología propuesta por el PMI estudia principalmente los riesgos en la fase de inversión o ejecución bajo dos enfoques: el cualitativo y cuantitativo.

En el análisis cualitativo, se deben identificar los riesgos mediante una revisión exhaustiva de documentación relacionada: historial de proyectos anteriores; técnicas de recopilación de información tales como: tormenta de ideas, método Delphi, entrevistas, análisis DOFA, diagramas de causa efecto, entre otros (Gómez y Díez, 2015).

Posteriormente, se debe construir una matriz de riesgos cruzando la probabilidad de ocurrencia del evento, con el impacto que produciría en el proyecto, en caso de manifestarse.

Una vez los riesgos son identificados y priorizados por el análisis cualitativo, se debe realizar un análisis profundo de los efectos que dichos riesgos podrían generar por medio de un análisis cuantitativo, el cual es usado principalmente para evaluar los efectos agregados de todos los riesgos que afectan el proyecto.

El análisis cuantitativo de riesgos incluye técnicas tales como la simulación estocástica o probabilística, donde el método computacional de Montecarlo ha sido estudiado y aplicado a las ciencias básicas, a las finanzas y a la gerencia de proyectos para analizar situaciones complejas, realizar análisis de escenarios e identificar y explotar oportunidades de crecimiento empresarial (PALISADE, 2018b).

⁸ Análisis del entorno: PESTEL = Políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales.

⁹ DOFA = Debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas.

La técnica de Montecarlo involucra la solución de problemas a través del cómputo de variables aleatorias, que fue introducida en el año de 1949 por Nicholas Metropolis y Stanislaw Ulam (Sobol', 1994).

Los proyectos de construcción no son ajenos a los riesgos e incertidumbres, y están expuestos desde su concepción. Cada proyecto de construcción, sin importar su tamaño y complejidad, enfrenta continuas condiciones de riesgo tales como: larga duración y cronogramas agresivos, cambios en el ambiente y en la dinámica natural del sitio de trabajo, procesos técnicos complejos, locaciones abiertas y altamente expuestas a agentes ambientales, mano de obra no calificada, escasez de materiales, diferentes organizaciones involucradas activamente en el proyecto de construcción, con diferentes roles, metas y expectativas; cambios de precios en el material y requerimientos regulatorios, entre otros (PMI, 2016).

A nivel mundial, el tema del análisis probabilístico (bajo incertidumbre) de riesgos en proyectos de construcción inmobiliario ha sido ampliamente estudiado. Estudios recientes de Wei y Yun (2015), analizan el flujo de caja libre de un proyecto inmobiliario mediante el uso de funciones de densidad de probabilidad tales como la distribución Beta y la distribución Normal.

En Colombia, se han estudiado los riesgos en diversos proyectos de construcción, no obstante, no se ha planteado el problema bajo incertidumbre.

Rojas y Bohórquez (2010) proponen una metodología para el cálculo del AIU (Administración, Imprevistos y Utilidades), la cual es una medida de aversión al riesgo usado principalmente en contratos de construcción.

En el tema de imprevistos, Escobar (2017) los estudia en la estructura de costos indirectos para contratos de obra estatal.

Caro (2015), estudia la afectación del indicador de evaluación financiera TIR (Tasa Interna de Retorno) por materialización de riesgos en proyectos de infraestructura vial.

En el tema de proyectos inmobiliarios, Plazas (2016) realiza el cálculo de imprevistos en un proyecto de vivienda de interés social, mediante la aplicación de la gestión de riesgos.

Hincapié y Durán (2006), analizan las variables que intervienen en la evaluación financiera de proyectos inmobiliarios.

Del Risco y Galvis (2013), realizan un análisis cualitativo de riesgos para un edificio residencial basado en la metodología del PMBOK.

Todos estos estudios abordan los riesgos en proyectos de construcción, bien sean de infraestructura pública o de carácter privado como el negocio inmobiliario, sin embargo, la mayoría se centra en el análisis cualitativo. De los estudios que se atreven a realizar un análisis cuantitativo enfocado en riesgos, lo hacen de manera determinística o bajo condiciones de certidumbre.

Por lo anterior, se requiere un estudio que complemente el análisis de riesgo cuantitativo en proyectos de construcción, con un enfoque cuantitativo, probabilístico o bajo incertidumbre. El presente estudio abordará dicho tema en los proyectos de construcción inmobiliarios, los cuales son de gran demanda, no solo por la sociedad, sino por los inversionistas que son atraídos por un negocio que genera altas rentabilidades.

1.3. Alcance

Se realizará un estudio de prefactibilidad para proyectos inmobiliarios de inversión privada en el estrato 4 en la ciudad de Medellín.

Se realizará muestreo aleatorio estratificado para un tamaño de muestra, acorde con la cantidad de licencias de construcción otorgadas durante el último año en la ciudad, lo cual es un indicador de la cantidad de nuevos proyectos que pasaron por la etapa de prefactibilidad y factibilidad.

Para el análisis, se realizará una matriz con los riesgos más representativos de los proyectos inmobiliarios que tengan mayor probabilidad de ocurrencia e impacto en los costos e ingresos durante las diferentes etapas de éste, para posteriormente realizar el análisis cuantitativo por medio del método de Montecarlo, para su incorporación en los flujos de caja del proyecto y posterior desarrollo de la evaluación financiera para el desarrollo y aplicación de la metodología general.

1.3.1. Información requerida

Los datos requeridos para los proyectos consisten en: indagación sobre los riesgos más comunes en proyectos inmobiliarios, planos arquitectónicos, estructura de costos directos e indirectos (presupuesto base), valor del lote, estrategia y precios de venta, flujos de caja determinísticos, valor determinístico de los factores asociados al riesgo e imprevistos.

Adicionalmente, se requiere tener acceso a las bases de datos de precios unitarios e índices de construcción de la ciudad de Medellín, de entidades gremiales tales como: DANE, CAMACOL¹⁰, Construdata¹¹ y otros.

1.3.2. Características

- Nivel de profundidad: prefactibilidad
- Etapa de pre-inversión
- Análisis cualitativo y cuantitativo de riesgos
- Simulación de Montecarlo (@Risk¹²)
- Determinación de los factores asociados al riesgo e imprevistos

1.4. Justificación

En la gestión de proyectos participan seres humanos y organizaciones complejas, de tal modo que su comportamiento no es del todo predecible ni planificable. Los proyectos están sujetos a eventos con incertidumbre, además, presentan altos índices de desperdicio de materiales y de tiempo, lo cual se ve reflejado en sobrecostos, disminución de productividad y posibles retrasos de la obra y reducción en el margen de utilidad.

En las empresas que desarrollan proyectos inmobiliarios, éstos generan algún tipo de riesgos, bien sea operativo, de gestión, financiero, ambiental e incluso social; por lo que uno de los problemas más importantes que intentan resolver estas compañías es la

¹⁰ Cámara Colombiana de la Construcción.

¹¹ Software, bases de datos y revista especializada para el sector de la Construcción en Colombia.

¹² "At Risk" Software de simulación de Montecarlo de la corporación PALISADE.

cuantificación de la relación existente entre el riesgo y los objetivos esperados, es decir, qué tanto se ve afectado el rendimiento esperado de un proyecto por los costos y gastos asociados a los imprevistos.

Un inversor racional asumirá riesgos de acuerdo con su grado de propensión al riesgo y a la rentabilidad en juego, y es por esta razón que, a mayor riesgo de un proyecto, el inversionista exigirá una mayor recompensa para invertir en dicho proyecto.

1.5. Formulación de la pregunta que permite abordar el problema en estudio

¿Analizar cuantitativamente los riesgos y su influencia en los indicadores de proyectos inmobiliarios, permite tener una visión confiable de los indicadores financieros de los proyectos?

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Desarrollar un modelo probabilístico que permita medir el impacto de los riesgos asociados a los imprevistos, en proyectos inmobiliarios de estrato 4 de la ciudad de Medellín, basado en el método de Montecarlo, para una evaluación financiera de los mismos.

2.2 Objetivos específicos

- Recolectar información sobre los principales riesgos que afectan a los proyectos inmobiliarios de estrato 4 de la ciudad de Medellín sobre una muestra de 30 proyectos que se encuentren en preventa o que hayan iniciado obras en el último año.
- Realizar un análisis cualitativo y cuantitativo de los riesgos asociados a los imprevistos con base en la información recopilada en la fase previa, mediante un análisis PESTEL y fundamentado en las 10 áreas del conocimiento propuestas por el PMI, con el fin de crear un modelo probabilístico.
- Crear un modelo basado en el análisis de riesgos, utilizando variables probabilísticas en el flujo de caja libre de proyectos de inversión inmobiliario en la etapa de prefactibilidad, con el fin de probarlo en proyectos de dicha índole en la ciudad de Medellín.

- Probar el modelo no determinístico propuesto en un proyecto inmobiliario de estrato 4 de la ciudad de Medellín, basado en el método de Montecarlo, con el fin de obtener los resultados en riesgo de los indicadores de la evaluación financiera y del porcentaje del AIU (Administración, Imprevistos y Utilidades).
- Comparar los resultados obtenidos del modelo no determinístico propuesto con el método determinístico tradicional, utilizado por la compañía constructora objeto de estudio, con el fin de obtener conclusiones sobre el impacto de los riesgos en el proyecto analizado.

3 Marco de referencia teórico

En este capítulo se desarrollarán las bases teóricas que fundamentan el método probabilístico para el análisis cuantitativo de riesgos en proyectos inmobiliarios.

Para lograr esto, en la primera parte se describirá un panorama general de los riesgos en todo tipo de proyectos, para introducirse luego en los riesgos de proyectos inmobiliarios, que, como se verá, contiene elementos comunes a un sinnúmero de tipologías de proyectos, razón por la cual es posible utilizar metodologías estándares como la del PMI. Se definirá entonces el concepto de riesgo según diversos autores y se resumirá la metodología para la gestión de riesgos, según la metodología PESTEL y fundamentado en las 10 áreas del conocimiento del PMBOK.

En la segunda parte, se estudiarán los diferentes tipos de métodos probabilísticos, las variables aleatorias y las funciones de densidad de probabilidad para comprender el método de simulación bajo incertidumbre, empleado en este estudio, el cual es el de Montecarlo.

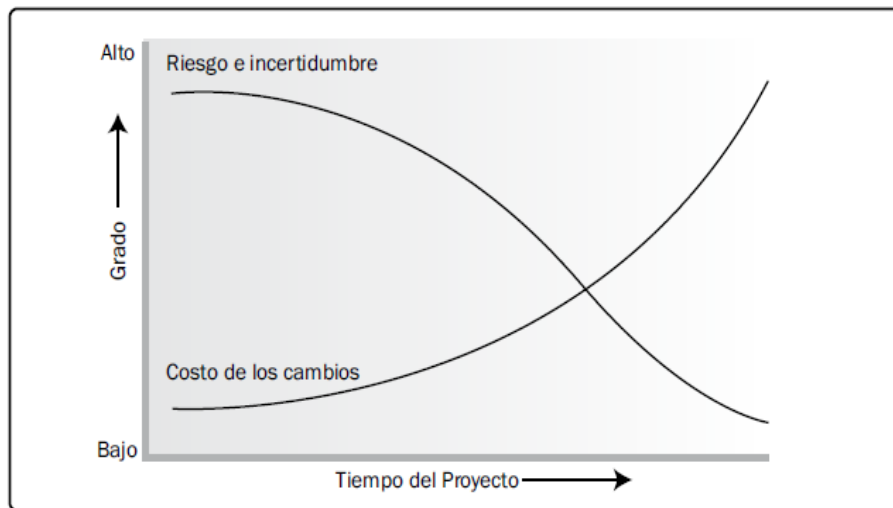
Finalmente, en la tercera parte, se estudiarán las diferentes variables que permiten realizar una evaluación financiera del proyecto, las cuales se estructurarán con el método de Montecarlo para obtener los resultados esperados bajo condiciones de incertidumbre.

3.1 Introducción al riesgo en proyectos

Todos los proyectos de inversión traen consigo algún tipo de riesgo, el cual tiende a disminuir mientras más se conozcan todas las variables que intervienen en el proyecto, tales como condiciones micro y macro económicas, situación sociopolítica, mercado y aspectos técnicos, entre otros (Baca, 2013).

Esta situación se puede apreciar durante el ciclo de vida del proyecto, donde a medida que éste avanza, se tiene mayor conocimiento de las variables. En la figura 1, se puede observar este fenómeno.

Figura 1. Variación de riesgo, incertidumbre y costos de los cambios en el tiempo



Fuente: (Bissonette, 2016).

No obstante, en la etapa de prefactibilidad de un proyecto, donde se analizan las condiciones de mercado y de entorno (estudios: políticos, económicos, técnicos, organizacionales, financieros, legales, sociales y ambientales, más conocidos como estudios PESTEL), es precisamente donde se tiene el mayor grado de incertidumbre, y paradójicamente, donde se toman las decisiones más importantes para dar vida al proyecto.

Según Kendrick (2015), los proyectos son riesgosos principalmente porque son complejos y altamente variados. Cada proyecto tiene aspectos únicos y metas diferentes,

de tal forma que la experiencia adquirida en un proyecto anterior no siempre se repite para un proyecto futuro, adicionando de esta manera, nuevas incertidumbres al listado.

Hillson (2009), complementa el concepto anterior afirmando que los proyectos tienen riesgo por tres cualidades principales: características comunes, diseño deliberado y ambiente externo.

En cuanto a las características comunes, los proyectos comparten elementos que introducen incertidumbre, tales como la unicidad, el grado de complejidad, suposiciones y restricciones, opinión y formas de hacer de las personas, influencia de los interesados (stakeholders) y cambios en el alcance y en los procesos. Por unicidad se entiende que cada proyecto por mucho que se asemeje a otro posee algún elemento único que no se ha realizado antes. Esto conlleva a algún grado de desconocimiento que desencadena en incertidumbre (Green, 2016).

Así mismo, existen diferentes grados de complejidad en los proyectos, bien sea de índole técnico, comercial, normativo y de programación, entre otros. La complejidad trae consigo riesgos asociados.

El alcance del proyecto involucra suposiciones hechas a futuro (situaciones que pueden o no ocurrir), y restricciones (cosas que se pueden realizar o no). Dichas suposiciones y restricciones, de llegarse a presentar, se pueden tornar en algo negativo para el proyecto, por lo tanto, son fuente de incertidumbre, además los proyectos son llevados a cabo por personas: directores de proyecto, staff, clientes, proveedores, contratistas y subcontratistas, entre otros, donde el comportamiento e interacción de estos grupos de personas y organizaciones es impredecible, generando incertidumbre. Los interesados son un grupo de personas que imponen requerimientos, expectativas y objetivos al proyecto, los cuales muchas veces se traslapan y entran en conflicto, generando riesgos en los criterios de aceptación.

Cada proyecto es un agente de cambio, el cual muta desde el presente conocido hasta el futuro incierto, trayendo consigo incertidumbre en su devenir. El diseño deliberado implica que las organizaciones realizan proyectos para estar alineadas con los objetivos estratégicos y lograr ventaja competitiva en el medio en el que se desarrollan. Esta

ventaja competitiva se puede alcanzar de dos maneras: la primera, con pequeños cambios incrementales buscando el mejoramiento continuo. Esta estrategia puede ser menos riesgosa. La segunda, adoptando una estrategia revolucionaria e innovadora, tratando de avanzar varios pasos a la vez. Este enfoque conlleva más riesgos, pero la ganancia potencial puede ser mayor (Hillson, 2009).

El ambiente externo implica que los proyectos están sometidos a retos, restricciones y cambios que pueden estar por fuera del control de la organización. Algunos de los agentes externos son: volatilidad del mercado, acciones de la competencia, cambios organizacionales del cliente, aspectos políticos, económicos, sociales, tecnológicos, legales, internacionales y demográficos, entre otros (Hillson, 2009).

Con el fin de comprender la teoría del riesgo en proyectos, es importante definir los conceptos principales como lo son: riesgo, incertidumbre, probabilidad, impacto e imprevisto.

3.1.1 Concepto de riesgo

Se ha visto en el texto precedente que las palabras riesgo e incertidumbre siempre van acompañadas, sin embargo, es necesario realizar algunas aclaraciones.

Según el Diccionario de la Lengua Española, la palabra riesgo viene del latín "riesco" que significa risco o acantilado, por el peligro que supone, y lo define como "contingencia o proximidad de un daño" (Real Academia Española, 2018).

Bissonette (2016) expone dos descripciones para aclarar el concepto de riesgo: la definición tradicional y la del PMBOK. La definición tradicional se define como la pérdida potencial que resulta de una acción dada, bien sea que se encuentre activa o inactiva. La palabra "potencial" sugiere un grado de incertidumbre o probabilidad.

La definición más aceptada de riesgo en proyectos parte del PMBOK, como sigue:

"El riesgo es un evento incierto o una condición que, si ocurre, tiene un efecto positivo o negativo en los objetivos del proyecto" (PMI, 2009, p. 9).

En la vida cotidiana el riesgo es percibido como algo negativo o como una pérdida. Sin embargo, la definición del PMBOK sugiere que también puede tener un efecto positivo o convertirse en una oportunidad. Esto tiene que ver con la aversión al riesgo de un posible inversionista, pues el hecho de asumir un mayor riesgo puede conducir a una mayor rentabilidad.

3.1.2 Incertidumbre

El común denominador de las anteriores definiciones es que el riesgo está relacionado con algo incierto. Gómez y Díez (2015) definen la incertidumbre como la falta de información sobre la probabilidad de ocurrencia de un evento.

Por su parte, Hillson (2009), afirma que "...no toda incertidumbre es riesgo; pero todos los riesgos son inciertos" (p. 10). Este planteamiento implica que no necesariamente el desconocimiento de una situación bien sea por ignorancia o por omisión, represente un riesgo latente para el proyecto, lo cual sugiere que hay eventos que se pueden considerar "normales", ya que son controlables y de cierto modo se pueden asumir. Esto dependerá de la naturaleza de cada proyecto. No obstante, todos los riesgos conllevan incertidumbre.

El concepto de riesgo se aborda, por lo tanto, desde sus dos dimensiones básicas: incertidumbre y efecto en los objetivos, la dimensión de incertidumbre puede ser descrita usando el término de "probabilidad", mientras que el efecto en los objetivos puede encontrar símil con el término "impacto" (PMI, 2009).

3.1.3 Probabilidad

El término de aleatoriedad o probabilidad asociada al concepto de incertidumbre fue estudiado por el matemático ruso A.N. Kolmogorov en 1933, quien sentó las bases matemáticas para un modelo probabilístico de riesgos (McNeil, Frey y Embrechts, 2015).

Como lo explica Raftery (2003), una probabilidad es un número entre cero y uno, el cual representa un juicio sobre la posibilidad percibida de la ocurrencia de un evento. Una probabilidad de cero significa que el evento es imposible, y uno, significa certeza de que

se presentará. La suma de probabilidades de una serie de eventos mutuamente excluyentes, uno de los cuales debe ocurrir, es igual a 1.

Este juicio de valor puede ser obtenido de tres tipos de fuentes:

- a) Probabilidades objetivo: está basado en frecuencias relativas observadas de incidencias pasadas de un mismo evento (ejemplo: el número de veces en que cayó más de 50 mm de lluvia en la ciudad de Medellín).
- b) Probabilidades a priori: derivado de una simetría visible (ejemplo: al tirar una moneda, cuál es la probabilidad de obtener cara).
- c) Probabilidades subjetivas: una reflexión de opiniones y juicios consistentes de un evento, o una reflexión de un sujeto sobre su propio grado de confianza sobre la probabilidad de un evento.

3.1.4 Impacto

La dimensión del efecto en los objetivos del proyecto representa la visión estratégica del mismo, por esto el impacto de los riesgos puede desencadenar una condición crítica para el negocio.

Según Buchtik (2012), el impacto es preguntarse qué consecuencias traerá al proyecto la ocurrencia de cierto evento y, a su vez, Gómez y Díez (2015) definen el impacto como “la magnitud de las consecuencias que afectarán el proyecto en alguna medida” (p. 178).

Es pertinente indicar, que, de ahora en adelante, al hablar de riesgos, los términos de probabilidad e impacto no pueden entenderse de manera separada. En síntesis, el riesgo se puede resumir en la siguiente ecuación:

$$\text{Riesgo} = \text{función (probabilidad} \times \text{impacto)} \quad (1)$$

La matriz de impacto del riesgo es el cruce de estas dos variables y se puede representar de la siguiente manera:

Tabla 2. Matriz de riesgos

Impacto	Alto impacto	Alto impacto
	Baja probabilidad	Alta probabilidad
	Bajo impacto	Bajo impacto
	Baja probabilidad	Alta probabilidad
	Probabilidad	

Fuente: Elaboración propia basada en Gómez y Díez (2015).

Los eventos que tienen baja probabilidad y bajo impacto, son precisamente aquellos que el proyecto puede asumir y, generalmente se pueden ignorar; en el sentido opuesto, se encuentran los eventos de alta probabilidad y alto impacto, los cuales, de no tenerse en cuenta, son los que pueden poner en entredicho a los objetivos del proyecto, llegando a afectar su viabilidad.

Una condición intermedia es tener alta probabilidad-bajo impacto donde se pueden catalogar como los riesgos normales del proyecto que, en la mayoría de los casos, se pueden asumir o transferir y una condición especial es tener baja probabilidad-alto impacto, que pueden tener algún grado de importancia para los objetivos del proyecto, sin embargo, tienen baja probabilidad de ocurrencia. Algunos riesgos permanecen ocultos y solo afloran cuando se presenta una situación que hace inminente su llegada. En algunos casos, aún hay tiempo para hacer una gestión que permita reducir su impacto.

3.1.5 Imprevistos y AIU

Según Gómez y Díez (2015), “los imprevistos son eventos que pueden ocurrir sin haber anticipado su ocurrencia” (p. 177), es decir, son muy difíciles de anticipar o prever, por lo tanto, tienen un alto grado de peligrosidad.

Buchtik (2012), explica que hay riesgos previsibles e imprevistos. Los riesgos previsibles son conocidos y los riesgos imprevistos son desconocidos. “...la gestión de

riesgos del proyecto se desarrolla en todo el espectro que está entre los dos extremos, sin incluir los extremos” (p. 35). Lo anterior quiere decir que hay eventos propios de la naturaleza de los proyectos que son conocidos y previsibles, que se pueden gestionar mediante la administración de riesgos; y existen otros sucesos que aun con una adecuada gestión, no se pueden prever.

Según estudios de Rojas y Bohórquez (2010), y más recientemente de Betancur (2014), en los proyectos de construcción, imprevisión no es lo mismo que imprevisto. Imprevisión es no disponer lo conveniente o necesario para atender contingencias previsibles. En cambio, los imprevistos o “costos de contingencia” se refieren a los riesgos más probables de todo proyecto, los cuales son valorados económicamente para ser incluidos en el presupuesto. Son también denominados “conocidos-desconocidos”, porque quien elabora el presupuesto es consciente de ellos.

Para la Asociación Internacional para el Desarrollo de la Ingeniería de Costos (AACE por sus siglas en inglés), los costos de contingencia se definen como “una cantidad agregada a un presupuesto estimado para tener en cuenta ítems, condiciones, o eventos cuya ocurrencia o efecto sobre el proyecto es incierto y que la experiencia demuestra que cuando ocurren se traducen en costos adicionales” (AACE, 2018, p. 26).

Por lo tanto, en los proyectos de construcción, aunque suene contradictorio, el término “imprevisto” hace referencia a los eventos conocidos y previsibles, estando estrechamente relacionado con la variable denominada AIU (Administración, Imprevistos y Utilidades).

El AIU se interpreta como una partida o un factor multiplicador sobre los ítems que componen los costos directos en un presupuesto, para tener en cuenta la incertidumbre. La componente “A” de administración se refiere a los honorarios de la empresa constructora por su ejercicio de gerenciar el proyecto de construcción. La componente “I” son los riesgos normales en que incurre un constructor. La variable “U” se refiere a la utilidad que espera recibir el contratista o la empresa constructora. Nótese que esta utilidad no es la del inversionista del proyecto, sino de la constructora o contratista.

En Colombia el AIU es utilizado principalmente en los contratos entre una constructora de carácter privado (contratista) y entidades gubernamentales. Este factor permite obtener la base para calcular los impuestos que deberá asumir el contratista, y en un proceso licitatorio, puede llegar a incidir en la calificación o descalificación de una firma contratista. Por extensión, el AIU es aplicable no solo a los proyectos de contratación con el Estado, sino a proyectos de inversión privada, solo que en estos últimos ya no tiene la incidencia legal y contractual de los primeros.

Se puede concluir que la gran mayoría de los imprevistos en la construcción son asimilados con eventos de alta probabilidad e impacto bajo a medio, los cuales son tenidos en cuenta en el presupuesto del proyecto, mediante factores multiplicadores que incrementan los costos base, para poseer cierta holgura o factor de seguridad que tenga en cuenta la incidencia de estos eventos en el costo final.

De allí que el concepto de imprevisto en construcción se asemeja más al término de riesgos previsibles de Buchtik (2012), mientras que el término de imprevisión se asemeja más a la definición de Gómez y Díez (2015).

La imprevisión, por lo tanto, contiene los riesgos inherentes no visibles y no cuantificables, que, de llegar a presentarse, impactan considerablemente en los objetivos del proyecto.

3.2 Gestión del riesgo en proyectos

La gestión del riesgo es la aplicación de habilidades, conocimientos, herramientas y técnicas para reducir las amenazas a un nivel aceptable, mientras se maximizan las oportunidades (Heldman, 2006).

La gestión del riesgo se realiza en cada una de las etapas del proyecto: preinversión en sus tres subetapas: estudio conceptual, estudio de prefactibilidad y estudio de factibilidad; luego continúa en la etapa de ejecución y finaliza con el cierre del proyecto. (Green, 2016).

Autores como Wanner (2013), Firmansyah, Veronika y Trigunarsyah (2006), le dan suma importancia a la gestión de riesgos desde la etapa de preinversión, porque es donde

existe la mayor incertidumbre y, a su vez, donde se debe asumir el riesgo de invertir o no invertir en el proyecto.

Según Green (2016), en la etapa de prefactibilidad se selecciona la alternativa que mejor se ajuste a las características técnicas, socioambientales y económicas, realizando un plan y registro de los riesgos tolerables y los no tolerables. Sugiere, además, realizar simulaciones de Montecarlo del costo de capital y del cronograma de la alternativa seleccionada, para establecer la reserva de contingencia y la holgura requerida de manera probabilística.

El PMI (2017) a través de la guía PMBOK, da las pautas para la gestión del riesgo en la etapa de ejecución. En este estudio se utilizará como pauta esta metodología para la identificación del riesgo en la etapa de prefactibilidad.

El PMBOK sugiere llevar a cabo los siguientes procesos:

- a) Plan de manejo del riesgo
- b) Identificar los riesgos
- c) Realizar el análisis cualitativo de los riesgos
- d) Realizar el análisis cuantitativo de los riesgos
- e) Planificar la respuesta ante el riesgo
- f) Implementar las respuestas al riesgo
- g) Monitorear el riesgo

Estos procesos son aplicables a cualquier tipo de proyecto. Se describirán a continuación:

a) Plan de manejo del riesgo

Se refiere a las actividades encaminadas a realizar un planeamiento efectivo del riesgo. En primer lugar, se debe identificar el alcance y descripción del proyecto con sus objetivos, reunir la documentación necesaria y los documentos contractuales. Para esta fase es útil el Project Charter o el acta de constitución del proyecto.

Luego se deben establecer las metas, definir el alcance y los objetivos del proceso de riesgos.

Es de utilidad establecer un presupuesto para el plan de manejo de riesgos, así mismo, fijar los roles y responsabilidades del personal que hará el manejo del riesgo (PMI, 2017).

b) Identificar los riesgos

Es la determinación de los riesgos que pueden afectar al proyecto. La identificación de riesgos es un proceso iterativo, ya que un proyecto puede evolucionar a través de las diferentes fases. Se debe clasificar o agrupar los riesgos para poder determinar el impacto. Se sugiere la siguiente clasificación (PMI, 2017):

- Según la fuente, interna o externa a la organización.
- De acuerdo con los equipos que serán responsables para administrar el proyecto.
- Según la WBS (work break down structure) o EDT¹³ del proyecto.
- Según el ciclo de vida del proyecto.

Según el PMI (2017), las técnicas para la identificación del riesgo consisten en:

- Juicio de expertos.
- Reunión y revisión de documentación: tormenta de ideas, listas de verificación o check lists, entrevistas.
- Análisis de datos: análisis de causa raíz, análisis de restricciones, análisis DOFA.
- Habilidades interpersonales del mánager y habilidades del equipo de trabajo para la identificación de riesgos.
- Listas de mensajes.
- Reuniones.

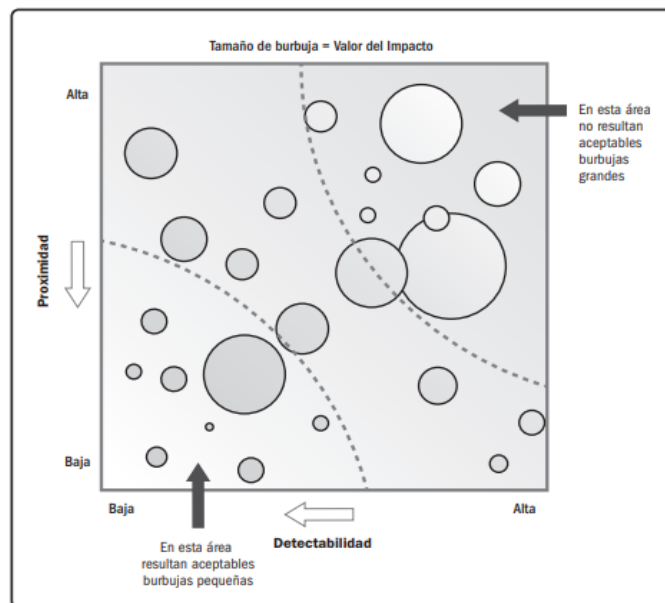
¹³ Estructura Detallada de Trabajo.

c) Análisis cualitativo de riesgos

El análisis cualitativo, como su nombre lo indica, está orientado a identificar y clasificar las cualidades, características o propiedades de los riesgos en un proyecto, como por ejemplo: riesgo alto, medio o bajo.

Dentro de las técnicas para realizar el análisis cualitativo se encuentra ensamblar la matriz de probabilidad e impacto, como se indicó en el capítulo anterior. Otra técnica consiste en utilizar gráficos jerárquicos, como un diagrama de burbujas (ver figura 2).

Figura 2. Diagrama de burbujas



Fuente: (PMI, 2017).

Otras técnicas utilizadas para el análisis cualitativo fueron analizadas por Ángel e Hincapié (2016), las cuales se listan a continuación, para un estudio posterior por parte del lector:

- Método Delphi
- Lluvia de ideas
- Entrevistas estructuradas y semi-estructuradas
- Listas de verificación
- Método del análisis primario de peligros

- Método de Bow Tie
- Método HAZOP
- Método Swift
- Método de análisis de fiabilidad humana
- Método de causa raíz (RCA)

Entre otros métodos.

d) Análisis cuantitativo de riesgos

El análisis cuantitativo de riesgos es el proceso de analizar numéricamente los efectos combinados de los riesgos y de las fuentes de incertidumbre en los objetivos generales del proyecto.

El análisis de datos se lleva a cabo a través de técnicas de simulación tanto de costos como de cronograma, tales como el método de Montecarlo, que se explicará en el capítulo siguiente.

e) Planificar la respuesta ante el riesgo

Consiste en el proceso de desarrollar opciones, seleccionar estrategias y llevar a cabo acciones que permitan direccionar o encaminar respuestas ante la exposición al riesgo del proyecto en general o ante eventos particulares.

Estas respuestas pueden ayudar a minimizar las amenazas y maximizar las oportunidades, tanto individuales como del proyecto en general. Y para ello existe una serie de estrategias para afrontarlas, las cuales se describen en la tabla 3.

Tabla 3. Estrategias para afrontar amenazas y oportunidades

Amenazas	Oportunidades
Escalar	Escalar
Evitar	Explotar
Transferir	Compartir
Mitigar	Mejorar
Aceptar	Aceptar

Fuente: Elaboración propia (2018).

f) Implementar la respuesta ante el riesgo

Es el proceso de implementar los planes de respuesta anteriormente convenidos durante la vida del proyecto. Un error muy común del equipo de trabajo es gastar mucho tiempo en la elaboración del plan, pero poco tiempo en realmente ejecutar o implementar la respuesta.

Cuando los encargados del plan de respuesta le dan su debido nivel de esfuerzo a la implementación, la exposición al riesgo general del proyecto, con sus debilidades y fortalezas, serán administradas proactivamente.

g) Monitorear el riesgo

Es el proceso de hacer seguimiento a los riesgos identificados, a los planes y respuestas convenidos, evaluando la efectividad en cuanto a su administración y gestión.

3.3 Riesgos en proyectos de construcción inmobiliarios

Los riesgos en los proyectos de construcción en general dependerán de las diferentes fases o ciclo de vida del proyecto. Además, son función del entorno geográfico, político, económico y sociocultural donde se desarrollan.

Según estudios de Martínez, Moreno y Rubio (2012), los riesgos en los proyectos de construcción se pueden resumir en:

- Errores o falta de definición del proyecto
- Cambios impuestos por los propietarios durante el proceso constructivo
- Inflación o cambio de precios súbitos
- Falta o defectos en la calidad de los materiales
- Sobrecostos y mano de obra no calificada
- No disponibilidad de materiales y suministros adecuados
- Programación y plazos no acordes con las posibilidades reales del proyecto
- Retraso en toma de decisiones a lo largo del proceso constructivo
- Inseguridad jurídica por definiciones contractuales o cambios de normativa

Por su lado, Reppeto (2008), aduce que los proyectos inmobiliarios tienen los siguientes riesgos:

- Riesgo de construcción: posibles aumentos del costo de la obra, como, por ejemplo, aumento en el precio de los insumos. Aumento en costos por la prolongación del plazo.
- Riesgo del negocio: debido a que existen proyectos más riesgosos que otros.
- Riesgo comercial: es posible que el precio de venta sea más bajo que el modelado, por las condiciones del mercado, por la reacción de la competencia o porque la velocidad de ventas no se acerque al ideal concebido.
- Riesgos del mercado: cambios en la normativa vigente, demoras en la obtención de permisos, cambios impositivos (impuestos), cambios en el costo de financiamiento, cambios en la paridad cambiaria.
- Riesgo país: especialmente para los inversionistas extranjeros.

3.4 Tipos de modelos para la evaluación de proyectos

Cuando se pretende realizar un modelo que represente la realidad para realizar predicciones y resolver problemas prácticos, hay dos enfoques: el determinístico o en condiciones de certidumbre y el probabilístico o en condiciones de incertidumbre.

3.4.1 Modelo determinístico

Un modelo determinístico es aquel en donde todas las variables utilizadas en la estructura de costos e ingresos del flujo de caja libre son valores ciertos, conocidos e invariantes. En términos de probabilidades, existe una probabilidad del 100% de que todos los supuestos y predicciones asignados en el flujo de caja libre se van a cumplir a cabalidad, por lo tanto, los indicadores de evaluación financiera tales como el VPN y la TIR están garantizados (Lira, 2013).

Según Kirchsteiger (1999), un sistema determinístico es perfectamente predecible porque no hay aleatoriedad. Cada vez que se ejecuta o corre un algoritmo con los mismos datos iniciales, se obtiene siempre la misma respuesta. Los datos siguen una ley conocida (ley, ecuación, procedimiento) y el estado de cada componente del sistema

entero puede ser obtenido en cualquier instante del tiempo, bien sea en el pasado o en el futuro.

3.4.2 Modelo probabilístico

Un modelo se define como probabilístico cuando siempre que se somete a un mismo estímulo reacciona de forma diferente, por lo que, durante la evaluación de proyectos se tiene la necesidad de tomar decisiones con base en fenómenos asociados con la incertidumbre. Esta incertidumbre es la consecuencia de una variación constante del sistema, debido a causas que no se pueden controlar. A este tipo de problemas se les puede incorporar un modelo matemático y manejarlos de forma cuantitativa (MarcoTeorico.com, 2018).

Al existir incertidumbre para predecir el comportamiento, se requiere el uso de variables aleatorias para describir los componentes del sistema y sus interacciones. Cada vez que se ejecuta el modelo, aun con las mismas condiciones iniciales, se obtienen resultados diferentes.

En síntesis, el modelo probabilístico considera el riesgo, que no es más que la probabilidad de que las variables del proyecto se comporten de manera diferente a lo supuesto. También se puede interpretar como el grado de dispersión de los resultados obtenidos frente al promedio. En términos estadísticos, el anterior concepto se refiere a la desviación estándar o la raíz cuadrada de la varianza. A mayor desviación estándar, mayor volatilidad, y, por consiguiente, mayor riesgo (Lira, 2013).

3.4.3 Diferencia entre modelo determinístico y entre modelo probabilístico

Cuando un evaluador de un proyecto de inversión usa el enfoque determinístico es porque tiene certeza de sus datos de entrada y conoce las consecuencias o los efectos de esta información en los resultados de salida.

Un ejemplo de variable determinística en proyectos de inversión inmobiliario es el valor del lote, ya que en el medio es muy raro realizar la evaluación financiera del proyecto sin saber dónde va a estar localizado y sin haber hecho por lo menos una indagación previa

sobre el precio y disponibilidad del terreno con su propietario actual. El precio del lote es una variable que poco podría variar, por lo tanto, es considerado como un valor certero.

En el caso del enfoque probabilístico, el evaluador tiene unos datos de entrada con conocimiento de su probabilidad de ocurrencia o distribución de frecuencias, con lo cual, obtendrá un resultado probabilístico que muestra con detalle la sensibilidad de las variables.

Un ejemplo de variable probabilística en proyectos de inversión inmobiliaria es el valor del cemento, el cual podría variar no solo por la inflación sino por otros aspectos tales como la ley de oferta y demanda, déficit en el suministro (por ejemplo, paro de transportadores), porque existe un cartel de las empresas productoras, entre otros aspectos. Dicha variable podría ser representada mediante una función de probabilidad.

Dentro de un modelo probabilístico puede haber combinación de algunas variables determinísticas junto a variables probabilísticas, o bien, ser todas probabilísticas (Ángel e Hincapié, 2016).

Según Attarzadeh, Chua y Beer (2011), hay una ventaja de usar el enfoque probabilístico, y radica en utilizar valores dentro de un ancho de franja o intervalo de confianza y modelarlos bajo una función de densidad de probabilidad definida. La realidad puede ser mejor representada que al utilizar figuras determinísticas.

3.4.4 Estudio de simulación

Debido a las condiciones del problema descrito en capítulos anteriores, donde obtener la solución analítica directa a través de un modelo matemático es complicado, en el que no se puede experimentar en forma directa con el proceso de estudio, debido a las limitaciones de tiempo e información y donde obtener datos de una variable aleatoria es complicado, debido al tipo de variables que se están estudiando y a la industria que se está evaluando, es más apto utilizar un modelo matemático simulado a través de programas de computación que denoten un panorama muy cercano a la realidad y un modelo que se podría considerar adecuado para la evaluación de los riesgos (Ángel e Hincapié, 2016) en proyectos inmobiliarios.

Tal y como lo describen Ángel e Hincapié (2016), para este tipo de escenarios el método Montecarlo es una opción, cuando las técnicas analíticas no están en capacidad de entregar resultados relevantes; esto sucede porque se tiene incertidumbre en los datos de entrada.

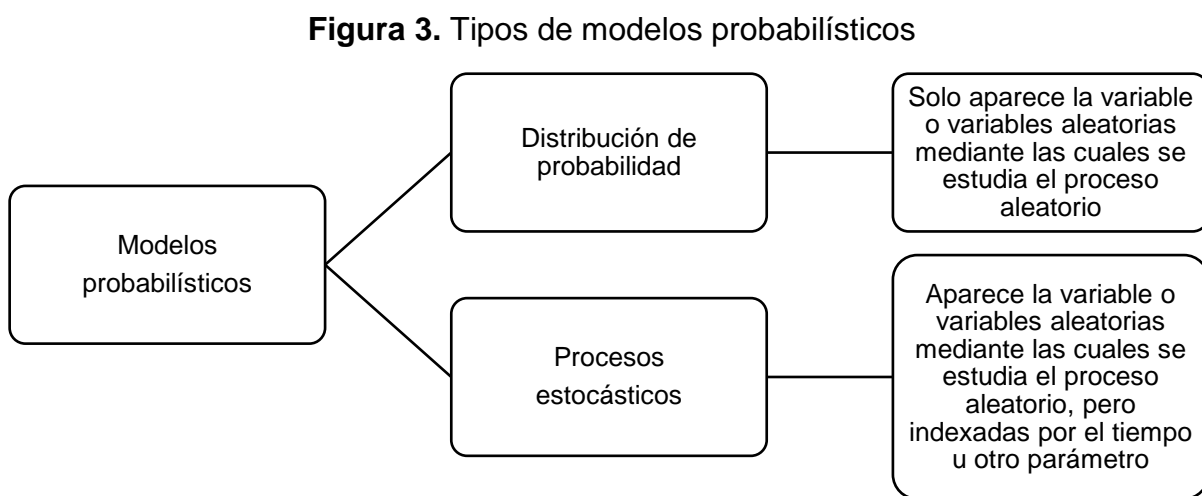
- Método de Monte Carlo

Se denomina simulación de Montecarlo, según Zapata (2010), al experimento de generar números aleatorios de cualquier distribución de probabilidad para evaluar en forma numérica, indirecta o artificial, un modelo matemático que permite estimar el comportamiento de un sistema o proceso que involucra variables probabilísticas.

Su fortaleza se basa en la facilidad de la consecución del software para la ejecución, lo cual le permite el uso de diversas distribuciones de probabilidad, entregando una exactitud válida para los análisis requeridos. Por otro lado, las desventajas están basadas en que el método puede llegar a ser tan robusto, por la complejidad del proyecto, que requerirá de tiempos de implementación largos y de inversiones en servidores de alto costo para la consecución final y verídica de los resultados (Ángel e Hincapié, 2016).

3.4.5 Tipos de métodos para análisis probabilístico

Según Zapata (2010), existen dos grandes tipos de modelos probabilísticos:



Fuente: (Zapata, 2010).

La distribución de probabilidad se utiliza cuando:

- El proceso aleatorio es estacionario (cero tendencias).
- El periodo de interés para estudiar el proceso aleatorio o la evolución del tiempo dentro de este periodo no se requieren para explicar el proceso aleatorio bajo estudio.

En este caso, la distribución de probabilidad se expresa únicamente en términos de la(s) variable(s) aleatoria(s) “x” que describe el proceso aleatorio. Así, la función puede ser continua, discreta o mixta, según el tipo de espacio muestral. Esta(s) variable(s) aleatoria(s) que sirve(n) para representar el fenómeno aleatorio bajo estudio no aparece(n) como función del tiempo. El tiempo, puede ser una de las variables que explican el fenómeno aleatorio bajo estudio, pero no indexa a otras variables aleatorias. Tampoco aparece en este tipo de modelo una variable que indexe a otras.

Nótese que “x” puede referirse a un instante de tiempo o a un periodo de tiempo que se observa durante un periodo de tiempo dado. Por ejemplo, “x” puede ser el tiempo para reparación de un vehículo o los instantes de ocurrencia de una erupción volcánica (Zapata, 2010).

Existen varios tipos de distribuciones de probabilidad y cada uno tiene una aplicación diferente; a continuación, en la tabla 4 se describen los más utilizados.

Tabla 4. Tipos de distribuciones de probabilidad

Distribuciones de probabilidad	
Distribución	Algunas aplicaciones
Distribución Exponencial	Confiabilidad: modelo de vida de componentes en período de vida útil
	Teoría de colas: tiempo entre llegada de llamadas a un conmutador o clientes a un banco, tiempo para servicio
Distribución Uniforme	Generación de números aleatorios uniformes
	Tiempo para llegada de eventos en un proceso de Poisson homogéneo

Distribuciones de probabilidad	
Distribución	Algunas aplicaciones
	Teoría de colas: tiempo para llegada de llamadas a un conmutador o clientes a un banco
	Fugas en una tubería
Distribución normal o Gaussiana	Estudio de errores de varios tipos
	Variables que resultan de la suma de grandes cantidades de otras cosas
	Sobre voltajes, voltajes de aguante de aislamientos
	Altura de las personas, inflación, tasas de reproducción
Distribución Weibull	Tiempos para falla
	Tiempo para completar algún trabajo
	Estudio de fatiga de materiales
	Modelamiento de componentes en confiabilidad
Distribución Gamma	Tiempos para falla
	Tiempo para completar algún trabajo: reparación, atención de clientes
	Fenómenos meteorológicos
Distribución Pareto	Economía: tamaño de compañías, precio de acciones
	Demografía: tamaño de poblaciones de ciudades
	Confiabilidad
Distribución Triangular	Modelos aproximados en ausencia de datos
Distribución Beta	Para modelar proporciones
	Modelos en ausencia de datos
Distribución Lognormal	Tiempos para ejecutar una tarea
	Tiempos para reparación
	Tiempos para prestar un servicio
Distribución Logistic	Tiempos para aprendizaje
	Crecimiento de poblaciones
	Propagación de epidemias
	Difusión de las ventas de un nuevo producto

Distribuciones de probabilidad	
Distribución	Algunas aplicaciones
	Difusión de nuevas tecnologías en el mercado
Distribución Log-logistic	Tiempos para realizar una tarea
Distribución Fisher-tippett	Análisis de valores extremos
Distribución Pearson v	Tiempos para realizar una tarea
Distribución Pearson vi	Tiempos para realizar una tarea
Distribución Binomial	Confiabilidad
	Número de ítems con una característica dada en un grupo
Distribución Multinomial	Número de ítems con una característica dada en un grupo
Distribución Hipergeométrica	Número de ítems con una característica dada en un grupo
Distribuciones Pascal y Geométrica	Número de ensayos para obtener un evento dado

Fuente: Elaboración propia basada en Zapata (2010).

Según la distribución, los parámetros de las funciones matemáticas que se utilizan como modelos para distribuciones de probabilidad varían y determinan una serie de características, que permiten definir qué función de distribución de probabilidad es más adecuada para el caso de estudio y la información obtenida durante el trabajo de campo.

Tabla 5. Tipos de parámetros y características de las distribuciones de probabilidad

TIPOS DE PARÁMETROS	
Parámetro de localización	Especifica el punto en el eje horizontal a partir de donde comienza el rango de valores del modelo o donde se localiza su centro de masa
Parámetro de escala	Determina la escala o unidades de medida de la variable aleatoria, un cambio en este parámetro expande o comprime la distribución sin cambiar su forma.

TIPOS DE PARÁMETROS	
Parámetro de forma	Determina la forma de la distribución. Este parámetro se identifica porque siempre aparece como exponente en la función matemática que define el modelo de distribución de probabilidad
Parámetro de desplazamiento	Desplaza toda la distribución
CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS	
La mediana	La mediana es el valor a para el cual hay una probabilidad acumulada del 50%
La moda	La moda es el valor a para el cual la función de densidad de probabilidad o la función de probabilidad de masa alcanzan su mayor altura
Coefficiente de variación	Mide la dispersión central de la distribución. Permite comparar varias distribuciones, aunque las unidades de las variables aleatorias no sean las mismas.
Coefficiente de asimetría	Generalmente está entre -1 y +1. Si una distribución es simétrica entonces el coeficiente de asimetría es cero. Si la "cola" de la distribución está hacia la derecha, entonces el coeficiente de asimetría es positivo; si la "cola" de la distribución está hacia la izquierda, entonces el coeficiente de asimetría es negativo.
Coefficiente de afilamiento	Mide el afilamiento o cantidad de "pico" de la distribución.

Fuente: Elaboración propia basada en Zapata (2010).

Otro tipo de modelos probabilísticos son los procesos estocásticos, estos procesos debido a su complejidad, y que no se ajustan al caso de estudio, solo se mencionarán. Según Zapata (2010), se utilizan cuando el período de interés durante el estudio del proceso aleatorio o la evolución del tiempo dentro de este período, se requieren para explicar el proceso aleatorio bajo estudio. El proceso aleatorio bajo estudio puede ser estacionario o no estacionario. En este caso, la distribución de probabilidad se expresa

en términos de la variable aleatoria “ x ” que describe el proceso aleatorio y de un parámetro “ t ” que es el período para estudio del proceso o instantes de tiempo dentro de este. Entonces, la variable aleatoria “ x_t ” que describe el proceso, está indexada por el parámetro “ t ” o índice del proceso.

3.4.6 Bondad de ajuste

La bondad de ajuste se define como un método estadístico para examinar qué tan bien se ajusta o está en concordancia una muestra de datos de una población con una distribución de probabilidad dada (D’Agostino y Stephens, 1986).

Dentro de las metodologías más empleadas para efectuar la bondad de ajuste se encuentran:

- Prueba de Kolmogórov-Smirnov (K-S)
- Prueba de Anderson-Darling (A-D)
- Prueba de Ji-Cuadrada
- Prueba de Cramér-Von Mises
- Test de Shapiro-Wilk
- Criterio de información de Akaike
- Coeficiente de determinación para análisis de regresión

Se describirán a continuación las tres primeras metodologías listadas, las cuales son usadas en este texto:

- Prueba de Kolmogórov-Smirnov (K-S): es un método no paramétrico de bondad de ajuste que es usado para determinar si dos distribuciones difieren entre sí, o si una distribución de probabilidad subyacente difiere de una distribución hipotética (Statistics, 2008).

“Se usa para ajustar datos a una función de distribución estadística, siempre y cuando la función tenga los datos centrados en la media y sea de colas livianas” (Gómez, 2017, p. 169).

- Prueba de Anderson-Darling (A-D): es una prueba no paramétrica para determinar si los datos de una muestra provienen de una distribución específica. Es similar al método de Kolmogórov-Smirnov con la excepción de que tiene un mejor ajuste en las colas de la distribución.

“Se usa para ajustar datos a una función de distribución estadística, siempre y cuando la función tenga los datos centrados en la media, y sea de colas pesadas” (Gómez, 2017, p. 170).

- Prueba de Ji-Cuadrada: es una prueba de hipótesis que compara la distribución observada de los datos con una distribución esperada de los datos.

En general, la prueba estadística Ji-Cuadrada es de la forma:

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{observado} - \text{esperado})^2}{\text{esperado}} \quad (2)$$

Si los datos computados son grandes, entonces los valores observados y esperados no están cercanos y el modelo se ajustará pobremente a los datos (Yale, 1997).

“Se usa para ajustar dato con funciones de probabilidad homogénea o funciones cuadradas” (Gómez, 2017, p. 168).

3.4.7 Software para modelamiento

Actualmente, se cuenta con aplicaciones informáticas específicas, como es el caso del programa @Risk© de Palisade o Cristal Ball© de Oracle, aplicaciones que funcionan mediante el uso del método Latin Hypercube y que genera valores aleatorios, además de MATLAB© de MathWorks y Cleve Moler, una herramienta de software matemático mucho más compleja y robusta, debido a que permite desarrollar simulaciones más pesadas, estas aplicaciones permiten agilizar el análisis de datos partiendo de las relaciones que existen entre las variables.

- **@RISK®:**

Realiza análisis de riesgo utilizando la simulación para mostrar múltiples resultados posibles en un modelo de hoja de cálculo, y le indica qué probabilidad hay de que se produzcan. Computa y controla matemática y objetivamente gran número de escenarios futuros posibles, y luego le indica las probabilidades y riesgos asociados con cada uno. Esto quiere decir que usted podrá decidir qué riesgos desea tomar y cuáles prefiere evitar; tomando la mejor decisión en situaciones de incertidumbre, también le ayuda a planificar las mejores estrategias de administración de riesgo mediante la integración de RISKOptimizer, que combina la simulación Monte Carlo con lo último en tecnología de resolución de problemas, para optimizar cualquier hoja de cálculo que contenga valores inciertos. Usando algoritmos genéticos, junto con las funciones de @RISK, RISKOptimizer puede determinar la mejor asignación de recursos, la distribución óptima de activos, el calendario más eficiente y mucho más (PALISADE, 2018b).

- **Oracle Crystal Ball®:**

Es una suite de aplicaciones basada en hojas de cálculo, líder para modelaje predictivo, previsión, simulación y optimización. Le da una visión sin precedentes sobre los factores críticos que afectan el riesgo de su análisis. Con Crystal Ball, puede tomar las decisiones correctas y formular tácticas para alcanzar sus objetivos y tener ventajas competitivas, incluso en las condiciones de mercado más inciertas; usando la simulación de Monte Carlo, Oracle Crystal Ball calcula automáticamente y registra los resultados de miles de diferentes "y si" casos. El análisis de estos escenarios le revela el abanico de resultados posibles, su probabilidad de ocurrencia, los insumos con mayor impacto en su modelo y dónde debe enfocar su esfuerzo para obtener mejores resultados (ORACLE, 2018).

- **MATLAB®:**

El lenguaje de MATLAB proporciona una serie de funciones matemáticas de alto nivel, que permiten crear un modelo para la simulación Monte Carlo y ejecutar simulaciones de este tipo. MATLAB se utiliza para la modelización financiera, la predicción meteorológica, el análisis de operaciones y muchas otras aplicaciones;

en la modelización financiera, la simulación Monte Carlo informa sobre el precio, el tipo y la predicción económica, además de proporcionar gestión de riesgos y pruebas de estrés. Financial Toolbox™ proporciona herramientas de ecuación diferencial estocástica para crear y evaluar modelos estocásticos. Risk Management Toolbox™ facilita la simulación de créditos, incluida la aplicación de modelos de cópulas (MathWorks, 2018).

3.5 Evaluación financiera

La evaluación financiera de un proyecto es uno de los estudios de apoyo que abarca la etapa de preinversión con el propósito de determinar la viabilidad financiera, proyectando las inversiones a realizar, los ingresos, los costos y los gastos operacionales; con los cuales se construye el flujo de caja para determinar los criterios de rentabilidad en los que se apoya la toma de decisiones (Gómez y Díez, 2015).

La evaluación financiera comprende los elementos que se listan a continuación.

3.5.1 Estructura financiera

La estructura financiera de una organización consiste en las diferentes fuentes y tipos de financiación necesarios para adquirir los recursos, bien sea para emprender proyectos o mantener sus operaciones (Buján, 2018).

Las organizaciones requieren, por lo tanto, una gran variedad de activos, que bien pueden ser tangibles (propiedad, planta y equipo) o intangibles (*know how*). Así mismo, pueden apalancarse vía deuda.

Según Gómez y Díez (2015) la estructura financiera está compuesta por:

- La estructura Corriente: proveedores, impuestos por pagar, préstamos de corto plazo.
- La estructura de Capital: bonos por pagar, patrimonio, deuda de largo plazo.

Repetto (2008), explica que las empresas constructoras pueden financiar los proyectos inmobiliarios por medio de las siguientes fuentes:

- Emisión de acciones: es la salida al mercado público de las acciones para que sean suscritas, con el fin de obtener capital.
- Deuda o financiamiento intermedio: crédito constructor con entidades bancarias o mercado de capitales, emisión de bonos. En el caso del crédito constructor, el banco realiza los desembolsos según el avance de obra.
- Capital propio o de terceros (inversionistas), también llamado “Equity”, es el patrimonio de los accionistas.
- Aportes en especie: una variable importante en este tipo de financiación está dada por el terreno o el lote donde se desarrollará el proyecto. Éste bien puede ser aportado por la propia constructora o por un tercero, en este último caso, se puede constituir una hipoteca a favor del propietario y/o constituir un fideicomiso.
- Preventas: parte del dinero proviene de los compradores quienes pactan un precio cerrado con un plan de pagos, con o sin descuento, por ejemplo: pactar una cuota inicial del 30%, 50% en cuotas durante la etapa de construcción y un 20% restante en el momento de la escrituración del inmueble. En este procedimiento se pacta un documento contractual denominado promesa de compraventa.

Las modalidades más comunes son: recursos propios + fiducia + crédito constructor; recursos propios + crédito constructor; recursos propios (para proyectos de menor envergadura). El porcentaje de recursos propios suele ser el 20% del costo total, y el 80% restante es financiación externa (bien sea con recursos del patrimonio autónomo, con crédito constructor o una combinación de ambos).

3.5.2 Costo de capital

El costo de capital es la tasa esperada de retorno que los participantes del mercado (universo de inversionistas) requieren, con el fin de atraer fondos a una inversión en particular. Representa por lo tanto el costo de oportunidad o el costo de renunciar a una mejor alternativa de inversión. Esto es en esencia, el principio económico de sustitución, en el cual, un inversionista no invertirá en un activo, si hay otro mejor que lo sustituya (Pratt y Grabowski, 2008).

Las dos metodologías para determinar el costo del capital son el CAPM (capital asset pricing model), y el costo promedio ponderado de capital o WACC (weighted average capital cost) (Gómez y Díez, 2015).

El CAPM sirve para calcular el costo del capital propio o el patrimonio de los inversionistas y es un método para calcular el precio de un activo en una cartera o portafolio de inversiones. El CAPM describe las relaciones del mercado que resultarán del comportamiento de los inversionistas dentro de un portafolio (Pratt, 2002).

El CAPM estudia las interrelaciones de la tasa libre de riesgo (R_f), con la rentabilidad del mercado (R_m) y el coeficiente beta (β) que mide la sensibilidad del activo frente a las fluctuaciones del mercado o riesgo sistemático.

El riesgo sistemático representa la incertidumbre de los retornos futuros debido al comportamiento del mercado. En cambio, el riesgo no sistemático depende de las características de la industria, la compañía individualmente y el tipo de inversión.

WACC es una tasa de descuento para descontar los flujos de caja futuros en la valoración de proyectos de inversión, el cual, como su nombre lo indica, pondera cada una de las fuentes de capital, bien sean éstas propias (“equity”, patrimonio, capital de los inversionistas) o de terceros (pasivos o deuda).

El WACC se calcula según la siguiente expresión (Gómez y Díez, 2015):

$$WACC = \frac{E}{E+D} k_e + \frac{D}{E+D} k_d (1 - t) \quad (3)$$

Donde:

E = Porcentaje de aporte de los accionistas

D = Porcentaje de aporte de la deuda o apalancamiento

k_e = Costo del capital propio calculado mediante la expresión:

$$k_e = R_f + (R_m - R_f)\beta_l \quad (4)$$

k_d = Costo real de la deuda

t = tasa de impuestos del proyecto

3.5.3 Indicadores de evaluación financiera

La evaluación financiera es una metodología que permite identificar, valorar y comparar los costos y los ingresos asociados a diferentes alternativas de un proyecto de inversión, teniendo en cuenta el valor del dinero en el tiempo y los riesgos del proyecto, con el fin de tomar decisiones sobre la opción más conveniente.

La finalidad de la evaluación financiera es determinar la rentabilidad del proyecto por sí mismo, independientemente de las fuentes de financiación. Para esto se debe desarrollar un flujo de caja con los ingresos y egresos, proyectándolos en el tiempo (Repetto, 2008).

Según Meza (2013) es importante que cualquier inversionista pueda responder a la pregunta: ¿convendrá la inversión? Todo proyecto, por lo tanto, debería permitir recuperar la inversión inicial y obtener un excedente o unos beneficios adicionales que satisfagan las expectativas de los inversionistas.

Para medir la viabilidad o rentabilidad del proyecto se requiere conocer la tasa de descuento, la cual representa la rentabilidad esperada por los inversionistas. Esta tasa de descuento se compara con la tasa de retorno que promete el proyecto y permitirá la toma de decisiones en cuanto a la realización o no del mismo (Tobar, 2011).

La tasa de descuento "TD", se calcula de acuerdo con las técnicas explicadas en el capítulo anterior, bien sea que se utilicen recursos propios a través del método CAPM, o con recursos mixtos (patrimonio más deuda) para lo cual se utiliza el WACC.

El estudio de las matemáticas financieras y la ingeniería económica permiten la obtención de las ecuaciones principales de los indicadores de evaluación financiera para realizar el análisis de la inversión. Los principales indicadores se enuncian a continuación.

3.5.3.1 Valor presente neto o VPN:

Representa la utilidad o pérdida del proyecto en valor presente, evaluada a la tasa de descuento (Tobar, 2011).

Se calcula como:

$$VPN = FC_o + \sum_{k=1}^n \frac{FC_k}{(1+TD)^k} = FC_o + \frac{FC_1}{(1+TD)^1} + \frac{FC_2}{(1+TD)^2} + \frac{FC_3}{(1+TD)^3} + \dots + \frac{FC_n}{(1+TD)^n} \quad (5)$$

Si el VPN del proyecto > 0; se acepta el proyecto

Si el VPN del proyecto < 0; se rechaza el proyecto

Si el VPN del proyecto = 0; es indiferente realizar el proyecto

3.5.3.2 Tasa interna de retorno o TIR:

Es la tasa de rentabilidad de los dineros que al final de cada período aún permanecen invertidos en el proyecto y no sobre la inversión inicial (Tobar, 2011).

Además, es la tasa de interés que hace que el VPN = 0, o dicho de otra manera, es la tasa que iguala el valor presente de los flujos descontados, con la inversión inicial (Meza, 2013).

La TIR se puede obtener al despejar la variable de la siguiente ecuación:

$$0 = \sum_{k=1}^n \frac{FC_k}{(1+TIR)^k} = FC_o + \frac{FC_1}{(1+TIR)^1} + \frac{FC_2}{(1+TIR)^2} + \frac{FC_3}{(1+TIR)^3} + \dots + \frac{FC_n}{(1+TIR)^n} \quad (6)$$

El problema es matemático y se reduce a encontrar las raíces de un polinomio de grado n, siendo n la duración del proyecto de acuerdo con las proyecciones. No obstante, se debe tener cuidado, ya que la obtención de raíces de cualquier polinomio está regida por la regla de los signos de Descartes, la cual enuncia que un polinomio puede tener tantas raíces como cambios de signos o cortes del eje de las ordenadas en un plano cartesiano, Por lo tanto, es necesario analizar paulatinamente la TIR con el VPN o realizar un gráfico en el plano cartesiano de la TIR (también llamado perfil del VPN) para tomar el indicador correcto (Meza, 2013).

Si la TIR > TD se acepta el proyecto

Si la TIR < TD se rechaza el proyecto

Si la TIR = TD, es indiferente llevar a cabo el proyecto

3.5.3.3 Tasa interna de retorno modificada o TIRM

Es una tasa de retorno con reinversión, que pondera las condiciones del proyecto con las condiciones del mercado (Tobar, 2011).

Por lo general, los flujos de caja de los proyectos son convencionales, esto es, poseen un único desembolso en el año cero o inicio del proyecto (inversión inicial) y múltiples entradas en los períodos siguientes.

Sin embargo, existen flujos de caja no convencionales en los cuales pueden existir desembolsos o reinversiones en el futuro. Con esto, la tasa de reinversión generada por el exceso de liquidez es diferente a la tasa que retorna el proyecto. Por esto, la TIRM se denomina la tasa verdadera de rentabilidad, ya que toma en cuenta las reinversiones (Gómez y Díez, 2015).

El cálculo matemático consiste en convertir el flujo no convencional de múltiples períodos en un flujo convencional de solo dos períodos (el período cero y el período final).

Para lograr lo anterior, las inversiones (salidas) hechas en diferentes períodos de tiempo se traen a valor presente (en el año cero) utilizando la tasa de reinversión, mientras que los ingresos se llevan a valor futuro en el último período con la tasa de descuento (TD), quedando un flujo de dos períodos, uno negativo en el período cero y otro positivo en el último período. El resultado de despejar la tasa que genera esta condición es la TIRM.

Si la $TIRM > TD$ se acepta el proyecto

Si la $TIRM < TD$ se rechaza el proyecto

Si la $TIRM = TD$, es indiferente llevar a cabo el proyecto

3.5.3.4 Costo anual uniforme equivalente (CAUE) o Valor anual uniforme equivalente (VAUE)

Consiste en convertir cada valor del flujo de caja del proyecto en una serie uniforme periódica equivalente. En el caso del CAUE los flujos a convertir están conformados solo

por egresos o costos (Meza, 2013). En el caso del VAUE, los flujos están conformados solo por ingresos.

Se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$CAUE = VPN \left[\frac{TD(1+TD)^n}{(1+TD)^n - 1} \right] \quad (7)$$

En un análisis de costos, cuando se están comparando dos alternativas, se elige la que posea menor CAUE.

En un análisis de ingresos, cuando se están comparando dos alternativas, se elige la que posea mayor VAUE.

3.5.3.5 Relación beneficio costo (RBC):

Es la relación entre el VPN de los ingresos contra el VPN de los egresos (Gómez y Díez, 2015).

$$RBC = \frac{VPN_{ingresos}}{VPN_{egresos}} \quad (8)$$

Si $RBC > 1,0$: el proyecto se acepta

Si $RBC < 1,0$: el proyecto se rechaza

3.5.3.6 Período de recuperación de la inversión o “payback descontado” (PRID)

El PRI descontado o PRID consiste en determinar el tiempo “t” tal que la inversión inicial sea igual a la sumatoria de flujos en valor presente según la ecuación:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (9)$$

Cuanto más corto sea el período de recuperación de la inversión, mejor será el proyecto (Gómez y Díez, 2015).

3.5.3.7 Recuperación de la inversión y valor agregado (IRVA)

El IRVA es una sigla en inglés que significa “Investment Recovery and Value Added”.

El IRVA es un indicador para “medir en cada período lo que queda del FCL después de pagar el coste del dinero invertido” (Gómez y Díez, 2015, p. 109).

“Esta cifra será la que va a determinar si el desempeño de la gerencia es adecuado y si se ha generado valor” (Vélez, 2000, p. 4).

El IRVA se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IRVA_t = FCL_t - K_o(I_o - \sum IRVA_j) \quad (10)$$

Donde:

IRVA_t: es la inversión recuperada y valor agregado en t

FCL_t: es el flujo de caja libre en el período t

K_o: es el coste de capital medio ponderado en t

I_o: es la inversión inicial

IRVA_j = es el IRVA de los períodos anteriores

3.5.4 Flujo de caja de proyectos inmobiliarios

El flujo de caja o flujo de fondos es la expresión de los ingresos y egresos proyectados y su distribución en el tiempo.

Según Córdoba (2011), el flujo de caja es un estado financiero que mide los movimientos en efectivo, cuyo objetivo es modelar las necesidades de efectivo a lo largo del horizonte de tiempo del proyecto, de tal forma que se conozca la cantidad de dinero disponible para cumplir las obligaciones financieras, impuestos, dividendos a los socios inversionistas y reposición de activos. Permitirá finalmente, realizar la evaluación del proyecto para medir la bondad de la inversión.

Para Gómez y Díez (2015), existen dos clases de flujo de caja: el flujo de caja del proyecto y el flujo de caja del inversionista. El flujo de caja del proyecto supone que todos

los dineros son aportados únicamente con el patrimonio del inversionista; mientras que, en el flujo de caja del inversionista, hay un aporte mixto entre el patrimonio del inversionista y deuda obtenida por algún sistema de apalancamiento financiero (préstamo en bancos, emisión de bonos, entre otros).

Así mismo, el flujo de caja se puede expresar en términos corrientes, si todos los ingresos y egresos están afectados por la inflación, o flujo de caja constante, si todos los valores no están afectados por la inflación.

En cuestión de proyectos inmobiliarios, como lo expresa Reppeto (2008), el propósito de un emprendimiento inmobiliario es realizar una inversión para comprar un terreno, analizar cuestiones legales, impositivas y normativas, contratar asesores como arquitectos, ingenieros estructurales y de instalaciones, contratar el estudio de suelo, invertir en marketing, comercializar las unidades, pagar impuestos y, por supuesto, construir el proyecto.

Con lo anterior, Reppeto (2008) explica los principales componentes de un flujo de caja de un proyecto inmobiliario, como se lista a continuación:

- Ingresos:
 - Ventas (restando comisiones y gastos de escrituración)
 - Préstamo bancario
- Egresos:
 - Estudios previos (mercado, suelos, estructuras existentes)
 - Costo del lote o terreno (incluyendo costos de comercialización, escrituración e impuestos)
 - Costos directos de construcción (materiales, mano de obra, subcontratos)
 - Gastos generales y administrativos
 - Beneficio de la empresa constructora
 - Honorarios del proyecto y dirección
 - Honorarios de estudios técnicos (diseño arquitectónico, estructural, eléctrico, abastos, residuales y sanitaria)
 - Honorarios de asesores jurídicos y contables

- Costos de constitución del fideicomiso
- Costos de operación y cierre del fideicomiso
- Costos de comercialización de los inmuebles (comisiones)
- Costos de publicidad y de marketing
- Costos de transferencia de dominio (escrituración)
- Costo de tenencia de unidades vendidas y no vendidas (expensas)
- Devolución del préstamo bancario
- Costos financieros por préstamo bancario y seguros
- IVA egresos
- Impuesto al débito y al crédito (4 por mil)
- Saldo entre IVA ventas – IVA compras
- Impuesto a las ganancias (impuesto de renta)
- Otros impuestos

Por otra parte, Rojas (2008, et al.) clasifica la estructura de costos para los proyectos inmobiliarios como base para conformar el flujo de caja, como sigue:

- Ingresos:
 - Por aportes de los socios o inversionistas
 - Por ventas
- Egresos:
 - Costos de la tierra (lote) incluidos sus gastos notariales
 - Costos directos del proyecto (costos de construcción, insumos y mano de obra)
 - Costos indirectos (gastos administrativos, ingenieros residentes, servicios públicos)
 - Honorarios técnicos, gerencia, promoción y ventas
 - Costos de urbanismo
 - Costos financieros (créditos de constructor de entidades financieras)
 - Costos de derechos, impuestos, aspectos legales y notariales
 - Servicio de postventas

Según Salamanca (2015), el flujo de caja de un proyecto de inversión inmobiliario se construye a partir de una estructura de ingresos y egresos determinada de la siguiente manera:

- Ingresos:

Para el cálculo de los ingresos por venta debe tenerse en cuenta en la construcción del flujo de inversión, las diferentes modalidades de pago del inmueble existentes en el mercado.

Si se utiliza la figura de preventa (aquella en la cual el cliente compra sobre planos antes de iniciarse la construcción), es muy común que se establezca un fideicomiso para la administración del dinero. Por lo tanto, en el flujo de caja debe verse reflejado en las cuotas iniciales y los excedentes de subrogación.

La subrogación es el método por el cual se traslada o transfiere una obligación de una persona a otra (Rosas, 1995). En ese orden de ideas, la empresa promotora o constructora solicita un “crédito constructor” ante un banco comercial para apalancarse financieramente y desarrollar así el proyecto.

Por su parte, el cliente por lo general suministra una cuota inicial del 30% del valor del inmueble y el 70% restante lo aporta mediante un crédito hipotecario solicitado ante una entidad financiera, que en la mayoría de los casos es la misma que financia el proyecto.

La subrogación consiste entonces, en transferir la proporción de crédito constructor al usuario final. En este proceso pueden quedar unos excedentes positivos o negativos a favor o en contra del promotor del proyecto, respectivamente, debido a que no necesariamente el valor del crédito constructor es igual al valor de venta del inmueble, sumado a que algunos clientes pueden dar una cuota inicial mayor al 30%, por lo que los intereses o rendimientos financieros varían entre una venta y la otra, generando estas diferencias.

En la estructura de ingresos queda, por lo tanto, las cuotas iniciales, los excedentes de subrogación y los intereses de subrogación.

- Egresos:

Los egresos están divididos en cinco grupos:

- Grupo I: costo del terreno o lote
- Grupo II: costos directos (aquellos que tienen que ver con el “core” o actividad principal de la empresa). Se dividen en costos directos de urbanismo (obras exteriores tales como andenes, vías de acceso y paisajismo) y costos directos de edificaciones (obras internas tales como: cimentaciones, estructura, mampostería, acabados, pisos).
- Grupo III: costos indirectos (aquellos que no tienen que ver con el “core” o actividad principal de la empresa), tales como: honorarios de estudios y diseños, honorarios de construcción, seguros y garantías.
- Grupo IV: gastos generales, tales como: administración y gerencia del proyecto, gastos de ventas, gastos de publicidad, entre otros.
- Grupo V: gastos financieros, tales como: intereses de créditos, corrección monetaria del crédito constructor, gastos de administración del fideicomiso.

Tabla 6. Estructura de ingresos y egresos proyecto inmobiliario

CONCEPTO	VALOR REF.
Cuotas iniciales	
Crédito Constructor	
Excedentes de subrogación	
A. Ingresos por Ventas	100%
B. Terreno	10%-15%
Obras de urbanismo	
Edificaciones	
C. Total Costos Directos	40%-55%
Honorarios de estudios y proyectos	
Honorarios Interventoría	
Honorarios de Construcción	
Impuestos, seguros y garantías	
Derechos de servicios	
D. Total Costos Indirectos	8%-12%
Gerencia del Proyecto	
Publicidad y Promoción	
Gastos Notariales y de Registro	
E. Total Gastos Generales	8%-12%
Intereses Corrientes	

CONCEPTO	VALOR REF.
Corrección Monetaria	
Intereses Créditos Puente	
F. Total Gastos Financieros	5%-10%
G. Costo total del Proyecto	85%-90%
H. Utilidad	10%-15%

Fuente: Elaboración propia basada en Salamanca (2015).

En la tabla 6 se muestra la estructura de ingresos y egresos con sus porcentajes de incidencia respecto a los ingresos, y en la tabla 7, se muestra el flujo de caja típico para un proyecto inmobiliario, según Salamanca (2015).

Tabla 7. Flujo de caja de un proyecto inmobiliario

RUBRO	PERÍODOS					
	0	1	2	3	4	5...>>
Cuotas Iniciales						
Crédito de Constructor						
Excedentes de Subrogación						
Ingresos por ventas						
Intereses de subrogación						
Rendimientos de colocaciones						
Ingreso total del proyecto						
Aportes de capital						
Devolución de aportes						
Créditos puente						
Devolución de créditos puente						
A. Total ingresos de caja						
B. Terreno						
Obras de Urbanismo						
Edificaciones						
C. Total costos directos						
Honorarios de estudios y proyectos						
Honorarios de interventoría						
Honorarios de construcción						
Impuestos, seguros y garantías						
Derechos de servicios						
D. Total costos indirectos						
Gerencia del Proyecto						
Publicidad y Promoción						
Gastos Notariales y de Registro						
E. Total Gastos Generales						
Intereses corrientes						
Corrección monetaria						
Intereses crédito puente						
F. Total Gastos Financieros						

RUBRO	PERÍODOS					
	0	1	2	3	4	5...>>
G. Costo total del Proyecto						
H. Flujo neto mensual						
I. Flujo de Inversión						
J. Flujo acumulado						

Fuente: Elaboración propia basada en Salamanca (2015).

La siguiente es la estructura de un flujo de caja general aplicado a cualquier tipo de proyecto, según Gómez y Díez (2015):

Tabla 8. Estructura de flujo de caja general

ESTRUCTURA DE FLUJO DE CAJA DEL INVERSIONISTA		ESTRUCTURA DE FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO	
+	Ingresos operativos	+	Ingresos operativos
+	Ingresos no operativos	+	Ingresos no operativos
=	TOTAL INGRESOS	=	TOTAL INGRESOS
-	Gastos totales	-	Gastos totales
-	Costos totales	-	Costos totales
=	UTILIDAD BRUTA	=	UTILIDAD BRUTA
-	Depreciación	-	Depreciación
-	Amortización de diferidos	-	Amortización de diferidos
-	Valor en libros de los activos vendidos	-	Valor en libros de los activos vendidos
=	UAI	=	UAI
-	Gastos Financieros	-	Gastos Financieros
=	UAI	=	UAI
-	IMPUESTOS	-	IMPUESTOS
=	UTILIDAD NETA	=	UTILIDAD NETA
+	Depreciación	+	Depreciación
+	Amortización de diferidos	+	Amortización de diferidos
+	Valor en libros de los activos vendidos	+	Valor en libros de los activos vendidos
+	Ingresos por préstamos	-	Inversión en activos fijos
-	Abono a capital	+ -	Variación del capital de trabajo
-	Inversión en activos fijos	+	Recuperación del capital de trabajo
+ -	Variación del capital de trabajo	=	FLUJO DE CAJA NETO DEL PROYECTO
+	Recuperación del capital de trabajo		
=	FLUJO DE CAJA NETO DEL INVERSIONISTA		

Fuente: Elaboración propia basada en Gómez y Díez (2015).

4 Metodología

A través de un enfoque cuantitativo, en el cual se utilizará la recolección de datos con base en mediciones numéricas y análisis estadístico, además de acercar el presente estudio con teorías e hipótesis previamente construidas y analizadas por distintos autores; se realizará una investigación de tipo correlacional (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

La investigación correlacional permite analizar la relación que existe entre dos o más variables de un fenómeno en un solo estudio. La principal ventaja de este tipo de investigación es que el investigador puede analizar cómo se comportará una variable, conociendo el comportamiento de otras variables relacionadas (Pacheco y Cruz, 2006).

(INTER, 2010), explica que este tipo de investigación no pretende establecer una explicación completa de la causa-efecto de lo ocurrido, solo aporta indicios sobre las posibles causas de un acontecimiento, permitiendo hacer pronósticos. La limitación de esta metodología es cuando se interpreta un coeficiente de correlación: debe tenerse en mente que se está hablando de una asociación solamente, y no de una relación de causa-efecto. Un coeficiente de correlación significativo puede sugerir una causa-efecto, pero no la establece. La única manera de establecer una relación de causa-efecto es conduciendo un estudio experimental. En el caso de estudio se compensará a través de la identificación y análisis cualitativo de riesgos, realizado durante la recolección de información en el trabajo de campo.

Este estudio planteará la siguiente propuesta metodológica basada en Zapata (2010) y Pacheco y Cruz (2006):

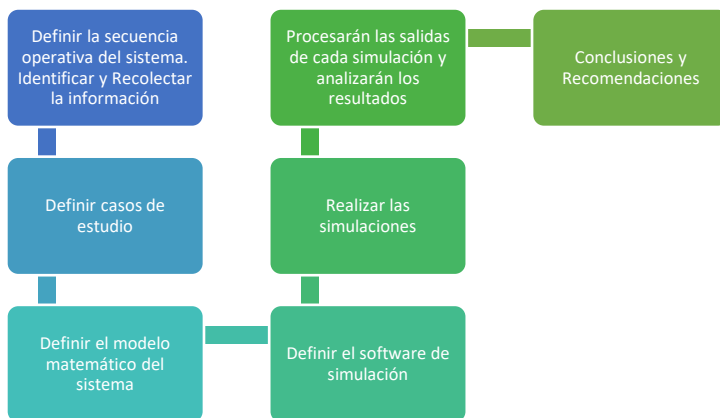
- Sujeto del estudio: los resultados de la investigación estarán orientados a proyectos inmobiliarios de inversión privada para el estrato 4 en la ciudad de Medellín. La selección de esta categoría obedece a que el 79% de la oferta inmobiliaria se encuentra en la clase media (Gutiérrez, 2018), y los proyectos localizados en este nivel socio-económico, aportan el 18,8% de la demanda de vivienda en la ciudad (Medellín, 2010); lo cual, constituye un atractivo para los inversionistas buscando mayor rentabilidad, pero al mismo tiempo, conllevando a

mayores riesgos, lo cual encaja con la propuesta de este trabajo. Ver el numeral 5.3 de este documento para ampliar el concepto.

- Revisión bibliográfica: para el enfoque cuantitativo de la investigación se requiere contar con teorías preexistentes, por lo que es indispensable la recopilación y análisis de los estudios previos.
- Desarrollo del modelo probabilístico: según Zapata (2010), es necesario definir una serie de pasos, que se deben seguir, para desarrollar un modelamiento matemático a través de simulación y que se deben adaptar a las necesidades de la problemática, esto con el fin de llevar un orden.

Para el caso del presente trabajo, se definió de la siguiente manera:

Figura 4. Metodología para el desarrollo del modelo matemático



Fuente: Elaboración propia basada en Zapata (2010).

El primer paso, es definir la secuencia operativa del sistema o proceso. En este paso se definirá el tipo de información que se necesita recolectar para realizar el modelo. De igual manera, se debe definir cómo se conseguirá la información, según el alcance del proyecto, y se aclarará, en función del marco teórico de referencia, qué riesgos se tendrán en cuenta

para la generación de la matriz de riesgos y qué información se va a comparar al final de todo el ciclo. El tipo de información y los instrumentos para su recolección se explicarán más adelante en la Carta metodológica y en el capítulo 5 de este documento.

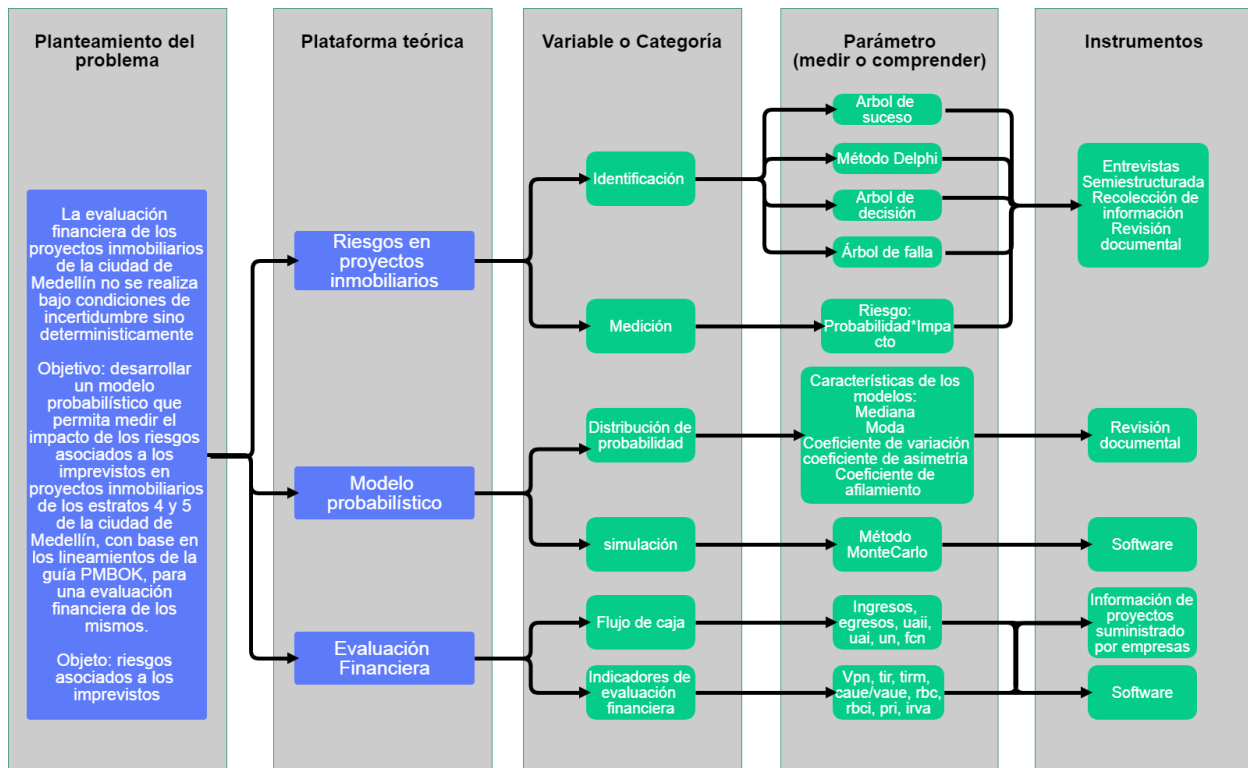
- El segundo paso, es el de definir los casos de estudio. En este procedimiento, se expone el proyecto al cual se le aplicará la metodología para efectuar el análisis probabilístico de los riesgos. En el capítulo 6 de este documento se explicará en

detalle el procedimiento y en el capítulo 7 se realiza la evaluación financiera determinística para el caso de estudio.

- El tercer paso es definir el modelo matemático del sistema o proceso bajo estudio o los modelos matemáticos de los subcomponentes o subprocesos que lo conforman. En este paso se definirá el tipo de método de análisis probabilista a usar y sus características. En el capítulo 8 se explicará en detalle la metodología.
- En el cuarto paso, se debe definir el software de simulación, donde se verificará su conveniencia y adaptabilidad a las condiciones del problema. Igualmente, en el capítulo 8 se define el software de simulación a utilizar.
- En el quinto paso, se procederá a realizar las simulaciones o “corridos” de cada uno de los casos de estudio a través del método Montecarlo. En el capítulo 9 se muestra la simulación realizada al proyecto en estudio.
- Una vez finalizadas las simulaciones, se procesarán las salidas de cada una de ellas: las cuales pueden ser estadísticas descriptivas, gráficas de los resultados, ajuste a distribuciones de probabilidad y ecuaciones. Igualmente, en el capítulo 9 se indican los resultados de la simulación a partir de gráficos y estadísticas descriptivas. Las ecuaciones de los principales indicadores de evaluación financiera se presentan en el capítulo 10.
- Se compararán estos resultados con los calculados de manera determinística, se generarán las conclusiones y, por último, se darán algunas recomendaciones que surjan durante el tiempo de realización del trabajo. Ver ampliación de este tema en los capítulos 11 y 12.

4.1 Carta metodológica

Figura 5. Carta metodológica



Fuente: Elaboración propia (2018).

Una vez teniendo claros cuál es el objeto de estudio, el problema por desarrollar y el objetivo a alcanzar, dando continuidad a los ítems descritos en la plataforma teórica, se hace necesario determinar qué variables o categorías los explican, qué parámetros permiten medir o comprender esas variables o categorías y qué instrumentos se utilizarán para la recolección de la información necesaria para la realización del trabajo.

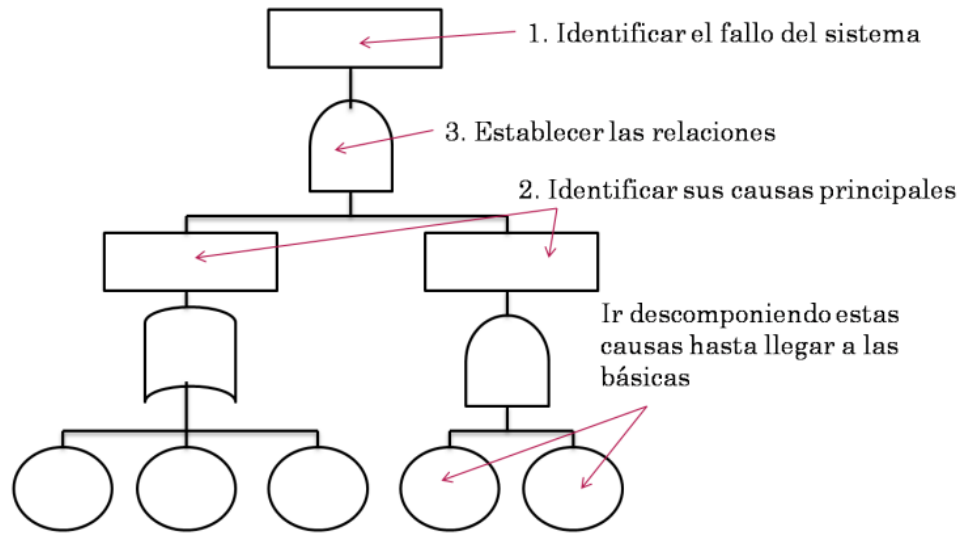
En la plataforma teórica de riesgos es necesario estudiar dos categorías: la identificación y la medición. Para la identificación de los riesgos, existen varios métodos que permiten realizarla con base en su probabilidad de ocurrencia, como lo es el método Delphi, el árbol de sucesos, el árbol de decisión y el árbol de falla.

- Método Delphi: se basa en la opinión de un grupo de expertos sobre eventos posibles en el futuro. El grupo de selección deber estar conformado por personas concedoras

de los eventos de riesgos y debe estar en la capacidad de predecir los acontecimientos futuros que los lleven a tratar un tema complejo y sus soluciones, Como lo mencionan Ángel e Hincapié (2016) el método tiene su validez en la capacidad de los expertos para dar probabilidades certeras, que eliminen la incertidumbre o riesgo de ocurrencia de un evento, es por ello que este método es clasificado como un método cualitativo o subjetivo.

- Para la construcción del árbol de sucesos se debe tener en cuenta que todo comienza con la selección del hecho iniciador o desencadenante, el cual representa el peligro o riesgo que se materializó o que se entrará a evaluar para el proyecto en desarrollo y, posteriormente, se avanza con los sucesos o factores condicionantes, los cuales representan los mitigantes para el peligro o riesgo analizado en escala; la ventaja del método es que su diagrama ayuda a evaluar y determinar fácilmente los canales mitigadores que permitirán mantener el proyecto evaluado y controlado de una mejor manera (Ángel e Hincapié, 2016).
- Un árbol de decisión representa las alternativas posibles sobre eventos del proyecto y sus influencias en el resultado final, derivados de las decisiones que se tomen sobre los casos en cuestión (Ángel e Hincapié, 2016). La realización de este ejercicio es de suma importancia para la gestión de riesgo del proyecto, y para otros momentos de toma de decisiones, y se nutre de todas las informaciones que podamos tener a mano, como otras experiencias para calcular las probabilidades de los eventos, las lluvias de ideas, la construcción de árbol de sucesos para identificar posibles alternativas, entre otras (Aquino, 2014).
- El método se considera un proceso deductivo, el proceso de construcción del árbol consiste en el uso de una serie de símbolos lógicos para dar coherencia a los caminos que llevan a la materialización de un suceso principal o superior que afecte el proyecto. Un ejemplo del árbol es presentado a continuación.

Figura 6. Ejemplo Árbol de falla



Fuente: Ángel e Hincapié (2016).

El método ayuda a la identificación de caminos de falla simples en sistemas muy complejos (gran cantidad de interfaces u operaciones), que dan paso a la verificación del éxito de este, esto se ve apoyado con su orden gráfico ya que lo convierte en algo mucho más simple de entender (Ángel e Hincapié, 2016).

En cuanto a la medición se realiza de manera cuantitativa a través de la ecuación Riesgo = Probabilidad x Impacto, descrita en el marco teórico de referencia.

Para la recolección de la información se usarán los siguientes instrumentos:

- Entrevista semiestructurada: ofrece la posibilidad de reformular preguntas y también la de profundizar en el tema al cambiar las alternativas de respuesta abierta y cerrada; normalmente se trabaja con una guía de la que se pretende respetar en lo posible orden y fraseo de preguntas (Añorve y Gallo-León, 2017).
- Recolección de información: hace parte del trabajo de campo y consiste en solicitar información a empresas del sector inmobiliario sobre los proyectos que realizaron y que se ajusten a la tipología de proyectos descritos en el alcance del trabajo. Tal información consistirá en bases de datos de: costos, presupuestos, proyección de ingresos y flujos de caja.

- Revisión documental: se realizará a través de búsqueda bibliográfica de un historial de cuáles son los principales riesgos tenidos en cuenta durante la gestión de riesgos en proyectos inmobiliarios.

La plataforma teórica del modelo probabilístico se compone de dos variables: la distribución de probabilidad y la simulación; la primera se mide a través de parámetros como la media, la moda y el coeficiente de varianza y la segunda se desarrollará a través del método Montecarlo, contenido en algunos softwares de simulación, por lo que estos softwares serían los instrumentos de recolección de información.

Y, por último, para la plataforma teórica de evaluación financiera, la cual se compone de las variables flujo de caja e indicadores financieros, la primera se mide a través de parámetros como los ingresos, los egresos y las utilidades, y la segunda por medio de la TIR y el VPN, ambas variables explicadas en capítulos anteriores y que dependen de la información recolectada durante el trabajo de campo y construcción propia basada en revisión bibliográfica.

4.2 Recursos

Para la realización del presente estudio se utilizará un software para el análisis y procesamiento de las variables de entrada y posterior obtención de los resultados. Dicho software consiste en Excel y @Risk con licencia educacional.

4.3 Resultado esperado

Se obtendrá un modelo probabilístico (no determinístico) que permita determinar el impacto de los riesgos asociados a los imprevistos y las variaciones que ocasionan en los resultados esperados de proyectos inmobiliarios.

5 Recolección de la información

La recolección de la información se llevará a cabo a través de un muestreo aleatorio estratificado con afijación proporcional, para obtener una muestra probabilística significativa que se ajuste a las características de la investigación.

5.1 Población objetivo

La población objeto de estudio consta de los proyectos inmobiliarios nuevos de la ciudad de Medellín, que fueron radicados en las principales curadurías urbanas durante el último año (período de septiembre de 2017 a septiembre de 2018). La elección de este período de tiempo es consistente con la información más actualizada y disponible para la elaboración del presente estudio.

Dado que el alcance de esta investigación se enmarca en la etapa de prefactibilidad y de preinversión, se pretende, por lo tanto, analizar proyectos nuevos o que se encuentren próximos a iniciar su construcción.

Un indicador que pueda dar cuenta de la cantidad de proyectos que se encuentren próximos a iniciar obras, es el número de licencias de construcción aprobadas por ciudad y por estrato socioeconómico elaborado por el Departamento Nacional de Estadística, DANE. El registro se encuentra en una base de datos llamada “ELIC” (Estadísticas de Licencias de Construcción) (DANE, 2017).

Cuando una empresa promotora de proyectos solicita una licencia de construcción ante la autoridad competente (curaduría u oficina de planeación), es porque recientemente culminó su etapa de factibilidad y se encuentra a punto de comenzar la etapa de inversión. Además, un gran porcentaje de los proyectos que realizaron un estudio de factibilidad, pasaron antes por una prefactibilidad. Por lo tanto, el indicador del número de licencias de construcción de la base de datos ELIC también es aplicable para los proyectos en etapa de prefactibilidad y servirá para los propósitos de este estudio.

La estratificación del método de muestreo estadístico coincide, por lo tanto, con la división socioeconómica de la ciudad, clasificada en estratos 1 al 6, donde existe gran variedad de proyectos inmobiliarios.

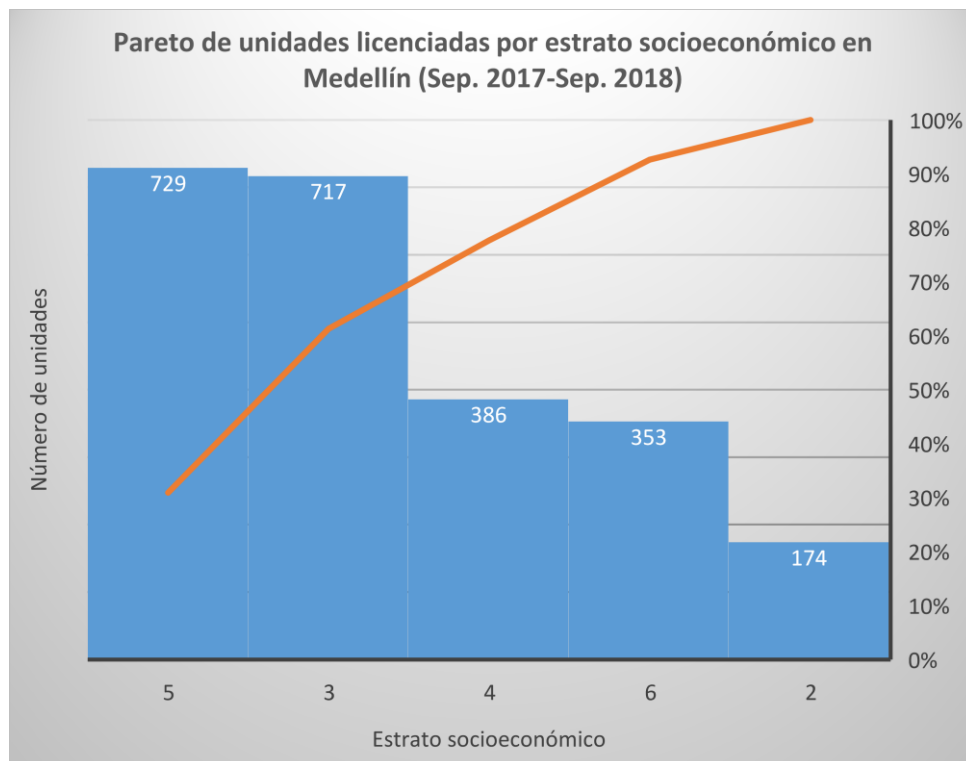
5.2 Obtención del tamaño muestral

Para un muestreo aleatorio estratificado, el tamaño de la muestra se calcula mediante la siguiente ecuación (Vivanco, 2005):

$$n = \frac{\sum_{i=1}^i \left(\frac{N_i}{N}\right) s_i^2}{\left(\frac{\varepsilon}{z_{1-\alpha}}\right)^2 + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^i \frac{N_i}{N} s_i^2} \quad (11)$$

En la siguiente figura se indica el número de licencias de construcción otorgadas por estrato en la ciudad de Medellín, durante el período de septiembre de 2017 a septiembre de 2018, presentes en la base de datos ELIC (DANE, 2017):

Figura 7. Unidades licenciadas en Medellín período sep. 2017 – sep. 2018



Fuente: Elaboración propia basada en DANE (2017).

La población total para el cálculo del tamaño muestral es obtenida al sumar las contribuciones de cada estrato socioeconómico. Es, por lo tanto, $N = 2359$ unidades.

Si se realiza una afijación proporcional, se tiene la siguiente ecuación para la distribución muestral por estrato (Vivanco, 2005):

$$n_i = n \frac{N_i}{N} \quad (12)$$

En la tabla tabla 9 se resume el cálculo de la muestra para cada estrato, utilizando la afijación proporcional:

Tabla 9. Cálculo del tamaño muestral estratificado

MUESTREO ESTRATIFICADO SIN REEMPLAZO CON AFIJACIÓN PROPORCIONAL						
ESTRATO i	NOMBRE	N _i	N _i /N	s _i ²	(N _i /N)s _i ²	n _i
1	ESTRATO 1	0	0,00	0,00	0,00	0
2	ESTRATO 2	174	0,07	20,12	1,48	13
3	ESTRATO 3	717	0,30	1600,25	486,38	54
4	ESTRATO 4	386	0,16	661,10	108,17	29
5	ESTRATO 5	729	0,31	2070,22	639,76	55
6	ESTRATO 6	353	0,15	3739,26	559,54	27
	Total =Σ=	2359	1,00		1795,34	178

Fuente: Elaboración propia (2018).

Para población finita, se utilizaron los siguientes parámetros:

Tamaño de la población, N = 2359 unidades licenciadas

Error máximo, ε = 6 unidades licenciadas

Porcentaje de error, α = 5%

Nivel de confianza, 1 - α = 95%

Parámetro Z_{1-α} = 1,96 (distribución normal estándar).

$$n = \frac{\sum_{i=1}^6 \left(\frac{N_i}{N}\right) s_i^2}{\left(\frac{\varepsilon}{z_{1-\alpha}}\right)^2 + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^6 \frac{N_i}{N} s_i^2} = 177,2 \approx 178 \quad (13)$$

El tamaño total de la muestra es, por lo tanto, 178 unidades.

Al realizar la afijación proporcional, el tamaño de la muestra es de 0 unidades para el estrato 1, 13 unidades para el estrato 2, 54 unidades para el estrato 3, 29 unidades para el estrato 4, 55 unidades para el estrato 5 y 27 unidades para el estrato 6.

Los siguientes, son los estimadores para cada estrato:

- **Estrato socioeconómico 1:**

Para el estrato 1, la base de datos ELIC no consignó ningún registro en el período de estudio, por lo tanto, el número de unidades, la media, desviación estándar y varianza son cero.

- **Estrato socioeconómico 2:**

Tabla 10. Cálculo de estadísticos del estrato 2

<i>Estrato 2</i>	
Media	6.96
Error típico	0.90
Mediana	7.00
Moda	7.00
Desviación estándar	4.49
Varianza de la muestra	20.12
Curtosis	0.59
Coficiente de asimetría	0.65
Rango	19.00
Mínimo	0.00
Máximo	19.00
Suma	174.00
Cuenta	25.00
Nivel de confianza (95.0%)	1.85

Fuente: Elaboración propia (2018).

- **Estrato socioeconómico 3:**

Tabla 11. Cálculo de estadísticos del estrato 3

<i>Estrato 3</i>	
Media	27.58
Error típico	7.85
Mediana	17.50
Moda	15.00
Desviación estándar	40.00
Varianza de la muestra	1600.25
Curtosis	19.19

Estrato 3	
Coeficiente de asimetría	4.19
Rango	207.00
Mínimo	4.00
Máximo	211.00
Suma	717.00
Cuenta	26.00
Nivel de confianza (95.0%)	16.16

Fuente: Elaboración propia (2018).

- **Estrato socioeconómico 4:**

Tabla 12. Cálculo de estadísticos del estrato 4

Estrato 4	
Media	14.85
Error típico	5.04
Mediana	7.50
Moda	3.00
Desviación estándar	25.71
Varianza de la muestra	661.10
Curtosis	19.34
Coeficiente de asimetría	4.18
Rango	133.00
Mínimo	0.00
Máximo	133.00
Suma	386.00
Cuenta	26.00
Nivel de confianza (95.0%)	10.39

Fuente: Elaboración propia (2018).

- **Estrato socioeconómico 5:**

Tabla 13. Cálculo de estadísticos del estrato 5

Estrato 5	
Media	31.70
Error típico	9.49
Mediana	18.00
Moda	2.00
Desviación estándar	45.50
Varianza de la muestra	2070.22

Estrato 5	
Curtosis	9.63
Coefficiente de asimetría	2.76
Rango	206.00
Mínimo	0.00
Máximo	206.00
Suma	729.00
Cuenta	23.00
Nivel de confianza (95.0%)	19.68

Fuente: Elaboración propia (2018).

- **Estrato socioeconómico 6:**

Tabla 14. Cálculo de estadísticos del estrato 6

Estrato 6	
Media	25.21
Error típico	16.34
Mediana	2.50
Moda	1.00
Desviación estándar	61.15
Varianza de la muestra	3739.26
Curtosis	6.64
Coefficiente de asimetría	2.66
Rango	208.00
Mínimo	0.00
Máximo	208.00
Suma	353.00
Cuenta	14.00
Nivel de confianza (95.0%)	35.31

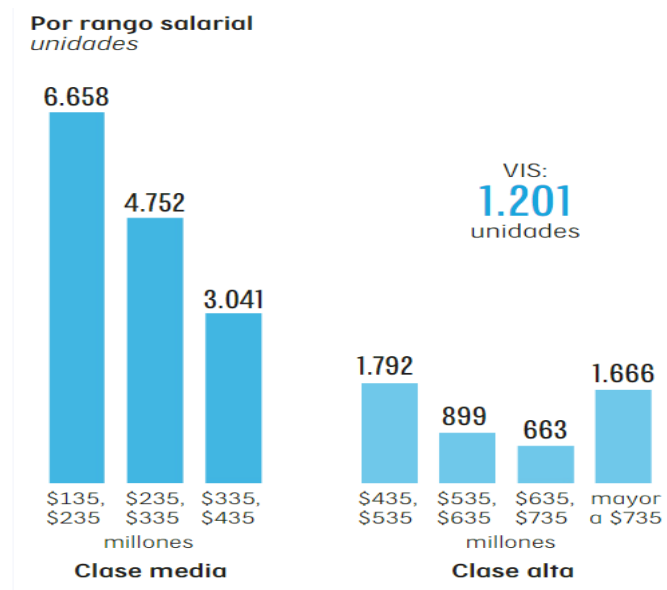
Fuente: Elaboración propia (2018).

5.3 Selección del estrato para el muestreo estadístico

Según datos de la Cámara Colombiana de la Construcción, CAMACOL citada en el periódico El Tiempo (Gutiérrez, 2018), el 69% de la oferta inmobiliaria del Valle de Aburrá se concentra en la clase media.

En la siguiente gráfica se muestra el número de unidades vendidas en la ciudad, según el costo del inmueble para el Valle de Aburrá durante el 2017:

Figura 8. Unidades vendidas en el Valle de Aburrá durante el año 2017



Fuente: Periódico El Tiempo¹⁴

Aunque no existe una correlación precisa entre el nivel socioeconómico propuesto por las diferentes metodologías empleadas en las ciencias sociales a nivel mundial, entre ellas, la propuesta por el Banco Mundial (2018) y la estratificación social en la ciudad de Medellín; el DANE propone la siguiente clasificación: 1 (bajo-bajo), 2 (bajo), 3 (medio bajo), 4 (medio), 5 (medio alto) y 6 (alto) (DANE, 2018c).

La Lonja de Propiedad Raíz de Medellín y Antioquia, entidad gremial del sector inmobiliario, muestra las cifras de los índices de precios de vivienda nueva para el primer trimestre de 2018, y al mismo tiempo los clasifica en niveles socioeconómicos de la siguiente manera: para el nivel bajo (correspondientes a los estratos 1, 2 y 3), presentó una variación del 5,95% durante el primer mes del año, con respecto al mismo período en el año 2017; el nivel medio correspondiente al estrato 4, obtuvo una variación del 12,96%; y el alto, correspondiente a los niveles 5 y 6, del 6,72% en igual período (La Lonja, 2018).

¹⁴ Periódico El Tiempo: <https://www.eltiempo.com/colombia/medellin/opciones-de-la-clase-media-para-conseguir-vivienda-nueva-187444>

Contrastando entonces el número de unidades que solicitaron licencia de construcción según el DANE, versus el número de unidades vendidas según CAMACOL y la variación de los índices de precios de vivienda nueva de La Lonja, se puede concluir que la clase media tiene un gran componente de oferta-demanda en la ciudad de Medellín y su área metropolitana.

Teniendo en cuenta lo anterior, esta investigación se enfocará en proyectos desarrollados para la clase media, por tener mayor oferta y demanda. Con el fin de evitar entrar en la discusión sobre si el estrato 3 se clasifica como bajo o medio, o el estrato 5 se clasifica como medio o alto, en el presente estudio se adoptará la clasificación de La Lonja, considerando la clase media como el estrato 4.

En conclusión, para el presente estudio se seleccionará el estrato 4, con una submuestra de tamaño mínimo de 29 unidades, obtenida a partir de una afijación proporcional de un muestreo estratificado de 178 unidades.

La muestra de 29 unidades será redondeada a 30 unidades para una mejor aproximación.

Como fuente de información primaria, se elegirán 30 proyectos inmobiliarios nuevos (en el período entre septiembre de 2017 a septiembre de 2018).

Para llevar a cabo lo anterior, se seleccionarán barrios de estrato 4, según el listado oficial de la Alcaldía de Medellín (2011), teniendo en cuenta que hay un margen de error admisible en el momento de determinar el estrato socioeconómico del proyecto, porque pueden existir pequeñas zonas de alta o baja valorización dentro de un mismo barrio, que conlleven a que el estrato suba o baje una unidad, respectivamente. No obstante, se buscará que el estrato 4 sea el predominante en la muestra al no superar el error máximo del muestreo, $\varepsilon = 6$ unidades.

Una vez ubicado dentro de la zona de estudio, y de manera aleatoria, se selecciona el proyecto a visitar teniendo en cuenta la información disponible en los principales medios de comunicación y divulgación comercial de la ciudad.

Dichos medios son:

- Listado de Constructoras afiliadas a CAMACOL Antioquia
- Revista Informe Inmobiliario (CAMACOL y Lonja, 2018)
- Revista Propiedades (N. Editores y Colombiano, 2018)
- Avisos publicitarios en la ciudad, en barrios de estrato 4
- Avisos publicitarios en Internet
- Curadurías Urbanas

A continuación, se listan los proyectos inmobiliarios de la ciudad de Medellín visitados y analizados:

Tabla 15. Proyectos objeto de estudio en la ciudad de Medellín

ID	Proyecto	Barrio/Sector	Estrato	Área (m ²)	Precio (Millones \$)	Constructora
1	Pentagrama	Rodeo Alto	4	55	157	Umbral
2	Mirador de Arboleda	Rodeo Alto	4	66	218	Centro Sur
3	Escalares	Pilarica	4	66	227	Asfalto y Hormigón
4	Remanso del Rodeo	Rodeo Alto	4	57	150	Conhogar
5	Turmalina	Los Colores	4	60	251	Capital
6	Camino del Parque	Rodeo Alto	4	55	207	Optima
7	Coralina	Los Colores	4	44.3	234	Capital
8	Fiorenza	Calasanz	4	38	118	Calamar
9	Monteparaíso	Calasanz	4	54	215	Monserate
10	Perlato	Los Colores	4	70.6	302	Capital
11	Luna del Mar	Robledo	3	46.9	112	Capital
12	Faro Verde	Calasanz	4	61.5	225	Conaltura
13	Olivari	Laureles	5	51	273	N.N
14	Luna del Campo	Robledo	3	52	118	Capital
15	Alcalzar del Parque	Belén	4	73.5	338	Belarrú
16	Turcal de la 80	Floresta	4	95	407	Citara
17	El Rosal	Calasanz	4	71	268	Arquitectura y Concreto
18	Jazz Apartamentos	Los Colores	4	78	392	Convel

ID	Proyecto	Barrio/Sector	Estrato	Área (m ²)	Precio (Millones \$)	Constructora
19	Cuarzo	Los Colores	4	68	257	Capital
20	Onix	Los Colores	4	81.5	332	Capital
21	Reserva Serrat	Calasanz	4	62	236	Monserate
22	Orange	Los Colores	4	67	185	Optima
23	Nuevo Guayacanes	Pilarica	4	83	254	Ing. Y Espacio
24	Marsella	Calasanz	4	68	198	Ing. Inmobiliaria
25	Infinito	Calasanz	4	62.7	226	Monserate
26	Arabella	Loma Bernal	5	120	468	Viviendas y Proyectos
27	La Plaza	Rodeo-Bernal	4	65	281	Viviendas y Proyectos
28	Sky Park	Belén	4	75	330	SMA
29	Al Parque	Rodeo-Bernal	4	69	278	Viviendas y Proyectos
30	Paseo del Parque	Belén	4	65	188	Optima

Fuente: Elaboración propia (2018).

5.4 Entrevistas en profundidad

El muestreo se llevará a cabo mediante entrevistas a profundidad en función de una guía de pautas diseñada.

En cada uno de los 30 proyectos seleccionados, se entrevistarán a personas expertas y relacionadas con el negocio de los proyectos de inversión inmobiliario, las cuales tendrán el siguiente perfil:

- Profesionales de la construcción: ingenieros civiles o arquitectos que posean título profesional, con experiencia mínima de tres años.
- Otros profesionales que tengan conocimientos del negocio de la construcción y bienes raíces, tales como: administradores de empresa, ingenieros de diversas áreas (mecánicos, geólogos, administrativos, industriales, producción,

aeronáuticos), economistas, contadores, abogados, con un mínimo de 5 años de experiencia en el sector.

- Profesionales especializados, con cargos de: gerente de proyectos, gerentes financieros, directores de obra, interventores, gerentes de costos, gerentes de presupuesto, evaluadores financieros, peritos de bienes raíces.
- **Objetivo general de la entrevista:**

Identificar los riesgos asociados a los imprevistos en los proyectos de construcción inmobiliarios, a través de una entrevista de profundidad, para determinar cuáles impactan más en sus principales indicadores de rentabilidad.

- **Objetivos específicos de la entrevista:**
 - Comprobar la hipótesis de que el flujo de caja libre e indicadores de evaluación financiera se obtienen de manera determinística en los proyectos de construcción inmobiliario.
 - Indagar cómo se mide la incertidumbre (AIU).
 - Indagar sobre metodologías para identificar los riesgos en proyectos de construcción.

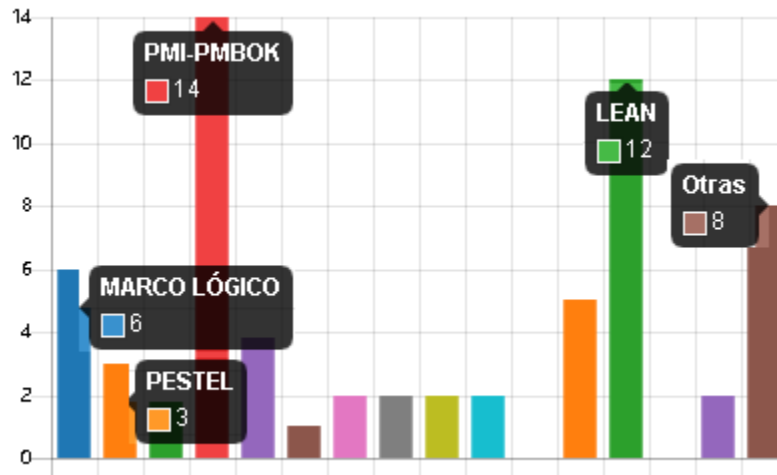
5.5 Resultados del trabajo de campo

A continuación, se muestran los resultados de la investigación relacionados con la identificación de riesgos en los 30 proyectos analizados, los cuales servirán para su posterior aplicación en el modelo financiero del proyecto bajo estudio.

En la figura 9 se comprueba que el estándar más utilizado para la identificación y gestión de riesgos en proyectos inmobiliarios es la del PMBOK (PMI, 2017).

No obstante, el PMBOK es más conveniente para la etapa de inversión o ejecución. En la etapa de preinversión es más conveniente utilizar el estándar del Marco Lógico y el análisis PESTEL (análisis del entorno de los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales) (Gómez y Díez, 2015).

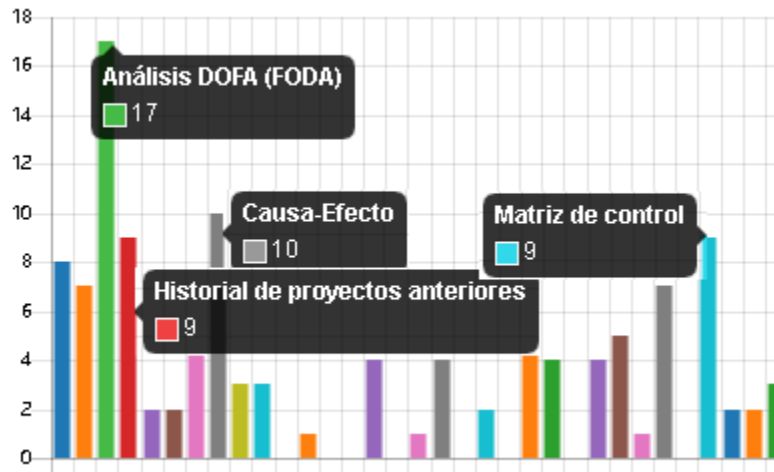
Figura 9. Estándares para la identificación y gestión de los riesgos



Fuente: Elaboración propia (2018).

Al enfocarse esta investigación en la etapa de prefactibilidad, se utilizará el método PESTEL para la identificación de los riesgos, pero se complementará y apoyará en el estándar del PMBOK. En el Anexo 2 se presenta detalladamente el análisis PESTEL.

Figura 10. Metodologías para la identificación cualitativa de los riesgos



Fuente: Elaboración propia (2018).

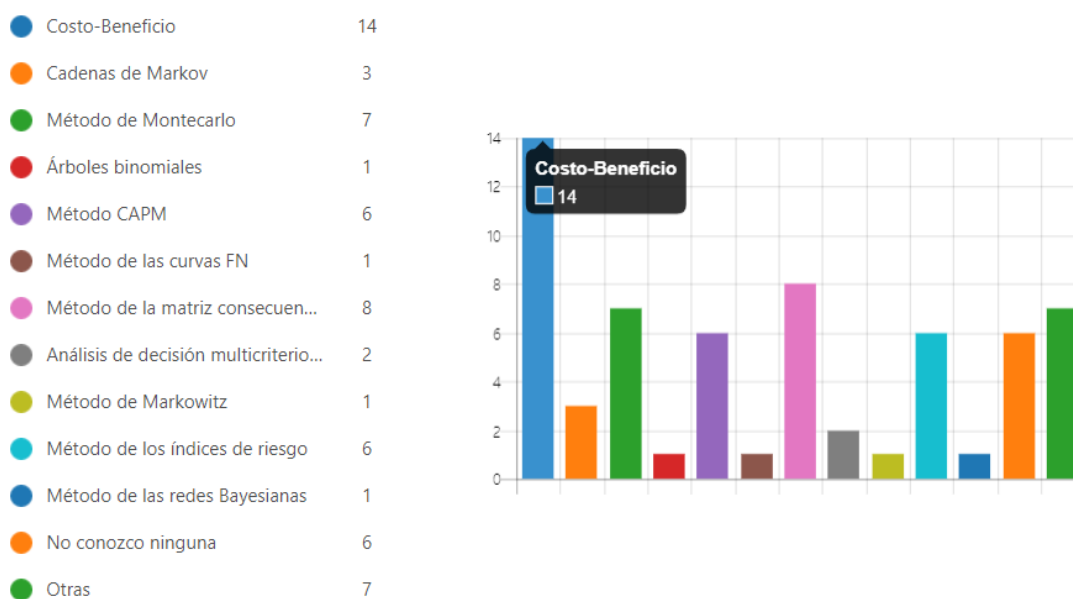
En la figura 10 se puede ver que dentro de las metodologías para la identificación cualitativa de los riesgos, según Ángel e Hincapié (2016), la más común es el análisis

DOFA (debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas); seguida por el método causa-efecto; historial de proyectos anteriores y matriz de control.

La identificación cualitativa es la principal base para la determinación de los riesgos más comunes que, permitirán más adelante, la construcción de la matriz probabilidad-impacto para la identificación cuantitativa. En esta investigación se utilizará el análisis DOFA y el historial de proyectos anteriores a partir de las respuestas dadas por los entrevistados.

En la figura 11 se puede observar que, de las técnicas más comunes para la identificación cuantitativa de riesgos, según Ángel e Hincapié (2016), la más utilizada en los proyectos inmobiliarios es la del análisis costo-beneficio.

Figura 11. Metodologías para la identificación cuantitativa de los riesgos



Fuente: Elaboración propia (2018).

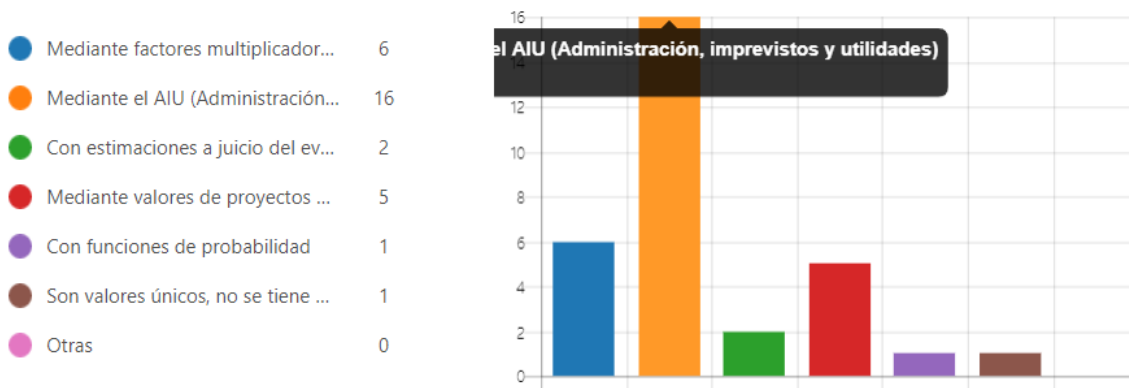
Si bien este método compara los beneficios y los costos de un proyecto, mediante las técnicas de evaluación financiera conocidas (TIR, VNP, RBC, entre otras), de tal forma que si los primeros exceden los segundos se establece un concepto de favorabilidad y aceptación del proyecto, esta metodología no tiene en cuenta la incertidumbre, ya que tiene la desventaja de que depende de un análisis muy estructurado para la identificación del riesgo y su mitigación, de tal forma que si se adopta un camino no viable con riesgos

no muy claros, podrían generar un incremento de los costos con escenarios poco reales, afectando los resultados finales y esperados (Ángel e Hincapié, 2016).

En la figura 11 también se puede apreciar que algunos métodos probabilísticos y estocásticos que sí tienen en cuenta la incertidumbre o el valor en riesgo para el proyecto, según Ángel e Hincapié (2016), tales como el método de Montecarlo, Markowitz, CAPM, árboles binomiales y las cadenas de Markov, entre otros, son poco utilizados en los proyectos de inversión inmobiliaria.

En la figura 12, se puede apreciar que la medición de la incertidumbre en los costos, debido a los imprevistos y contingencias en el proyecto, se valoran con el AIU (administración, imprevistos y utilidades), que como se explicó en el numeral de este documento, es un factor multiplicador que infla el presupuesto base, para poder tener un “factor de seguridad” que permita cubrir los costos generados por un evento no deseado.

Figura 12. Medición de la incertidumbre en los costos debido a los imprevistos

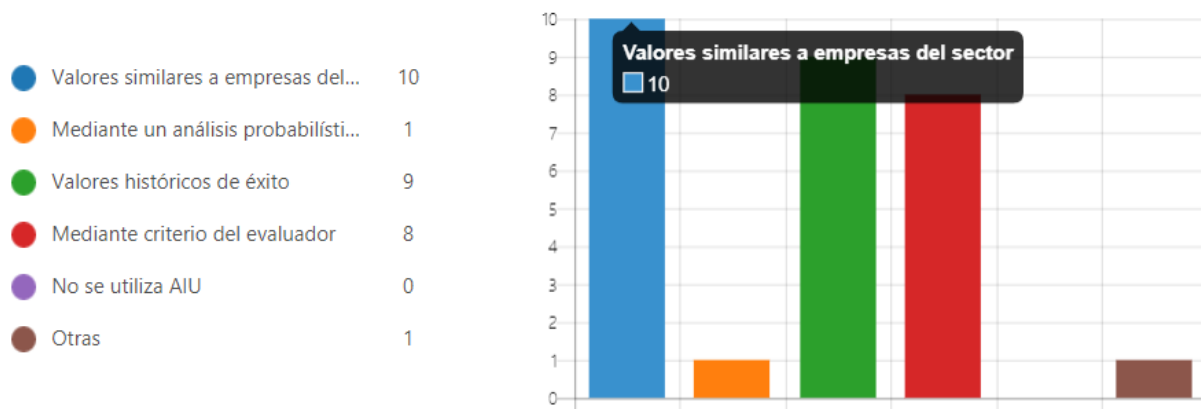


Fuente: Elaboración propia (2018).

En esencia, el AIU es un método determinístico, ya que como lo explican Rojas y Bohórquez (2010), el AIU (específicamente la componente “I”), mide las contingencias previsible o “los conocidos-desconocidos”. Lo anterior refleja un grado de certeza de que los eventos se van a presentar, el cual es una de las principales características de un método determinístico.

El AIU, además, no es cuantificado probabilísticamente como lo refleja la figura 13. En los proyectos inmobiliarios el AIU se propone mediante valores similares a empresas del sector, mediante valores históricos de éxito o mediante criterio del evaluador.

Figura 13. Método de valoración o cuantificación del AIU



Fuente: Elaboración propia (2018).

Rojas y Bohórquez (2010) proponen un método de valoración probabilística del AIU, mediante la función de densidad de probabilidad Beta, considerando un valor pesimista, uno probable y uno optimista. Sin embargo, la metodología que proponen los autores no va más allá de la determinación del presupuesto de obra, ya que el método está más orientado a empresas contratistas (ejecución de contratos con el Estado, principalmente, mediante administración delegada, precios unitarios o precio global alzado), antes que a inversionistas privados.

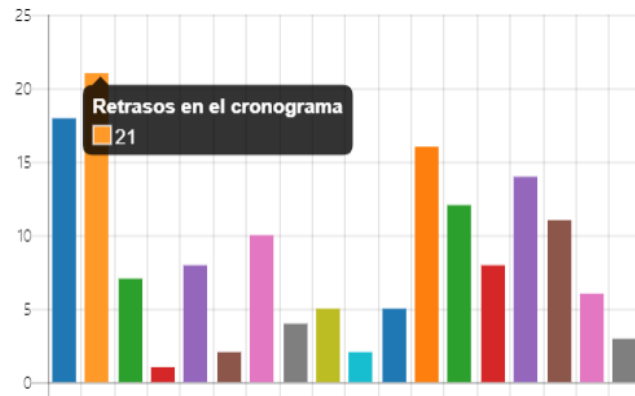
Como se concluye de la figura 13 las empresas promotoras de proyectos inmobiliarios no hacen una valoración probabilística.

El anterior resultado permitió comprobar que, en general, la evaluación de proyectos inmobiliarios se realiza con un método determinístico y no probabilístico o bajo condiciones de riesgo.

Los principales riesgos asociados a imprevistos en proyectos inmobiliarios obtenidos en esta investigación, utilizando la metodología PESTEL, se muestran en la figura 14.

Figura 14. Riesgos asociados a imprevistos comunes en proyectos inmobiliarios

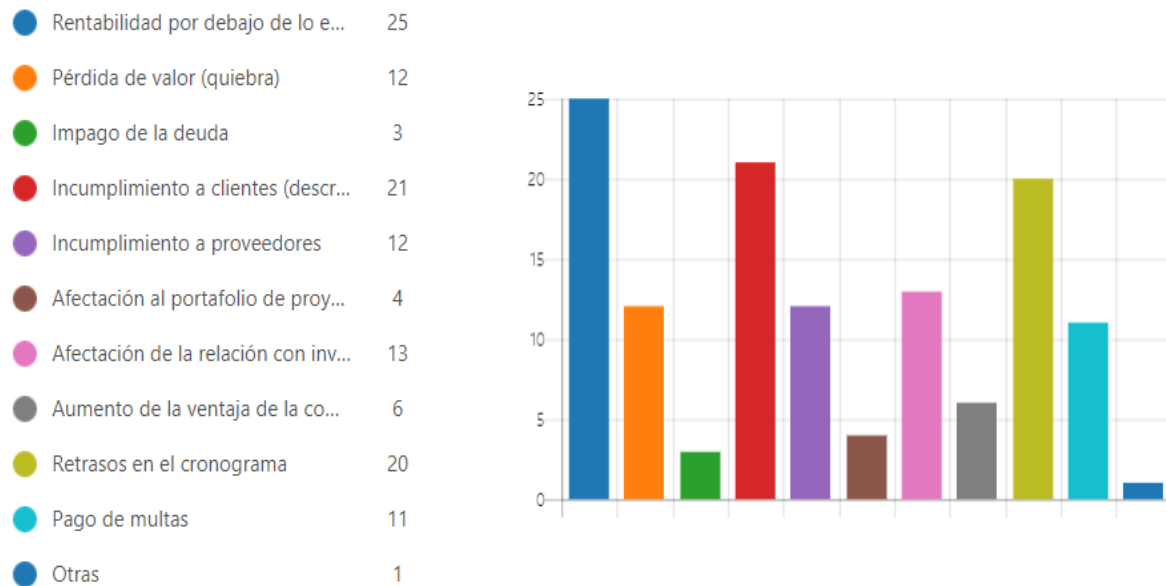
● Incremento de costos directos e...	18
● Retrasos en el cronograma	21
● Cambios en el alcance o especifi...	7
● Baja calidad de insumos o elem...	1
● Carencia o retrasos en suministr...	8
● Fallas en equipos o maquinaria ...	2
● Fallas en estudios y diseños técn...	10
● Aspectos legales (demandas, m...	4
● Cambios de legislación o norma...	5
● Retiro o suspensión de licencias ...	2
● Fallos en contratación y subcont...	5
● Vicios ocultos del suelo de cime...	16
● Subestimación de cantidades de...	12
● Seguridad ocupacional (acciden...	8
● Falla del mercado (nula o baja v...	14
● Eventos de fuerza mayor (fenóm...	11
● Robos, vandalismo	6
● Otras	3



Fuente: Elaboración propia (2018).

Los anteriores imprevistos comunes pueden llegar a ocasionar riesgos más generales y con mayor impacto para los objetivos estratégicos del portafolio de proyectos y de los programas en la organización, los cuales se muestran en la figura 15.

Figura 15. Riesgos que impactan los objetivos estratégicos de la organización



Fuente: Elaboración propia (2018).

De las figuras 14 y 15 se seleccionarán los riesgos más representativos como casos de estudio para ser utilizados en el modelo probabilístico propuesto en el capítulo siguiente.

Para un análisis más detallado de los resultados de la investigación, en el Anexo 1, se indica el cuestionario y las respuestas dadas por los diferentes profesionales en los proyectos visitados.

6 Caso de estudio

El caso de estudio consiste en un proyecto inmobiliario de estrato 4 a ser construido en la comuna 16 de la ciudad de Medellín, sobre el cual se le aplicará la metodología de análisis probabilístico de riesgos, basado en los resultados de la investigación, para la modelación de la evaluación financiera en condiciones de incertidumbre.

La compañía propietaria del proyecto solicitó confidencialidad en la revelación de su nombre y del proyecto, por lo tanto, las referencias son anónimas.

El proyecto consta de un edificio de 22 pisos, en los que se alojarán los apartamentos o unidades de vivienda, más otra edificación contigua de 6 pisos, destinada a parqueaderos y circulación vehicular.

En la figura 16 se muestra la planta arquitectónica general del proyecto a estudiar, a nivel del primer piso, donde se aprecia la planta de apartamentos, la planta de parqueaderos y portería. En la figura 17 se muestra la sección longitudinal típica indicando la elevación y número de pisos.

En la figura 18 se muestra la planta de apartamentos típica para áreas construidas que varían entre 63 a 78 m². Son 83 unidades para la venta.

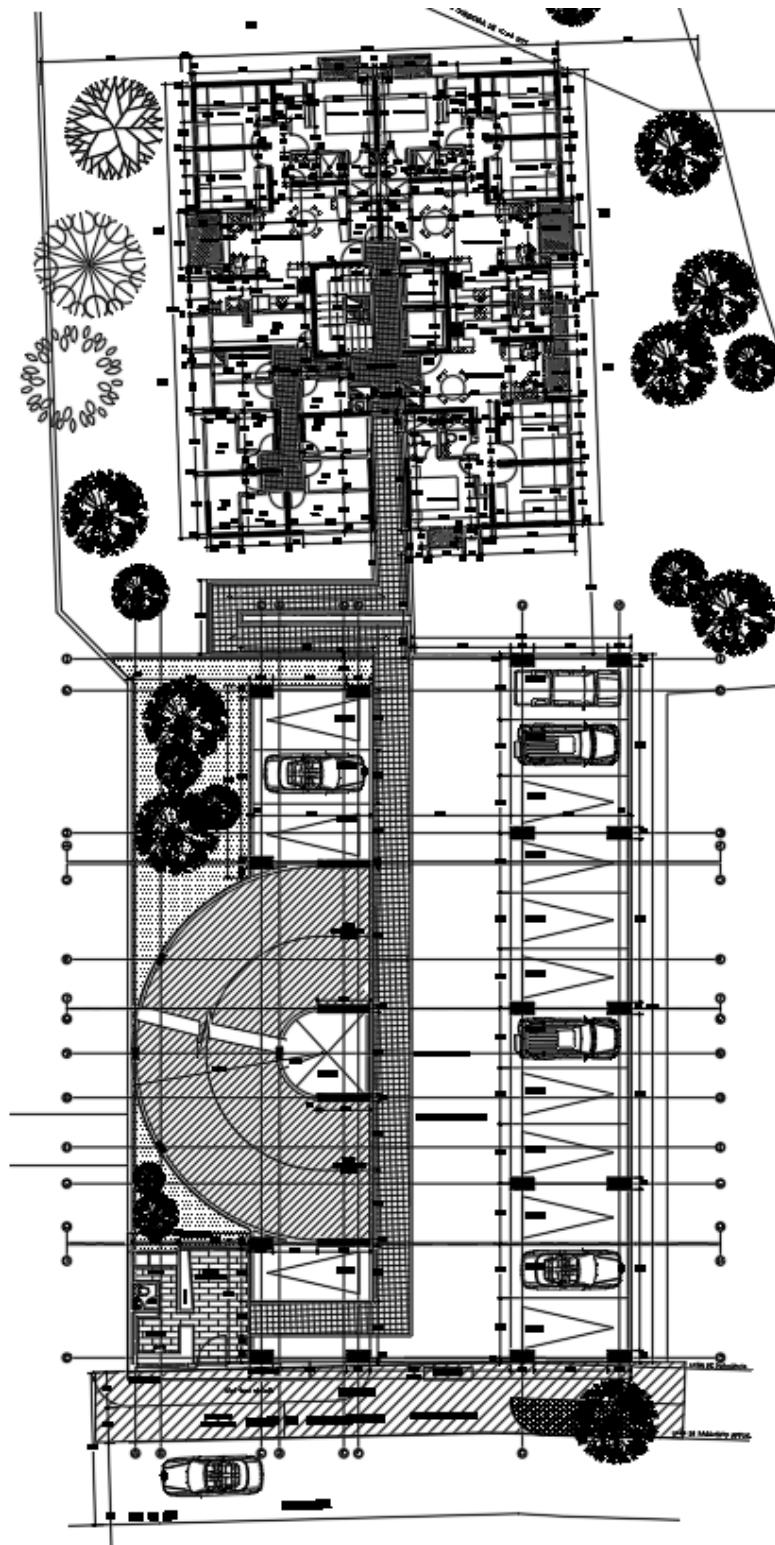
En la figura 19 se aprecia la planta de parqueaderos con un área promedio de 13,05 m². Al igual que los apartamentos, son 83 soluciones de parqueadero para la venta.

Adicionalmente, se ofrecen para la venta 85 cuartos útiles con un área promedio de 3,13 m², los cuales están ubicados en la circulación del ascensor, cerca de las entradas a los apartamentos.

Los entregables del proyecto están conformados mínimamente por un apartamento, más un parqueadero, más un cuarto útil. La meta es vender, en la medida de lo posible, estos productos juntos para poseer una ventaja comercial.

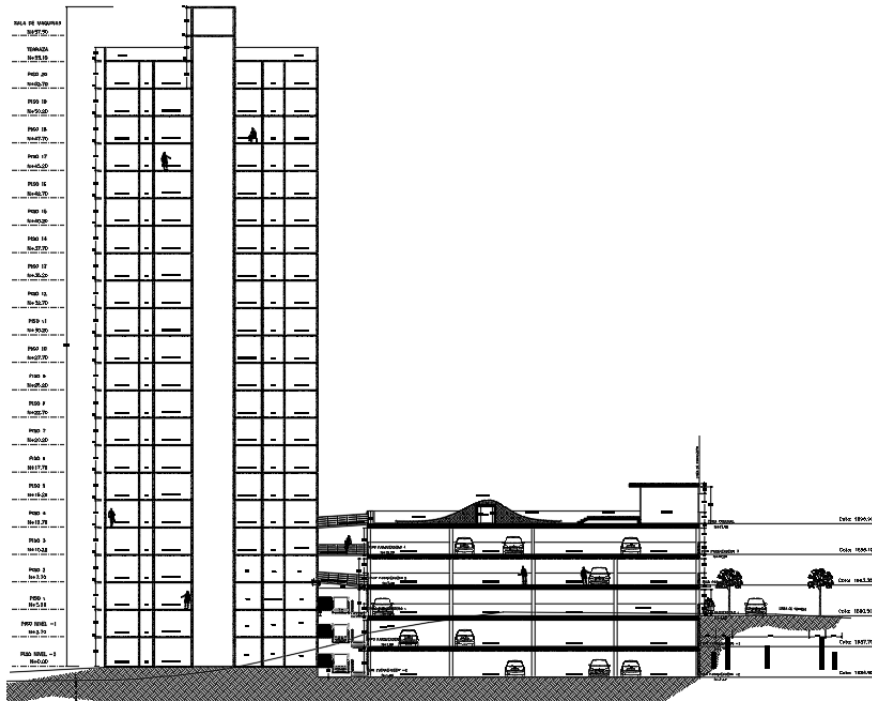
El área construida total del proyecto es de 6989,65 m².

Figura 16. Planta arquitectónica general del proyecto



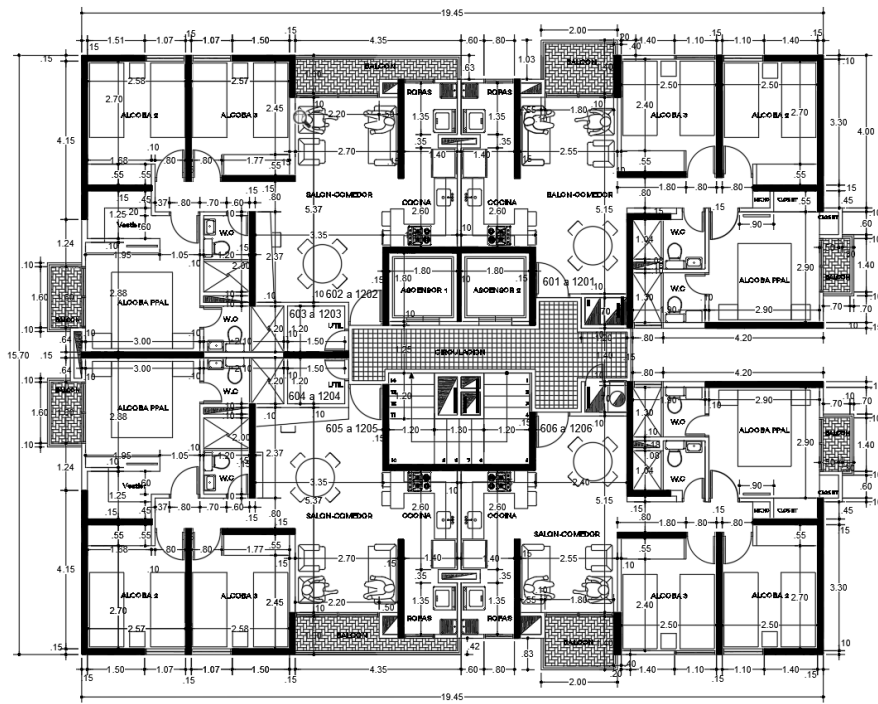
Fuente: Anónimo (2018).

Figura 17. Sección Longitudinal



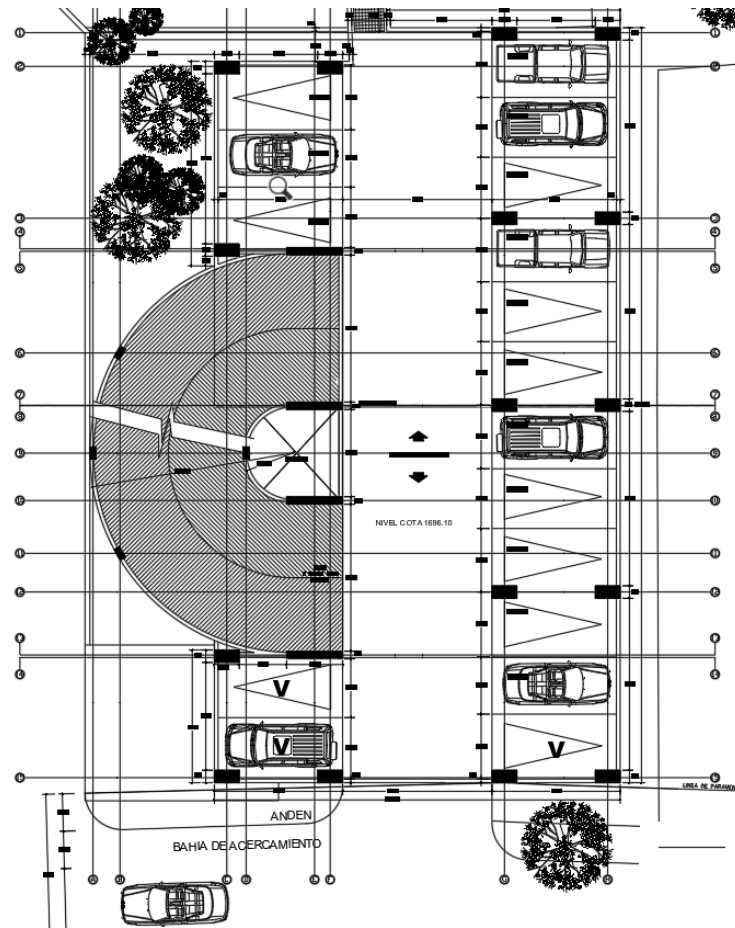
Fuente: Anónimo (2018).

Figura 18. Planta típica de apartamentos



Fuente: Anónimo (2018).

Figura 19. Planta típica de parqueaderos



Fuente: Anónimo (2018).

La estructura del edificio de apartamentos está conformada por muros de concreto reforzado, los cuales sirven al mismo tiempo como elementos divisorios de las principales zonas de la vivienda, por lo tanto, el cliente tiene limitaciones para realizar reformas.

Salvo que comercialmente exista algún impedimento, los apartamentos se ofrecen completamente terminados, es decir, se entregan con los acabados y enlucidos tales como pisos, enchapes y pinturas finales.

7 Evaluación financiera determinística para el caso de estudio

Para el proyecto propuesto se elaboró un modelo determinista o en condiciones de certidumbre, basado en la información suministrada por la empresa constructora.

Se realizó la evaluación financiera del proyecto en condiciones de certidumbre mediante un flujo de caja proyectado a 24 meses de duración.

Para la elaboración del flujo de caja se tuvo en cuenta el presupuesto de construcción con los costos directos e indirectos en valor presente, los cuales se proyectarán en el horizonte de evaluación del proyecto, con el fin de simular el flujo de efectivo requerido para realizar la construcción de los edificios y los productos entregables.

Los siguientes son los datos más importantes para la construcción del flujo de caja libre del inversionista en términos corrientes (las cifras monetarias están expresadas en miles de pesos):

Tabla 16. Datos básicos para la construcción del FCL

Precios de venta unitarios base	
Precio venta apartamento (\$/m ²):	\$ 3 500
Precio de venta parqueadero (\$/m ²):	\$ 2 000
Precio de venta cuarto útil (\$/m ² :::	\$ 1 500
Tasa de prima de altura (\$/m ²):	\$ 25

Tasas inflacionarias para ventas y costos directos		
Tasa de incremento del precio de venta :	5.4%	EA
	0.437%	EF
Tasa de incremento para costos:	4.4%	EA
	0.357%	EM

Tabla 16. (Continuación)

Modo de financiación de los clientes	
Cuota inicial	30%
Separación (porcentaje de la inicial)	5.0%
Cuotas mensuales (porcentaje de la inicial)	95.0%
Financiación restante mediante crédito	70%

Punto de equilibrio financiero		
% min unidades vendidas para pto equilibrio	60%	
Horizonte evaluación del proyecto	24	meses
Tiempo máximo esperado para ventas	15	meses
Tiempo máximo previsto para la obra	16	meses
# Máximo unidades a vender	83	un

Crédito Constructor		
Monto del crédito en \$	\$ 5 300 000	
Tasa del crédito constructor	14.0%	EA
	1.098%	EM
Valor de la UVR	0.26029	
Tasa de corrección monetaria a la UVR	3.50%	EA
	0.29%	EM
Monto del crédito en UVR	\$ 20 362 225	

Honorarios de la interventoría	
% de honorarios (sobre costos directos)	2.50%

Inversión en activos fijos				
Maquinaria y equipos	\$ 192 725	Vida útil	10	años
Apartamento modelo y sala de ventas	\$ 126 000	Vida útil	20	años
Valor del lote	\$ 1 300 000			
Total inversiones	\$ 1 618 725			

Impuestos		
Valor UVT	\$ 33.2	
Por ventas ocasionales	10.00%	
IVA por venta vivienda	5.00%	>= 26800 UVT
	0.00%	<26800 UVT
UVT de referencia IVA venta vivienda	26800	
IVA por honorarios	19.00%	
Impuesto de renta	33.00%	
Licencia de construcción	0.90%	del C.D.

Tabla 16. (Continuación)

Gastos de ventas		
Comisión de ventas (sobre ventas)	2.50%	
% Gastos notariado y registro (sobre ventas)	0.35%	
% Promoción y publicidad (sobre ventas)	1.00%	
Encargo Fiduciario		
Tasa de rendimientos financieros en fiducia	7.00%	EA
	0.57%	EM
Comisión de la fiduciaria sobre ventas	0.50%	
Crédito Puente		
Monto del crédito	\$ 200.000	
Tasa del crédito puente	20,00%	EA
	1,531%	EM
Aportes de los accionistas		
Aportes	\$ 1 618 725	
Estructura de capital		%
Deuda, D =	\$ 5 500 000	77%
Recursos propios, E=	\$ 1 618 725	23%
Capital de trabajo		
% de KW sobre las ventas	5.00%	
Tasa de descuento		
Tasa de descuento	10.76%	EA
	0.856%	EM
Administración (A)		
% de gerencia (sobre ventas)	2.50%	
Imprevistos (I)		
% de imprevistos (sobre los costos directos)	3.00%	
Utilidades de la constructora (U)		
% de honorarios (sobre costos directos)	10.00%	

Fuente: Elaboración propia (2018).

Las anteriores variables, son, por lo tanto, valores deterministas, considerados como invariantes para la evaluación financiera.

7.1 Ingresos

Los ingresos están constituidos por las ventas de los 83 apartamentos, 83 parqueaderos y 85 cuartos útiles.

El costo unitario base es de \$3500/m² para los apartamentos, \$2000/m² para los parqueaderos y \$1500/m² para los cuartos útiles (cifras en miles de pesos). Se simula, además, una prima por altura a razón de \$25/m²/piso, ya que a medida que se incrementa la altura del edificio, el apartamento se vende a un precio mayor por ofrecer mejor panorámica.

Se modela igualmente las posibilidades de pago del cliente. Lo usual en este tipo de negocio inmobiliario con figura de preventa (venta sobre planos cuando no se ha iniciado aún la construcción), es que el cliente aporte el 30% del valor del inmueble y el 70% restante lo aporte una entidad financiera a través de un crédito hipotecario que ésta le otorga al usuario. Mediante la figura de subrogación, se desea que el crédito constructor otorgado a la compañía promotora y/o constructora del proyecto sea subrogado (o trasladado) al cliente, saldando de esta manera la deuda.

Del 30% que aporta el cliente, el 5% corresponde a una cuota mínima de separación para aceptar el negocio, firmando el encargo fiduciario y la promesa de compraventa; y el 95% restante corresponde a las cuotas mensuales giradas en un lapso máximo, que en este caso es de 15 meses, hasta que termine de reunir la suma mínima del 30% del valor total del inmueble.

En la tabla 17 se muestra un extracto de la proyección de ventas de apartamentos. En la tabla 18 se muestran los ingresos totales de manera discriminada por apartamentos, parqueaderos y cuartos útiles; así mismo, según la cuota de separación, cuotas iniciales y el crédito hipotecario que toma el cliente. Para ampliación de detalles, remítase al Anexo 3.

Tabla 17 Ventas de apartamentos

VALORES APARTAMENTOS											
PRIMA DE ALTURA	A. PRIVADA (\$/m ²)	Precio/un (\$)	CUOTA INICIAL CLIENTE						CRÉDITO A SUBROGAR		TOTAL
			% CUOTA INICIAL	% Separación	% Cuotas Mensuales	Valor separación (\$)	Valor total cuotas mensuales	Valor Total Cuota inicial (\$)	% CRÉDITO	VALOR (\$)	VALOR VENTAS APTOS (\$)
\$ 0	\$ 3 500	\$ 246 810	30%	1.50%	28.50%	\$ 3 702	\$ 70 341	\$ 74 043	70%	\$ 172 767	\$ 246 810
\$ 0	\$ 3 500	\$ 274 495	30%	1.50%	28.50%	\$ 4 117	\$ 78 231	\$ 82 348	70%	\$ 192 146	\$ 274 495
\$ 0	\$ 3 500	\$ 272 430	30%	1.50%	28.50%	\$ 4 086	\$ 77 643	\$ 81 729	70%	\$ 190 701	\$ 272 430
\$ 0	\$ 3 500	\$ 222 355	30%	1.50%	28.50%	\$ 3 335	\$ 63 371	\$ 66 707	70%	\$ 155 649	\$ 222 355
\$ 0	\$ 3 500	\$ 249 655	30%	1.50%	28.50%	\$ 3 745	\$ 71 152	\$ 74 897	70%	\$ 174 759	\$ 249 655
\$ 0	\$ 3 500	\$ 248 500	30%	1.50%	28.50%	\$ 3 728	\$ 70 823	\$ 74 550	70%	\$ 173 950	\$ 248 500
\$ 0	\$ 3 500	\$ 223 650	30%	1.50%	28.50%	\$ 3 355	\$ 63 740	\$ 67 095	70%	\$ 156 555	\$ 223 650
\$ 0	\$ 3 500	\$ 248 220	30%	1.50%	28.50%	\$ 3 723	\$ 70 743	\$ 74 466	70%	\$ 173 754	\$ 248 220
\$ 0	\$ 3 500	\$ 248 500	30%	1.50%	28.50%	\$ 3 728	\$ 70 823	\$ 74 550	70%	\$ 173 950	\$ 248 500
\$ 0	\$ 3 500	\$ 222 355	30%	1.50%	28.50%	\$ 3 335	\$ 63 371	\$ 66 707	70%	\$ 155 649	\$ 222 355
\$ 0	\$ 3 500	\$ 249 655	30%	1.50%	28.50%	\$ 3 745	\$ 71 152	\$ 74 897	70%	\$ 174 759	\$ 249 655
\$ 475	\$ 3 975	\$ 282 225	30%	1.50%	28.50%	\$ 4 233	\$ 80 434	\$ 84 668	70%	\$ 197 558	\$ 282 225
\$ 475	\$ 3 975	\$ 281 072	30%	1.50%	28.50%	\$ 4 216	\$ 80 106	\$ 84 322	70%	\$ 196 751	\$ 281 072
\$ 475	\$ 3 975	\$ 251 936	30%	1.50%	28.50%	\$ 3 779	\$ 71 802	\$ 75 581	70%	\$ 176 355	\$ 251 936
\$ 500	\$ 4 000	\$ 254 083	30%	1.50%	28.50%	\$ 3 811	\$ 72 414	\$ 76 225	70%	\$ 177 858	\$ 254 083
\$ 500	\$ 4 000	\$ 283 944	30%	1.50%	28.50%	\$ 4 259	\$ 80 924	\$ 85 183	70%	\$ 198 761	\$ 283 944
\$ 500	\$ 4 000	\$ 282 322	30%	1.50%	28.50%	\$ 4 235	\$ 80 462	\$ 84 697	70%	\$ 197 625	\$ 282 322
\$ 500	\$ 4 000	\$ 253 883	30%	1.50%	28.50%	\$ 3 808	\$ 72 357	\$ 76 165	70%	\$ 177 718	\$ 253 883
TOTAL						\$ 315 847	\$ 6 001 097	\$ 6 316 944	-	\$ 14 739 536	\$ 21 056 480

Fuente: Elaboración propia (2018).

Tabla 18. Ingresos discriminados

VALOR PRESENTE DE LAS VENTAS: APARTAMENTOS + PARQUEADEROS + ÚTILES				
DESCRIPCION	APARTAMENTO	PARQUEADERO	UTILES	TOTAL
CUOTA DE SEPARACIÓN	\$ 315 847	\$ 32 697	\$ 6 332	\$ 354 876
CUOTAS INICIALES	\$ 6 001 097	\$ 621 243	\$ 120 311	\$ 6 742 652
CRÉDITO	\$ 14 739 536	\$ 1 525 861	\$ 295 502	\$ 16 560 899
SUBTOTAL	\$ 21 056 480	\$ 2 179 801	\$ 422 145	\$ 23 658 426
TOTAL VENTAS	\$ 23 658 426			

ÁREA TOTAL CONSTRUIDA (m²)	6969.85
PRECIO UN. PROMEDIO (\$/m²)	\$ 3 394

Fuente: Elaboración propia (2018).

7.2 Costos directos

Los costos directos fueron obtenidos a partir del cálculo de las cantidades de obra y del análisis de precios unitarios (APU) divididos en dos grupos: obras de urbanismo y edificaciones.

Las obras de urbanismo constituyen la parte externa del edificio, necesarias para la conformación paisajística, además de los accesos peatonales, vehiculares y áreas comunes exteriores. Las edificaciones están conformadas por las obras internas, incluyendo los edificios como tal, con su estructura, fachadas, zonas comunes

(circulación, ascensores, *shute* de basuras, cuartos de mantenimiento, tanques, etc.), y las zonas privadas (apartamentos, parqueaderos y útiles).

Los costos directos en valor presente de urbanismo y edificaciones se muestran en las tablas 19 y 20, respectivamente. Las cifras monetarias están expresadas en miles de pesos.

Para ampliar detalles, ver el Anexo 3.

Tabla 19. Costos directos de urbanismo

C.D. URBANISMO	TOTAL	
	\$	%
Preliminares	\$ 15 833	5.8%
Movimiento de tierras	\$ 21 562	8.0%
Vías, andenes y grama	\$ 57 246	21.1%
Red eléctrica exterior	\$ 100 000	36.9%
Red hidrosanitaria exterior	\$ 30 000	11.1%
Obras complementarias	\$ 46 350	17.1%
Total CD Vr. Presente (\$)	\$ 270 991	100.0%

Fuente: Elaboración propia (2018).

Tabla 20. Costos directos de edificaciones

C.D. EDIFICACIONES	TOTAL	
	\$	%
Preliminares	\$ 88 052	0.7%
Movimiento de tierras	\$ 274 963	2.3%
Cimientos	\$ 582 384	4.8%
Estructura	\$ 2 527 353	21.0%
Mampostería	\$ 330 703	2.7%
Pañetes	\$ 598 287	5.0%
Cubiertas	\$ 49 927	0.4%
Cielorazos	\$ 13 286	0.1%
Pisos	\$ 955 505	7.9%
Enchapes	\$ 617 515	5.1%
Inst. Hidrá. y Sanit.	\$ 458 232	3.8%
Inst. Eléctricas	\$ 588 000	4.9%
Red de Gas	\$ 147 048	1.2%
Red contra incendio	\$ 123 596	1.0%
Aparatos sanitarios	\$ 411 340	3.4%
Carpintería de madera	\$ 1 192 500	9.9%

C.D. EDIFICACIONES	TOTAL	
	\$	%
Carpintería metálica	\$ 411 010	3.4%
Equipos especiales	\$ 932 120	7.7%
Cerrajería	\$ 38 000	0.3%
Estuco y Pintura	\$ 354 695	2.9%
Alquiler equipos	\$ 410 803	3.4%
Administración de obra	\$ 713 144	5.9%
Varios (Sub Contratos)	\$ 222 400	1.8%
Total CD Vr. Presente (\$)	\$ 12 040 861	100.0%

Fuente: Elaboración propia (2018).

Los costos directos totales ascienden a **\$12 311 852** en valor presente.

7.3 Costos indirectos

Los costos indirectos comprenden: honorarios de estudios y diseños, impuestos, derechos de conexión. En la tabla 21 se muestran los costos indirectos más significativos. Para ampliar detalles, ver el Anexo 3.

Tabla 21. Costos indirectos de honorarios, impuestos y derechos de conexión

CONCEPTO	TOTAL	% Incid. CD
Topografía	\$ 31 500	0.3%
Estudio de suelos	\$ 40 000	0.3%
Diseño arquitectónico	\$ 205 500	1.7%
Presupuesto de obra	\$ 20 550	0.2%
Programación	\$ 20 550	0.2%
Control de costos	\$ 55 403	0.5%
Control de programación	\$ 98 495	0.8%
Diseño estructural	\$ 70 020	0.6%
Diseño hidráulico, sanit., gas	\$ 40 000	0.3%
Diseño eléctrico	\$ 20 000	0.2%
Planos Reglamento de propiedad horizontal	\$ 10 200	0.1%
Interventoría	\$ 307 796	2.5%
Subtotal Honorarios de Estudios y Diseños	\$ 920 014	7.5%
Honorarios de construcción (U = utilidades)	\$ 1 231 185	10.0%
CONCEPTO	TOTAL	% Incid. CD
Licencia de construcción (impuesto delineación urbana: 9/1000 de C.D)	\$ 110 807	0.9%

CONCEPTO	TOTAL	% Incid. CD
Expensas curaduría (según ec. y tablas)	\$ 14 000	0.1%
IVA honorarios construcción (19% honorarios)	\$ 233 925	1.9%
Parafiscales FIC SENA (0.25% de C.D.)	\$ 30 780	0.3%
Impuesto Predial (33/1000 del avalúo catastral)	\$ 67 568	0.5%
Impuesto Industria y Comercio (5/1000 de ingresos)	\$ 126 567	1.0%
Impuesto de avisos y tableros (15% del ICA)	\$ 18 985	0.2%
Impuesto de publicidad exterior visual (entre 8 m ² y 24 m ² : 3,57 UVT/mes)	\$ 2 959	0.0%
Subtotal Impuestos	\$ 605 590	4.9%
Acueducto y alcantarillado	\$ 160 054	1.3%
Energía eléctrica	\$ 61 559	0.5%
Gas	\$ 36 936	0.3%
Subtotal Conexión Servicios	\$ 258 549	2.1%
TOTAL	\$ 1 784 154	14.5%

Fuente: Elaboración propia (2018).

7.4 Gastos generales

Los gastos generales comprenden: los gastos administrativos (gerencia), gastos de ventas, gastos financieros seguros y otros.

En la tabla 22 se muestran los gastos generales de gerencia, ventas, financieros y pólizas de seguros.

Tabla 22. Gastos de gerencia, ventas y financieros

CONCEPTO	TOTAL	% Ventas
Gerencia del proyecto (A = Administración)	\$ 632 835	2.5%
Promoción y publicidad	\$ 253 134	1.0%
Sala de ventas	\$ 126 000	0.5%
Comisión de ventas	\$ 632 835	2.5%
Gastos Notariales	\$ 88 597	0.35%
Reglamento propiedad hor.	\$ 12 657	0.1%
Subtotal Costos de Ventas	\$ 1 113 223	4.4%
Intereses crédito constructor	\$ 489 306	1.9%
Corrección monetaria	\$ 30 475	0.1%
Encargo fiduciario	\$ 126 567	0.5%

CONCEPTO	TOTAL	% Ventas
Gastos legales del crédito	\$ 15 654	0.1%
Intereses crédito puente	\$ 40 498	0.2%
Supervisión del financiador	\$ 15 654	0.1%
Gravamen financiero (4 por mil)	\$ 101 254	0.4%
Subtotal Gastos Financieros	\$ 819 408	3.2%

TOTAL GER. CVEN. GFINAN.	\$ 2 565 467	10.1%
---------------------------------	---------------------	--------------

Fuente: Elaboración propia (2018).

Tabla 23. Seguros y garantías

Total Cost. y Gast.	Tiempo proyecto (mes)
\$ 16 661 473	Tiempo obra (mes)

Póliza de incendio y terremoto	\$ 53 317	0.4%
Responsabilidad civil extracontractual	\$ 24 992	0.2%
Póliza de vivienda segura decenal	\$ 199 938	1.6%
Subtotal Garantías	\$ 278 247	1.8%

Fuente: Elaboración propia (2018).

7.5 AIU determinístico

En la tabla 16 se definieron los valores determinísticos de las variables “A” (porcentaje de administración o gerencia), “I” (porcentaje de imprevistos o costos de contingencia) y “U” (utilidades u honorarios de construcción).

A = 2,5% sobre las ventas (aproximadamente equivale al 5% de los costos directos)

I = 3% sobre los costos directos

U = 10% sobre los costos directos

Es importante aclarar que la utilidad “U” a la que se refiere este concepto no es la rentabilidad final del proyecto a ser repartida entre los inversionistas, sino que corresponde a los honorarios de la empresa constructora. En algunas ocasiones los inversionistas son los mismos constructores, pero no siempre ocurre en todos los casos.

Finalmente, al sumar todas las variables, se tiene un valor total de AIU = 18% sobre los costos directos (C.D.).

Estos valores asumidos por la compañía constructora coinciden aproximadamente con los valores de referencia reportados en la literatura (Salamanca, 2015) y (Rojas y Bohórquez, 2010).

7.6 Tasa de descuento

La tasa de descuento empleada se calculó con el costo promedio ponderado de capital o WACC, teniendo en cuenta el costo de la deuda k_d y el costo del patrimonio de los accionistas k_e .

El costo del patrimonio k_e , fue calculado con el método CAPM, donde se obtiene información del sector de la construcción de un mercado accionario conocido, como lo es el de Estados Unidos, para calcular un $k_{e(USD)}$ extranjero a través de los valores “Beta” apalancados y desapalancados, la tasa libre de riesgo R_f y la rentabilidad del mercado R_m .

Este costo de patrimonio extranjero $k_{e(USD)}$ se convierte al k_e en Colombia, teniendo en cuenta el riesgo país y la devaluación monetaria. En las tablas 24 a la 26 se indica el procedimiento de cálculo.

Tabla 24. Cálculo de Beta apalancado industria construcción usa

Nombre de la industria	Número de firmas	Beta apalancado	Radio D/E	Tasa efectiva impuestos	Beta no apalancado
Engineering/Construction	52	1.01	48.88%	7.62%	0.68

Fuente: Damodaran (2019).

Tabla 25. Cálculo de Beta no apalancado proyecto en USA

EMPRESA PROXY (USA)	
D/E =	48.88%
E =	67.17%
D =	32.83%
β_l =	1.01
t =	7.62%

EMPRESA PROXY (USA)	
R _f =	2.73% ¹⁵
R _m =	7.34%
K _d =	7.00%
PM =	4.61%
β _d =	0.93
β _u =	0.98

Fuente: Elaboración propia (2018).

Donde:

$$\beta_u = \frac{E}{E+D*(1-t)} * \beta_l + \frac{D*(1-t)}{E+D*(1-t)} * \beta_d \quad (14)$$

$$\beta_d = \frac{k_d - R_f}{P_M} \quad (15)$$

β_u es el Beta desapalancado o Beta de la empresa sin deuda

β_l es el Beta apalancado o Beta de la empresa con deuda

β_d es el Beta de la deuda

D = Deuda

E = Capital o Equity

t = tasa de impuestos

R_f = tasa libre de riesgo

P_M = R_m – R_f es la prima de mercado

Tabla 26. Cálculo de ke proyecto en Colombia

PROYECTO EN COLOMBIA	
E =	22.74%
D =	77.26%
D/E =	339.77%
RP =	2.03% ¹⁶
K _d =	14.35%
TT _{doméstica} =	3.00%
TT _{extranjera} =	2.10%

¹⁵ Según Bloomberg (Bloomberg, 2019).

¹⁶ Según Centro de Estudios Latinoamericanos (CESLA, 2019).

PROYECTO EN COLOMBIA	
Devaluación=	0.88%
$\beta_I =$	1.16
$K_e (\text{USD})_{\text{sin RP}} =$	8.08%
$K_e (\text{USD})_{\text{con RP}} =$	10.27%
$K_e (\text{COP}) =$	11.24%

Fuente: Elaboración propia (2018).

Donde:

$$D_{ev} = \frac{1 + \pi_{\text{doméstica}}}{1 - \pi_{\text{extranjera}}} - 1 \quad (16)$$

D_{ev} es la devaluación de la moneda

$\pi_{\text{doméstica}}$: es la meta de inflación anual en Colombia

$\pi_{\text{doméstica}}$: es la meta de inflación anual en Estados Unidos

RP es el riesgo país

Se obtiene finalmente un costo de capital para un proyecto de construcción en Colombia de $k_e = 11,24\%$ efectivo anual.

El costo de la deuda k_d se calcula teniendo en cuenta la tasa que ofrecen los bancos para el crédito constructor y para el crédito puente, donde el crédito puente es un préstamo auxiliar y de menor cuantía para cubrir costos pequeños en el flujo de inversión.

El valor de k_d es:

$k_d = 14,35\%$ efectivo anual

Teniendo en cuenta los anteriores resultados, el WACC es:

$$WACC = \frac{E}{E+D} k_e + \frac{D}{E+D} k_d (1 - t) = 9,99\% \quad (17)$$

Donde:

% Aporte accionistas, E =	22.74%
% de deuda, D =	77.26%
Tasa de impuestos, t =	33.00%
k_e =	11.24%
k_d =	14.35%

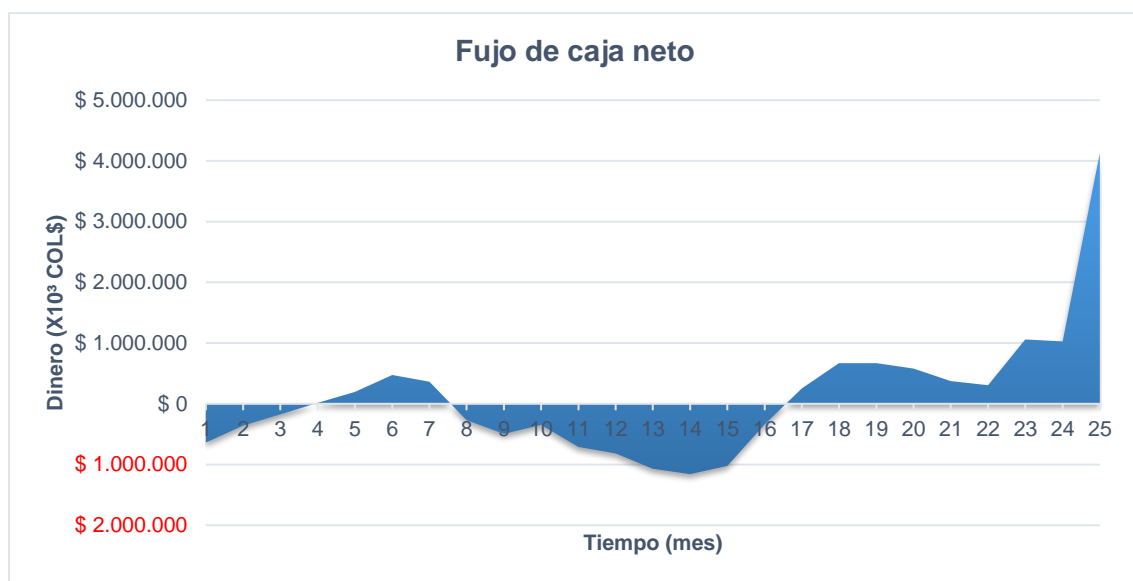
La tasa de descuento a emplear para la evaluación financiera del proyecto se toma igual al WACC y es $TD = 9,99\% \approx 10\%$ efectivo anual o el $0,796\%$ efectivo mensual.

7.7 Flujo de caja libre determinístico

Teniendo en cuenta la proyección de ingresos, costos directos, costos indirectos, gastos generales y otros ítems, tales como la depreciación, la variación y recuperación del capital de trabajo, inversiones de capital para adquisición del terreno y equipos y, finalmente, el valor de desecho, se calcula el flujo de caja libre del inversionista determinístico o en condiciones de certidumbre y en términos corrientes, es decir, teniendo en cuenta los efectos inflacionarios.

En la tabla 27 se muestran los tres primeros períodos del flujo de caja libre determinístico. Para su visualización completa, véase el Anexo 3.

Figura 20. Flujo de caja neto determinístico



Fuente: Elaboración propia (2018).

En la figura 20 se muestra el diagrama del flujo de caja neto. Se puede apreciar que se trata de un flujo de caja no convencional, debido principalmente al esquema de negocios de pre-venta con fideicomiso y con crédito constructor, en el cual no hay un único desembolso en el año cero, como lo presentan los flujos de caja convencionales, sino que pueden existir desembolsos en distintos períodos del proyecto.

Los ingresos son percibidos prácticamente al final del proyecto con las subrogaciones del crédito constructor. En el numeral 3.5.4 se explica en qué consiste la subrogación.

Tabla 27. Vista parcial del flujo de caja determinista (3 primeros períodos)

	0	1	2	3
Tiempo proyecto (mes)				
Tiempo obra (mes)				
% de avance obra	0%	0%	0%	0%
F. incremento de costos	1.000	1.004	1.007	1.011
RUBRO				
Cuotas iniciales	\$ 0	\$ 42 943	\$ 315 103	\$ 584 120
Excedentes de Subrogación	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
(1) Total Ingresos por ventas	\$ 0	\$ 42 943	\$ 315 103	\$ 584 120
Intereses de subrogación	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Rendimientos fiduciarios	\$ 1 111	\$ 2 502	\$ 5 321	\$ 9 745
(2) Total Otros Ingresos	\$ 1 111	\$ 2 502	\$ 5 321	\$ 9 745
(3) Total ingresos de caja = (1) + (2)	\$ 1 111	\$ 45 445	\$ 320 423	\$ 593 865
Obras de Urbanismo	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Edificaciones	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
(4) Total costos directos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Honorarios de estudios y diseños	\$ 114 650	\$ 40 288	\$ 40 432	\$ 40 577
Honorarios de construcción (Variable U)	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Seguros y garantías	\$ 118 296	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Derechos de conexión de servicios	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Imprevistos (Variable I)	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
(5) Total costos indirectos	\$ 232 946	\$ 40 288	\$ 40 432	\$ 40 577
Administración y Gerencia del Proyecto (Variable A)	\$ 0	\$ 1 077	\$ 7 934	\$ 14 760
Gastos de publicidad, promoción, ventas, notariales y registro	\$ 54 657	\$ 43 658	\$ 53 408	\$ 20 664
(6) Total Gastos Generales	\$ 54 657	\$ 44 736	\$ 61 342	\$ 35 424
(7) Costo total del Proyecto = (4) + (5) + (6)	\$ 287 603	\$ 85 024	\$ 101 774	\$ 76 001
(8) UTILIDAD BRUTA = (3)-(7)	\$ 286 492	\$ 39 579	\$ 218 649	\$ 517 864
(9) Depreciación	\$ 0	\$ 3 711	\$ 3 684	\$ 3 657
(10) Amortización de Diferidos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
(11) Valor en libros de los activos vendidos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
(12) UAI = (8) - (9) - (10) - (11)	\$ 286 492	\$ 43 290	\$ 214 965	\$ 514 207
Intereses corrientes crédito Constructor	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Corrección monetaria	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Encargo fiduciario (honorarios fiduciar)	\$ 0	\$ 215	\$ 1 576	\$ 2 921
Gastos legales de créditos	\$ 152	\$ 152	\$ 347	\$ 643
Intereses crédito puente	\$ 0	\$ 3 062	\$ 2 955	\$ 2 847
Supervisión financiador	\$ 152	\$ 152	\$ 347	\$ 643
Gravamen financiero	\$ 0	\$ 172	\$ 1 260	\$ 2 336
(13) Total Gastos Financieros	\$ 304	\$ 3 752	\$ 6 485	\$ 9 389
(14) UAI = (12) - (13)	\$ 286 796	\$ 47 042	\$ 208 481	\$ 504 817
Impuesto de renta	\$ 0	\$ 0	\$ 68 799	\$ 166 590
Licencia de construcción	\$ 110 807	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Expensas curaduría	\$ 14 000	\$ 0	\$ 0	\$ 0
IVA honorarios construcción	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Parafiscales FIC SENA	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Impuesto Predial	\$ 7 508	\$ 0	\$ 0	\$ 7 508
Impuesto Industria y Comercio	\$ 0	\$ 215	\$ 1 576	\$ 2 921
Impuesto de avisos y tableros	\$ 0	\$ 32	\$ 236	\$ 438
Impuesto de publicidad exterior visual	\$ 118	\$ 118	\$ 118	\$ 118
(15) Total Impuestos	\$ 132 433	\$ 365	\$ 70 729	\$ 177 574
(16) UTILIDAD NETA = (14) - (15)	\$ 419 229	\$ 47 408	\$ 137 752	\$ 327 243
(17) Depreciación	\$ 0	\$ 3 711	\$ 3 684	\$ 3 657
(18) Amortización de Diferidos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
(19) Valor en libros de los activos vendidos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Ingreso por crédito de Constructor	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Ingresos por créditos puente	\$ 200 000	\$ 0	\$ 0	\$ 0
(20) Ingresos por préstamos	\$ 200 000	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Amortización créditos puente	\$ 0	\$ 6 959	\$ 7 065	\$ 7 174
(21) Amortización a capital	\$ 0	\$ 6 959	\$ 7 065	\$ 7 174
Terreno	\$ 260 000	\$ 260 928	\$ 261 860	\$ 262 795
Equipos	\$ 30 836	\$ 30 946	\$ 31 057	\$ 31 167
Apartamento modelo	\$ 126 000	\$ 0	\$ 0	\$ 0
(22) Inversión en activos fijos (aportes de capital)	\$ 416 836	\$ 291 874	\$ 292 917	\$ 293 963
(23) Devolución de aportes de capital	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
(24) Variación del capital de trabajo	\$ 2 147	\$ 13 657	\$ 13 547	\$ 12 487
(25) Recuperación del capital de trabajo	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
(26) Valor de desecho	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
FCL = (16) + (17) + (18) + (19) + (20) - (21) - (22) + (23) ± (24) + (25) + (26)	\$ 638 212	\$ 356 187	\$ 172 093	\$ 17 277

Fuente: Elaboración propia (2018).

7.8 Indicadores determinísticos de evaluación financiera

A continuación, se indican los resultados de los principales indicadores de evaluación financiera: VPN, TIR, TIRM, VAUE/CAUE, RBC, PRI e IRVA, obtenidos del modelo determinístico.

Tabla 28. Indicadores determinísticos de evaluación financiera

TD	0.796%
TF	1.124%
TR	0.892%
VPN	\$ 1 788 417
TIR	3.17%
TIRM	1.93%
VAUE/CAUE	\$ 82 161
RBC	1.08

Fuente: Elaboración propia (2018).

7.8.1 Valor presente neto (VPN)

$$VPN = FC_o + \sum_{k=1}^n \frac{FC_k}{(1+TIO)^k} = \$1'788\ 417 \text{ (cifras en miles de millones)}$$

Dado que el resultado es positivo, indica aceptación para el proyecto.

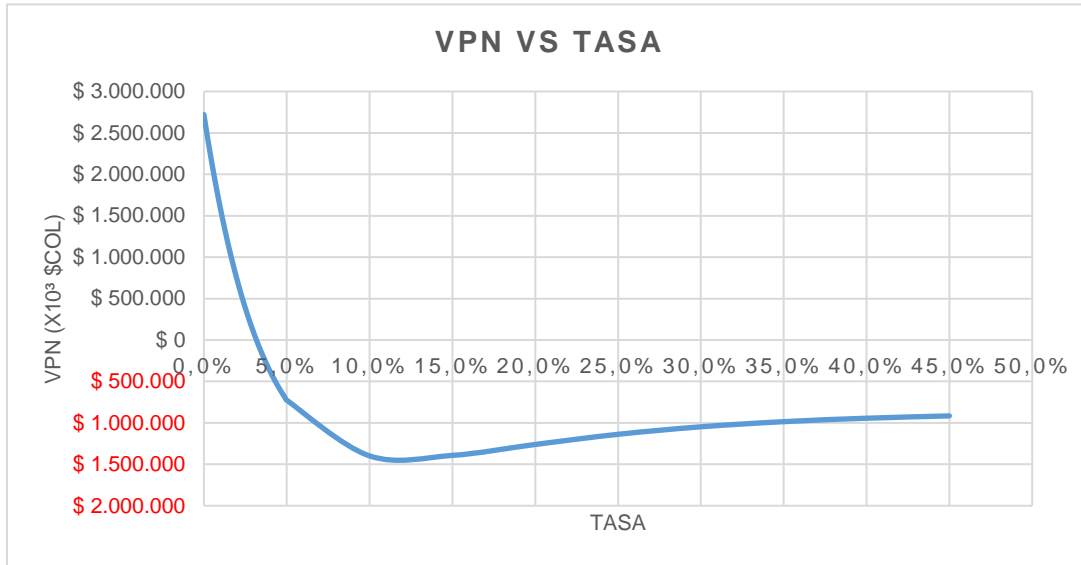
7.8.2 Tasa interna de retorno (TIR)

El cálculo inicial de la TIR es de 3,17% utilizando el software Excel. Sin embargo, debido a que el flujo de caja libre es no convencional, se debe tener cuidado con su elección.

En la figura 21 se examina el comportamiento de la variación del VPN con la tasa de retorno y se puede observar que la curva solo tiene una raíz posible entre 0,0% y 5,0%; por la escala se puede afirmar que es cercana al 3,0%.

Por lo tanto, se confía en el resultado previo y la TIR determinista es de 3,17%. Debido a que es mayor que la tasa de descuento, $T_D = WACC = 0,796\%$ efectivo mensual, se puede aceptar el proyecto.

Figura 21. VPN vs tasa análisis TIR



Fuente: Elaboración propia (2018).

7.8.3 Tasa interna de retorno modificada (TIRM o TVR)

Tiene en cuenta la tasa de financiamiento $T_F = 1,124\%$ (la cual es igual a k_d) y la tasa de reinversión $T_R = 0,892\%$ (la cual es igual a k_e).

El valor hallado es $TIRM = 1,93\%$ efectivo mensual, la cual es una tasa más realista que la TIR y es apropiada para flujos de caja no convencionales. Dado que es mayor que la tasa de descuento $T_D = 0,796\%$, el proyecto es viable.

7.8.4 Valor/Costo anual uniforme equivalente (VAUE o CAUE)

$$VAUE = VPN \left[\frac{TIO(1+TIO)^n}{(1+TIO)^n - 1} \right] = \$82\ 161$$

Debido a que el resultado está ligado al VPN y es un valor positivo, se denomina VAUE o valor anual uniforme equivalente y se acepta el proyecto.

7.8.5 Relación beneficio costo (RBC)

$$RBC = \frac{VPN_{\text{ingresos}}}{VPN_{\text{egresos}}} = 1,08$$

Debido a que el valor es mayor que la unidad, indica aceptación del proyecto.

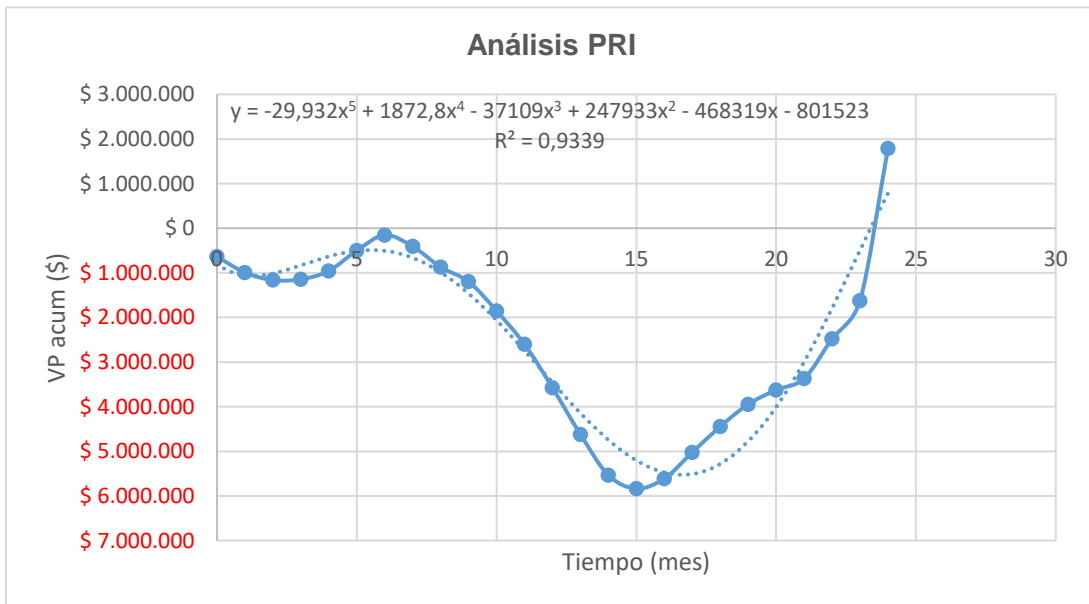
7.8.6 Período de recuperación de la inversión descontado (PRID)

El PRI descontado o PRID consiste en determinar el tiempo “t” tal que la inversión inicial sea igual a la sumatoria de flujos en valor presente según la ecuación:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t}$$

Según lo anterior, al encontrar la raíz o el valor que hace cero el flujo descontado, se determina el PRID. La gráfica del VPN acumulado vs el tiempo de evaluación del proyecto se muestra en la figura 22.

Figura 22. VPN vs tiempo análisis PRID determinístico



Fuente: Elaboración propia (2018).

La curva continua corresponde a la información del flujo de caja y la línea punteada corresponde a una línea de tendencia de regresión polinomial de quinto grado.

Intuitivamente, se puede observar que el período de recuperación de la inversión coincide con el último período del horizonte de evaluación. Lo anterior es lógico con el esquema de negocios propuesto de preventa sobre planos + fiducia + crédito constructor, ya que por lo general (y dependiendo del monto de la inversión inicial), una vez se hayan efectuado las subrogaciones y se liquide el fideicomiso, se devuelve el capital a los inversionistas y lo que quede es para el reparto de utilidades.

Observando la gráfica hay una sola intersección con el eje horizontal. Al resolver la ecuación polinómica de grado quinto, se encuentra que la raíz es 23,38 meses \approx 23 meses. El PRID es un valor indicativo y no es válido para rechazar el proyecto.

7.8.7 Recuperación de la inversión y valor agregado (IRVA)

El análisis IRVA se presenta en la tabla 29. Teniendo en cuenta que el PRID = 23, se tienen tres criterios de selección.

Criterio 1: si $IRVA > 0$ antes del PRID ($t < 23$), hay recuperación de la inversión, más no creación de valor.

Criterio 2: si $IRVA > 0$ después del PRID ($t > 23$), hay creación de valor.

Criterio 3: si $IRVA > inversión$ por recuperar al final del período, antes del PRID ($t < 23$), el desempeño del flujo de caja es mejor que lo esperado, existe recuperación de la inversión; en caso contrario, el desempeño del flujo de caja no cumple las expectativas esperadas, no se recupera la inversión.

Criterio 4: si $IRVA > inversión$ por recuperar al final del período, después del PRID ($t > 23$), el desempeño del flujo de caja es mejor que lo esperado, existe creación de valor; en caso contrario, el desempeño del flujo de caja no cumple las expectativas esperadas y se da destrucción de valor.

Según los resultados de la tabla 29, el único criterio que no cumple es el primero.

Tabla 29. Análisis IRVA determinístico

ANÁLISIS IRVA											
T	Inversión por recuperar al inicio	Costo del capital invertido	Amortización de la inversión y valor agregado (IRVA)	Flujo de Caja	Inversión por recuperar al final del período	Tasas de descuento	VPN acum En t	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4
0					\$ 638 212	0.796%	\$ 638 212				
1	\$ 638 212	\$ 5 083	\$ 361 270	\$ 356 187	\$ 999 482	0.796%	\$ 991 584	NO OK		OK	
2	\$ 999 482	\$ 7 960	\$ 180 053	\$ 172 093	\$ 1 179 535	0.796%	\$ 1 160 969	NO OK		OK	
3	\$ 1 179 535	\$ 9 394	\$ 7 883	\$ 17 277	\$ 1 171 652	0.796%	\$ 1 144 098	OK		OK	
4	\$ 1 171 652	\$ 9 331	\$ 184 307	\$ 193 638	\$ 987 345	0.796%	\$ 956 507	OK		OK	
5	\$ 987 345	\$ 7 864	\$ 467 199	\$ 475 062	\$ 520 146	0.796%	\$ 499 919	OK		OK	
6	\$ 520 146	\$ 4 143	\$ 358 271	\$ 362 414	\$ 161 876	0.796%	\$ 154 351	OK		OK	
7	\$ 161 876	\$ 1 289	\$ 268 527	\$ 267 238	\$ 430 403	0.796%	\$ 407 154	NO OK		OK	
8	\$ 430 403	\$ 3 428	\$ 499 348	\$ 495 920	\$ 929 751	0.796%	\$ 872 580	NO OK		OK	
9	\$ 929 751	\$ 7 405	\$ 355 825	\$ 348 420	\$ 1 285 576	0.796%	\$ 1 196 992	NO OK		OK	
10	\$ 1 285 576	\$ 10 239	\$ 719 114	\$ 708 875	\$ 2 004 690	0.796%	\$ 1 851 806	NO OK		OK	
11	\$ 2 004 690	\$ 15 966	\$ 833 350	\$ 817 384	\$ 2 838 039	0.796%	\$ 2 600 888	NO OK		OK	
12	\$ 2 838 039	\$ 22 603	\$ 1 093 094	\$ 1 070 491	\$ 3 931 133	0.796%	\$ 3 574 175	NO OK		OK	
13	\$ 3 931 133	\$ 31 309	\$ 1 189 338	\$ 1 158 029	\$ 5 120 471	0.796%	\$ 4 618 732	NO OK		OK	
14	\$ 5 120 471	\$ 40 781	\$ 1 063 314	\$ 1 022 533	\$ 6 183 785	0.796%	\$ 5 533 782	NO OK		OK	
15	\$ 6 183 785	\$ 49 250	\$ 386 343	\$ 337 093	\$ 6 570 128	0.796%	\$ 5 833 059	NO OK		OK	
16	\$ 6 570 128	\$ 52 327	\$ 200 498	\$ 252 824	\$ 6 369 630	0.796%	\$ 5 610 371	OK		OK	
17	\$ 6 369 630	\$ 50 730	\$ 620 264	\$ 670 994	\$ 5 749 366	0.796%	\$ 5 024 030	OK		OK	
18	\$ 5 749 366	\$ 45 790	\$ 622 281	\$ 668 071	\$ 5 127 085	0.796%	\$ 4 444 855	OK		OK	
19	\$ 5 127 085	\$ 40 834	\$ 539 117	\$ 579 951	\$ 4 587 968	0.796%	\$ 3 946 047	OK		OK	
20	\$ 4 587 968	\$ 36 540	\$ 338 501	\$ 375 041	\$ 4 249 467	0.796%	\$ 3 626 029	OK		OK	
21	\$ 4 249 467	\$ 33 844	\$ 269 967	\$ 303 811	\$ 3 979 500	0.796%	\$ 3 368 838	OK		OK	
22	\$ 3 979 500	\$ 31 694	\$ 1 029 328	\$ 1 061 022	\$ 2 950 172	0.796%	\$ 2 477 729	OK		OK	
23 (PRID)	\$ 2 950 172	\$ 23 496	\$ 1 003 036	\$ 1 026 532	\$ 1 947 136	0.796%	\$ 1 622 399		OK		OK
24	\$ 1 947 136	\$ 15 508	\$ 4 110 615	\$ 4 126 123	\$ 2 163 479	0.796%	\$ 1 788 417		OK		OK

Fuente: Elaboración propia (2018).

8 Modelo propuesto

Basados en los resultados obtenidos, se propone un modelo matemático y computacional que tenga en cuenta los riesgos asociados a los imprevistos en proyectos de inversión inmobiliario, con un enfoque probabilista que cuantifique las variables aleatoriamente durante el horizonte de evaluación del proyecto.

Como punto de partida, se requiere elaborar también el correspondiente modelo determinista, basado en la información suministrada por las personas indagadas en los proyectos bajo análisis.

El propósito es obtener los indicadores probabilistas de evaluación financiera (VPN, TIR, TIRM, VAUE/CAUE, RBC, PRIL e IRVA) (Gómez y Díez, 2015).

El modelo también permitirá obtener de manera probabilista el factor AIU (administración, imprevistos y utilidades) en proyectos de inversión inmobiliario, para compararlo con los valores deterministas y con la metodología propuesta por Rojas y Bohórquez (2010).

Para la elaboración del modelo se utilizará el método cuantitativo de Montecarlo a través del programa @Risk (Programa de Complemento para el Análisis y Simulación de Riesgos en Microsoft Excel) (PALISADE, 2018a).

Tomando como punto de partida el modelo determinista, se propone la realización del modelo probabilista o en condiciones de incertidumbre, mediante la simulación de las variables más importantes como funciones aleatorias de densidad de probabilidad.

En el modelo probabilista se tendrán, entonces, algunas variables determinísticas estáticas y constantes del modelo original indicado en el numeral 7 de este documento, y otras serán riesgos representados en variables aleatorias, con el fin de realizar la simulación de Montecarlo.

8.1 Riesgos modelados como variables aleatorias

De los riesgos identificados en las figuras 14 y 15 mediante el análisis PESTEL, los siguientes serán analizados mediante variables aleatorias, debido a que se puede encontrar una función de probabilidad que mejor se ajuste a una serie de datos históricos para representar el comportamiento de la variable; esto es conocido como bondad de ajuste (ver numeral 3.4.6 de este documento). Los principales riesgos son:

- Retrasos en el cronograma de la obra (compensables).
- Incremento de costos directos e indirectos
- Nula o baja velocidad de ventas

8.1.1 Atrasos compensables

Según Nagata, Manginelli, Lowe y Trauner (2018), hay varias clases de atrasos en proyectos de construcción: críticos, no críticos, excusables, no excusables, compensables, no compensables, concurrentes y no concurrentes. En este apartado se tratarán los atrasos compensables, ya que no se pretende simular un atraso que cambie el tiempo de entrega final o el horizonte de evaluación del proyecto, sino un atraso temporal que puede recuperarse en función de los recursos gestionados. En el numeral 8.2 de este documento se tratarán los atrasos no compensables que generan un riesgo mayor.

Debido a que las entidades financieras giran los recursos al proyecto en función del porcentaje de avance de obra ejecutado (Salamanca, 2015), se simulará el riesgo de atraso durante la fase de construcción que pueda ocasionar que el dinero no ingrese en la cantidad deseada o en el momento oportuno, para generar el capital de trabajo del proyecto.

El avance o progreso acumulativo de ejecución de obra para un proyecto de construcción se puede representar mediante una curva “S”. Generalmente los recursos son pequeños al principio, se incrementan gradualmente hasta el punto de inflexión y decrecen al final de la obra, describiendo la forma característica de la letra “S” (Chao, 2013).

Se han propuesto varios modelos matemáticos para representar una curva “S” de un proyecto: Murmis (1997), Chao (2013) y San Cristóbal (2017), entre otros.

En el presente trabajo se construirá una curva “S” probabilística a partir de la curva “S” determinística, propuesta por J.R San Cristóbal (2017).

Se utiliza la función sigmoide:

$$f(t) = \frac{1}{1+e^{-\alpha(t-T_0)}} \quad (18)$$

Donde:

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{1}{f_1}-1\right) - \ln\left(\frac{1}{f_2}-1\right)}{t_2-t_1} \quad (19)$$

$$T_0 = \frac{\ln\left(\frac{1}{f_1}-1\right)}{\alpha} + t_1 \quad (20)$$

Las parejas (t_1, f_1) y (t_2, f_2) son obtenidas a partir de registros históricos de proyectos precedentes, por ejemplo: en un determinado proyecto, en el período 2 se tiene el 25% ($t_1 = 2$; $f_1 = 25\%$); en el período 8 se tiene el 75% ($t_2 = 8$; $f_2 = 75\%$). Nótese que $f_1 + f_2 \approx 100\%$. Con estos valores se obtienen los parámetros α y T_0 .

El riesgo de un atraso en el cronograma de obra se simulará dando valores aleatorios a los parámetros α y T_0 , los cuales escalan y le dan pendiente a la curva “S” determinística, con base en la información histórica de los proyectos de la constructora o empresa promotora de proyectos inmobiliarios.

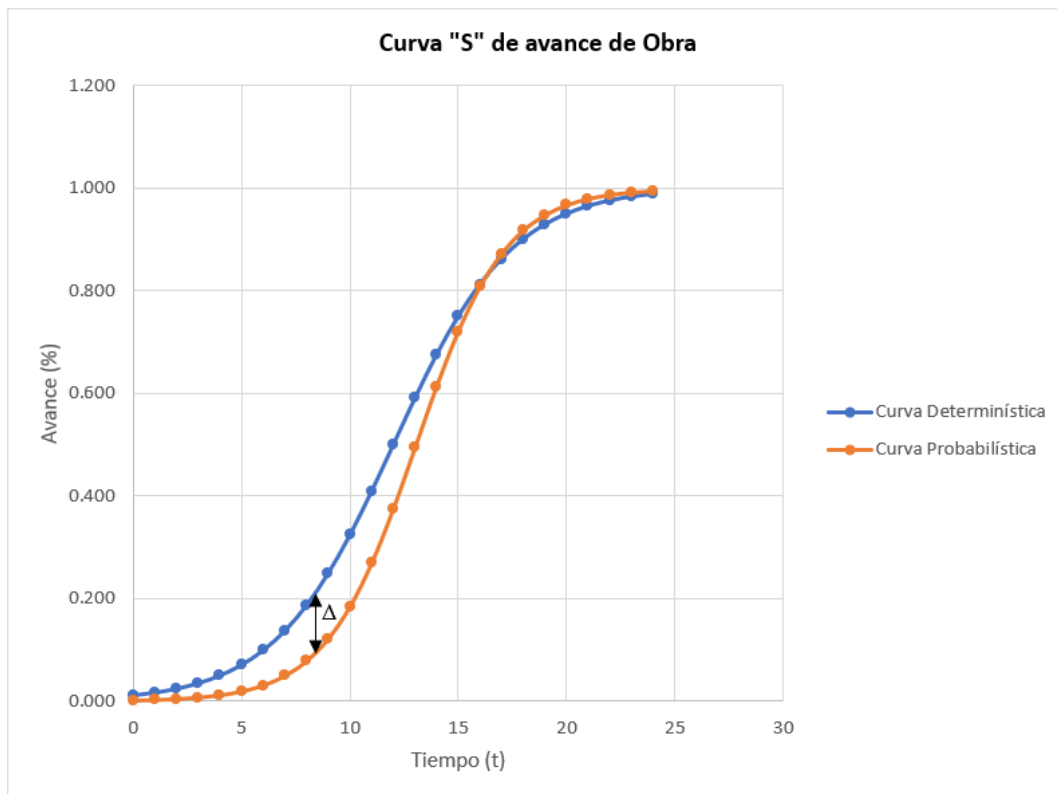
Los valores aleatorios se obtienen de la función densidad de probabilidad Pert, ingresando el porcentaje de atraso o adelanto: pesimista, moderado y optimista. Los parámetros de la función en el software de simulación son: *RiskPert(pesimista; moderado; optimista)* (PALISADE, 2016).

Con esto se pretende realizar una aproximación del valor ganado (EV por sus siglas en inglés) desde la evaluación financiera del proyecto.

El porcentaje de avance de obra en función del tiempo se introduce en el flujo de caja para poder calcular la distribución de los recursos financieros en los costos.

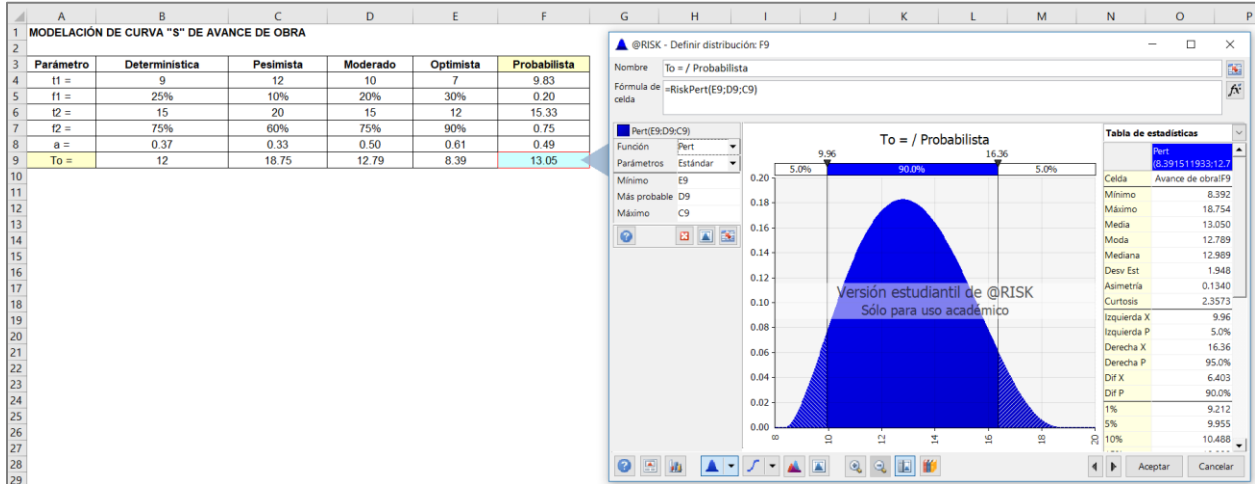
En la figura 23 se pueden apreciar las curvas "S" determinísticas y probabilísticas y en las figuras 24 y 25 se pueden apreciar las funciones densidad de probabilidad Pert usadas y calculadas en @Risk (PALISADE, 2018a). Tomando como línea base la curva determinista, nótese que entre la determinista y la probabilista hay una variación " Δ " indicando atraso o adelanto. Con el modelo propuesto, en algunos casos se presentará un riesgo positivo cuando hay un adelanto y en otros casos se presentará un riesgo negativo cuando hay atraso.

Figura 23. Curva "S" de avance determinístico vs probabilístico



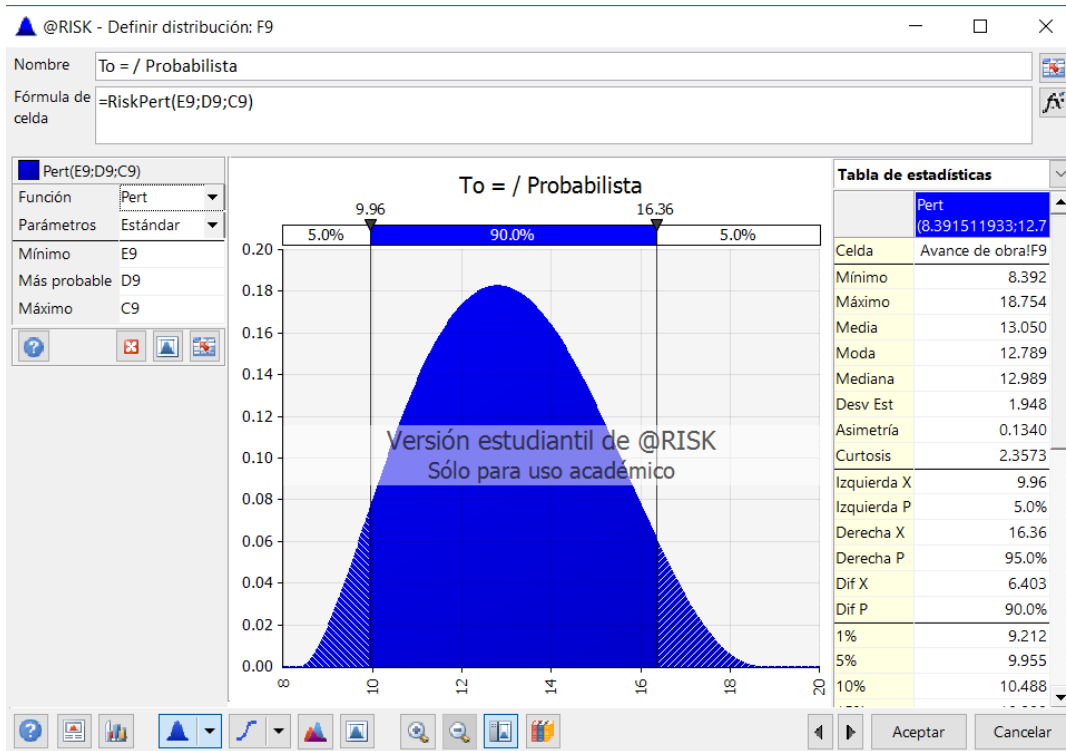
Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura 24. Utilización de la función de probabilidad Pert (RiskPert)



Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura 25. Función de probabilidad Pert (RiskPert) para el parámetro To



Fuente: Elaboración propia (2018).

En la siguiente tabla se ilustra con un ejemplo, el cálculo de los parámetros deterministas y probabilistas de la función sigmoide que representa la curva “S”:

Tabla 30. Parámetros de la función sigmoide

Parámetro	Determinística	Pesimista	Moderado	Optimista	Probabilista
t ₁ =	9	12	10	7	9.83
f ₁ =	25%	10%	20%	30%	20.0%
t ₂ =	15	20	15	12	15.33
f ₂ =	75%	60%	75%	90%	75.0%
α =	0.37	0.33	0.50	0.61	0.49
T ₀ =	12	18.75	12.79	8.39	13.05

Fuente: Elaboración propia (2018).

8.1.2 Incremento de costos

Hay muchos factores que pueden incidir en el incremento de los costos directos e indirectos, entre ellos se destacan los precios unitarios de los insumos o materia prima, la inflación, la variación de las tasas de interés, el transporte (precio de la gasolina), el precio del dólar para equipos y materiales importados, entre otros. Se propone analizar probabilísticamente las siguientes variables:

8.1.2.1 Precios unitarios de insumos

El incremento/decremento de los precios unitarios de los principales insumos o materias primas, puede ocasionar un riesgo negativo o positivo para el proyecto, respectivamente.

Téllez (2013), afirma que: “el incremento de costos es la diferencia entre el presupuesto en valor presente y el presupuesto en valor futuro” (p. 96). Por lo tanto, se puede cuantificar el riesgo si se conocen estas diferencias o variaciones en el tiempo.

Por su parte, Salamanca (2015) indica que los precios unitarios pueden ser reajustados para tener en cuenta los efectos de la inflación y otros fenómenos. Dicho reajuste se aplica mediante una fórmula que utiliza los índices de costos calculados por el DANE. La ecuación es:

Valor de la obra ejecutada (sin reajuste) = cantidad de obra x precio unitario (21)

Valor de la obra con reajuste = Valor obra ejecutada x ICC_i / ICC_o (22)

Donde:

ICC_o = índice de costos de construcción en el momento del inicio del contrato

ICC_i = índice de costos de construcción del momento del corte de obra de que se trate.
(Salamanca, 2015).

Se propone, por lo tanto, utilizar el índice de costos de la construcción de vivienda, ICCV, calculado por el DANE (2018d), como método de reajuste para tener en cuenta el incremento/decremento de los costos de la materia prima.

Según el DANE (2018a), el ICCV “es un instrumento estadístico que permite conocer el cambio porcentual promedio de los precios, en dos períodos de tiempo, de los principales insumos requeridos para la construcción de vivienda” (p.15).

El propósito es realizar una bondad de ajuste estadístico a este índice para determinar una distribución de probabilidad específica que mejor se acomode a los datos históricos, representando de esta manera la aleatoriedad de la variable.

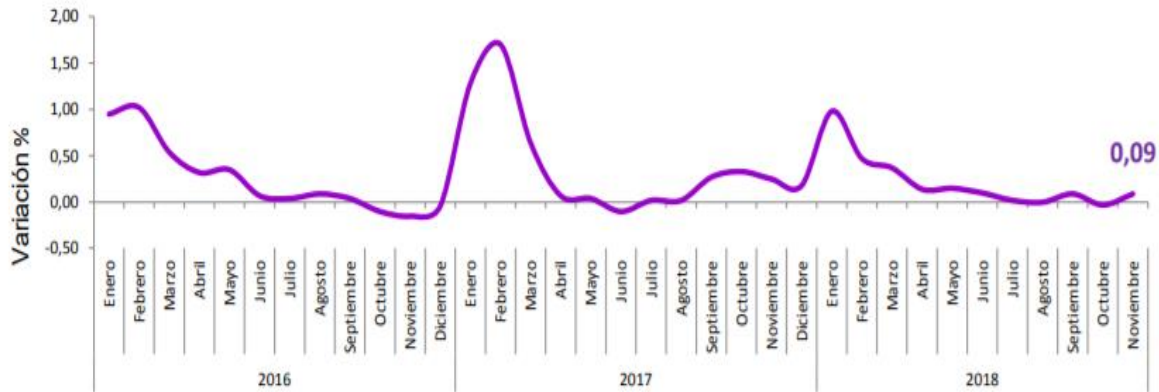
Se compara entonces el índice al inicio del proyecto, ICCV₀, con los distintos valores ICCV_i obtenidos a partir de la función de probabilidad en los distintos períodos del flujo de caja proyectado, para obtener el porcentaje de variación ICCV_i / ICCV₀.

El costo de un insumo (por ejemplo, el concreto) multiplicado por el porcentaje de variación probabilístico del índice, ICCV_i / ICCV₀, traerá como resultado el costo del insumo en riesgo.

El DANE calcula el índice ICCV según el tipo de vivienda (unifamiliar, multifamiliar), por grupos de costos (materiales, mano de obra y equipos) y por grupos e insumos. También clasifica el comportamiento del ICCV por ciudades y permite ver el consolidado a nivel nacional (DANE, 2018a).

En la figura 26 se muestra la variación mensual histórica del índice ICCV durante el período de enero de 2016 a noviembre de 2018, según el DANE (2018a).

Figura 26. Variación mensual histórica del ICCV general



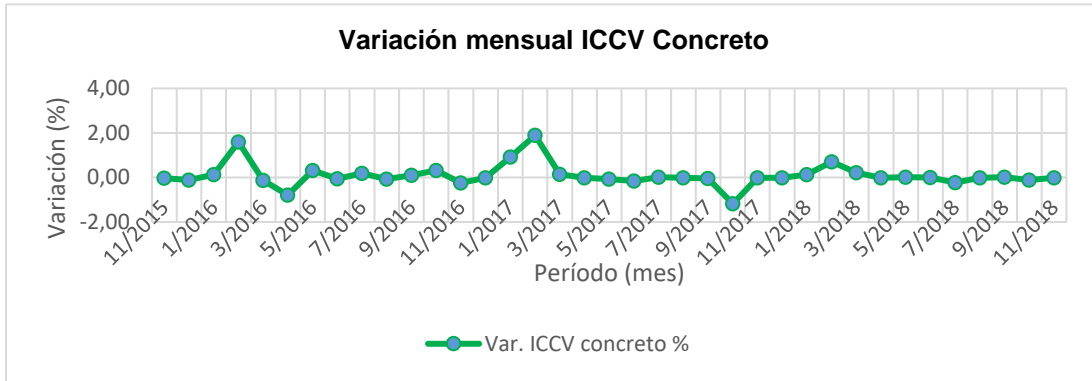
Fuente: Elaboración propia, basada en DANE (2018a).

En este trabajo se analizarán los insumos con mayor incidencia en los costos directos de un proyecto inmobiliario, como son el concreto, el acero, la mampostería y los enchapes de pisos (Téllez, 2013). De esta manera, se utilizarán los valores históricos del ICCV por grupos e insumos, donde se realizará el análisis de bondad de ajuste para los insumos del concreto, acero, la mampostería y enchapes.

- **Análisis del iccv del insumo concreto estructural:**

En la figura 27 se presenta la variación histórica del ICCV mensual para el período noviembre de 2015 a noviembre de 2018.

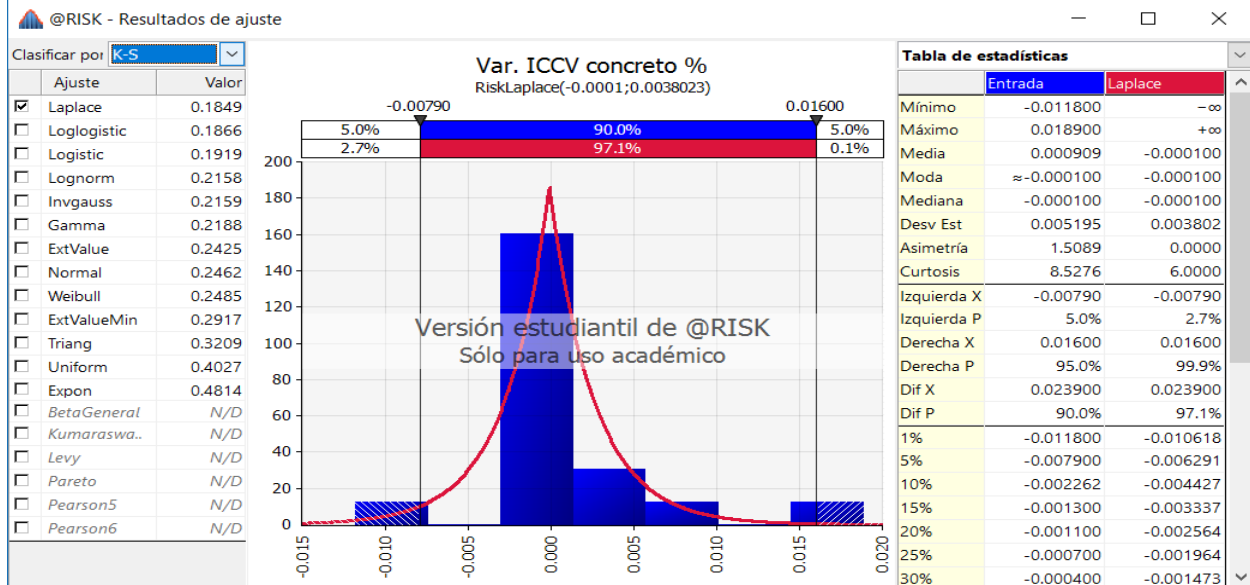
Figura 27. Variación histórica del ICCV para el insumo concreto



Fuente: Elaboración propia basada en DANE (2018d).

El análisis de bondad de ajuste de los datos anteriores da como resultado una función densidad de probabilidad de Laplace con media $\mu=-0,01\%$ y desviación estándar $\sigma=0,3802\%$. En la figura 28 se puede apreciar el ajuste de distribución realizado en @Risk (PALISADE, 2018a), utilizando el criterio de Kolmogorov-Smirnoff (KS).

Figura 28. Ajuste de distribución Laplace para el insumo concreto



Fuente: Elaboración propia (2018).

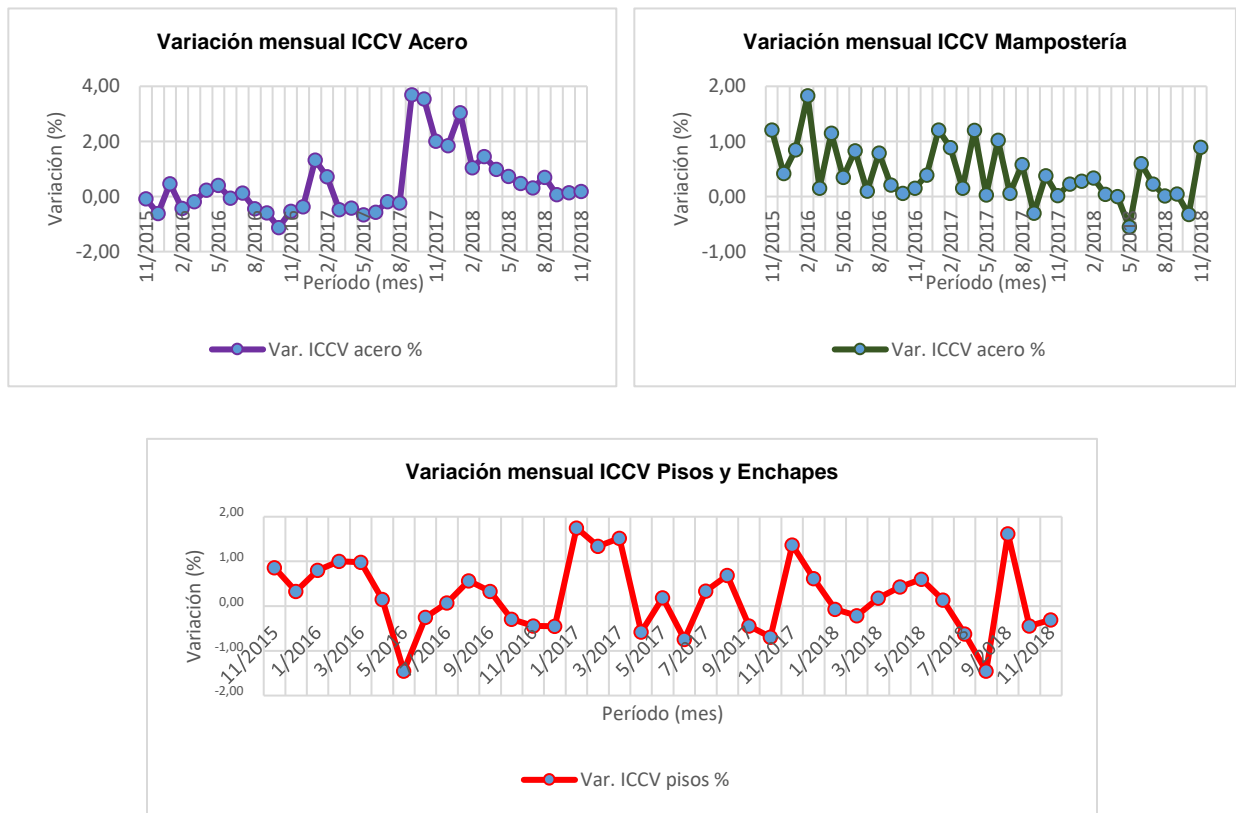
La función densidad de probabilidad Laplace generada se puede representar en notación de @Risk como: $\text{RiskLaplace}(\mu, \sigma)$

- **Análisis del ICCV de los insumos acero, mampostería y pisos/enchapes**

Realizando el mismo procedimiento para los otros insumos, en la figura 29 se puede apreciar el comportamiento de la variable ICCV respectiva, mostrando su variación mensual.

El análisis de bondad de ajuste da como resultado las funciones de densidad de probabilidad Loglogistic para el acero y la mampostería, y la distribución Weibull para los enchapes. En las figuras 30 a la 32 se aprecian las gráficas de bondad de ajuste respectivas, según @Risk (PALISADE, 2018a).

Figura 29. Variación histórica del ICCV para el acero, la mampostería y enchapes



Fuente: Elaboración propia basada en DANE (2018d).

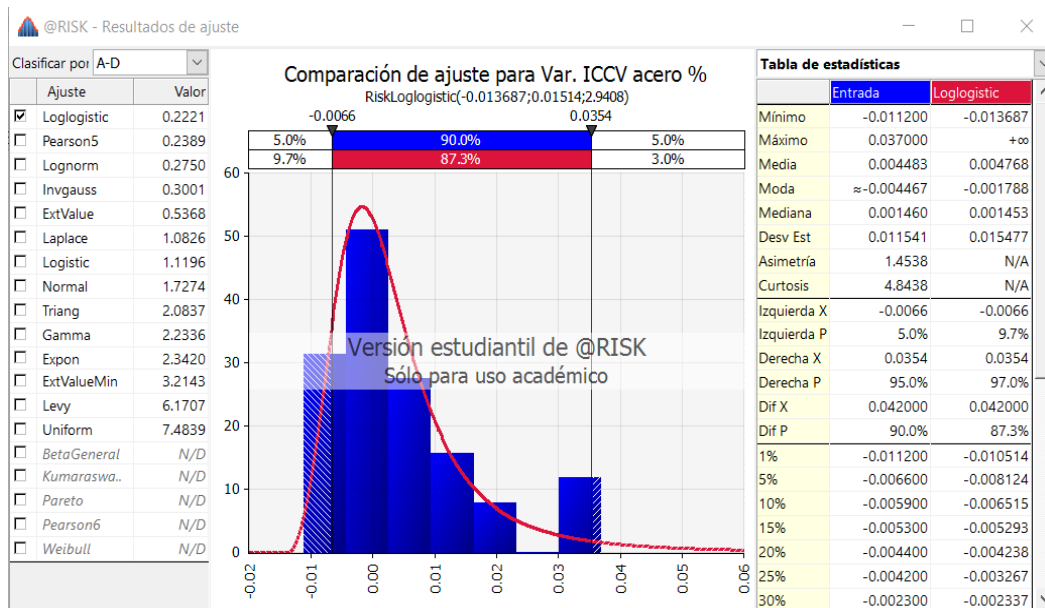
Para el insumo acero se utilizó el criterio de clasificación de Anderson-Darling (AD), dando como resultado una función Loglogistic con los siguientes parámetros:

De localización: $\gamma = -1,3687\%$; de forma: $\alpha = 1,514\%$; de escala: $\beta = 2,9408$

Media: $\mu = 0,4768\%$; desviación estándar: $\sigma = 1,5477\%$

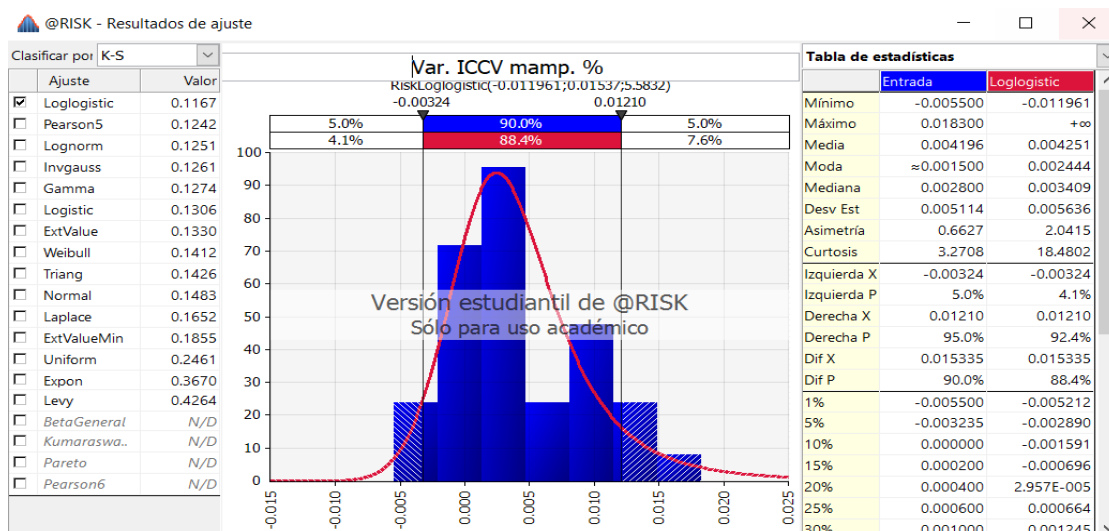
La función se representa en notación de @Risk como: RiskLoglogistic(γ, α, β)

Figura 30. Ajuste de distribución Loglogistic para el insumo acero



Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura 31. Ajuste de distribución Loglogistic para el insumo mampostería



Fuente: Elaboración propia (2018).

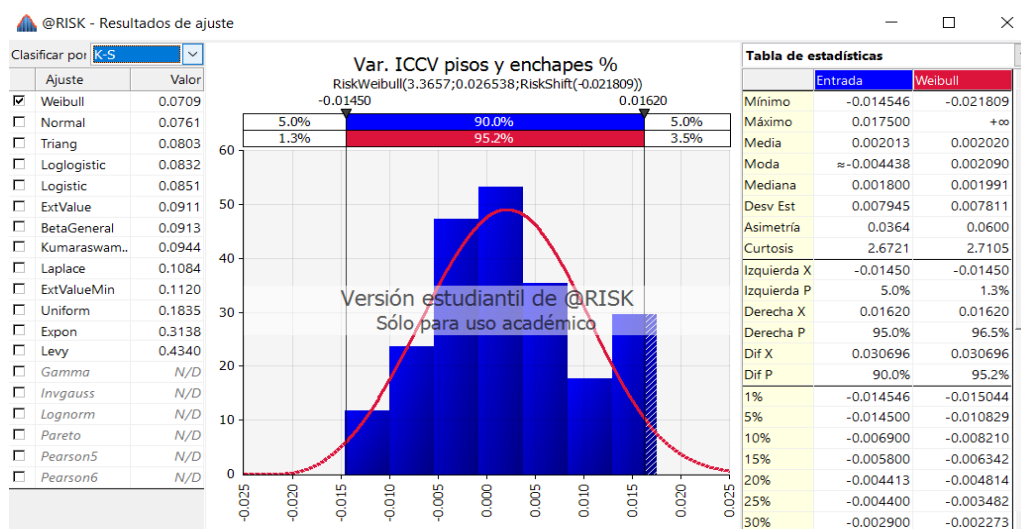
Para el insumo mampostería se utilizó el criterio de clasificación de Kolmogorov-Smirnoff (ks), dando como resultado una función Logistic con los siguientes parámetros:

De localización: $\gamma = -1,1961\%$; de forma: $\alpha = 1,537\%$; de escala: $\beta = 5,5832$

Media: $\mu = 0,4251\%$; desviación estándar: $\sigma = 0,5636\%$

La función se representa en notación de @Risk como: RiskLoglogistic(γ, α, β)

Figura 32. Ajuste de distribución Weibull para el insumo enchapes



Fuente: Elaboración propia (2018).

Para el insumo de pisos y enchapes se utilizó el criterio de clasificación de Kolmogorov-Smirnoff (ks), dando como resultado una función Weibull con los siguientes parámetros:

De forma: $\alpha = 3,3657$; de escala: $\beta = 0,026538$

Media: $\mu = 0,2020\%$; desviación estándar: $\sigma = 0,7811\%$

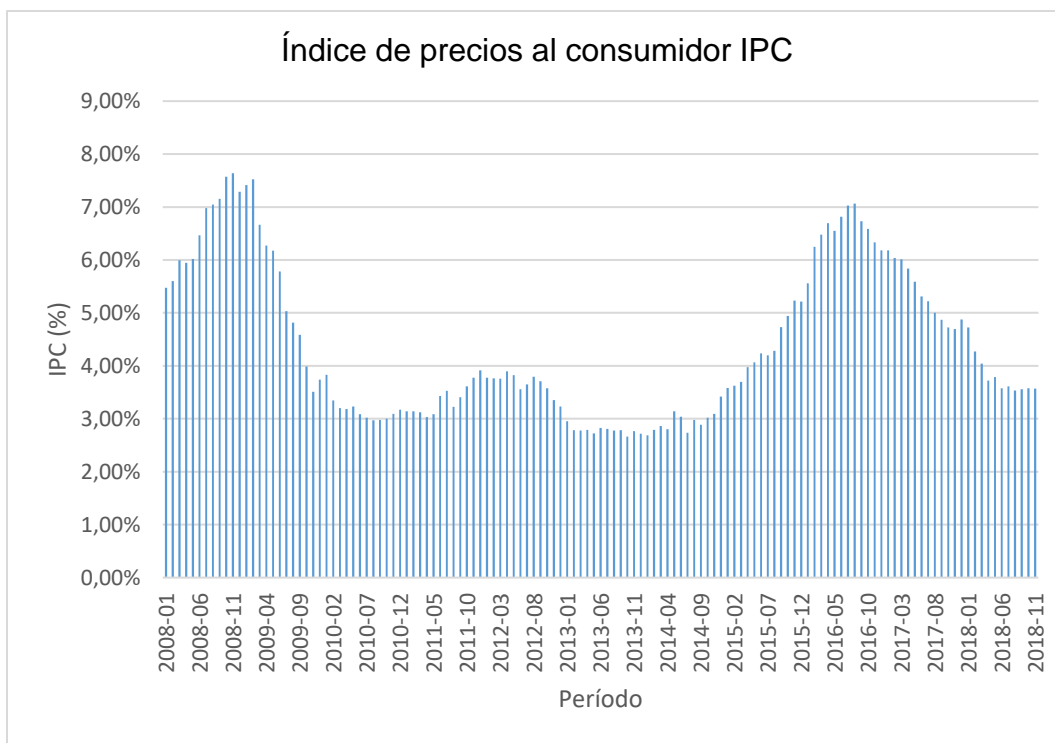
La función se representa en notación de @Risk como: RiskWeibull(α, β)

8.1.2.2 Inflación

En la figura 33 se muestra la variación del índice de precios al consumidor (IPC), según el Banco de la República (2018b), para la última década (enero 2008 a noviembre de 2018), el cual es un indicador de la inflación básica.

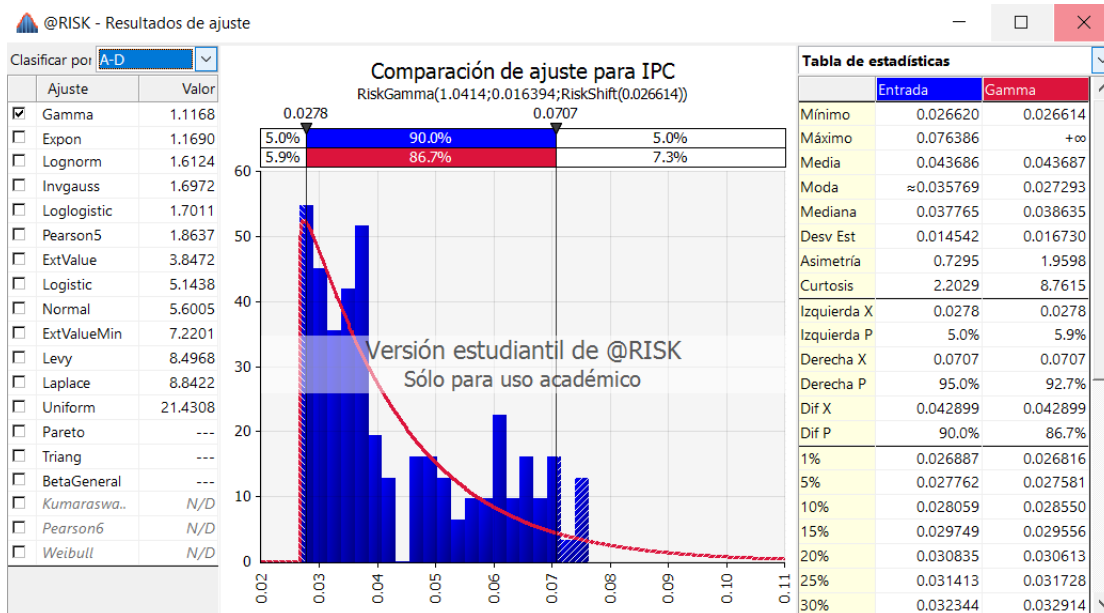
Como se puede apreciar, el indicador no ha superado la cifra del 8% en la última década. En la figura 34 se muestra la bondad de ajuste empleada. Utilizando el criterio de Anderson-Darling, la función de probabilidad que mejor se acomoda a los datos es la distribución Gamma, que se representa en @Risk como: RiskGamma(α, β) (PALISADE, 2018a).

Figura 33. Variación del IPC en Colombia



Fuente: Elaboración propia basada en el Banco de la República (2018).

Figura 34. Ajuste de distribución Gamma para el IPC



Fuente: Elaboración propia (2018).

Los parámetros de la función son los siguientes:

De forma: $\alpha = 1,0414$; de escala: $\beta = 0,01639$; Media: $\mu = 0,043687 \approx 4,37\%$; desviación estándar: $\sigma = 0,01673$

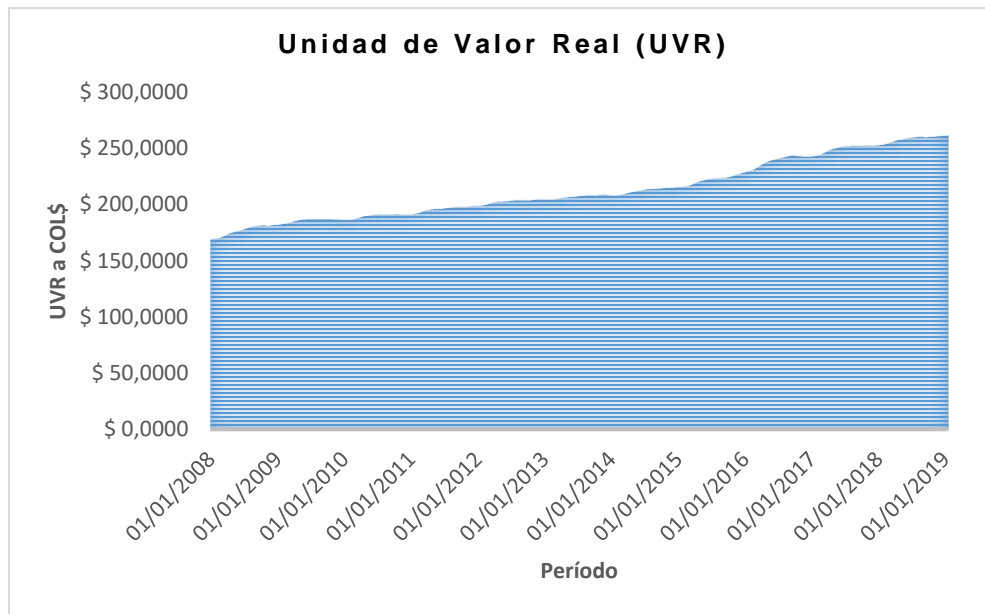
8.1.2.3 Unidad de Valor Real (UVR)

Según el Banco de la República, el UVR es “una unidad de cuenta usada para calcular el costo de los créditos de vivienda que le permite a las entidades financieras mantener el poder adquisitivo del dinero prestado” (B. República, 2018a, p. 1).

En Colombia, las entidades financieras otorgan a las compañías promotoras de proyectos un crédito de construcción, cuya proyección y amortización no se realizan en la unidad monetaria de circulación convencional (peso colombiano), sino en UVR.

Se realizará, por lo tanto, la bondad de ajuste al registro histórico de datos del porcentaje de variación del UVR, con el fin de modelar la corrección monetaria del crédito constructor como apalancamiento financiero para el proyecto.

Figura 35. Comportamiento del UVR en Colombia

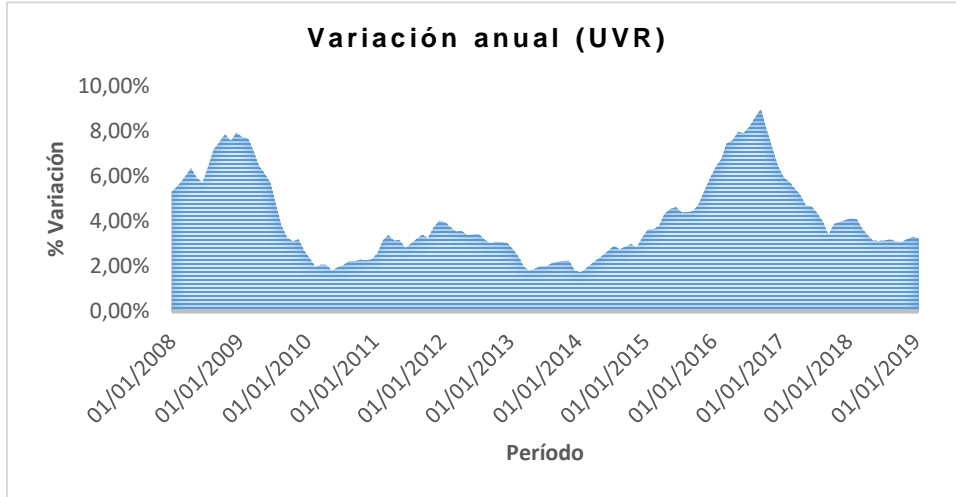


Fuente: Elaboración propia basada en el Banco de la República (2018a).

En la figura 35 se muestra el comportamiento del UVR en la última década (enero 2008 a noviembre de 2018), según el Banco de la República (2018a). A corte de noviembre de 2018, una unidad de UVR equivalía a \$260,3484 pesos colombianos y un porcentaje de variación anual del 3.26%.

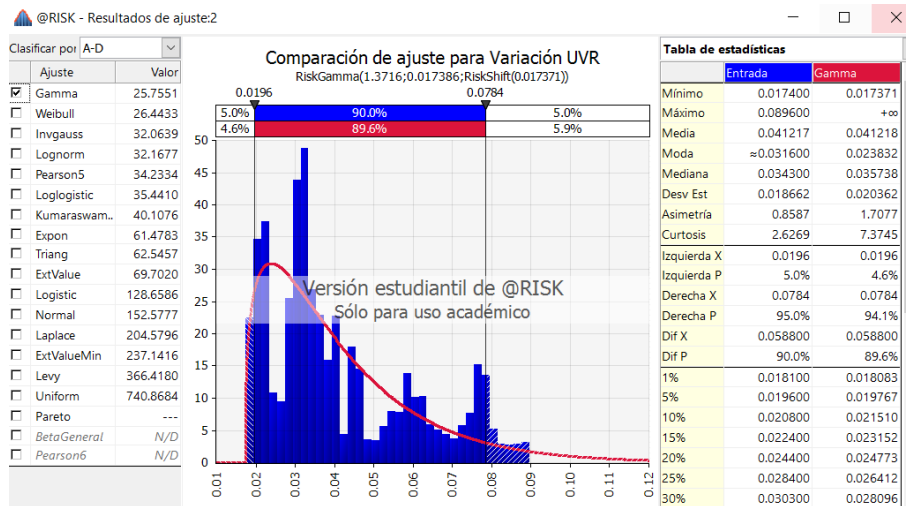
En la figura 36 se muestra el porcentaje de variación anual del UVR. A esta variable se le realizó el ajuste de distribución mostrado en la figura 37. Según el criterio Anderson-Darling, la distribución que mejor se ajusta al registro de datos es la función Gamma (PALISADE, 2018a).

Figura 36. % de variación anual del UVR en Colombia



Fuente: Elaboración propia basada en el Banco de la República (2018a).

Figura 37. Ajuste de distribución Gamma para la variación del UVR



Fuente: Elaboración propia (2018).

Los parámetros de la función son los siguientes:

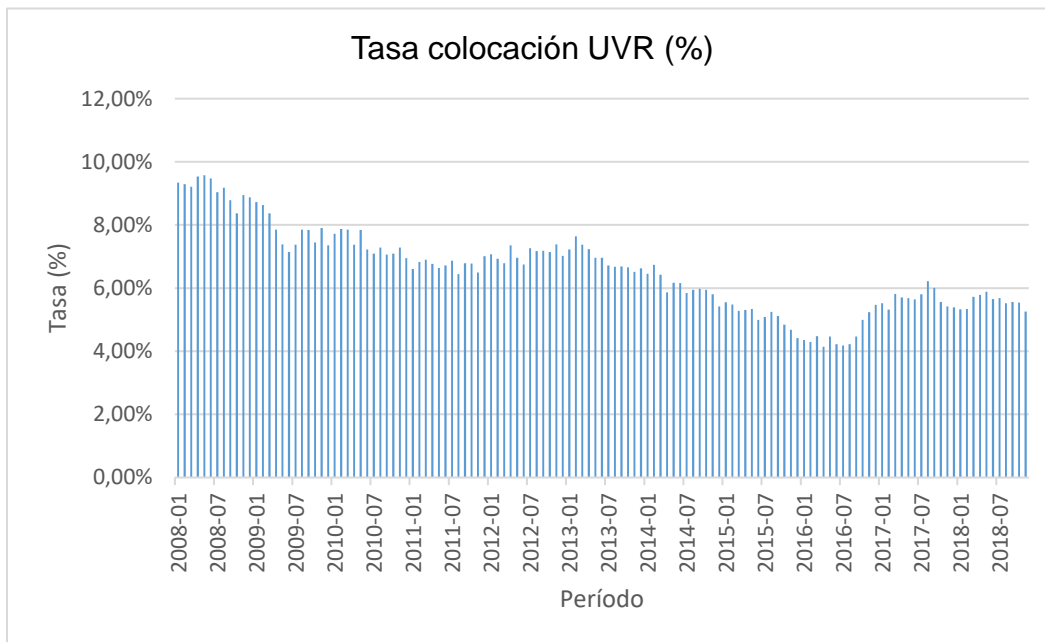
De forma: $\alpha = 1,3716$; de escala: $\beta = 0,017386$

Media: $\mu = 0,041218 \approx 4,13\%$; desviación estándar: $\sigma = 0,020362$

8.1.2.4 Tasas de colocación para crédito de construcción

Como se mencionó en el anterior numeral, la amortización del crédito constructor se realiza en UVR, correspondiéndole una tasa de financiación. Para modelar el comportamiento de dicha tasa, se utilizará el registro histórico de tasas de colocación para construcción de vivienda diferente de VIS¹⁷ emitido por el Banco de la República, con base en la información de la Superintendencia Financiera de Colombia para la última década (enero de 2008 – noviembre de 2018) (B. República, 2018c).

Figura 38. Tasa para créditos en UVR para construcción no VIS

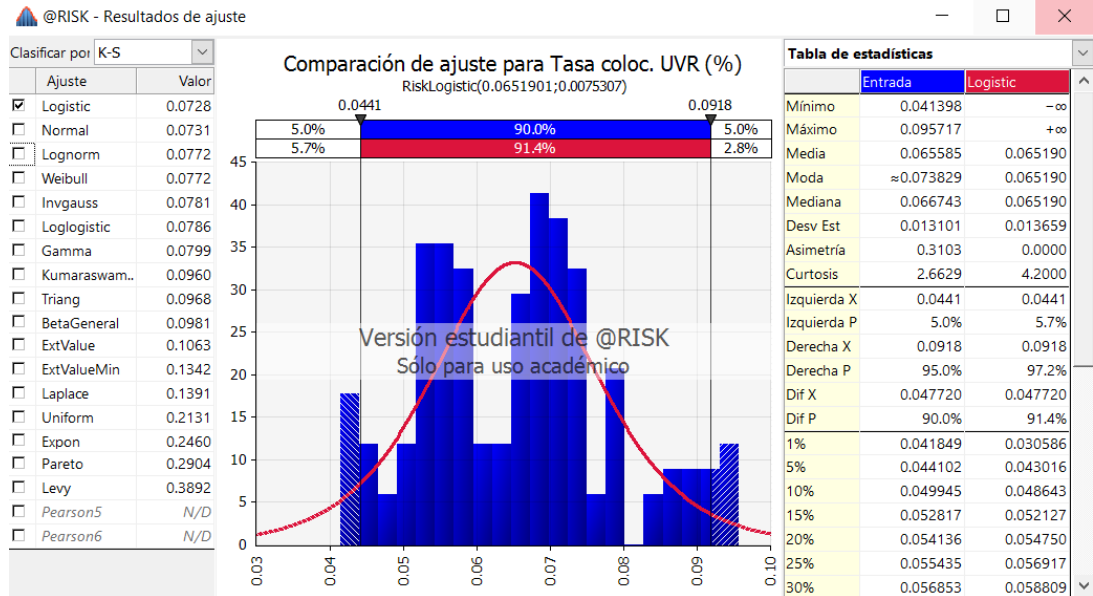


Fuente: Elaboración propia basada en el Banco de la República (2018c).

En la figura 38 se muestra la evolución histórica de la tasa de colocación para financiación de crédito constructor a través de la figura UVR. En la figura 39 se aprecia el ajuste a la función de distribución Logistic, según el criterio de Kolmogorov-Smirnoff. (PALISADE, 2018a).

¹⁷ VIS = Vivienda de interés social.

Figura 39. Ajuste de distribución Logistic para la tasa de colocación



Fuente: Elaboración propia (2018).

La sintaxis de la función en el software es RiskLogistic(α, β)

Los parámetros de la función son los siguientes:

De localización continuo: $\alpha = 0,06519$; de escalamiento continuo: $\beta = 0,0075307$

Media: $\mu = 0,06519 \approx 6,52\%$; desviación estándar: $\sigma = 0,013659$

8.1.3 Nula o baja velocidad de ventas

El riesgo de nula o baja velocidad de ventas en un proyecto inmobiliario puede obedecer a múltiples factores, tales como: condiciones del mercado (oferta y demanda) que puedan hacer incrementar el precio unitario de venta, inflación, tasas de interés altas para los créditos hipotecarios, especificaciones arquitectónicas (estética, concepto, espacios interiores reducidos o muy amplios para las necesidades del hogar, carencia de zonas verdes, exceso de zonas comunes que puedan encarecer la cuota de administración de copropiedad), especificaciones técnicas (ubicación desventajosa, estructura que no permite reformas, estructura mal diseñada, terreno de cimentación con

baja capacidad portante, carencia de ascensor, exceso de ruido, condiciones ambientales y atmosféricas, poniente del sol) o simplemente la capacidad de mercadeo, publicidad y ventas de la promotora o constructora no es la adecuada, entre otros aspectos. En esta investigación se proponen analizar las variables probabilísticas enumeradas a continuación, con relación a las ventas o fuentes de ingresos para el proyecto.

8.1.3.1 Precio unitario de ventas

Para cada uno de los 30 proyectos analizados se calcula el precio unitario de venta, teniendo como base el precio del apartamento de área más pequeña ofrecido al público, el cual se indagó en la revista *Propiedades* (N. Editores y Colombiano, 2018) y en la revista *Informe Inmobiliario* (CAMACOL y Lonja, 2018), de amplia circulación en la ciudad, con fecha de corte a noviembre de 2018.

En la tabla 31 se muestra el precio unitario calculado para cada proyecto, teniendo en cuenta los datos de la tabla 15. Los precios están divididos por mil para facilitar su lectura y su unidad de medida es COL\$/m².

La función que mejor se ajusta a los datos utilizando el software @Risk (PALISADE, 2018b), es la distribución normal, como se muestra en la figura 40.

El ajuste se realizó utilizando el criterio de Kolmogorv-Smirnoff. La sintaxis de la función es RiskNormal(μ, σ).

Los parámetros de la función son los siguientes:

Media: $\mu = 3723,85$ COL\$/m²

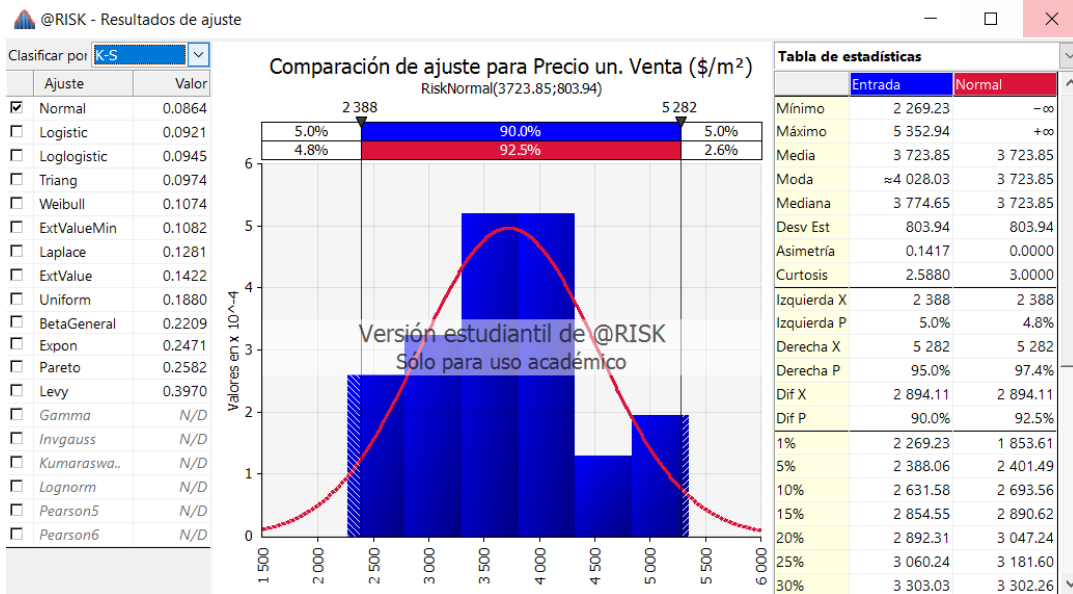
Desviación estándar: $\sigma = 803,94$ COL\$/m²

Tabla 31. Precio unitario por proyecto

ID	Proyecto	Precio un. Venta (\$/m²)
1	Pentagrama	2854.5
2	Mirador de Arboleda	3303.0
3	Escalares	3439.4
4	Remanso del Rodeo	2631.6
5	Turmalina	4183.3
6	Camino del Parque	3763.6
7	Coralina	5282.2
8	Fiorenza	3105.3
9	Monteparaíso	3981.5
10	Perlato	4277.6
11	Luna del Mar	2388.1
12	Faro Verde	3658.5
13	Olivari	5352.9
14	Luna del Campo	2269.2
15	Alcazar del Parque	4598.6
16	Turcal de la 80	4284.2
17	El Rosal	3774.6
18	Jazz Apartamentos	5025.6
19	Cuarzo	3779.4
20	Onix	4073.6
21	Reserva Serrat	3806.5
22	Orange	2761.2
23	Nuevo Guayacanes	3060.2
24	Marsella	2911.8
25	Infinito	3604.5
26	Arabella	3900.0
27	La Plaza	4323.1
28	Sky Park	4400.0
29	Al Parque	4029.0
30	Paseo del Parque	2892.3

Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura 40. Ajuste de distribución Normal para el precio unitario de venta



Fuente: Elaboración propia (2018).

8.1.3.2 Porcentaje de cuota inicial

En el modelo determinista el porcentaje de cuota inicial que debe aportar el cliente con la finalidad de reunir los ingresos mínimos, para que el banco le desembolse el crédito hipotecario, se asume constante en un 30%. En un escenario real, el cliente puede aportar una cifra superior o incluso pagar de contado y no solicitar el crédito, si cuenta con los recursos necesarios.

Teniendo en cuenta la información aportada por la constructora objeto de estudio, en la tabla 32 se tienen datos sobre el comportamiento de las cuotas iniciales en un proyecto anterior y de características similares. Se observa que, en la mayoría de los casos, los clientes aportan efectivamente el 30% de cuota inicial, sin embargo, existen otras tendencias de pago. Se halla entonces la probabilidad de ocurrencia basada en la frecuencia relativa.

La aleatoriedad de la variable se realiza a través de la función RiskGeneral con sintaxis RiskGeneral(min_x; max_x; [x]; [p]) en el software @Risk (PALISADE, 2018a); donde min_x es

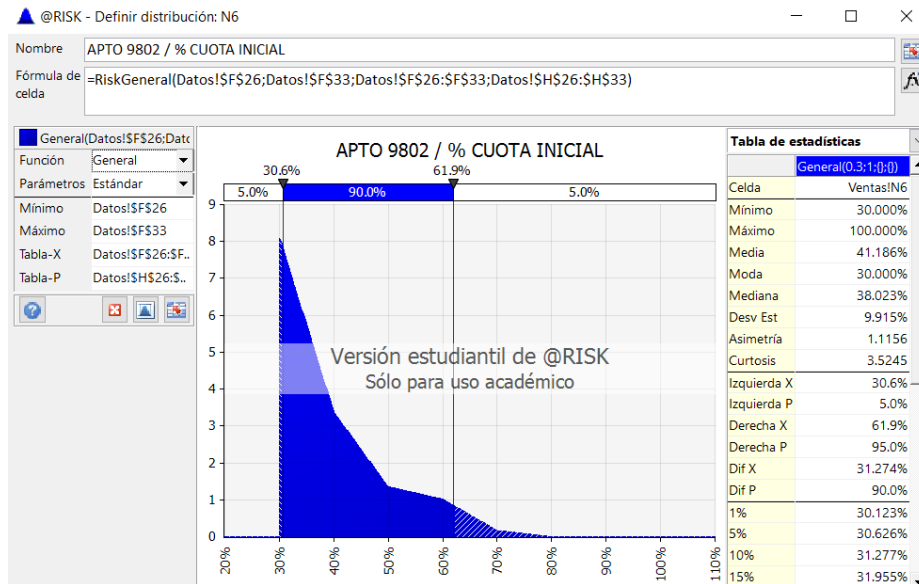
el valor mínimo de la variable a analizar, max_x corresponde al valor máximo, $[x]$ es el vector donde se almacena la variable en estudio y $[p]$ es el vector de probabilidades de ocurrencia asociadas.

Tabla 32. Comportamiento del porcentaje de cuota inicial

Porcentaje cuota inicial		
Porcentaje	Frecuencia	Probabilidad
30%	61	73.49%
40%	10	12.05%
50%	7	8.43%
60%	4	4.82%
70%	1	1.20%
80%	0	0.00%
90%	0	0.00%
100%	0	0.00%
Total	83	1.000

Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura 41. Función RiskGeneral para modelar el porcentaje de cuota inicial



Fuente: Elaboración propia (2018).

En la figura 41 se muestra la gráfica de la función, donde se aprecia que es más probable que el cliente pague una cuota inicial entre el 30% y el 40%, donde se encuentra el pico de la función.

8.1.3.3 Velocidad de ventas

En la tabla 33 se muestra el comportamiento del ritmo de ventas para un proyecto anterior de características similares. Se observa el número de unidades vendidas en el período (en meses) y el porcentaje vendido. El ritmo de ventas depende de la capacidad de ventas de la compañía, de la promoción y publicidad ejercida, y del comportamiento del mercado sujeto a la ley de la oferta y la demanda.

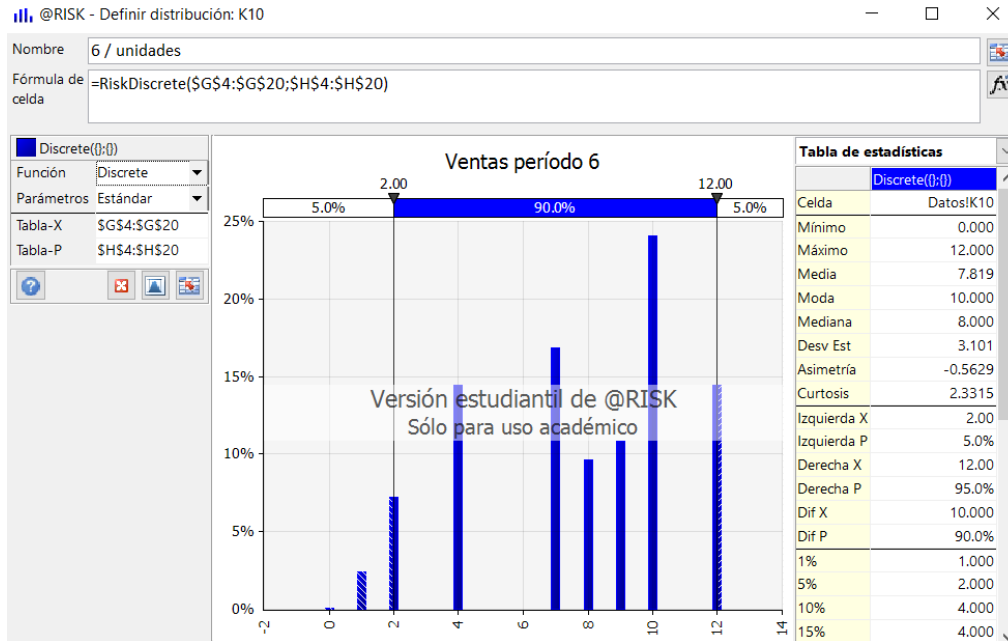
Tabla 33. Ritmo de ventas

Velocidad de ventas determinístico		
Período	unidades	% ventas
0	0	0.000
1	2	0.024
2	4	0.048
3	4	0.048
4	7	0.084
5	8	0.096
6	9	0.108
7	10	0.120
8	12	0.145
9	10	0.120
10	7	0.084
11	4	0.048
12	2	0.024
13	2	0.024
14	1	0.012
15	1	0.012
16	0	0.000
Total	83	1.000

Fuente: Elaboración propia (2018).

La velocidad o ritmo de ventas es modelado mediante la función RiskDiscrete, con sintaxis RiskDiscret([x]; [p]) en el software @Risk (PALISADE, 2018a).

Figura 42. Función RiskDiscrete para modelar el ritmo de ventas



Fuente: Elaboración propia (2018).

Se propone utilizar la función “Discreta”, debido a que los eventos se consideran independientes. En la figura 42 se muestra el comportamiento no continuo de la variable.

8.2 Riesgos modelados con la matriz de probabilidad - impacto

De los riesgos identificados con la metodología PESTEL, que se muestran en las figuras 14 y 15, los siguientes serán analizados mediante el método de la matriz de probabilidad - impacto, tanto cualitativa como cuantitativamente:

- Rentabilidad por debajo de lo esperado
- Incumplimiento a clientes
- Retrasos no compensables en el cronograma
- Afectación de la relación con los inversionistas
- Incumplimiento a proveedores
- Pérdida de valor o quiebra
- Pago de multas

- Aumento de la ventaja competitiva
- Afectación al portafolio de proyectos
- Impago de la deuda
- Vicios ocultos en el suelo de cimentación
- Eventos de fuerza mayor
- Fallas en estudios y diseños técnicos
- Subestimación de cantidades de obra

8.2.1 Escalas de probabilidad e impacto

Para la definición de la matriz de probabilidad-impacto de los riesgos, es necesario primero definir las escalas u órdenes de magnitud de la probabilidad de ocurrencia y del impacto en los objetivos estratégicos. Dichas escalas son una medida del “apetito” o propensión al riesgo de los interesados. Esta investigación se apoyará en la metodología PMBOK (PMI, 2017), proponiendo las escalas de riesgo, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 34. Definiciones de probabilidad e impacto

Escala	Probabilidad	+/- Impacto en los Objetivos del Proyecto		
		Tiempo	Costo	Calidad
Muy Alto	>70%	>6 meses	>35% C.D.	Impacto muy significativo para la funcionalidad general
Alto	51-70%	4-6 meses	25% -35% C.D.	Impacto significativo para la funcionalidad general
Medio	31-50%	1-3 meses	15% -25% C.D.	Algo de impacto para las áreas funcionales clave
Bajo	11-30%	2 semanas-1 mes	10% -15% C.D.	Impacto menor para la funcionalidad general
Muy Bajo	1-10%	1 semana	5% - 10% C.D.	Impacto menor para las funciones secundarias
Nulo	<1%	Ningún cambio	<5,0% C.D.	Ningún cambio en la funcionalidad

Fuente: Elaboración propia basada en PMBOK, (2017).

En la tabla 34 se aprecia la escala de probabilidades y la descripción cualitativa del impacto. El límite superior del tiempo se fijó en 6 meses, el cual es aproximadamente el

30% de la duración promedio de un proyecto inmobiliario, que según Téllez (2013), es de 18 meses.¹⁸

La escala del costo de los riesgos se estimó como un porcentaje de los costos directos totales (C.D.), debido a que la heterogeneidad de los proyectos inmobiliarios no permite fijar un valor único. El límite inferior (escala “Nulo” en la tabla 34) se fijó como el 5% de los costos directos totales, el cual es un valor de referencia determinístico para los imprevistos o costos de contingencia, según Rojas y Bohórquez (2010).

Para fijar el límite superior se consideró un evento extremo como los costos de tener que volver a construir por lo menos la obra gris (los cimientos, la estructura y la mampostería), debido a fallas como las del edificio Space en la ciudad de Medellín (Loaiza, 2015).

Según lo reportado en la tabla 20, el valor de los cimientos, más la estructura, la mampostería y el porcentaje de mano de obra del proyecto, representa cerca del 35% del costo directo. Este valor se aproxima a los valores de referencia reportados en la literatura (Téllez, 2013).

Por consiguiente, el impacto de los riesgos valorado económicamente es un valor que se propone variar entre el 5% y el 35% de los costos directos.

En la tabla 35 se muestra la matriz de probabilidad - impacto generalizada, con amenazas y oportunidades, impactos negativos y positivos, según el PMBOK (PMI, 2017). En la tabla 36 se muestra solo el lado izquierdo, que corresponde a las escalas de amenazas o impactos negativos, con los cuales se desarrolló el presente trabajo.

En esta matriz, tanto la probabilidad como el impacto son números que varían entre cero y uno, dado que son valores subjetivos (basado en registros históricos de proyectos anteriores o en la experiencia del panel de expertos); son, por lo tanto, variables cualitativas y adimensionales.

¹⁸ La duración típica y más probable está entre 12 y 24 meses con media de 18 meses. Puede ser diferente según la magnitud del proyecto.

Tabla 35. Matriz de probabilidad - impacto generalizada

		Amenazas					Oportunidades							
Probabilidad	Muy Alta	0.9	0.05	0.09	0.18	0.36	0.72	0.72	0.36	0.18	0.09	0.05	0.9	Muy Alta
	Alta	0.7	0.04	0.07	0.14	0.28	0.56	0.56	0.28	0.14	0.07	0.04	0.7	Alta
	Media	0.5	0.03	0.05	0.10	0.20	0.40	0.40	0.20	0.10	0.05	0.03	0.5	Media
	Baja	0.3	0.02	0.03	0.06	0.12	0.24	0.24	0.12	0.06	0.03	0.02	0.3	Baja
	Muy Baja	0.1	0.01	0.01	0.02	0.04	0.08	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01	0.1	Muy Baja
		0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05			
		Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Moderado	Bajo	Muy bajo			
Impacto Negativo						Impacto Positivo								

Fuente: Elaboración propia basada en PMBOK (2017).

Tabla 36. Matriz de probabilidad - impacto negativo

		Amenazas					
Probabilidad	Muy Alta	0.9	0.05	0.09	0.18	0.36	0.72
	Alta	0.7	0.04	0.07	0.14	0.28	0.56
	Media	0.5	0.03	0.05	0.10	0.20	0.40
	Baja	0.3	0.02	0.03	0.06	0.12	0.24
	Muy Baja	0.1	0.01	0.01	0.02	0.04	0.08
		0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	
		Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto	
Impacto Negativo							

Fuente: Elaboración propia basada en PMBOK (2017).

Tabla 37. Cuantificación monetaria del impacto

Impacto cualitativo	Valor económico o Impacto Cuantitativo
$I \geq 0,80$	$V_e \geq 35\% \text{ C.D.}$
$0,60 \leq I < 0,80$	$25\% \text{ C.D.} \leq V_e < 35\%$
$0,40 \leq I < 0,60$	$15\% \text{ C.D.} \leq V_e < 25\% \text{ C.D.}$
$0,20 \leq I < 0,40$	$10\% \text{ C.D.} \leq V_e < 15\% \text{ C.D.}$
$0,10 \leq I < 0,20$	$5\% \text{ C.D.} \leq V_e < 10\% \text{ C.D.}$
$I < 0,10$	$V_e < 5,0\% \text{ C.D.}$

Fuente: Elaboración propia basada en PMBOK (2017).

Es conveniente asociar el impacto cualitativo con el impacto cuantitativo en unidades monetarias, con la finalidad de representar el valor económico del riesgo (riesgo = probabilidad x impacto) en el flujo de caja libre del proyecto. En la tabla 37 se cuantifica

el impacto en unidades monetarias, donde “I” es el impacto evaluado cualitativamente entre cero y uno; y “V_e” es el valor económico correspondiente asociado al riesgo, como porcentaje de los costos directos “C.D”, según la escala determinada en la tabla 34.

8.2.2 Estimación de probabilidades de ocurrencia

Con el fin de estimar las probabilidades de ocurrencia de los eventos en un proyecto inmobiliario, se recurrirá a la herramienta y técnica del método Delphi o “juicio de expertos” definida por el PMBOK (PMI, 2017) y al método de las ponderaciones (Gómez et al., 2015) y (Vélez, 2003), para llevar a cabo el análisis cuantitativo de riesgos; por lo tanto, se emitirán tres conceptos a partir de un panel de expertos. Se le asignarán ponderaciones o pesos porcentuales a cada concepto emitido por el experto, basado en la experiencia, grado académico y cargo desempeñado dentro de la compañía.

El concepto 1 es emitido por el grupo de profesionales entrevistados en los 30 proyectos visitados con relación a sus respuestas sobre los riesgos más importantes en los proyectos inmobiliarios.

Los conceptos 2 y 3 fueron dados por dos expertos seleccionados de los proyectos visitados de compañías diferentes. El concepto 2 lo emitió el experto “A”, quien es un profesional en ingeniería civil con especialización en gerencia de proyectos y tiene como cargo el de gerente técnico de proyectos inmobiliarios.

El concepto 3 lo emitió el experto “B”, quien es un profesional en arquitectura con especialización en gerencia de proyectos y tiene como cargo director de obra.

Como se mencionó anteriormente, las ponderaciones o pesos porcentuales asignadas a los tres conceptos serán de la siguiente manera: el concepto 1 tendrá un peso del 50%, el concepto 2 tendrá un peso del 30% y el concepto 3 tendrá un peso del 20%. De esta manera, el valor final de la variable, es decir, las probabilidades de ocurrencia de un evento específico para un proyecto inmobiliario de duración típica, será el valor promedio ponderado entre los tres conceptos (Gómez et al., 2015).

- **Concepto 1:**

En la tabla 38 se muestran los principales eventos analizados y su frecuencia obtenida de los resultados de las encuestas hechas a los profesionales de los 30 proyectos visitados (véase, además, las figuras 14 y 15). La frecuencia relativa se asociará con una probabilidad de ocurrencia. Dicha probabilidad está basada en las escalas definidas en la tabla 34. La probabilidad de ocurrencia varía entonces de 0,44% (muy baja) a 10,96% (baja).

Tabla 38. Principales eventos en proyectos inmobiliarios y frecuencia relativa

ID	Evento	Frecuencia	Frecuencia relativa
1	Rentabilidad por debajo de lo esperado	25	10.96%
2	Incumplimiento a clientes	21	9.21%
3	Retrasos en el cronograma (no compensables)	20	8.77%
4	Vicios ocultos suelo cimentación	16	7.02%
5	Afectación relación con inversionistas	13	5.70%
6	Incumplimiento a proveedores	12	5.26%
7	Pérdida de valor o quiebra	12	5.26%
8	Subestimación de cantidades de obra	12	5.26%
9	Pago de multas	11	4.82%
10	Eventos de fuerza mayor (sismo, inundaciones)	11	4.82%
11	Fallas en estudios y diseños técnicos	10	4.39%
12	Carencias/retrasos suministro materiales y equipos	8	3.51%
13	Seguridad ocupacional y Accidentes laborales	8	3.51%
14	Cambios en el alcance o especificaciones	7	3.07%
15	Aumento de la ventaja de la competencia	6	2.63%
16	Robos, vandalismo	6	2.63%
17	Cambios en legislación o normativas	5	2.19%
18	Fallos en contratación y subcontratación	5	2.19%
19	Afectación del portafolio de proyectos	4	1.75%
20	Demandas y aspectos legales	4	1.75%
21	Otros (incendio)	4	1.75%
22	Impago de la deuda	3	1.32%
23	Fallas en equipos o maquinaria	2	0.88%
24	Retiro y suspensión de licencias	2	0.88%
25	Baja calidad de insumos	1	0.44%
Totales		228	100%

Fuente: Elaboración propia (2018).

- **Concepto 2:**

Al experto “A” se le preguntó por el tiempo mínimo, medio y máximo en que podría suceder cada uno de los eventos de la tabla 38, en los proyectos inmobiliarios de su organización. Se calcula el tiempo probable de ocurrencia con una función de probabilidad triangular que tiene como argumentos RiskTriang(min,med,max) en el software @Risk (PALISADE, 2018a).

La probabilidad de ocurrencia del evento es el inverso de este tiempo probable:

$$p = 1 / \text{RiskTriang}(\text{min}, \text{med}, \text{max}) \quad (23)$$

La anterior ecuación es consistente con la definición de período de retorno utilizado en muchas aplicaciones de ingeniería, el cual es el intervalo o período de tiempo entre la ocurrencia de un evento igual o mayor a una magnitud dada. El período de retorno es por lo tanto, el inverso de la probabilidad de excedencia (Sáez, 2009).

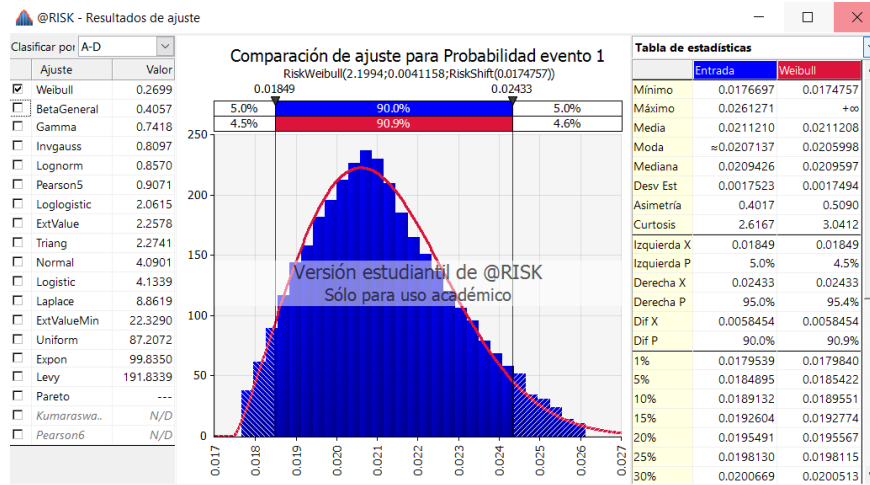
En la tabla 39, se muestran las respuestas del experto “A” identificadas con los valores porcentuales de las columnas “ t_{min} ”, “ t_{med} ” y “ t_{max} ”.

La columna identificada como “ t_{probable} ”, es el tiempo probable y calculado con la distribución triangular. La columna cuyo encabezado es “p” es la probabilidad anteriormente descrita.

Es importante resaltar que la suma de las probabilidades debe ser igual a la unidad. En los cálculos desarrollados en el presente trabajo, la suma no es exactamente la unidad por ser un método numérico y aleatorio, no obstante, se aproxima a dicho valor.

En la figura 43 se aprecia que después de efectuar los cálculos iniciales, a partir de una distribución triangular, el resultado final de la probabilidad de obtener el riesgo #1: “rentabilidad por debajo de lo esperado”, se ajusta más a una distribución Weibull, según el criterio de Anderson-Darling.

Figura 43. Distribución Weibull de probabilidades, concepto 2, experto "A"



Fuente: Elaboración propia (2018).

Tabla 39. Estimación de probabilidad del experto "A"

Concepto 2: Probabilidad experto A					
ID	t _{min}	t _{med}	t _{max}	t _{probable}	p
1	38	48	57	39.8	2.51%
2	28	36	43	35.1	2.85%
3	9	12	14	11.3	8.83%
4	19	24	28	23.3	4.29%
5	48	60	72	52.0	1.92%
6	38	48	57	41.2	2.43%
7	67	84	100	83.4	1.20%
8	9	12	14	11.1	9.01%
9	19	24	28	22.5	4.44%
10	192	240	288	239.1	0.42%
11	67	84	100	92.5	1.08%
12	9	12	14	13.3	7.53%
13	9	12	14	12.2	8.22%
14	8	10	12	10.4	9.64%
15	19	24	28	22.7	4.41%
16	9	12	14	12.7	7.87%
17	48	60	72	61.7	1.62%
18	14	18	21	15.4	6.49%
19	48	60	72	55.8	1.79%
20	38	48	57	46.6	2.14%
21	96	120	144	110.0	0.91%
22	67	84	100	82.1	1.22%

Concepto 2: Probabilidad experto A					
ID	t _{min}	t _{med}	t _{max}	t _{probable}	p
23	14	18	21	15.3	6.53%
24	96	120	144	108.0	0.93%
25	8	10	12	11.1	9.00%
Total					107%

Fuente: Elaboración propia (2018).

- **Concepto 3:**

Se llevó a cabo el mismo procedimiento para estimar las probabilidades, según el experto “B”. En la tabla 40 se aprecian las respuestas dadas y en la figura 44 se muestra que la distribución Weibull es la que mejor se ajusta a los datos, para estimar la probabilidad de ocurrencia del riesgo #4: “Vicios ocultos del suelo de cimentación”, clasificado según el criterio de Anderson-Darling.

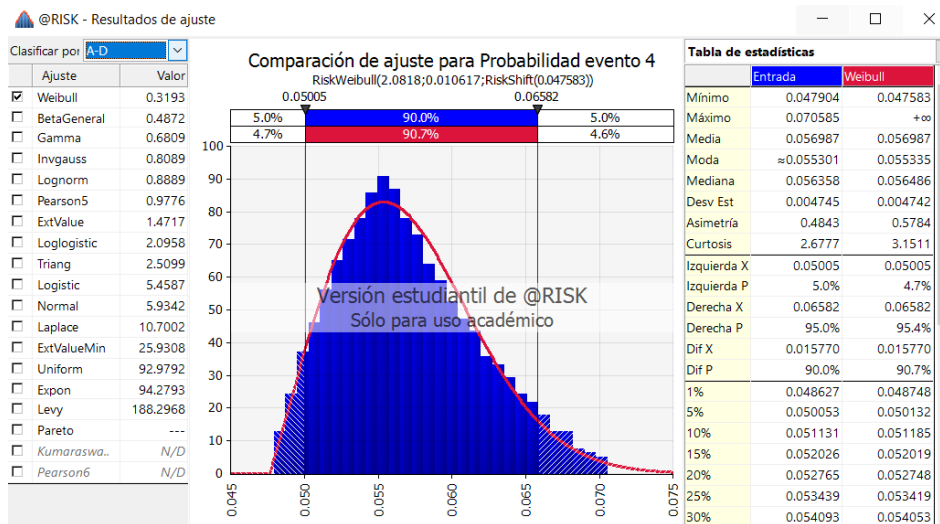
Tabla 40. Estimación de probabilidad del experto “B”

Concepto 3: Probabilidad experto B					
ID	t min	t med	t max	t probable	p
1	48	60	72	63.0	1.59%
2	19	24	28	25.7	3.89%
3	14	18	21	18.4	5.43%
4	14	18	21	16.1	6.21%
5	57	72	86	64.6	1.55%
6	28	36	43	30.0	3.34%
7	96	120	144	115.3	0.87%
8	8	10	12	9.8	10.19%
9	28	36	43	31.2	3.21%
10	480	600	720	635.6	0.16%
11	192	240	288	242.2	0.41%
12	14	18	21	18.8	5.33%
13	8	10	12	10.8	9.27%
14	6	8	9	8.9	11.28%
15	28	36	43	35.5	2.82%
16	14	18	21	17.2	5.83%
17	38	48	57	45.8	2.18%
18	19	24	28	19.9	5.03%
19	96	120	144	116.1	0.86%
20	48	60	72	54.8	1.82%
21	192	240	288	238.1	0.42%

Concepto 3: Probabilidad experto B					
ID	t min	t med	t max	t probable	p
22	48	60	72	58.3	1.71%
23	9	12	14	11.7	8.55%
24	105	132	158	115.4	0.87%
25	9	12	14	12.0	8.31%
Total					101%

Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura 44. Distribución Weibull de probabilidades, concepto 3, experto “B”



Fuente: Elaboración propia (2018).

- **Valor final esperado:**

El valor final de la variable es el promedio ponderado de los tres conceptos:

$$Prob. \text{ final ponderada} = 0,50 \times (\text{Valor Esperado Concepto 1}) + 0,30 \times (\text{Valor Esperado Concepto 2}) + 0,20 \times (\text{Valor Esperado Concepto 3}) \quad (24)$$

En la tabla 41 se muestra el resultado de esta operación. Nótese que los valores esperados de las variables son números aleatorios, por eso, los valores reportados en las tablas 39 y 40, podrían ser ligeramente diferentes a los reportados en la tabla 41.

El valor final esperado es por proyecto, con duración típica entre 12 y 24 meses y media de 18 meses, según se definió previamente. Para proyectos de distinta duración, puede realizarse un ajuste proporcional, teniendo en cuenta que se debe verificar si la probabilidad disminuye o aumenta con el tiempo. Algunos riesgos podrían tener mayor probabilidad de ocurrencia si el tiempo es menor y otros, viceversa.

Es conveniente, además, distribuir estas probabilidades en el horizonte de evaluación del proyecto, según la unidad de tiempo definida en el flujo de caja. Puede ocurrir que un riesgo tenga mayor probabilidad de ocurrencia al inicio del proyecto, al final de éste o en hitos clave. Esto dependerá del registro histórico y experiencia de la organización.

La figura 45 muestra el comportamiento final de la probabilidad de ocurrencia del evento #12: “Carencias y/o retrasos en el suministro de materiales y equipos”. Se puede apreciar que el resultado se ajusta a una distribución Gamma, clasificado según el criterio de Anderson-Darling.

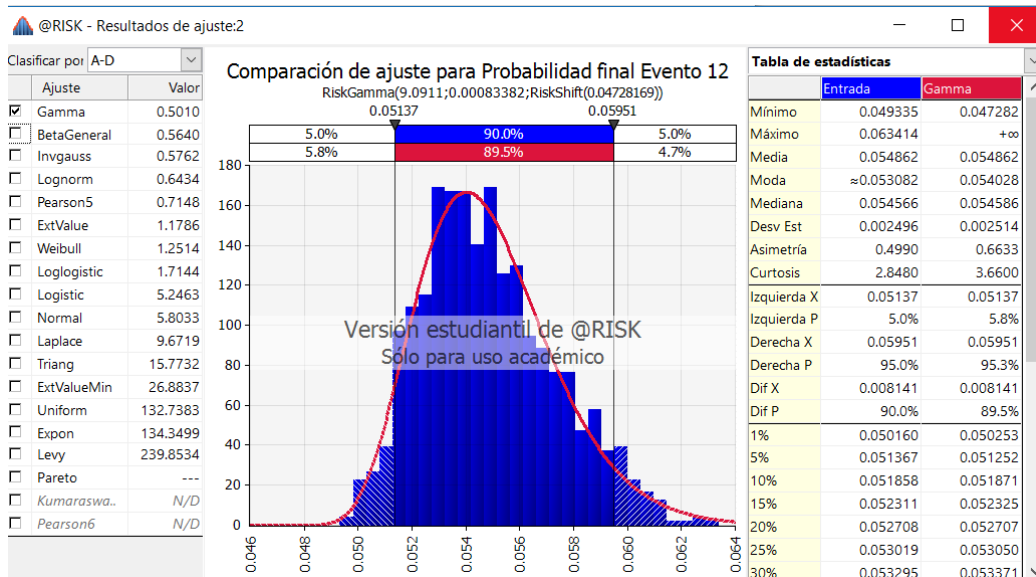
Tabla 41. Valor final probabilidades ponderadas

ID	Concepto 1: Probabilidad asociada a frecuencia	Concepto 2: Probabilidad experto A					Concepto 3: Probabilidad experto B					Prob. final ponderada
		t _{min}	t _{med}	t _{max}	t _{probable}	p	t _{min}	t _{med}	t _{max}	t _{probable}	p	
1	11.0%	38	48	57	48.3	2.07%	48	60	72	57.0	1.75%	6.46%
2	9.2%	28	36	43	34.6	2.89%	19	24	28	25.0	4.00%	6.27%
3	8.8%	9	12	14	11.6	8.63%	14	18	21	18.8	5.32%	8.04%
4	7.0%	19	24	28	23.7	4.21%	14	18	21	17.5	5.72%	5.92%
5	5.7%	48	60	72	59.6	1.68%	57	72	86	71.5	1.40%	3.63%
6	5.3%	38	48	57	49.5	2.02%	28	36	43	29.1	3.44%	3.93%
7	5.3%	67	84	100	89.3	1.12%	96	120	144	119.7	0.84%	3.13%
8	5.3%	9	12	14	11.8	8.47%	8	10	12	10.5	9.54%	7.08%
9	4.8%	19	24	28	24.8	4.03%	28	36	43	30.2	3.31%	4.28%
10	4.8%	192	240	288	242.4	0.41%	480	600	720	585.2	0.17%	2.57%
11	4.4%	67	84	100	82.5	1.21%	192	240	288	235.0	0.43%	2.64%
12	3.5%	9	12	14	12.4	8.08%	14	18	21	17.8	5.61%	5.30%
13	3.5%	9	12	14	13.2	7.59%	8	10	12	9.2	10.89%	6.21%
14	3.1%	8	10	12	10.9	9.15%	6	8	9	7.7	12.97%	6.87%
15	2.6%	19	24	28	24.8	4.04%	28	36	43	35.1	2.85%	3.10%
16	2.6%	9	12	14	12.8	7.81%	14	18	21	19.5	5.14%	4.69%
17	2.2%	48	60	72	64.1	1.56%	38	48	57	44.3	2.26%	2.02%
18	2.2%	14	18	21	18.5	5.41%	19	24	28	21.5	4.65%	3.65%
19	1.8%	48	60	72	62.5	1.60%	96	120	144	121.7	0.82%	1.52%

ID	Concepto 1: Probabilidad asociada a frecuencia	Concepto 2: Probabilidad experto A					Concepto 3: Probabilidad experto B					Prob. final ponderada
		t _{min}	t _{med}	t _{max}	t _{probable}	p	t _{min}	t _{med}	t _{max}	t _{probable}	p	
20	1.8%	38	48	57	54.9	1.82%	48	60	72	49.0	2.04%	1.83%
21	1.8%	96	120	144	124.7	0.80%	192	240	288	247.5	0.40%	1.20%
22	1.3%	67	84	100	83.2	1.20%	48	60	72	55.6	1.80%	1.38%
23	0.9%	14	18	21	15.9	6.30%	9	12	14	9.4	10.63%	4.45%
24	0.9%	96	120	144	116.9	0.86%	105	132	158	124.0	0.81%	0.86%
25	0.4%	8	10	12	10.2	9.85%	9	12	14	13.5	7.42%	4.66%
Total	100%					103%					104%	102%
	50%	30%					20%					100%
Ponderaciones (P)												

Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura 45. Distribución Gamma evento 12, para todos los conceptos 1, 2 y 3



Fuente: Elaboración propia (2018).

8.2.3 Estimación del impacto

De un modo similar a la estimación de probabilidades de ocurrencia, se estimará el impacto basado en las escalas determinadas en las tablas 35 a la 37.

Se tiene igualmente tres conceptos de un panel de expertos a través del método Delphi. El concepto 1 es emitido por el grupo de entrevistados, asociando un impacto a las

frecuencias obtenidas en las respuestas de la entrevista realizada a los 30 proyectos objeto de estudio.

El concepto 2 corresponde al experto "A" y el concepto 3 corresponde al experto "B", siendo estos expertos iguales a los interrogados para la estimación de probabilidades.

Se les asignarán igualmente, ponderaciones o pesos porcentuales a los tres conceptos de la siguiente manera: el concepto 1 tendrá un peso del 50%, el concepto 2 tendrá un peso del 30% y el concepto 3 tendrá un peso del 20%.

De esta manera, el valor final de la variable, es decir, el impacto de los eventos para un proyecto inmobiliario será el valor promedio ponderado entre los tres conceptos.

- **Concepto 1:**

Al igual que la estimación de las probabilidades de ocurrencia, para la estimación del impacto, se utilizará la frecuencia relativa indicada en la tabla 38.

A la frecuencia más alta, se le asignó un impacto de "muy alto" o "muy significativo para la funcionalidad general", con valor numérico de 0,80 y a la frecuencia más baja se le asignó un impacto de "muy bajo" o de "ningún cambio en la funcionalidad", con valor numérico de 0,05; según las escalas indicadas en las tablas 35 a la 37. Para los demás casos intermedios, hay una variación proporcional.

- **Concepto 2:**

Al experto "A" se le solicitó, basado en las tablas 35 a la 37, la definición de un rango cualitativo de impacto de los mismos eventos anteriormente descritos para un proyecto inmobiliario. El intervalo estará definido por un valor mínimo y un valor máximo de impacto (valor adimensional que varía entre cero y uno).

En la tabla 42 se muestran las respuestas del experto "A" identificadas con los valores numéricos de las columnas "Mín" y "Máx".

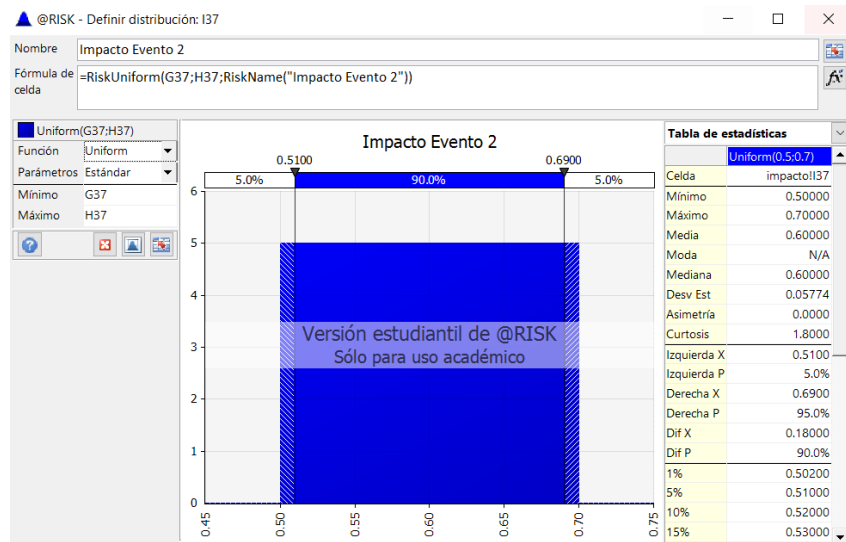
La tercera columna, identificada como “V.Esperado”, es el valor esperado de la variable y fue calculada con una función de probabilidad uniforme, que tiene como argumentos RiskUniform(min,max) en el software @Risk (PALISADE, 2018a).

En la figura 46 se aprecia la distribución uniforme usada para estimar el impacto del riesgo #2: “incumplimiento a clientes”, según la opinión del experto “A”.

Tabla 42. Estimación de impacto del experto “A”

ID	Concepto 2: Impacto experto A		
	Mín.	Máx.	V. Esperado
1	0.65	0.80	0.73
2	0.50	0.70	0.62
3	0.65	0.80	0.75
4	0.30	0.60	0.48
5	0.50	0.70	0.60
6	0.40	0.60	0.45
7	0.65	0.80	0.75
8	0.40	0.60	0.40
9	0.50	0.70	0.67
10	0.60	0.70	0.68
11	0.60	0.80	0.69
12	0.40	0.60	0.57
13	0.25	0.40	0.25
14	0.30	0.50	0.49
15	0.40	0.50	0.40
16	0.10	0.20	0.12
17	0.40	0.60	0.52
18	0.30	0.40	0.34
19	0.20	0.30	0.28
20	0.40	0.60	0.59
21	0.25	0.40	0.32
22	0.50	0.70	0.65
23	0.15	0.25	0.24
24	0.25	0.40	0.39
25	0.10	0.20	0.19

Figura 46. Distribución uniforme de impacto, concepto 2, experto “A”



Fuente: Elaboración propia (2018).

Fuente: Elaboración propia (2018).

- **Concepto 3:**

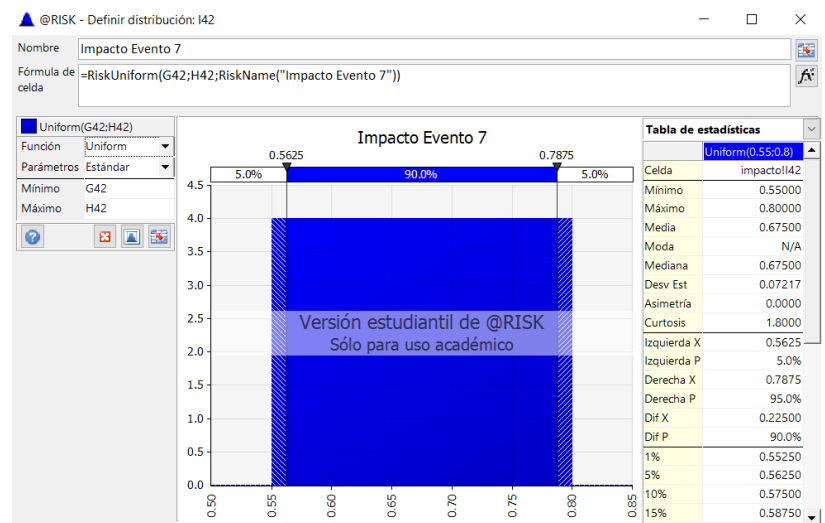
Se llevó a cabo el mismo procedimiento para estimar el impacto, según el experto “B”. En la tabla 43 se aprecian las respuestas dadas y en la figura 47 se muestra la distribución uniforme utilizada para estimar el impacto del riesgo #7: “Pérdida de valor o quiebra”.

Tabla 43. Estimación de impacto del experto “B”

ID	Concepto 3: Impacto experto B		
	Mín.	Máx.	V. Esperado
1	0.50	0.70	0.61
2	0.40	0.80	0.65
3	0.50	0.70	0.55
4	0.40	0.60	0.44
5	0.35	0.55	0.41
6	0.25	0.35	0.31
7	0.55	0.80	0.78
8	0.30	0.45	0.32
9	0.30	0.50	0.41
10	0.45	0.80	0.61
11	0.40	0.60	0.40
12	0.15	0.25	0.17
13	0.50	0.70	0.59
14	0.65	0.80	0.73
15	0.15	0.25	0.21
16	0.05	0.15	0.09
17	0.15	0.25	0.22
18	0.10	0.15	0.10
19	0.10	0.15	0.11
20	0.50	0.70	0.54
21	0.40	0.60	0.52
22	0.55	0.80	0.63
23	0.10	0.20	0.13
24	0.15	0.25	0.15
25	0.05	0.10	0.05

Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura 47. Distribución uniforme de impacto, concepto 3, experto “B”



Fuente: Elaboración propia (2018).

- **Valor final esperado:**

El valor final de la variable es el promedio ponderado de los tres conceptos:

$$\text{Impacto final ponderado} = 0,50 \times (\text{Valor Esperado Concepto 1}) + 0,30 \times (\text{Valor Esperado Concepto 2}) + 0,20 \times (\text{Valor Esperado Concepto 3}) \quad (25)$$

En la tabla 44 se muestra el resultado de esta operación. Nótese que los valores esperados de las variables son números aleatorios, por eso, los valores reportados en las tablas 42 y 43, podrían ser ligeramente diferentes a los reportados en la tabla 44.

En la figura 48 se muestra como referencia, el comportamiento final del impacto del evento #10 “Eventos de fuerza mayor (sismo e inundaciones)”. Se puede apreciar que el resultado se ajusta a una función de probabilidad Beta General, clasificado según el estadístico Chi-Cuadrado.

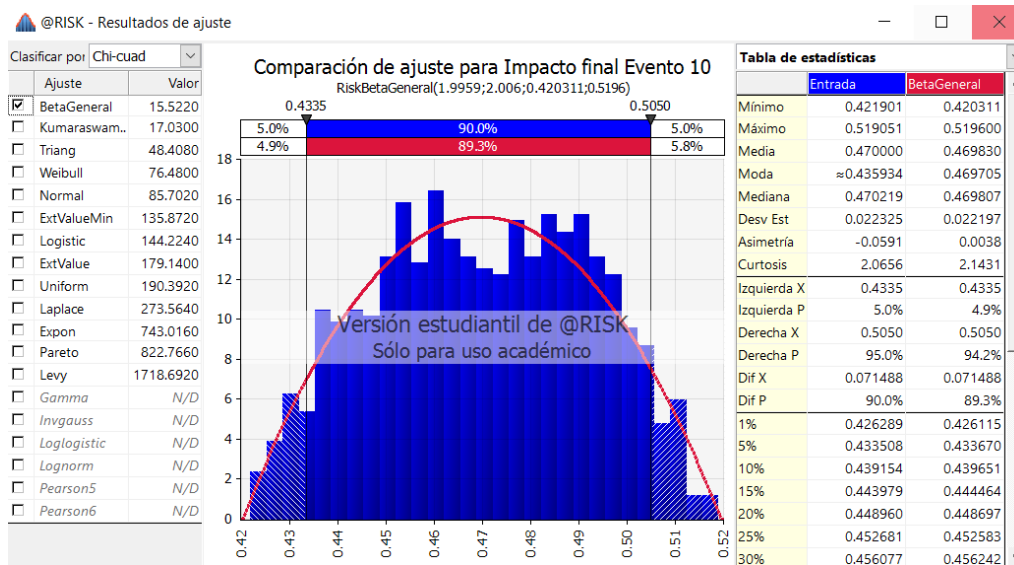
Tabla 44. Valor final de impactos ponderados

ID	Concepto 1: Impacto según frecuencia	Concepto 2: Impacto experto A			Concepto 3: Impacto experto B			Impacto final ponderado
		Mín.	Máx.	V. Esperado	Mín.	Máx.	V. Esperado	
1	0.80	0.65	0.80	0.73	0.50	0.70	0.68	0.75
2	0.70	0.50	0.70	0.60	0.40	0.80	0.57	0.64
3	0.70	0.65	0.80	0.77	0.50	0.70	0.63	0.71
4	0.70	0.30	0.60	0.32	0.40	0.60	0.54	0.56
5	0.50	0.50	0.70	0.59	0.35	0.55	0.48	0.52
6	0.50	0.40	0.60	0.42	0.25	0.35	0.32	0.44
7	0.50	0.65	0.80	0.71	0.55	0.80	0.62	0.59
8	0.50	0.40	0.60	0.44	0.30	0.45	0.32	0.44
9	0.30	0.50	0.70	0.52	0.30	0.50	0.48	0.40
10	0.30	0.60	0.70	0.66	0.45	0.80	0.73	0.49
11	0.30	0.60	0.80	0.68	0.40	0.60	0.41	0.44
12	0.30	0.40	0.60	0.52	0.15	0.25	0.18	0.34
13	0.30	0.25	0.40	0.35	0.50	0.70	0.51	0.36
14	0.30	0.30	0.50	0.42	0.65	0.80	0.78	0.43
15	0.30	0.40	0.50	0.48	0.15	0.25	0.23	0.34
16	0.30	0.10	0.20	0.16	0.05	0.15	0.07	0.21
17	0.20	0.40	0.60	0.58	0.15	0.25	0.21	0.32
18	0.20	0.30	0.40	0.37	0.10	0.15	0.11	0.23
19	0.20	0.20	0.30	0.28	0.10	0.15	0.13	0.21
20	0.20	0.40	0.60	0.57	0.50	0.70	0.70	0.41
21	0.20	0.25	0.40	0.34	0.40	0.60	0.56	0.31
22	0.20	0.50	0.70	0.57	0.55	0.80	0.60	0.39
23	0.05	0.15	0.25	0.20	0.10	0.20	0.19	0.12

ID	Concepto 1: Impacto según frecuencia	Concepto 2: Impacto experto A			Concepto 3: Impacto experto B			Impacto final ponderado
		Mín.	Máx.	V. Esperado	Mín.	Máx.	V. Esperado	
24	0.05	0.25	0.40	0.34	0.15	0.25	0.16	0.16
25	0.05	0.10	0.20	0.16	0.05	0.10	0.09	0.09
	50%	30%			20%			100%
Ponderaciones (P)								

Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura 48. Distribución Beta General evento 10, conceptos 1, 2 y 3



Fuente: Elaboración propia (2018).

8.2.4 Ensamble de la matriz de probabilidad-impacto

Una vez calculadas las probabilidades de ocurrencia, éstas se convierten a frecuencia u ocurrencia real, mediante la distribución de probabilidad de Poisson.

La distribución de Poisson es una función discreta, que permite determinar el número de ocurrencias de un fenómeno que se puede producir en un intervalo de tiempo o espacio dado. Se utiliza cuando la probabilidad de que ocurra un evento es relativamente pequeña y el número de observaciones es muy grande, por esto es conocida como la distribución de los eventos raros (Llinás, 2016).

El resultado de la distribución de Poisson es un número entero que significa el número de eventos posibles, dada una probabilidad de ocurrencia conjunta.

En la tabla 45 se ilustra la distribución y proyección de las probabilidades de ocurrencia halladas en la tabla 41, en el horizonte de evaluación del proyecto donde se muestran solo los 10 primeros períodos. Para su visualización completa, véase el Anexo 4.

Al utilizar la distribución de Poisson en el software @Risk (PALISADE, 2018a) con sintaxis: RiskPoisson(λ), donde λ es cada una de las probabilidades de ocurrencia proyectadas en la tabla 41, se obtienen las frecuencias, ocurrencias o eventos posibles en la tabla 46.

Tabla 45. Matriz de probabilidades de ocurrencia proyectadas

PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rentabilidad por debajo de lo esperado	6.4%	6.4%	6.4%	6.4%	6.5%	6.5%	6.4%	6.4%	6.4%	6.5%
Incumplimiento a clientes	6.4%	6.2%	6.2%	6.4%	6.3%	6.2%	6.2%	6.4%	6.2%	6.3%
Retrasos en el cronograma (no compensables)	7.8%	7.9%	8.4%	8.4%	8.0%	8.4%	7.8%	8.0%	8.1%	8.3%
Vicios ocultos suelo cimentación	5.8%	5.7%	5.9%	6.0%	5.9%	5.8%	6.1%	5.8%	5.8%	6.1%
Afectación relación con inversionistas	3.6%	3.6%	3.6%	3.6%	3.7%	3.6%	3.7%	3.6%	3.6%	3.6%
Incumplimiento a proveedores	3.9%	3.8%	3.9%	3.8%	3.9%	3.8%	3.9%	3.9%	3.7%	3.8%
Pérdida de valor o quiebra	3.2%	3.2%	3.1%	3.1%	3.1%	3.2%	3.1%	3.2%	3.2%	3.2%
Subestimación de cantidades de obra	7.4%	7.8%	7.6%	7.3%	7.9%	7.1%	7.4%	6.9%	7.0%	6.8%
Pago de multas	4.4%	4.3%	4.5%	4.2%	4.2%	4.3%	4.3%	4.2%	4.4%	4.1%
Eventos de fuerza mayor (sismo, inundaciones)	2.6%	2.6%	2.6%	2.6%	2.6%	2.6%	2.6%	2.6%	2.6%	2.6%
Fallas en estudios y diseños técnicos	2.6%	2.6%	2.7%	2.7%	2.6%	2.6%	2.6%	2.6%	2.6%	2.7%
Carencias/retrasos suministro materiales y equipos	5.3%	5.2%	5.6%	5.6%	5.4%	5.3%	5.6%	5.2%	5.2%	5.3%
Seguridad ocupacional y Accidentes laborales	5.9%	6.2%	6.2%	6.4%	6.0%	6.6%	6.0%	6.0%	6.2%	6.5%
Cambios en el alcance o especificaciones	7.0%	7.6%	7.3%	7.5%	6.8%	8.0%	6.9%	6.8%	6.6%	7.0%
Aumento de la ventaja de la competencia	3.0%	3.1%	3.1%	3.3%	3.3%	3.1%	3.0%	3.3%	3.2%	3.3%
Robos, vandalismo	5.5%	4.9%	5.3%	5.2%	5.3%	5.0%	5.2%	5.1%	5.1%	5.1%
Cambios en legislación o normativas	1.9%	2.0%	2.1%	2.0%	2.1%	2.0%	1.9%	2.0%	2.1%	1.9%
Fallos en contratación y subcontratación	3.6%	3.4%	3.6%	3.7%	3.5%	3.8%	3.6%	3.5%	3.8%	3.7%
Afectación del portafolio de proyectos	1.5%	1.5%	1.6%	1.5%	1.6%	1.6%	1.5%	1.6%	1.5%	1.6%
Demandas y aspectos legales	1.8%	1.8%	1.8%	1.9%	1.9%	1.8%	1.9%	1.9%	1.7%	1.8%
Otros (incendio)	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%
Impago de la deuda	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%	1.4%	1.4%	1.4%	1.4%
Fallas en equipos o maquinaria	3.5%	3.9%	3.9%	3.8%	4.1%	4.4%	3.8%	3.9%	3.9%	3.6%
Retiro y suspensión de licencias	0.8%	0.8%	0.9%	0.9%	0.8%	0.9%	0.8%	0.8%	0.8%	0.9%
Baja calidad de insumos	5.0%	5.1%	5.1%	4.8%	4.7%	4.9%	4.3%	4.7%	4.8%	4.6%

Fuente: Elaboración propia (2018).

Tabla 46. Matriz de frecuencias proyectadas

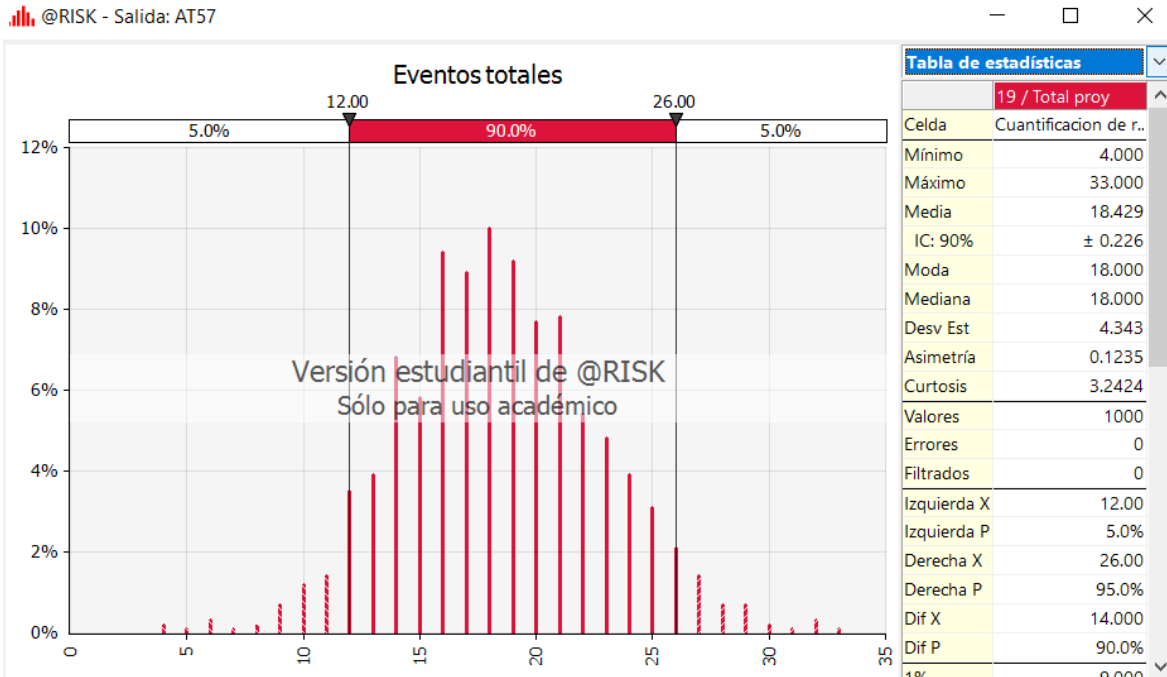
PERIODO	Matriz de Frecuencias																				Total proy								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		21	22	23	24				
Rentabilidad por debajo de lo esperado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Incumplimiento a clientes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
Retrasos en el cronograma (no compensables)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3		
Vicios ocultos suelo cimentación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1		
Afectación relación con inversionistas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Incumplimiento a proveedores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Pérdida de valor o quiebra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
Subestimación de cantidades de obra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Pago de multas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Eventos de fuerza mayor (sismo, inundaciones)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fallas en estudios y diseños técnicos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Carencias/retrasos suministro materiales y equipos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	
Seguridad ocupacional y Accidentes laborales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cambios en el alcance o especificaciones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
Aumento de la ventaja de la competencia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Robos, vandalismo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cambios en legislación o normativas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fallos en contratación y subcontratación	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
Afectación del portafolio de proyectos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Demandas y aspectos legales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Otros (incendio)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Impago de la deuda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fallas en equipos o maquinaria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Retiro y suspensión de licencias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Baja calidad de insumos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	1	2	0	1	1	1	2	0	1	1	0	0	0	0	0	14	

Fuente: Elaboración propia (2018).

En la figura 49 se observa el resultado global de la simulación, utilizando la distribución de Poisson, donde se aprecia que el pico de la gráfica discreta se encuentra aproximadamente en 18 eventos. Además, indica que, de los 25 riesgos analizados en los 24 meses de duración del proyecto (600 posibilidades), hay una probabilidad del 90% de que ocurran entre 12 y 26 de ellos para el proyecto analizado.

En la tabla 47 se proyectan los impactos calculados en la tabla 44 para los 10 primeros períodos, de manera similar a la proyección de probabilidades. Para su visualización completa, remítase al Anexo 4.

Figura 49. Simulación del número de eventos totales que ocurren



Fuente: Elaboración propia (2018).

En la tabla 48 se proyectan los impactos calculados de manera cuantitativa para los 10 primeros períodos, teniendo en cuenta la conversión indicada en la tabla 37. Para su visualización completa, remítase al Anexo 4.

El resultado final se muestra en la tabla 49 (solo se muestran los 10 primeros períodos), la cual representa la matriz de probabilidad-impacto simulando el valor económico de los riesgos que ocurren.

En la parte final de la tabla 49, se suman los costos de que se materialicen los riesgos en un período dado, para hallar el flujo de caja de los riesgos, que servirá de base para cuantificar el valor presente neto en riesgo y otros indicadores que se mostrarán en el numeral 9 del presente documento.

Tabla 47. Matriz de impactos proyectados (cualitativos)

PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rentabilidad por debajo de lo esperado	0.78	0.75	0.71	0.72	0.75	0.76	0.76	0.75	0.76	0.73
Incumplimiento a clientes	0.62	0.68	0.64	0.65	0.62	0.60	0.60	0.63	0.68	0.66
Retrasos en el cronograma (no compensables)	0.66	0.66	0.69	0.69	0.66	0.68	0.71	0.67	0.69	0.71
Vicios ocultos suelo cimentación	0.58	0.55	0.61	0.61	0.60	0.58	0.61	0.56	0.64	0.53
Afectación relación con inversionistas	0.52	0.54	0.51	0.54	0.52	0.53	0.51	0.56	0.51	0.52
Incumplimiento a proveedores	0.50	0.49	0.44	0.46	0.49	0.48	0.44	0.43	0.46	0.47
Pérdida de valor o quiebra	0.59	0.61	0.64	0.64	0.61	0.58	0.58	0.61	0.61	0.59
Subestimación de cantidades de obra	0.49	0.50	0.49	0.51	0.48	0.44	0.49	0.50	0.50	0.46
Pago de multas	0.43	0.41	0.45	0.39	0.39	0.45	0.40	0.44	0.39	0.44
Eventos de fuerza mayor (sismo, inundaciones)	0.47	0.45	0.50	0.50	0.49	0.47	0.46	0.46	0.44	0.46
Fallas en estudios y diseños técnicos	0.47	0.44	0.45	0.42	0.45	0.48	0.47	0.46	0.47	0.44
Carencias/retrasos suministro materiales y equipos	0.34	0.36	0.32	0.34	0.33	0.37	0.36	0.33	0.35	0.35
Seguridad ocupacional y Accidentes laborales	0.37	0.35	0.34	0.39	0.38	0.35	0.37	0.35	0.38	0.37
Cambios en el alcance o especificaciones	0.46	0.43	0.42	0.45	0.40	0.41	0.43	0.40	0.41	0.45
Aumento de la ventaja de la competencia	0.33	0.32	0.32	0.33	0.33	0.33	0.33	0.34	0.31	0.33
Robos, vandalismo	0.20	0.19	0.22	0.23	0.19	0.23	0.21	0.21	0.21	0.22
Cambios en legislación o normativas	0.32	0.31	0.29	0.26	0.31	0.29	0.32	0.29	0.29	0.28
Fallos en contratación y subcontratación	0.24	0.23	0.24	0.23	0.23	0.21	0.24	0.23	0.22	0.22
Afectación del portafolio de proyectos	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.22	0.21	0.19
Demandas y aspectos legales	0.38	0.36	0.35	0.36	0.40	0.38	0.39	0.40	0.33	0.38
Otros (incendio)	0.27	0.30	0.31	0.31	0.30	0.27	0.26	0.30	0.30	0.31
Impago de la deuda	0.38	0.40	0.37	0.38	0.42	0.40	0.38	0.40	0.40	0.39
Fallas en equipos o maquinaria	0.12	0.11	0.12	0.09	0.12	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11
Retiro y suspensión de licencias	0.16	0.16	0.15	0.14	0.18	0.19	0.19	0.15	0.18	0.18
Baja calidad de insumos	0.08	0.10	0.09	0.10	0.09	0.07	0.09	0.08	0.07	0.08

Fuente: Elaboración propia (2018).

Tabla 48. Matriz de impactos proyectados (cuantitativos)

PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rentabilidad por debajo de lo esperado	\$ 165 581	\$ 172 274	\$ 172 454	\$ 179 930	\$ 171 883	\$ 168 101	\$ 12 594	\$ 55 699	\$ 68 573	\$ 45 542
Incumplimiento a clientes	\$ 158 059	\$ 155 744	\$ 139 051	\$ 157 607	\$ 155 150	\$ 157 474	\$ 11 350	\$ 46 389	\$ 63 399	\$ 41 715
Retrasos en el cronograma (no compensables)	\$ 157 936	\$ 162 388	\$ 156 550	\$ 163 502	\$ 162 626	\$ 158 333	\$ 11 652	\$ 51 670	\$ 65 878	\$ 44 201
Vicios ocultos suelo cimentación	\$ 131 032	\$ 146 064	\$ 137 038	\$ 138 948	\$ 135 371	\$ 139 377	\$ 9 451	\$ 46 361	\$ 54 076	\$ 36 212
Afectación relación con inversionistas	\$ 119 285	\$ 127 695	\$ 120 026	\$ 121 740	\$ 122 180	\$ 131 069	\$ 9 348	\$ 40 560	\$ 49 028	\$ 34 189
Incumplimiento a proveedores	\$ 111 155	\$ 103 395	\$ 108 424	\$ 102 089	\$ 109 095	\$ 103 144	\$ 7 543	\$ 35 276	\$ 42 930	\$ 29 205
Pérdida de valor o quiebra	\$ 135 426	\$ 144 757	\$ 148 007	\$ 139 089	\$ 141 416	\$ 134 038	\$ 9 746	\$ 46 997	\$ 56 403	\$ 35 055
Subestimación de cantidades de obra	\$ 102 169	\$ 108 851	\$ 105 853	\$ 110 530	\$ 105 511	\$ 110 921	\$ 8 267	\$ 34 647	\$ 43 789	\$ 30 877
Pago de multas	\$ 95 863	\$ 95 494	\$ 93 563	\$ 90 611	\$ 104 353	\$ 89 476	\$ 6 864	\$ 32 304	\$ 40 379	\$ 27 091
Eventos de fuerza mayor (sismo, inundaciones)	\$ 113 242	\$ 113 961	\$ 106 656	\$ 100 187	\$ 104 055	\$ 109 315	\$ 7 322	\$ 37 760	\$ 43 919	\$ 30 857
Fallas en estudios y diseños técnicos	\$ 100 544	\$ 107 304	\$ 109 330	\$ 114 034	\$ 103 429	\$ 110 731	\$ 7 775	\$ 35 906	\$ 42 236	\$ 29 025
Carencias/retrasos suministro materiales y equipos	\$ 77 100	\$ 74 429	\$ 82 832	\$ 82 270	\$ 74 591	\$ 73 884	\$ 5 975	\$ 27 607	\$ 31 288	\$ 22 920
Seguridad ocupacional y Accidentes laborales	\$ 83 798	\$ 84 921	\$ 93 138	\$ 82 822	\$ 87 988	\$ 86 139	\$ 5 779	\$ 31 126	\$ 35 357	\$ 20 816
Cambios en el alcance o especificaciones	\$ 94 615	\$ 99 401	\$ 95 398	\$ 104 567	\$ 100 992	\$ 93 332	\$ 7 573	\$ 34 428	\$ 42 462	\$ 25 468

PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aumento de la ventaja de la competencia	\$ 76 292	\$ 80 203	\$ 78 703	\$ 74 843	\$ 76 633	\$ 76 605	\$ 5 655	\$ 25 898	\$ 30 974	\$ 20 094
Robos, vandalismo	\$ 50 553	\$ 55 066	\$ 50 566	\$ 52 017	\$ 49 536	\$ 50 296	\$ 3 937	\$ 16 697	\$ 21 698	\$ 13 849
Cambios en legislación o normativas	\$ 63 676	\$ 73 849	\$ 59 137	\$ 62 122	\$ 69 401	\$ 66 319	\$ 4 817	\$ 19 723	\$ 28 125	\$ 18 230
Fallos en contratación y subcontratación	\$ 57 099	\$ 50 629	\$ 52 520	\$ 55 214	\$ 51 994	\$ 56 874	\$ 3 722	\$ 17 566	\$ 22 218	\$ 14 746
Afectación del portafolio de proyectos	\$ 48 356	\$ 43 639	\$ 49 465	\$ 49 815	\$ 50 652	\$ 44 933	\$ 3 153	\$ 15 570	\$ 18 377	\$ 12 512
Demandas y aspectos legales	\$ 84 542	\$ 90 168	\$ 86 356	\$ 92 953	\$ 90 422	\$ 79 133	\$ 6 175	\$ 31 694	\$ 34 758	\$ 24 095
Otros (incendio)	\$ 71 198	\$ 63 732	\$ 59 815	\$ 64 034	\$ 72 568	\$ 73 233	\$ 4 925	\$ 25 064	\$ 29 594	\$ 18 736
Impago de la deuda	\$ 90 400	\$ 99 590	\$ 94 728	\$ 99 509	\$ 104 447	\$ 96 871	\$ 6 945	\$ 32 040	\$ 37 679	\$ 25 985
Fallas en equipos o maquinaria	\$ 28 630	\$ 25 124	\$ 23 299	\$ 24 153	\$ 23 288	\$ 24 809	\$ 1 712	\$ 8 381	\$ 11 035	\$ 7 176
Retiro y suspensión de licencias	\$ 41 391	\$ 35 266	\$ 40 908	\$ 41 716	\$ 39 158	\$ 35 531	\$ 2 713	\$ 12 777	\$ 16 166	\$ 9 389
Baja calidad de insumos	\$ 20 810	\$ 16 554	\$ 16 029	\$ 18 739	\$ 17 275	\$ 17 506	\$ 1 479	\$ 7 030	\$ 8 409	\$ 5 149

Fuente: Elaboración propia (2018).

Tabla 49. Matriz de probabilidad-impacto si ocurre

PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rentabilidad por debajo de lo esperado	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Incumplimiento a clientes	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 63 399	\$ 0
Retrasos en el cronograma (no compensables)	\$ 0	\$ 162 388	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 158 333	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 44 201
Vicios ocultos suelo cimentación	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 9 451	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Afectación relación con inversionistas	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 49 028	\$ 0
Incumplimiento a proveedores	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Pérdida de valor o quiebra	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 35 055
Subestimación de cantidades de obra	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 8 267	\$ 34 647	\$ 0	\$ 0
Pago de multas	\$ 95 863	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Eventos de fuerza mayor (sismo, inundaciones)	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Fallas en estudios y diseños técnicos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Carencias/retrasos suministro materiales y equipos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 31 288	\$ 0
Seguridad ocupacional y Accidentes laborales	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Cambios en el alcance o especificaciones	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 104 567	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Aumento de la ventaja de la competencia	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Robos, vandalismo	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 50 296	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Cambios en legislación o normativas	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 62 122	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Fallos en contratación y subcontratación	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Afectación del portafolio de proyectos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Demandas y aspectos legales	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 24 095
Otros (incendio)	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Impago de la deuda	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Fallas en equipos o maquinaria	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Retiro y suspensión de licencias	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Baja calidad de insumos	\$ 0	\$ 0	\$ 16 029	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Total Año	95 863	162 388	16 029	166 688	-	208 628	17 718	34 647	143 716	103 351

Fuente: Elaboración propia (2018).

9 Simulación mediante el método de Montecarlo

Se emplea el software de simulación @Risk (PALISADE, 2018b), para aplicar el método de Montecarlo con 10000 iteraciones en el flujo de caja del inversionista, en términos corrientes, utilizando las variables aleatorias explicadas en el numeral 8.1 y los riesgos de la matriz probabilidad-impacto explicadas en el numeral 8.28.2.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para los indicadores de evaluación financiera.

9.1 Tasa de descuento

En el numeral 7.6 se determinó la tasa de descuento de manera determinística a partir del cálculo del WACC. Su valor se estableció en un 10% efectivo anual o 0,797% efectivo mensual.

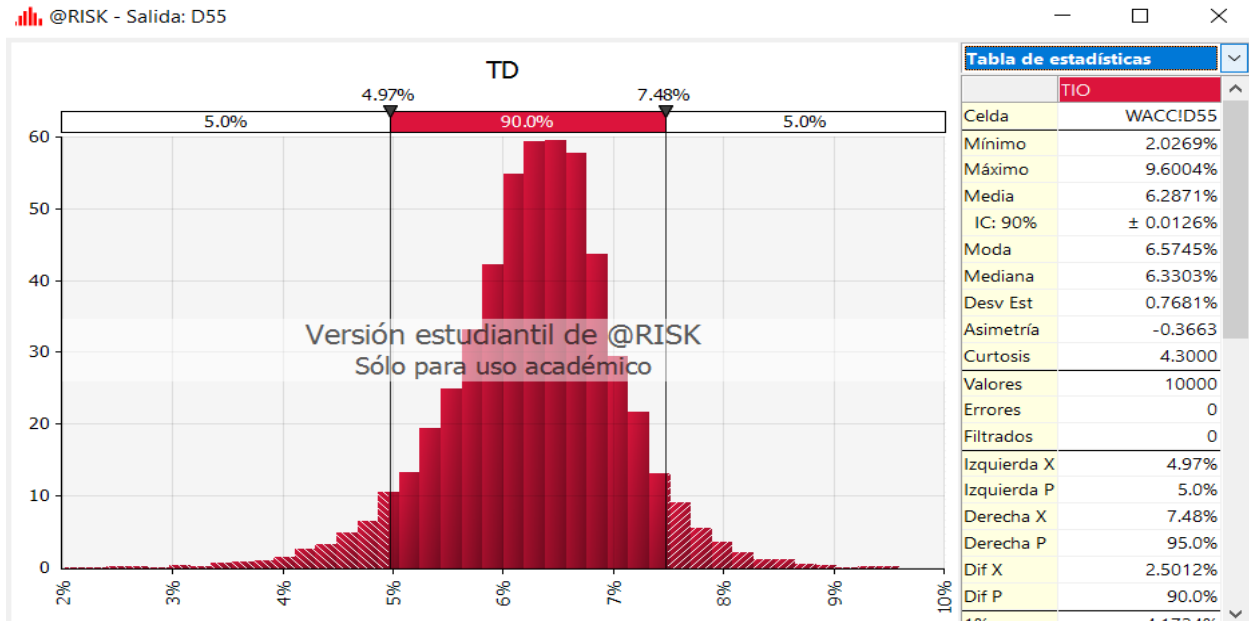
Al aplicar la metodología, se encuentra que el WACC también es probabilista, debido a que la variable k_d o costo de la deuda también lo es. Lo anterior se debe a que en el numeral 8.1.2.3 se modeló el porcentaje de variación de la UVR y en el numeral 8.1.2.4 se modeló la tasa que ofrecen los bancos en el mercado financiero para otorgar créditos de construcción de vivienda. Estas dos variables son críticas para poder establecer el costo de la deuda.

En la figura 50 se observa el resultado de la simulación para la tasa de descuento (TD), con un valor mínimo de 2,03%, un valor máximo de 9,60% y una media de 6,29% efectivo anual. Hay una probabilidad del 90% de que la TD se encuentre entre 4,97% y 7,48%; además, hay una probabilidad casi nula de que la TD sea del 10%, como se había establecido de manera determinista.

Por lo tanto, con la finalidad de realizar la evaluación financiera del proyecto en riesgo, se tomará como referencia el valor de la tasa de descuento medio, es decir, $TD = 6,29\%$ efectivo anual (o 0,509% efectivo mensual). No obstante, debe entenderse que no se trata de un valor único, sino que varía aleatoriamente. En la figura 51 se indica la función que mejor se aproxima a la simulación, utilizando el método de Kolmogórov-Smirnov,

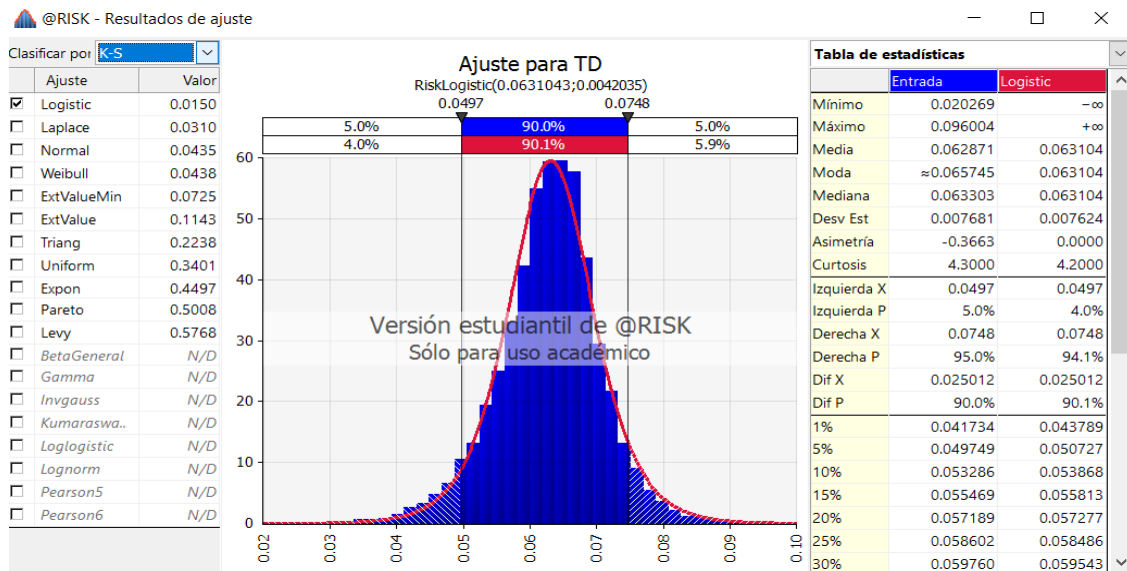
indicando que es la función “Logística” con parámetros 6,31% de media y 0,762% de desviación estándar.

Figura 50. Tasa de descuento probabilista



Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura 51. Bondad de ajuste para la tasa de descuento



Fuente: Elaboración propia (2018).

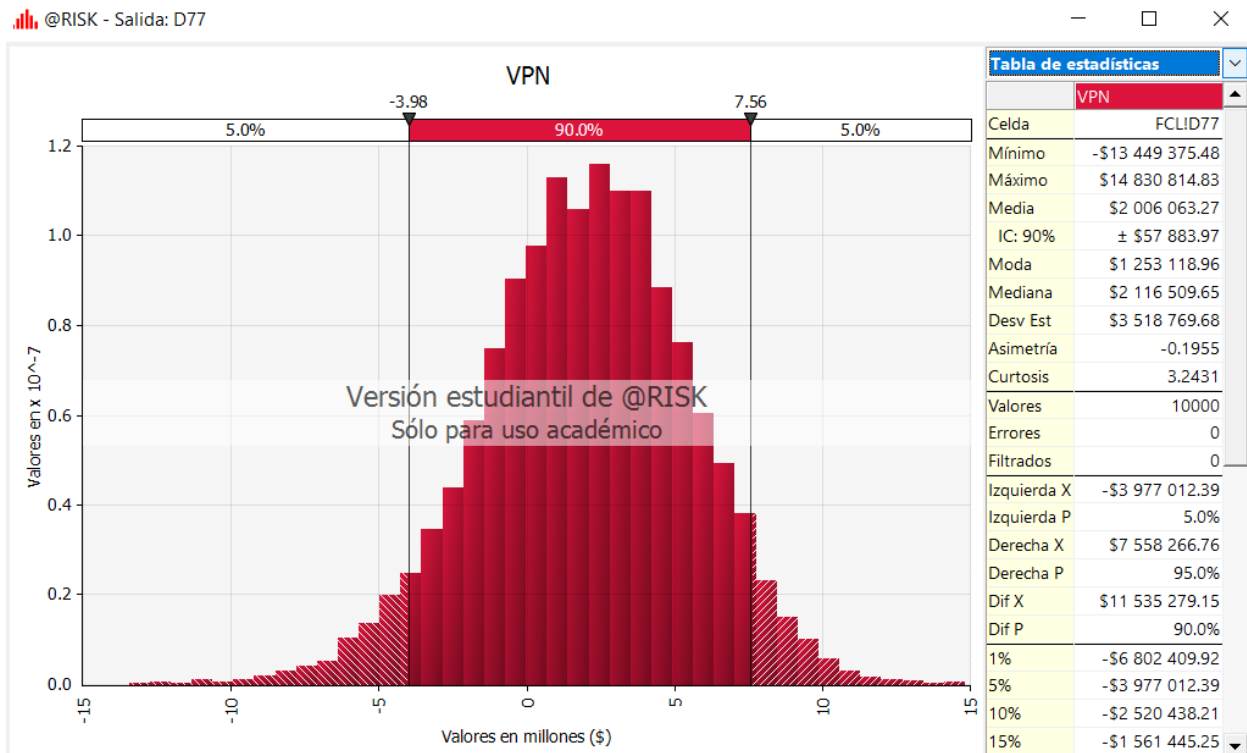
9.2 Indicadores probabilísticos de evaluación financiera

Se analizan en primera instancia, los indicadores financieros. Se evaluará el VPN, TIR, TIRM, VAUE/CAUE, RBC, PRI e IRVA.

9.2.1 Valor presente neto (VPN)

El resultado de la simulación para el VPN se muestra en la figura 52 fuente: elaboración propia (2018).. El VPN fluctúa entre \$-13' 449 375 y \$14' 830 814 (cifras en miles de millones). Hay una probabilidad del 90% de que el VPN se encuentre entre -\$3' 977 012 y \$7' 558 266 (cifras en miles de millones).

Figura 52. VPN probabilista

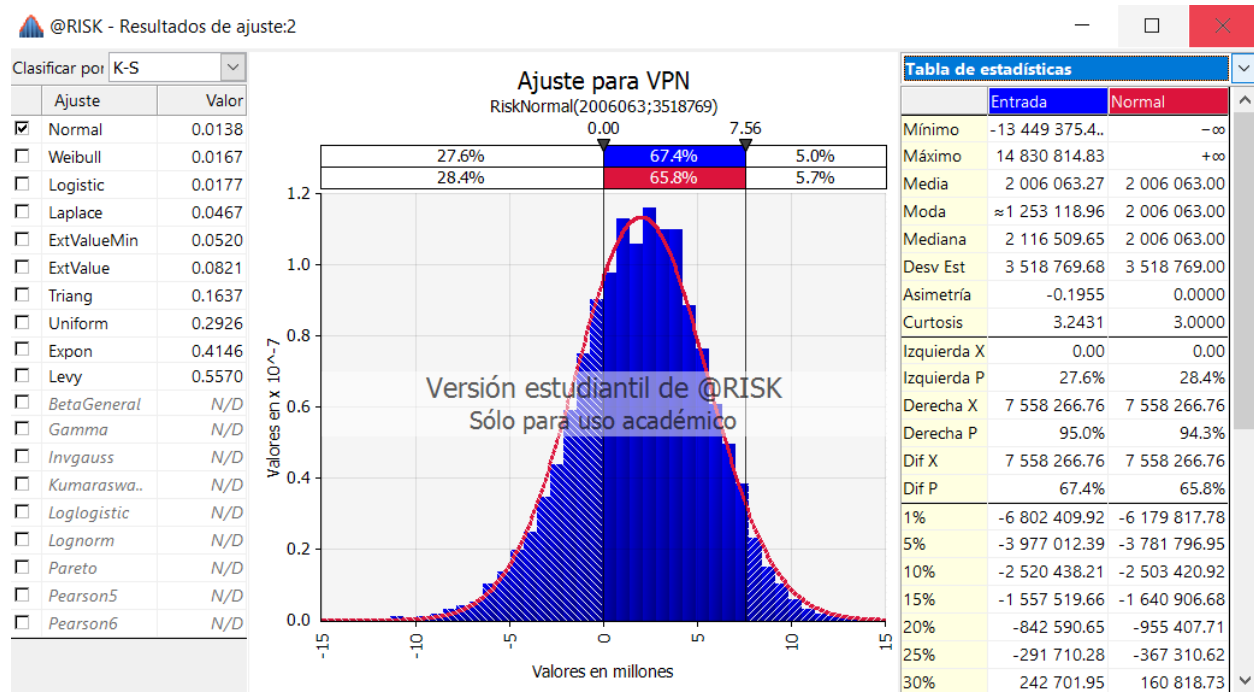


Fuente: Elaboración propia (2018).

La interpretación de la función ajustada por el método de Kolmogórov-Smirnov sugiere que la función que mejor representa los resultados es la distribución normal mostrada en la figura 53, con una media de \$2'006 063 y una desviación estándar de \$3'518 769 (cifras en miles de millones).

La probabilidad de obtener un VPN negativo (lo cual sugiere pérdida de valor o que el negocio no es rentable) es del 28,4%; también se puede interpretar que hay un 71,6% de probabilidad de éxito.

Figura 53. Bondad de ajuste para el VPN



Fuente: Elaboración propia (2018).

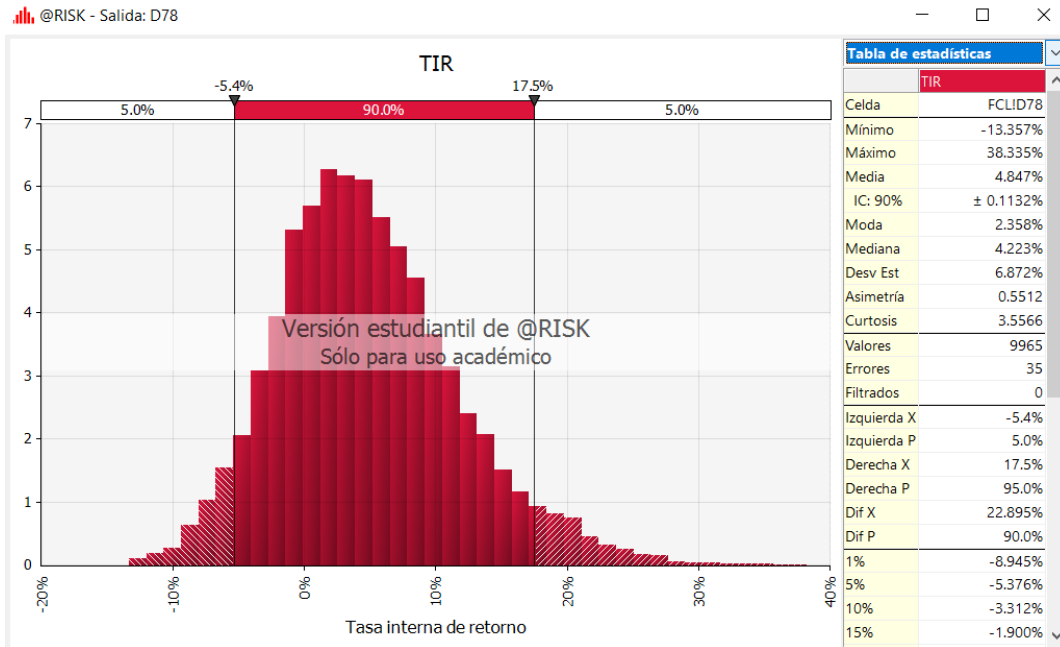
El VPN determinista fue de \$1'788 417. El valor de la media probabilista de \$2' 006 063 es un valor más optimista que el anterior.

9.2.2 Tasa interna de retorno (TIR)

En la figura 54 se muestra la TIR probabilística. Se puede observar que el valor mínimo posible es de -13,36%, el valor máximo posible es de 38,33% con una media de 4,85% efectivo mensual.

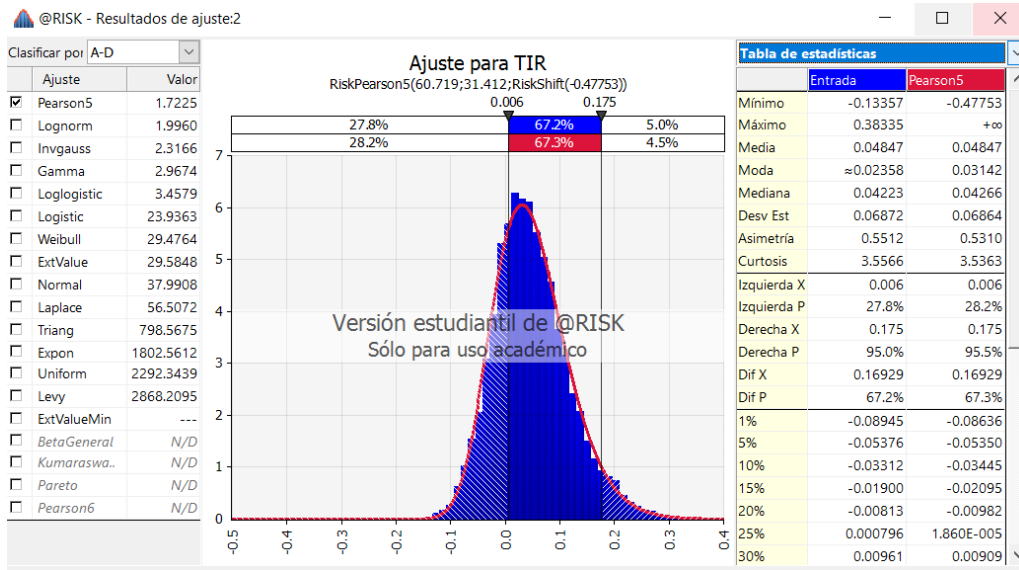
De la figura 55 se concluye que la distribución que mejor se ajusta a los resultados es la de "Pearson V", con sintaxis RiskPearson5 (alfa, beta), según la metodología de Anderson-Darling, donde:

Figura 54. TIR probabilista



Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura 55. Bondad de ajuste para la TIR



Fuente: Elaboración propia (2018).

Alfa = 60,719 (parámetro de forma); beta = 31,412 (parámetro de escala).
Adicionalmente, se desplaza 0,477 hacia la izquierda con el comando RiskShift(-0,447).

La probabilidad de obtener una TIR por debajo de la tasa de descuento TD (0,509% efectivo mensual), de tal forma que el proyecto no sea rentable, es del 28,2%.

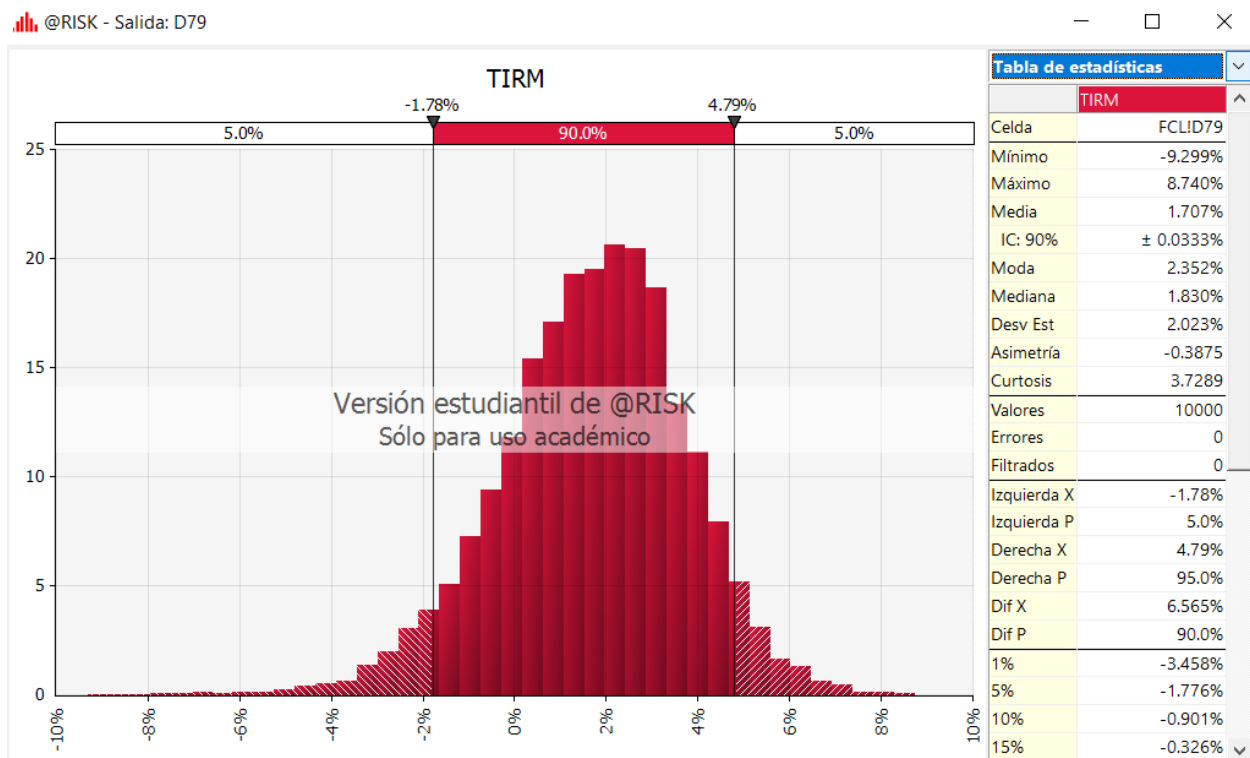
El valor determinístico de la TIR es de 3,17%; al compararlo con la media de la distribución Pearson V que es 4,85% efectivo mensual, hay una diferencia del 0,53%.

9.2.3 Tasa interna de retorno modificada (TIRM o TVR)

El resultado de simulación indica que con una confiabilidad del 90%, la TIRM se encuentra entre -1,78% y 4,79% efectivo mensual, observándose en la figura 56.

El valor mínimo es de -9,29%, la media es de 1,71% y el valor máximo es de 8,74%. La desviación estándar es de 2,02%.

Figura 56. TIRM probabilista

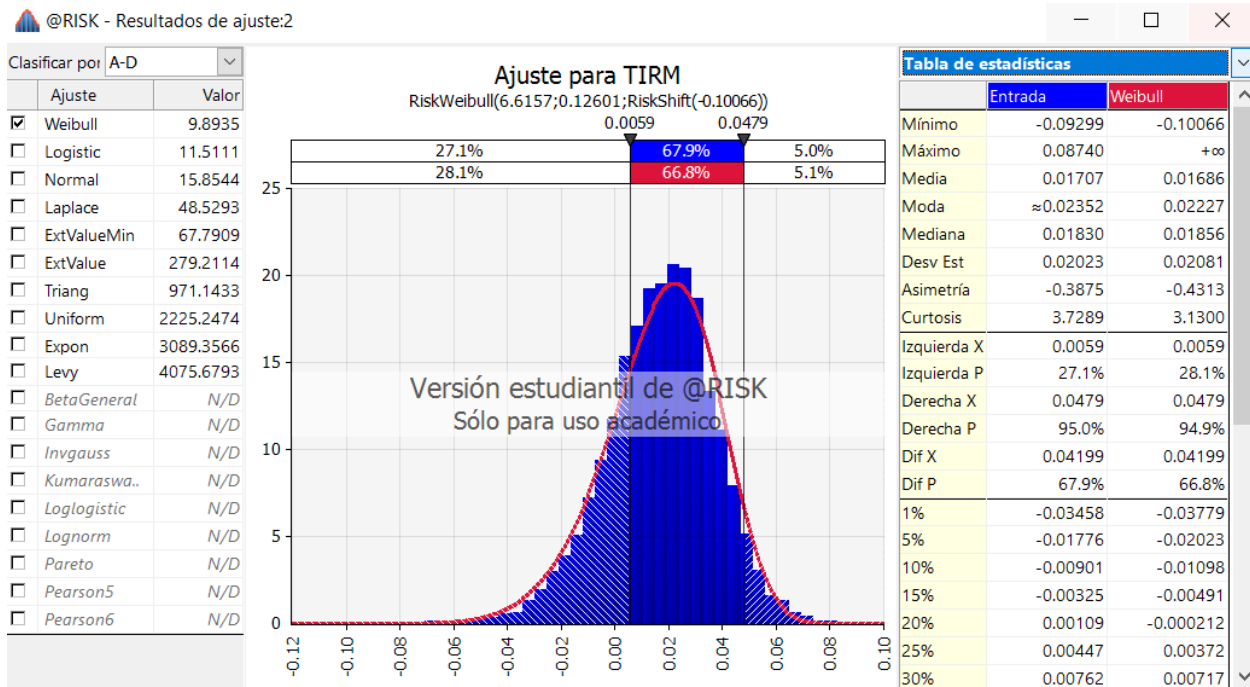


Fuente: Elaboración propia (2018).

Así mismo, según el criterio de Kolmogórov-Smirnov, la distribución que mejor se ajusta a los resultados de la simulación para la TIRM es la Weibull, con sintaxis RiskWeibull(alfa,

beta) y parámetros alfa = 6,616; beta = 0,126. Adicionalmente, se desplaza 0,10 hacia la izquierda con el comando RiskShift(-0,10) para ajustarse mejor a los resultados.

Figura 57. Bondad de ajuste para la TIRM



Fuente: Elaboración propia (2018).

De la figura 57 se aprecia que para el ajuste a la función Logística, hay una probabilidad del 28,1 % que la TIRM sea inferior a la tasa de descuento, $TD = 0,509\%$ efectivo mensual. El valor del TIRM determinístico fue de 1,93%, que, al compararlo con la media de la distribución Weibull, de 1,69%, son un poco diferentes. No obstante, hay que tener presente que la probabilidad de obtener una TIRM de 1,69 es del 47%.

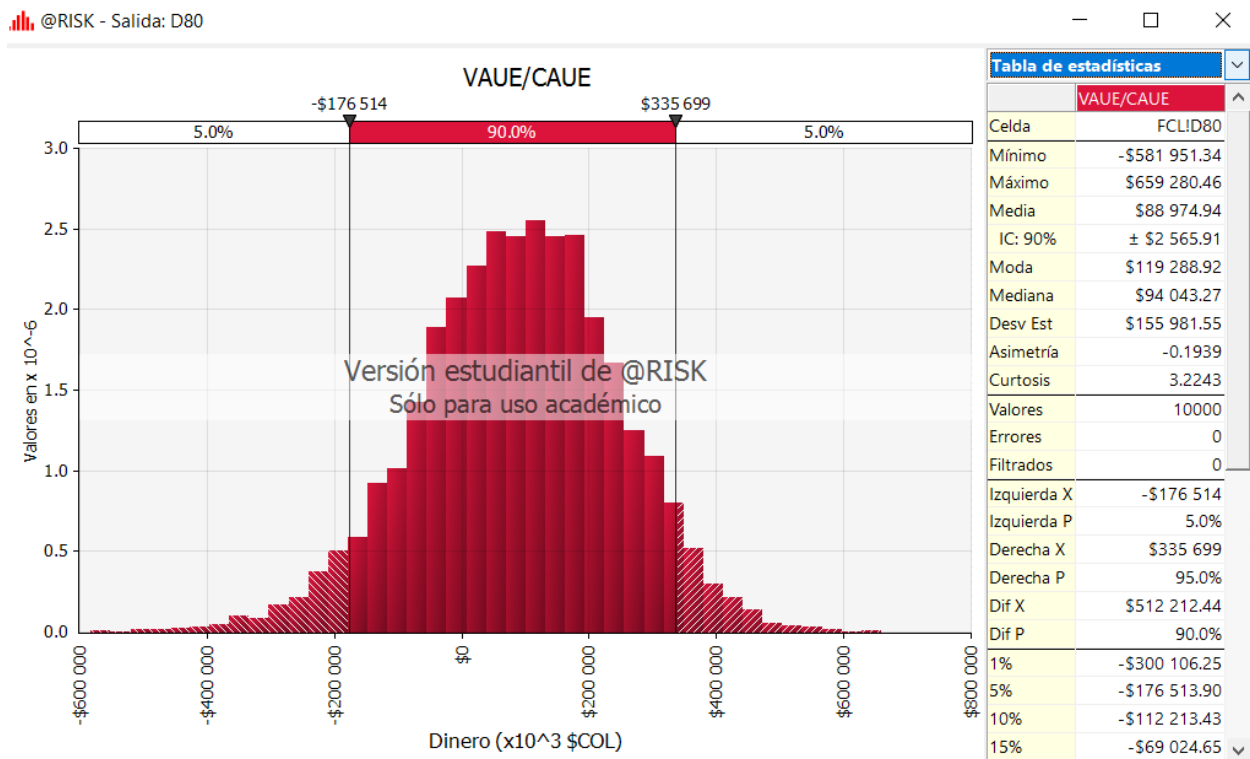
9.2.4 Valor/Costo anual uniforme equivalente (VAUE o CAUE)

Si el indicador tiene signo positivo, se denomina VAUE (Valor anual uniforme equivalente), indicando la capacidad que posee el proyecto para generar periódicamente ingresos o beneficios; si por el contrario, tiene signo negativo, se denomina CAUE (Costo anual uniforme equivalente), indicando que el proyecto acarrea costos periódicos.

En la figura 58 se puede apreciar que probabilísticamente puede tener valores tanto negativos como positivos. El valor mínimo es de -\$581 951; el valor máximo es de \$659 280 (cifras en miles de millones).

Al realizar la prueba de bondad de ajuste a los resultados de la simulación, mediante el método de Kolmogórov-Smirnov, se tiene que la distribución que mejor se ajusta a los datos es la Normal, con sintaxis RiskNormal(μ , σ). La media es \$88 974 y la desviación estándar es de \$155 981.

Figura 58. VAUE o CAUE probabilista



Fuente: Elaboración propia (2018).

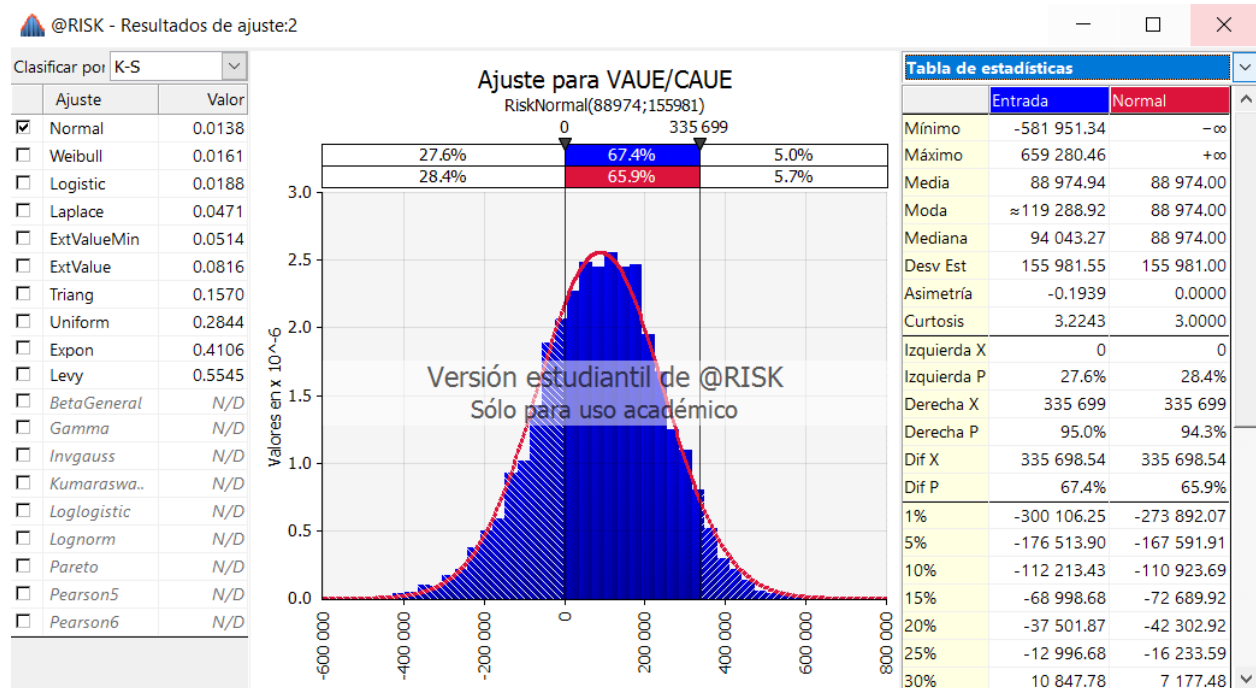
La probabilidad de obtener CAUE (es decir, un valor por debajo de cero), se muestra en la figura 59 y es del 28,4%. Por el contrario, la probabilidad de obtener VAUE o generar valor para los inversionistas es de 100% - 28,4% = 71,6%.

El VAUE determinista fue de \$82 161, comparado con la media del VAUE probabilista de \$88 974, no hay mucha diferencia en los resultados.

9.2.5 Relación beneficio costo (RBC)

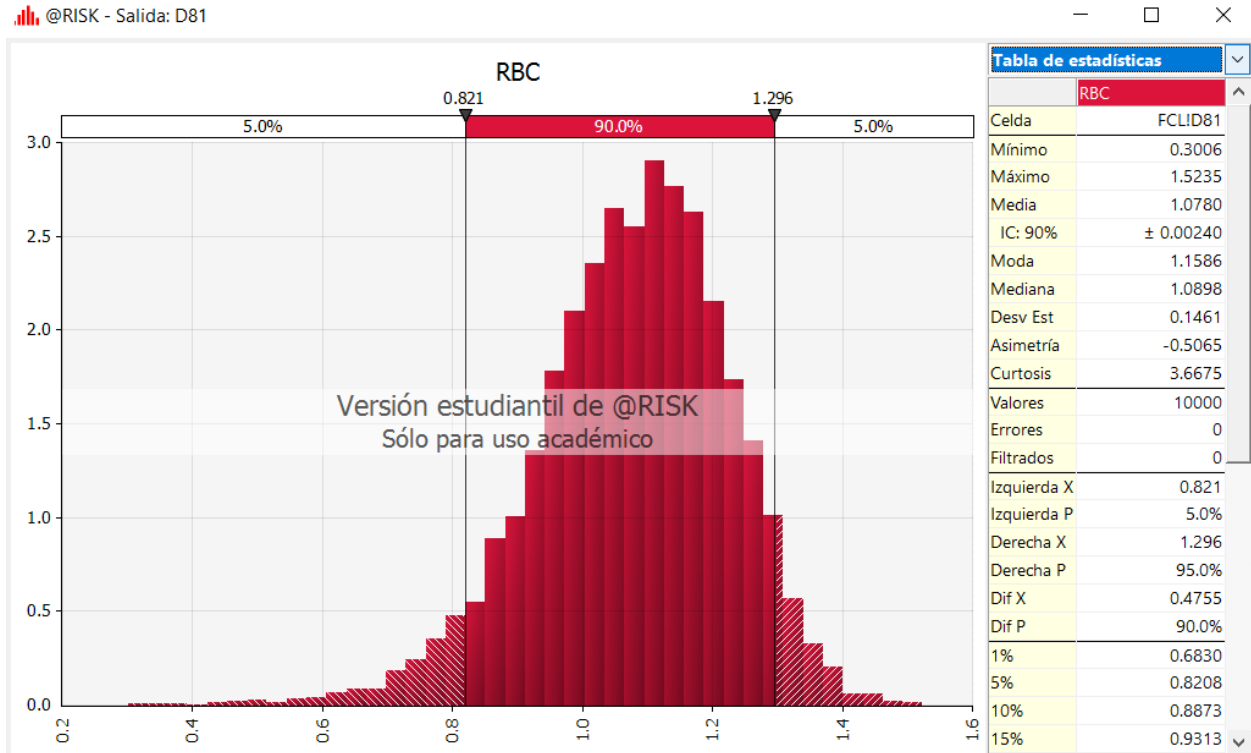
En la figura 60 se puede apreciar el resultado de la simulación para la relación beneficio costo (RBC). Tiene un valor mínimo de 0,30; un valor medio de 1,08; un valor máximo de 1,52 y una desviación estándar de 0,146. Hay una confiabilidad del 90% de que el índice RBC estará entre 0,821 y 1,296.

Figura 59. Bondad de ajuste para VAUE/CAUE



Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura 60. RBC probabilista



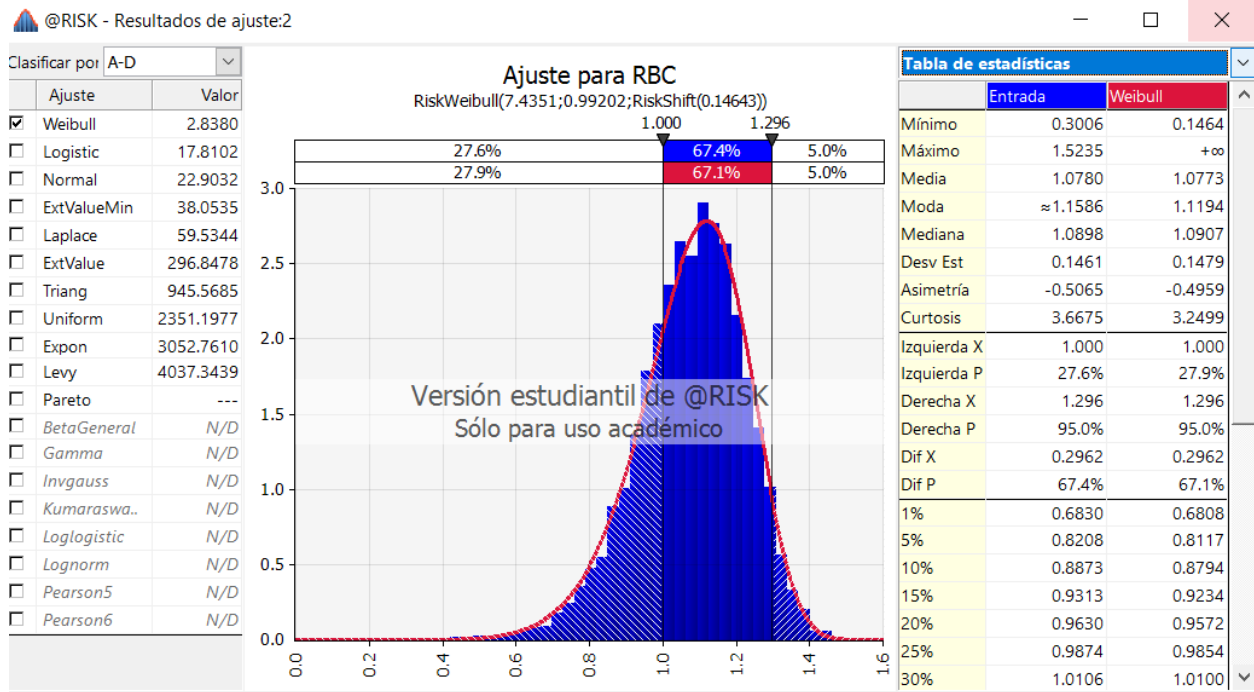
Fuente: Elaboración propia (2018).

En la figura 61 se aprecia el ajuste de la variable RBC a una distribución Weibull, por medio del criterio Anderson-Darling, con sintaxis RiskWeibull(alfa, beta). Los parámetros son: alfa = 7,435 y beta = 0,992. Adicionalmente, la gráfica se desplaza 0,146 unidades hacia la derecha para mejorar el ajuste (RiskShift(0,146)).

La gráfica refleja, además, que la probabilidad de obtener un RBC menor que la unidad (condición desfavorable para la rentabilidad del proyecto), es igual a 27,9%.

El valor determinístico del RBC fue de 1,08; contrastado la media de la distribución Weibull de RBC=1,08; son iguales. No obstante, la probabilidad de obtener la media de la distribución Weibull es del 47%.

Figura 61. Bondad de ajuste para RBC



Fuente: Elaboración propia (2018).

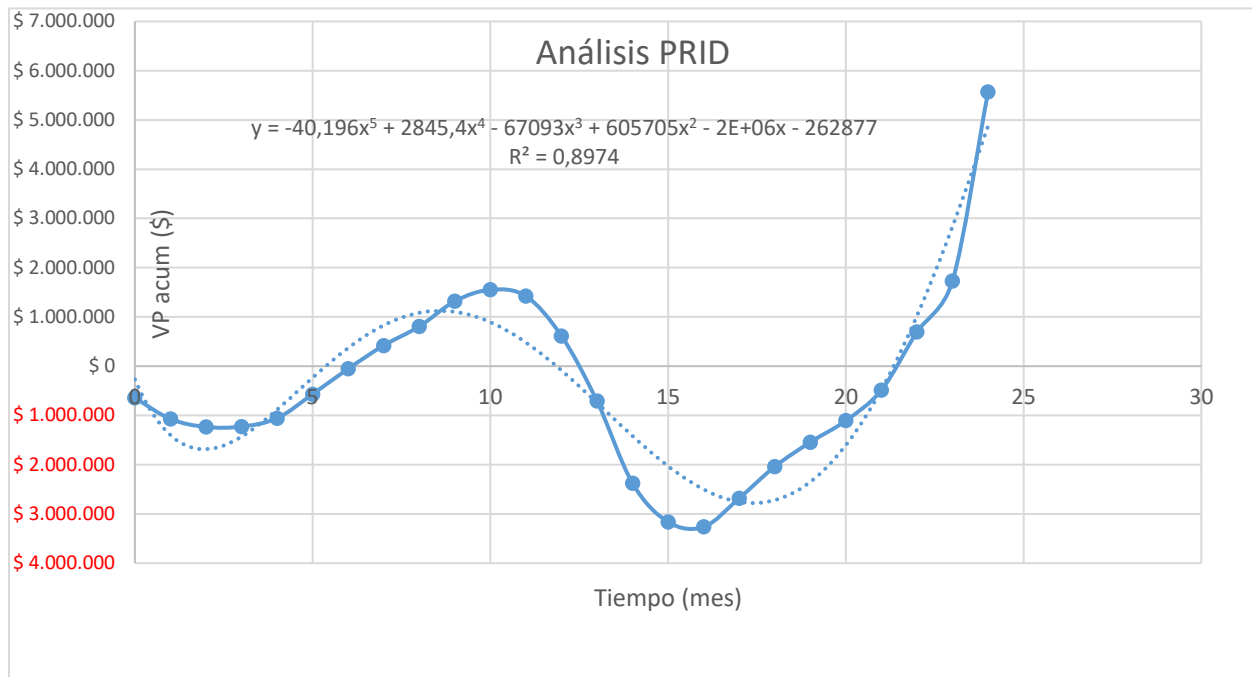
9.2.6 Período de recuperación de la inversión descontado (PRID)

En la figura 62 se observa la gráfica del VPN acumulado vs el tiempo de evaluación del proyecto, para el análisis del período de recuperación de la inversión descontado (PRID), para el último valor de la simulación.

Haciendo un planteamiento análogo al caso determinista, la curva mostraría tres raíces o cruces con el eje horizontal.

No obstante, como se indicó en el caso determinista, por el esquema del negocio (preventiva sobre planos + fiducia + crédito constructor), la recuperación de la inversión se da en períodos cercanos al final del proyecto. Por lo tanto, aquí se tomará el tercer intercepto, que es aproximadamente igual al mes 21.

Figura 62. VPN vs tiempo análisis PRID probabilístico



Fuente: Elaboración propia (2018).

9.2.6.1 Recuperación de la inversión y valor agregado (IRVA)

Teniendo en cuenta que el PRID es el período 21, se tienen los siguientes criterios para el IRVA:

Criterio 1: si $IRVA > 0$ antes del PRID ($t < 21$), hay recuperación de la inversión, más no creación de valor.

Criterio 2: si $IRVA > 0$ después del PRID ($t > 21$), hay creación de valor.

Criterio 3: si $IRVA > inversión$ por recuperar al final del período, antes del PRID ($t < 21$), el desempeño del flujo de caja es mejor que lo esperado, existe recuperación de la inversión; en caso contrario, el desempeño del flujo de caja no cumple las expectativas esperadas, no se recupera la inversión.

Criterio 4: si $IRVA > inversión$ por recuperar al final del período, después del PRID ($t > 21$), el desempeño del flujo de caja es mejor que lo esperado, existe creación de valor; en

caso contrario, el desempeño del flujo de caja no cumple las expectativas esperadas y se da destrucción de valor.

En la tabla 50 se muestra el análisis IRVA tras correr la simulación. Con respecto al análisis determinístico, cambian los resultados finales en todos los criterios, pero se da énfasis en el cuarto criterio, ya que no se está generando valor. No obstante, se debe aclarar que estos resultados corresponden a la variación presentada por el último contador de la simulación. Para otros valores tanto el PRID como el IRVA, puede cambiar drásticamente.

Tabla 50. Análisis IRVA probabilístico

ANÁLISIS IRVA											
T	Inversión por recuperar al inicio	Costo del capital invertido	Amortización de la inversión y valor agregado (IRVA)	Flujo de Caja	Inversión por recuperar al final del periodo	Tasas de descuento	VPN acum En t	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4
0					\$ 644 777	0.420%	\$ 644 777				
1	\$ 644 777	\$ 2 706	\$ 431 419	\$ 428 713	\$ 1 076 196	0.420%	\$ 1 071 698	NO OK		OK	
2	\$ 1 076 196	\$ 4 517	\$ 168 742	\$ 164 225	\$ 1 244 938	0.420%	\$ 1 234 553	NO OK		OK	
3	\$ 1 244 938	\$ 5 225	\$ 2 788	\$ 8 013	\$ 1 242 150	0.420%	\$ 1 226 640	OK		OK	
4	\$ 1 242 150	\$ 5 214	\$ 167 083	\$ 172 296	\$ 1 075 067	0.420%	\$ 1 057 206	OK		OK	
5	\$ 1 075 067	\$ 4 512	\$ 494 912	\$ 499 424	\$ 580 155	0.420%	\$ 568 132	OK		OK	
6	\$ 580 155	\$ 2 435	\$ 526 325	\$ 528 760	\$ 53 830	0.420%	\$ 52 494	OK		OK	
7	\$ 53 830	\$ 226	\$ 486 380	\$ 486 606	\$ 432 550	0.420%	\$ 420 052	OK		OK	
8	\$ 432 550	\$ 1 815	\$ 400 965	\$ 399 149	\$ 833 514	0.420%	\$ 806 048	OK		NO OK	
9	\$ 833 514	\$ 3 498	\$ 535 402	\$ 531 903	\$ 1 368 916	0.420%	\$ 1 318 274	OK		NO OK	
10	\$ 1 368 916	\$ 5 746	\$ 248 894	\$ 243 148	\$ 1 617 810	0.420%	\$ 1 551 448	OK		NO OK	
11	\$ 1 617 810	\$ 6 790	\$ 129 705	\$ 136 495	\$ 1 488 105	0.420%	\$ 1 421 099	NO OK		NO OK	
12	\$ 1 488 105	\$ 6 246	\$ 842 895	\$ 849 141	\$ 645 210	0.420%	\$ 613 582	NO OK		NO OK	
13	\$ 645 210	\$ 2 708	\$ 1 395 157	\$ 1 397 865	\$ 749 947	0.420%	\$ 710 205	NO OK		NO OK	
14	\$ 749 947	\$ 3 148	\$ 1 771 947	\$ 1 768 799	\$ 2 521 894	0.420%	\$ 2 378 268	NO OK		OK	
15	\$ 2 521 894	\$ 10 585	\$ 846 692	\$ 836 107	\$ 3 368 585	0.420%	\$ 3 163 461	NO OK		OK	
16	\$ 3 368 585	\$ 14 139	\$ 120 644	\$ 106 505	\$ 3 489 229	0.420%	\$ 3 263 063	NO OK		OK	
17	\$ 3 489 229	\$ 14 645	\$ 609 820	\$ 624 465	\$ 2 879 409	0.420%	\$ 2 681 515	OK		OK	
18	\$ 2 879 409	\$ 12 085	\$ 680 265	\$ 692 351	\$ 2 199 144	0.420%	\$ 2 039 443	OK		OK	
19	\$ 2 199 144	\$ 9 230	\$ 527 290	\$ 536 520	\$ 1 671 854	0.420%	\$ 1 543 964	OK		OK	
20	\$ 1 671 854	\$ 7 017	\$ 469 181	\$ 476 198	\$ 1 202 673	0.420%	\$ 1 106 032	OK		OK	
21 (PRID)	\$ 1 202 673	\$ 5 048	\$ 672 190	\$ 677 238	\$ 530 483	0.420%	\$ 485 817		OK		OK
22	\$ 530 483	\$ 2 227	\$ 1 292 695	\$ 1 294 922	\$ 762 212	0.420%	\$ 695 117		OK		OK
23	\$ 762 212	\$ 3 199	\$ 1 141 125	\$ 1 137 925	\$ 1 903 337	0.420%	\$ 1 728 536		OK		NO OK
24	\$ 1 903 337	\$ 7 989	\$ 4 251 698	\$ 4 243 709	\$ 6 155 035	0.420%	\$ 5 566 399		OK		NO OK

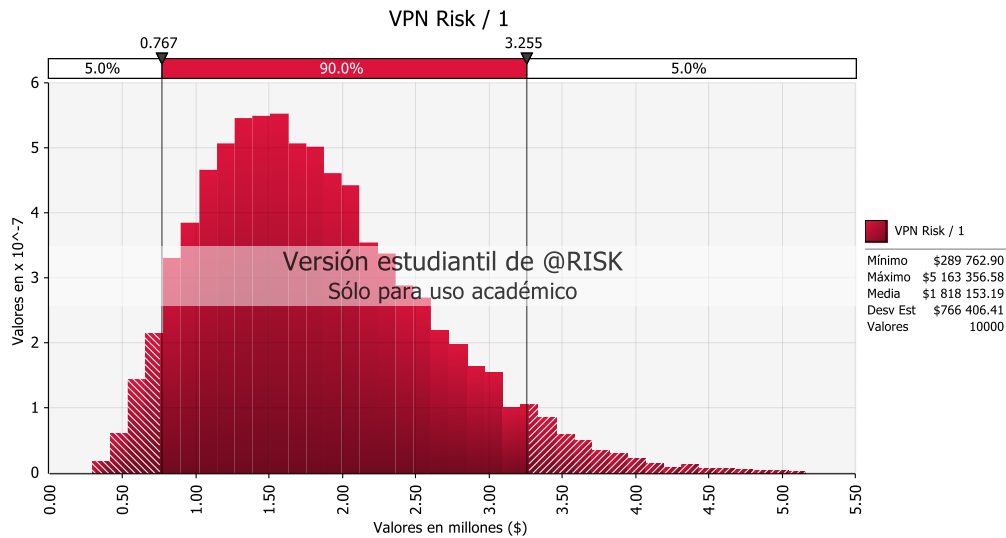
Fuente: Elaboración propia (2018).

9.3 Simulación de riesgos de la matriz probabilidad-impacto

Tras realizar la matriz de probabilidad-impacto, explicada en el numeral 8.2.4 y en la tabla 49, y después de efectuada la simulación, se obtiene el valor presente neto del costo o impacto de los riesgos en el proyecto (VPN Risk). En la figura 63 se muestra la gráfica, donde se puede apreciar que el valor mínimo es de \$289 762; el valor máximo es de \$5' 163 357 y el valor medio o esperado de la variable es VAR = \$1' 818 153 (cifras en miles de millones).

Teniendo en cuenta que el valor presente de los costos directos (C.D.) es de \$12' 661 159, el costo de los riesgos oscila entre el 2,3% de los C.D. y entre el 40,8% de los C.D., siendo cifras que se aproximan a las expresadas en la tabla 34 (la no coincidencia exacta se debe a la volatilidad).

Figura 63. VPN de los riesgos asociados a imprevistos



Fuente: Elaboración propia (2018).

Tabla 51. Resumen del VPN en riesgo

TD	0.535%
VPN Risk	\$3 021 173
VAR	\$1 811 327
VPN Proyecto	\$3 444 516
VPN Real	\$1 633 188
Ratio Sharpe	0.526
VPN libre de Riesgo	0.474
Prob (Risk>=3444516)	3.26%

Fuente: Elaboración propia (2018).

En la tabla 51 se muestra el resumen de resultados para la última iteración de la simulación, en donde se obtuvo un VPN en riesgo igual a VAR = \$1' 811 327, el cual es la media o valor esperado de la función VPN Risk.

El valor presente neto del proyecto, sin tener en cuenta los riesgos es:

$VPN_{proyecto} = \$3' 444 516$ (VPN determinístico para la última iteración de la simulación).

El valor presente neto real se calcula como: $VPN_{real} = VPN_{proyecto} - VAR = \$1' 633 188$

Con lo cual, se obtiene un índice de Sharpe¹⁹ de:

$Ratio\ Sharpe = VAR/VPN_{proyecto} = 1' 811 327 / 3' 444 516 = 52,6\%$

El anterior valor es el peso de los riesgos asociados a los imprevistos sobre el VPN del proyecto. Es equivalente a afirmar que el 52,6% del VPN del proyecto se encuentra en riesgo.

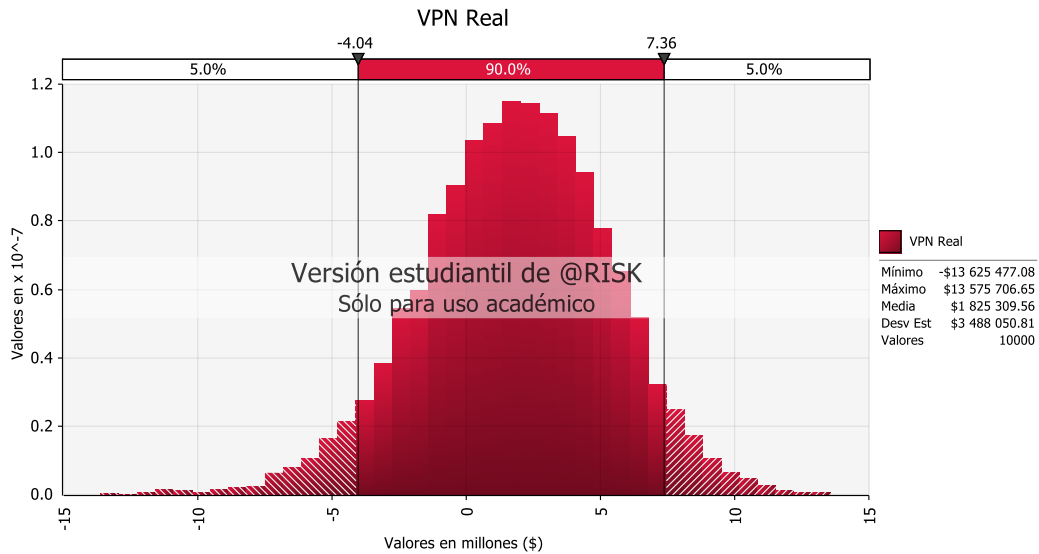
El VPN libre de riesgo es $1 - Ratio\ Sharpe = 47,4\%$

Finalmente, se calcula la probabilidad de que los costos asociados a los riesgos superen el VPN del proyecto y se obtiene como resultado 3,26%. Significa que la probabilidad de que el costo de estos riesgos supere a la rentabilidad del proyecto es de 3,26% para esta iteración en particular.

¹⁹ El índice o ratio Sharpe es una medida del exceso del rendimiento por unidad de riesgo de una inversión, o índice recompensa-variabilidad (Sharpe, 1994).

Es importante aclarar que la tabla 51 presenta uno de los 10000 posibles resultados, ya que los valores varían aleatoriamente y podrían existir, por lo tanto, otros escenarios distintos del aquí expuesto.

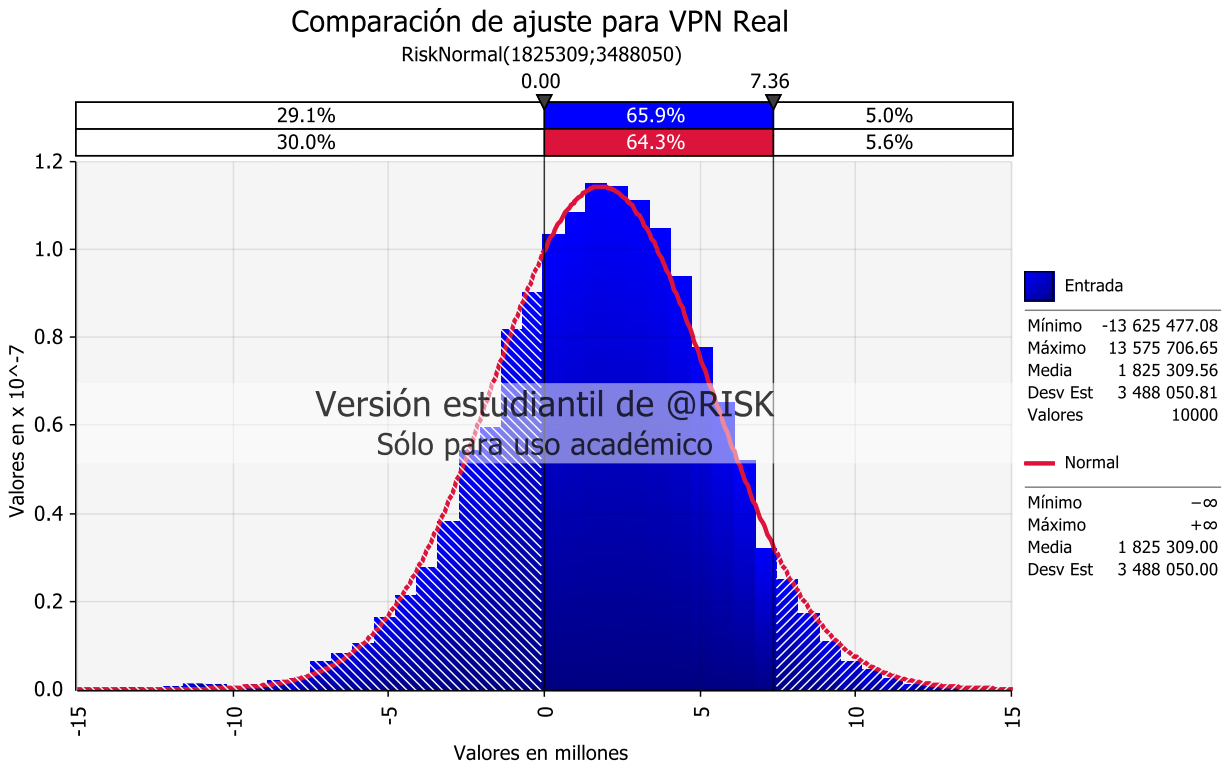
Figura 64. VPN real



Fuente: Elaboración propia (2018).

En la figura 64 se muestra la gráfica del VPN real; cuyo valor mínimo es -\$13' 625 477; valor medio \$1'825 309 y valor máximo \$13' 575 707 (cifras en miles de millones). Se observa, por lo tanto, la incidencia de los riesgos en el VPN del proyecto.

Figura 65. Bondad de ajuste para el VPN real



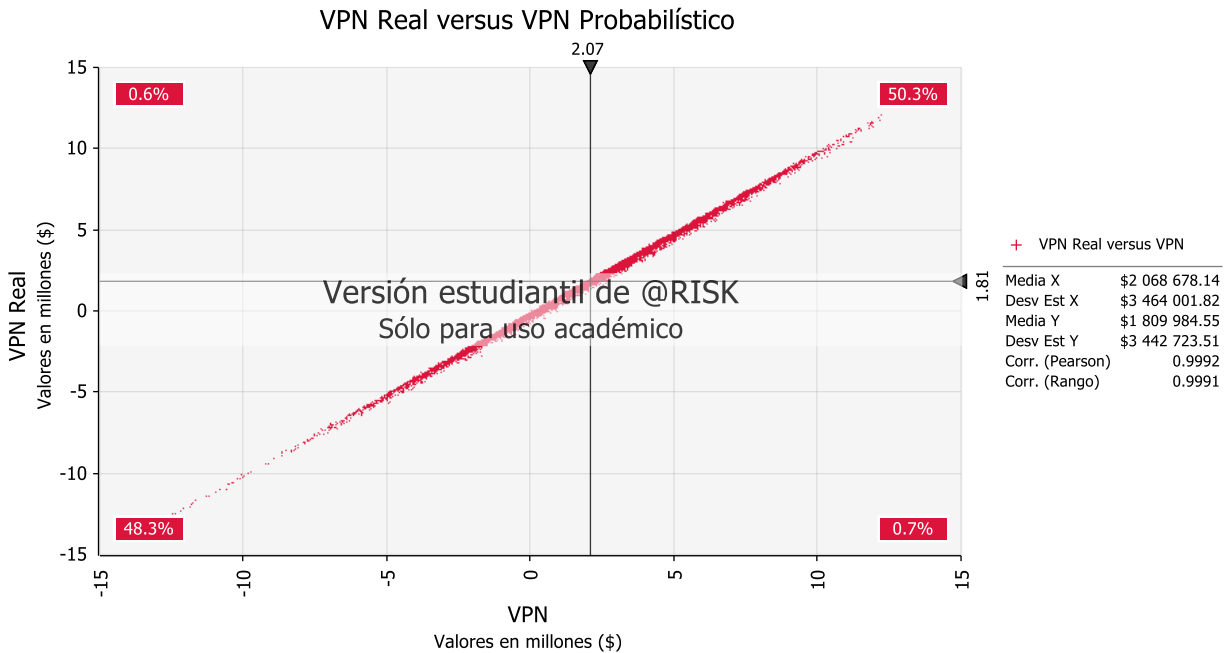
Fuente: Elaboración propia (2018).

En la figura 65 se indica el ajuste realizado por la prueba Kolmogórov-Smirnov para el VPN real, utilizando la función Normal con sintaxis RiskNormal(μ , σ). Los parámetros son: $\mu = 1'825\ 309$ y $\sigma = 3'488\ 051$.

En la figura anterior también se puede apreciar que la probabilidad de obtener un VPN real por debajo de cero es de 30,0%.

En la figura 66 se observa un diagrama de dispersión para comparar el VPN real contra el VPN probabilístico, hallado en la sección 9.2.1. Se observa que se encuentran muy bien correlacionados, alineándose los resultados a una línea recta de 45°. El coeficiente de correlación es prácticamente igual a la unidad. Se puede afirmar que se trata de la misma variable, debido a que tienen en cuenta los riesgos simulados con las variables aleatorias y con la matriz probabilidad-impacto.

Figura 66. VPN real vs VPN probabilístico



Fuente: Elaboración propia (2018).

9.4 AIU probabilístico

En la tabla 16 y en el capítulo 7.5 se definió el porcentaje de administración (A), imprevistos (I) y utilidades (U) de manera determinística, donde:

A = 2,50% sobre ventas (\approx 5,0% sobre los costos directos)

I = 3,00% sobre los costos directos

U = 10,00% sobre los costos directos

Sumando las tres variables, el AIU es el 18% sobre los costos directos.

Las componentes probabilísticas respectivas se modelan como variables de entrada de la siguiente manera:

- Porcentaje de administración A: se propone utilizar una distribución uniforme con un valor mínimo de 2,50% y un valor máximo de 3,50% del precio de venta; ya que según Téllez (2013), para un proyecto inmobiliario los costos de

administración y gerencia oscilan entre estos dos valores. La sintaxis es RiskUniform(2,50%, 3,50%).

- Porcentaje de imprevistos I: en esta variable se pretende modelar no solamente los imprevistos o los llamados costos de contingencia o los “conocidos desconocidos”, sino todos los riesgos en general para abarcar un concepto más amplio. Tal y como se mencionó en el numeral 8.2.1 los riesgos pueden variar entre el 5% y el 35%, del costo directo del proyecto, dependiendo del impacto definido, con un valor medio del 15% del C.D. Se modelará entonces esta variable con base en la tabla 37, mediante una función de distribución triangular con sintaxis RiskTriang(5%,15%,35%).

Además, se pretende modelar aleatoriamente si el evento ocurre o no, mediante la función de distribución de Poisson, tal y como se explicó en el numeral 8.2.4.

- Porcentaje de utilidades U: según Salamanca (2015), este porcentaje varía entre el 10% y el 17%, dependiendo del tipo de proyecto y de la modalidad de contratación (por administración delegada, por precio global o por precios unitarios. Se propone utilizar, por lo tanto, una distribución uniforme con un valor mínimo de 10% y un valor máximo de 17%. La sintaxis es RiskUniform(10%, 17%).

Nuevamente se hace la claridad que la utilidad “U” a la que se refiere este concepto no es el beneficio, rentabilidad o ganancia final del proyecto a ser repartida entre los inversionistas, sino que corresponde a los honorarios de la empresa constructora. En algunas ocasiones los inversionistas son los mismos constructores, pero no siempre ocurre en todos los casos.

Los anteriores porcentajes probabilísticos A, I, U, se multiplican por los ingresos de venta y por los costos directos para obtener los costos totales por concepto de administración, imprevistos y utilidades, que serán distribuidos posteriormente en el flujo de caja proyectado.

Debido a que los ingresos por venta y los costos directos contienen también variables probabilísticas, como se definieron en los numerales 8.1.2 y 8.1.3, entonces los costos totales por concepto de administración, imprevistos y utilidades, tendrán una carga extra de variables aleatorias.

En la tabla 52 se muestran los costos totales por concepto de administración, imprevistos y utilidades extraídos del flujo de caja principal del proyecto, para los 10 primeros períodos (Ver Anexo 4 para su visualización completa). Con esto se constituye el flujo de caja del AIU.

Tabla 52. Flujo de caja del AIU probabilístico

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Administración, A =	\$ 0	\$ 2 219	\$ 14 859	\$ 20 797	\$ 32 667	\$ 29 964	\$ 38 362	\$ 32 296	\$ 31 018	\$ 19 388	\$ 27 515
Imprevistos, I =	\$ 0	\$ 231 816	\$ 385 238	\$ 149 137	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 46 442
Utilidades, U =	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 11 932	\$ 64 070	\$ 71 833	\$ 49 967	\$ 97 336
AIU = Σ	\$ 0	\$ 234 037	\$ 400 099	\$ 169 936	\$ 32 671	\$ 29 969	\$ 50 299	\$ 96 372	\$ 102 859	\$ 69 364	\$ 171 302

Fuente: Elaboración propia (2018).

El propósito es determinar el VPN de cada uno de los flujos por separado (A, I, U) y el VPN de la sumatoria de todos los flujos, Σ AIU, para ser comparados con el VPN de los ingresos, con el VPN de los egresos y con el VPN de los costos directos (C.D.), con el fin de determinar un nuevo porcentaje o peso de cada índice.

Este nuevo porcentaje de las componentes del AIU contiene la mezcla de todas las variables aleatorias del proyecto y de los riesgos obtenidos con la matriz probabilidad-impacto. Como se verá más adelante al correr la simulación, los resultados finales serán unas funciones de probabilidad distintas a las inicialmente definidas. El objeto es comparar estos índices con los valores determinísticos y con la metodología propuesta por Rojas y Bohórquez (2010).

Tabla 53. Cálculo del AIU probabilístico

j	Ítem	(Función)	Xj = Media de la Función	Xj / VPNj Ingreso	Xj / VPNj Egreso	Xj / VPNj C.D.
1	VPN A	\$ 770 756	\$ 776 141	3.0%	3.3%	6.5%
2	VPN I	\$ 1 667 637	\$ 1 889 737	6.6%	7.2%	14.0%
3	VPN U	\$ 1 572 485	\$ 1 624 683	6.2%	6.8%	13.2%
4	VPN AIU	\$ 4 011 148	\$ 4 290 837	15.8%	17.3%	33.7%

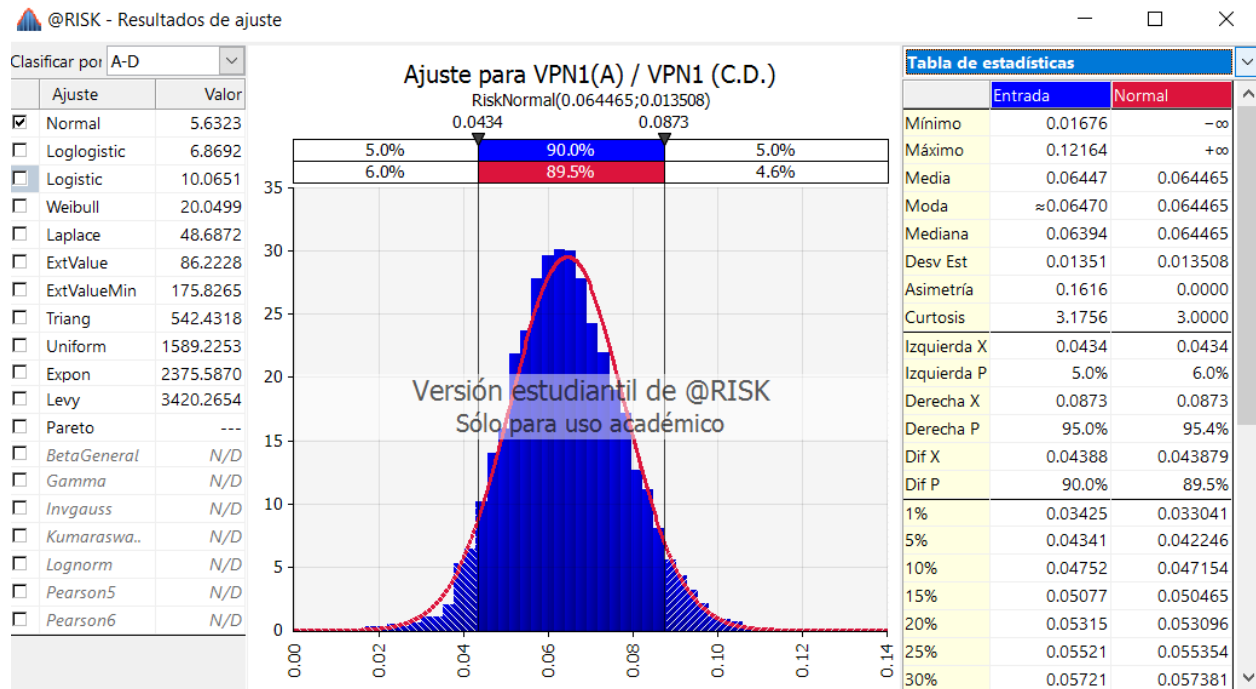
Fuente: Elaboración propia (2018).

En la tabla 53 se muestra el resumen de los indicadores representados con las variables X_j / VPN_j ; con j variando entre 1 y 4.

Para el caso particular de la última columna de la tabla, donde se tiene el porcentaje o peso sobre los costos directos, nótese que el valor final medio del AIU obtenido probabilísticamente (33,7%), no es igual al 18% definido de manera determinista.

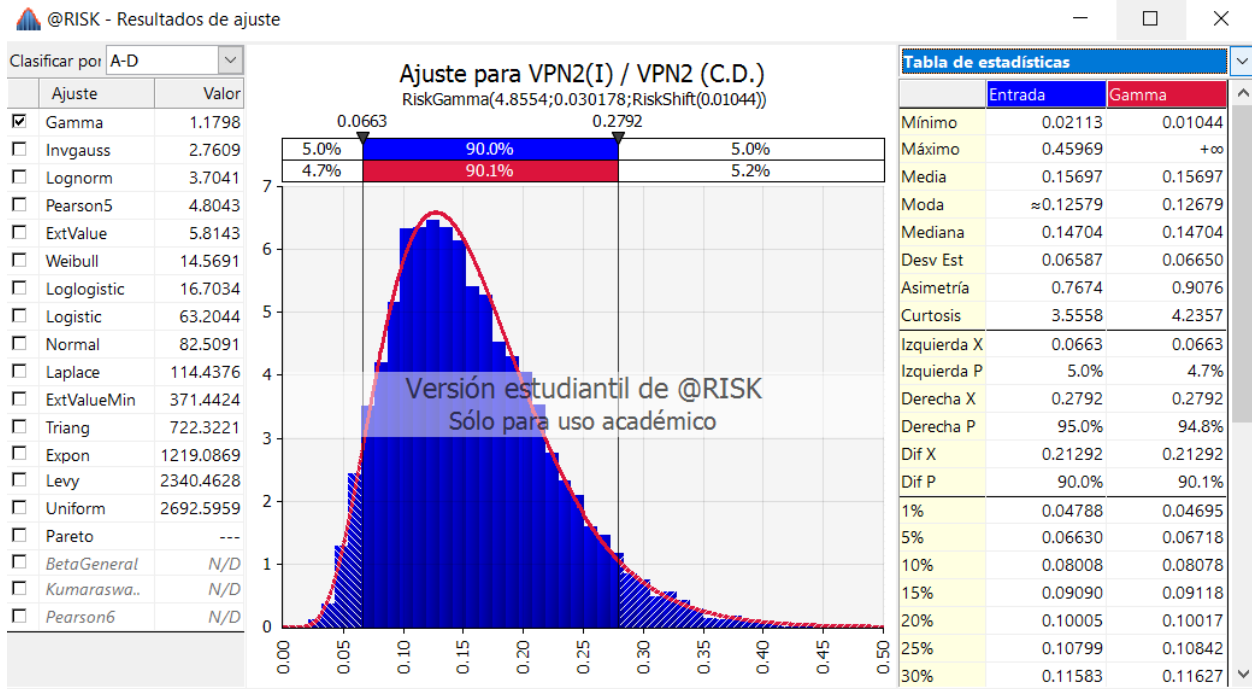
A continuación, se muestran las gráficas correspondientes:

Figura 67. Bondad de ajuste para “A” final



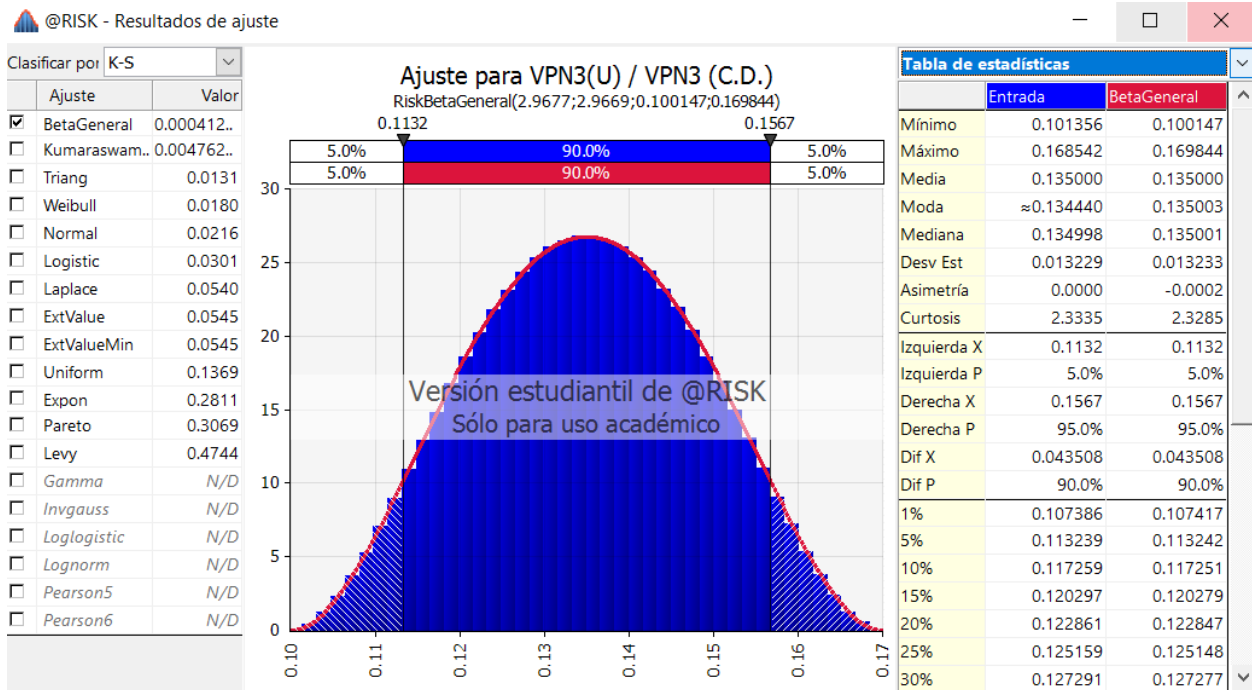
Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura 68. Bondad de ajuste para "I" final



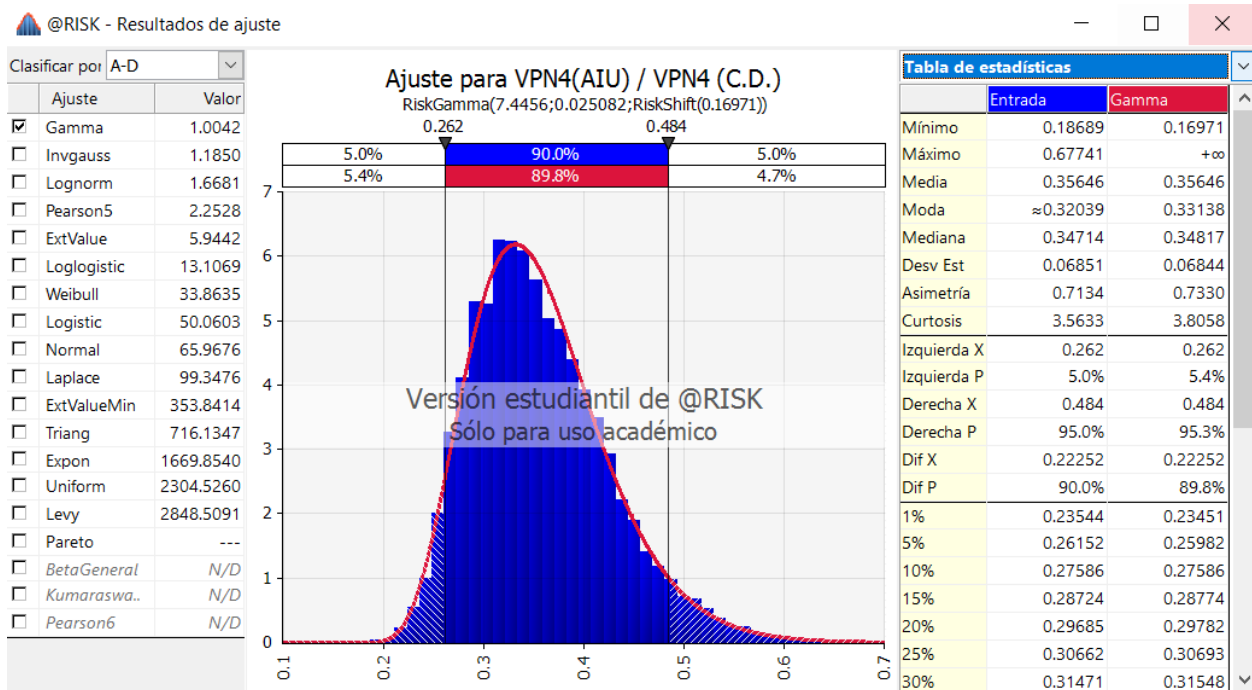
Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura 69. Bondad de ajuste para "U" final



Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura 70. Bondad de ajuste para “AIU” final



Fuente: Elaboración propia (2018).

Para cada variable se obtuvieron las funciones de distribución: Normal, Gamma, Beta General y Gamma, respectivamente, después de la simulación.

- Para la variable “A final” representada por la distribución Normal, el valor mínimo es menos infinito; máximo más infinito (no acotadas) y la media es de 6,44%. La probabilidad de que la variable “A” sea mayor que el valor de referencia determinístico del 5,00% sobre los costos directos es del 81,2%.
- Para la variable “I final” representada por la distribución Gamma, el valor mínimo es del 1,04%; máximo infinito (no acotada) y media del 15,70%. En contraste, el valor determinístico es solamente del 3,00%. La probabilidad de obtener menos del 3,00% de imprevistos es del 0,06%. La probabilidad de obtener menos del 5,00% de imprevistos es del 1,28% y la probabilidad de obtener menos del 10% de imprevistos es del 19,96%.

Aquí se observa principalmente el efecto de los riesgos asociados a los imprevistos.

- Para la variable “U final” representada por la distribución Beta General, el valor mínimo es del 10%, el valor máximo es del 17% y la media es del 13,5%.
- Para la variable “AIU final” representada por la distribución Gamma, el valor mínimo es de 16,97%, el valor máximo de +infinito (no acotado) y la media de 35,65%.

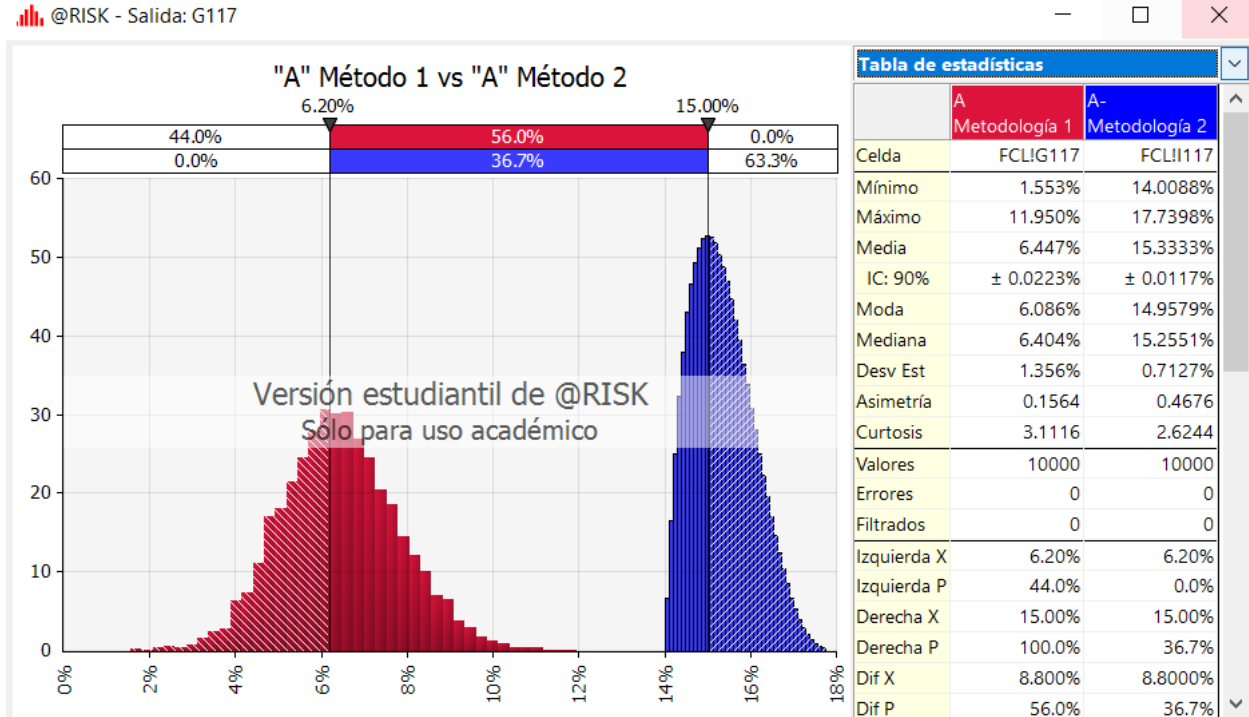
Se observa que las distribuciones y valores finales no son iguales a los ingresados inicialmente.

En el método propuesto por Rojas y Bohórquez (2010), se propone utilizar una función de distribución Beta para el porcentaje de administración y para el porcentaje de utilidad, dejando la variable imprevistos determinística y constante.

La distribución Beta de este método, es realmente la distribución Pert, entendiendo que la distribución Pert es una forma mejorada de la distribución Beta (PALISADE, 2016).

De ahora en adelante, se denominará metodología 1 a la del presente estudio y metodología 2 a la propuesta por Rojas y Bohórquez (2010).

Figura 71. Comparación metodología 1 vs metodología 2 para la variable A



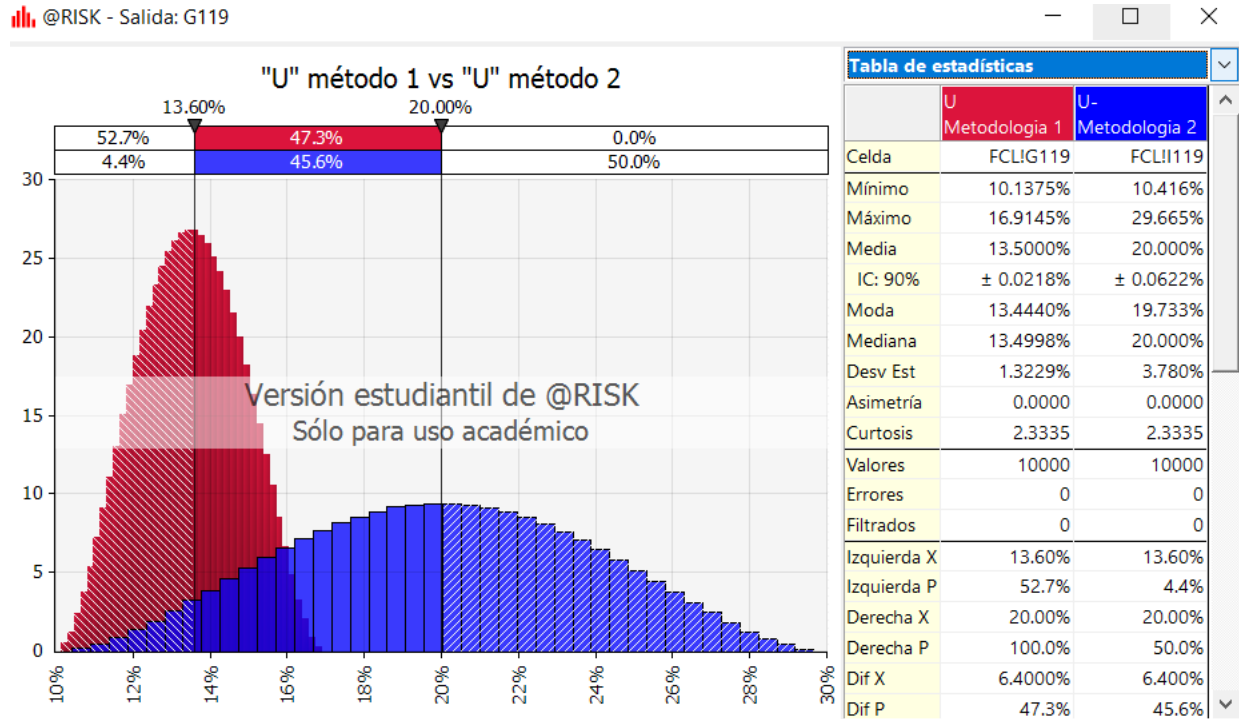
Fuente: Elaboración propia (2018).

En la figura 71 se puede apreciar la comparación de las dos metodologías para la variable A.

La metodología 1 está a la izquierda de la gráfica, con valores de A variando entre el 1,55% y el 11,95%; mientras que la metodología 2 tiene valores de A variando entre 14% y 17,7%.

La curva de la metodología 1 es mesocúrtica (kurtosis $\approx 3,00$) mostrando menor variabilidad; mientras que la metodología del autor es platicúrtica (kurtosis $< 3,00$), indicando mayor variación. Las gráficas no se superponen.

Figura 72. Comparación metodología 1 vs metodología 2 para la variable U



Fuente: Elaboración propia (2018).

En la figura 72 la metodología 1 para la variable U tiene valores variando entre el 10,13% y el 16,91%; mientras que la metodología 2 tiene valores que varían entre el 10,41% y el 29,66%. Las dos metodologías tienen la misma kurtosis (platicúrtica, kurtosis < 3,00) y las gráficas se superponen aproximadamente entre el 10% y el 17 aproximadamente.

9.5 Impacto final de los riesgos

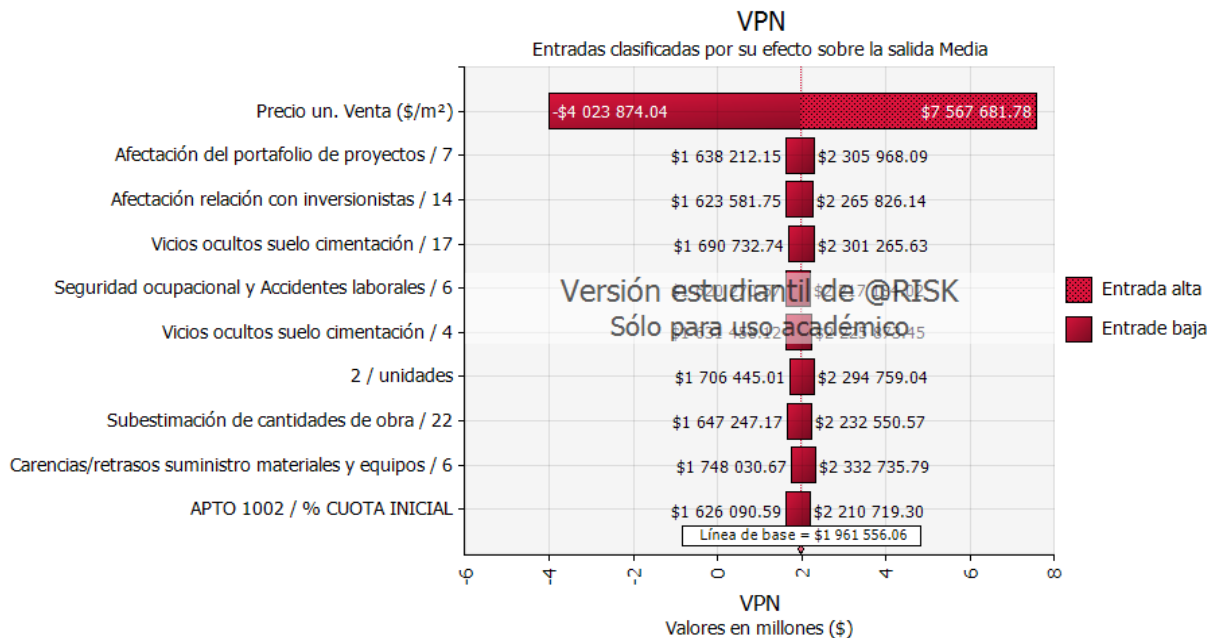
Con el fin de determinar la incidencia o impacto final de las variables probabilísticas que modelan los riesgos en proyectos de inversión inmobiliarios, sobre el valor presente neto (VPN), en la **figura 73** se aprecia el gráfico de tornado del VPN.

El gráfico de tornado muestra la sensibilidad de una variable de salida ante distintas variables de entrada. Las barras más largas en la parte superior representan las variables de entrada más significativas (PALISADE, 2016).

La variable con mayor incidencia en el VPN es por lógica los ingresos por medio del precio unitario de venta.

No obstante, se puede verificar que los riesgos asociados a los imprevistos representando a los egresos, son los que le siguen en la lista como los principales agentes que inciden en el VPN.

Figura 73. Gráfico de tornado sobre el VPN



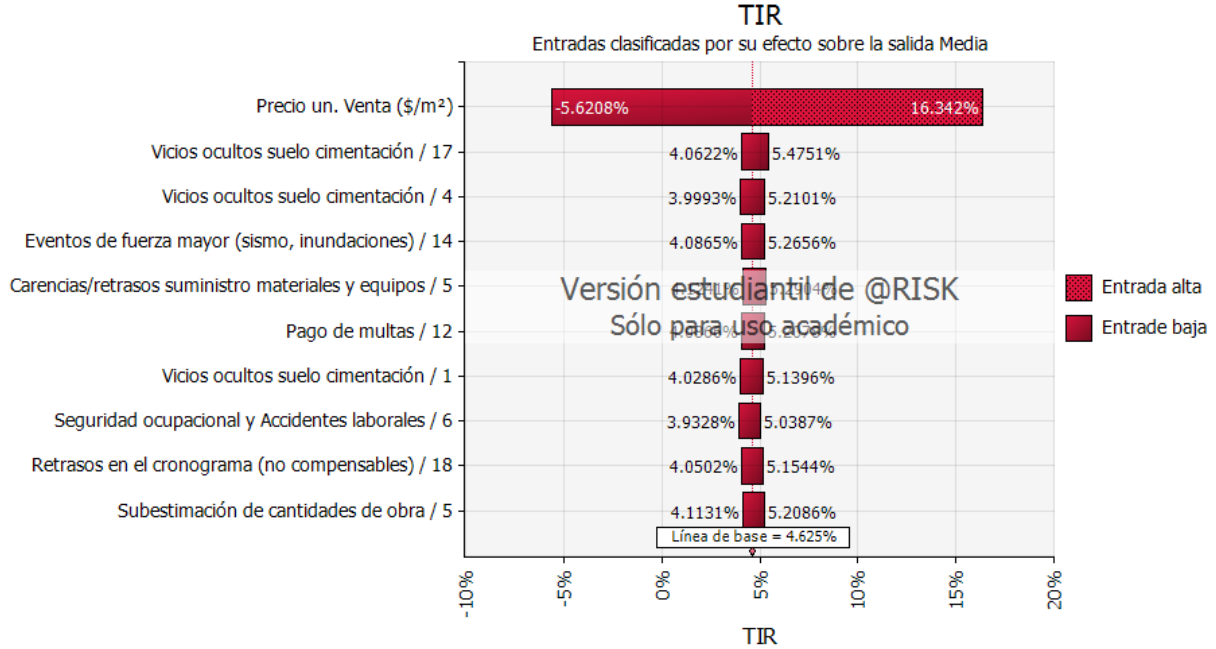
Fuente: Elaboración propia (2018).

Se observa, por ejemplo, que la afectación del portafolio de proyectos, la afectación de la relación con los inversionistas, los vicios ocultos del suelo de cimentación y la seguridad ocupacional, son los riesgos más relevantes.

En la figura 74 se observa la misma situación para la tasa interna de retorno (TIR). En este caso, después de los ingresos, la variable que más afecta la TIR son los vicios ocultos del suelo de cimentación, los eventos de fuerza mayor como sismo e

inundaciones, le sigue la carencia o desabastecimiento de los materiales y equipos y el pago de multas.

Figura 74. Gráfico de tornado sobre la TIR



Fuente: Elaboración propia (2018).

9.6 Resumen comparativo determinístico vs probabilístico

En la tabla 54 se muestra el resumen comparativo de los indicadores de evaluación financiera.

Tabla 54. Resumen de indicadores de evaluación financiera

INDICADOR	MODELO DETERMINISTA	MODELO PROBABILISTA ²⁰	PROBABILIDADES
VPN	\$1'788 417	\$2'006 063	Prob(VPN) < 0 = 28,4%
TIR	3,17%	4,85%	Prob(TIR) < T _D = 28,2%
TIRM	1,93%	1,69%	Prob(TIRM) < T _D = 28,1%
VAUE	\$82 161	\$88 974	Prob(VAUE) < 0 = 28,4%

²⁰ Es la media o valor esperado de la función de probabilidad. Debe entenderse que la variable respectiva puede tomar cualquier valor, ya que es aleatoria.

INDICADOR	MODELO DETERMINISTA	MODELO PROBABILISTA ²⁰	PROBABILIDADES
RBC	1,08	1,08	Prob(RBC) < 1,0 = 27,9%
PRID	23	20	-
IRVA	Generación de valor	No generación de valor	-

Fuente: Elaboración propia (2018).

Tabla 55. Resumen de indicadores del AIU

INDICADOR	MODELO DETERMINISTA	MODELO PROBABILISTA ²¹
A	5,00%	6,44%
I	3,00%	15,70%
U	10,00%	13,50%
AIU	18,88%	35,65%

Fuente: Elaboración propia (2018).

En la tabla anterior se muestra la comparación de indicadores determinísticos vs probabilísticos para el AIU, con respecto a los costos directos.

10 Ecuaciones propuestas

Con el fin de aplicar la metodología a cualquier tipo de proyectos inmobiliarios, sin depender exclusivamente del software @Risk, se plantean las siguientes ecuaciones para los indicadores más importantes:

10.1 Valor presente neto (VPN)

La ecuación del VPN real y probabilístico es la función de densidad de probabilidad de la distribución normal como sigue:

$$p(VPN) = f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (26)$$

²¹ Es la media o valor esperado de la función de probabilidad. Debe entenderse que la variable respectiva puede tomar cualquier valor, ya que es aleatoria.

$$p(VPN) = f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}(3'488\ 051)} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-1'825\ 309}{3'488\ 051}\right)^2} \quad (27)$$

Donde:

x representa el VPN probabilístico

p(VPN) es la probabilidad de obtener un x = VPN dado

μ = es la media de la función = \$1'825 309

σ = es la desviación estándar = \$3'488 051

e = es la base de los logaritmos neperianos

La anterior ecuación se deduce según (PALISADE, 2016).

10.2 Tasa interna de retorno (TIR)

La ecuación de la tasa interna de retorno es la función de densidad de probabilidad de la distribución Pearson V:

$$p(TIR) = f(x) = \frac{1}{\beta\Gamma(\alpha)} \frac{e^{-\frac{\beta}{x}}}{\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha+1}} \quad (28)$$

$$p(TIR) = f(x) = \frac{1}{\beta\Gamma(60,719)} \frac{e^{-\frac{31,412}{x-0,478}}}{\left(\frac{x-0,478}{31,412}\right)^{61,719}} \quad (29)$$

Donde:

x representa la TIR probabilística

p(TIR) es la probabilidad de obtener un x = TIR dado

α = parámetro continuo de forma = 60,719

β = parámetro de escalamiento continuo = 31,412

Shift = -0,478 (desplazamiento del dominio)

e = es la base de los logaritmos neperianos

$\Gamma(\alpha)$ = función Gamma = $\int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt$; la función Gamma se puede aproximar a:

$\Gamma(\alpha) = (\alpha-1)!$

Para lo anterior se propone aproximar α al entero superior más cercano y obtener la combinatoria $(\alpha-1)!$

La anterior ecuación se deduce según PALISADE (2016).

10.3 Administración, imprevistos y utilidades (AIU)

La ecuación del AIU es la función densidad de probabilidad de la distribución Gamma:

$$p(AIU) = f(x) = \frac{1}{\beta\Gamma(\alpha)} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (30)$$

$$p(AIU) = f(x) = \frac{1}{\beta\Gamma(7,446)} \left(\frac{x+0,169}{0,025}\right)^{6,446} e^{-\frac{x+0,169}{7,446}} \quad (31)$$

Donde:

x representa el AIU probabilístico

p(AIU) es la probabilidad de obtener un x = AIU dado

α = parámetro continuo de forma = 7,446

β = parámetro de escalamiento continuo = 0,025

Shift = 0,169 (desplazamiento del dominio)

e = es la base de los logaritmos neperianos

$\Gamma(\alpha)$ = función Gamma = $\int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt$; la función Gamma se puede aproximar a:

$\Gamma(\alpha) = (\alpha-1)!$

Para lo anterior se propone aproximar α al entero superior más cercano y obtener la combinatoria: $(\alpha-1)!$

La anterior ecuación se deduce según PALISADE (2016).

11 Conclusiones

El presente trabajo permitió conocer que, en la actualidad, las compañías constructoras y promotoras de la ciudad de Medellín realizan la evaluación financiera de sus proyectos de manera determinística, utilizando valores de referencia obtenidos de las experiencias en proyectos previos o mediante criterio del evaluador, para la estructuración financiera del proyecto y construcción de su flujo de caja.

Dichos valores son tomados como ciertos e invariantes en la modelación y cálculo de los principales indicadores para estimación de rentabilidad y aceptación del emprendimiento.

Para el caso de estudio se analizó la prefactibilidad de un proyecto inmobiliario de estrato 4 en la ciudad de Medellín, identificando los riesgos potenciales bajo la metodología PESTEL y apoyada en las diez áreas de conocimiento del PMBOK, con el fin de determinar sus incidencias e impactos en la rentabilidad del proyecto y de esta manera tener un criterio para la viabilidad del proyecto.

Se realizó, por lo tanto, una estimación de los indicadores determinísticos acordes con la información suministrada por la compañía objeto de estudio, para la evaluación financiera del proyecto en cuestión, para posteriormente, aplicar la metodología utilizada en esta investigación para el cálculo de los mismos indicadores en condiciones de riesgo.

El resultado obtenido indica que, en condiciones de certidumbre o determinísticas, el proyecto tiene favorabilidad para su aceptación, tal y como lo reflejan los indicadores de evaluación financiera resumidos en la tabla 54. Salvo el PRID y el IRVA, la mayoría de los indicadores de evaluación financiera cumplen con los requerimientos básicos.

Aunque el PRID determinístico es largo, no es un factor para rechazar el proyecto, debido a que el esquema y funcionalidad del negocio obligan a que la recuperación de la inversión se dé prácticamente al final del período. En cuanto al IRVA determinístico, el indicador refleja que no hay recuperación de la inversión antes del PRID; no obstante, una vez el proyecto supere el PRID, hay recuperación de la inversión y generación de valor agregado.

El resultado obtenido en condiciones de incertidumbre también muestra un concepto favorable para su aceptación, pero reflejando el nivel de riesgo al cual se debe exponer el inversionista y permitiéndole conocer cuáles son las probabilidades de éxito y fracaso.

Al revisar los números de la tabla 54 se puede constatar que, a grosso modo, el valor esperado o media de los indicadores financieros probabilísticos son en cierta medida mejores que los valores determinísticos correspondientes, sin embargo, el inversionista debe tener cautela porque no deben ser observados de manera independiente, sino supervisando la probabilidad asociada al cumplimiento del criterio de aceptación del indicador.

Así, por ejemplo, para el indicador VPN, con el modelo probabilista se obtiene un VPN medio de \$2'006 063, el cual es mayor que el del modelo determinista de \$1'778 417. No obstante, hay una probabilidad de obtener un VPN negativo del 28,4%, lo cual quiere decir que hay una probabilidad del 28,4% de fracasar o perder valor, y hay una probabilidad del 71,6% de éxito o ganancia de valor.

Puede existir un proyecto que muestre un VPN muy favorable, pero con una probabilidad del 50% de obtenerlo. Analizando el IRVA probabilístico, hay un escenario en el cual no hay generación de valor. El inversionista deberá tomar, por lo tanto, una decisión en función de su propensión al riesgo.

En conclusión, la evaluación financiera de proyectos inmobiliarios con la metodología probabilística empleada en este trabajo permite conocer las probabilidades de éxito o fracaso para la toma de decisiones.

Así mismo, la metodología aquí propuesta para la evaluación financiera en riesgo del proyecto es racional, en contraposición a la metodología convencional utilizada por las constructoras y empresas promotoras de proyectos inmobiliarios, que utilizan criterios empíricos o basados en experiencias anteriores o con juicios a priori del evaluador o del gerente de proyecto, muchas veces sin realizar un estudio a conciencia del entorno, de las condiciones del mercado y de la competencia.

Igualmente, se calculó el factor AIU con un método racional en contraposición al AIU asumido empíricamente por las compañías constructoras del medio, comprobando que el AIU probabilístico difiere del AIU determinístico, ya que contiene todos los riesgos asociados a imprevistos modelados mediante variables aleatorias y mediante la matriz de probabilidad-impacto.

Adicionalmente, se comparó el AIU obtenido con la metodología propuesta versus el AIU calculado con la bibliografía de referencia y se encontró que hay diferencias en las funciones de probabilidad empleadas y en los rangos de valores hallados, mostrando gran dispersión.

Se proponen finalmente, ecuaciones para estimar de manera racional las probabilidades de los principales indicadores VPN, TIR y AIU de tal forma que puedan ser aplicados a los proyectos inmobiliarios, definiendo los parámetros indicados, sin depender del software comercial @Risk.

12 Recomendaciones

Se dan las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones en el tema de riesgos asociados a imprevistos en proyectos inmobiliarios, que en general, son aplicables también a cualquier tipo de proyectos.

- Realizar un estudio de factibilidad para varios proyectos, con el fin de comparar sus resultados y desarrollar una metodología más general.
- Modelar atrasos no compensables en el cronograma utilizando @Risk y Microsoft Project.
- Priorización de proyectos en un portafolio.
- Incorporar más variables aleatorias en el flujo de caja libre.
- Simular diferentes modelos y velocidades de venta.
- Elaborar un algoritmo de software libre que no dependa de un programa comercial.

Referencias

- AACE International (2010). *Cost Engineering Terminology*. Recuperado el 12 de diciembre de 2018, de <https://web.aacei.org/docs/default-source/rps/10s-90.pdf?sfvrsn=28>
- Ángel, D., y Hincapié, M. (2016). *Un estado del arte del análisis cualitativo y cuantitativo de riesgos en proyectos*. Recuperado el 17 de abril de 2018, de <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/11417>
- Anónimo (2018). *Planos arquitectónicos proyecto inmobiliario Compañía Constructora*. Medellín.
- Añorve, M. A., y Gallo-León, J.-P. (2017, enero 1). *La fiabilidad en la entrevista: la entrevista semiestructurada y estructurada, un recurso de la encuesta*. Recuperado el 2 de mayo de 2018, de <http://rev-ib.unam.mx/ib/index.php/ib/article/view/3793/3346>
- Aquino, N. (2014). *El Árbol de Decisiones en el Análisis de Riesgos del Proyecto*. Recuperado el 2 de mayo de 2018, de <http://www.eoi.es/blogs/madeon/2014/01/20/el-arbol-de-decisiones-en-el-analisis-de-riesgos-del-proyecto/>
- Attarzadeh, M., Chua, D., y Beer, M. (2011). Risk Management of Long Term Infrastructure Projects «PPP-BOT Projects»; by Using Uncertainty, Probabilistic and Stochastic Methods, and Models. En *Vulnerability, Uncertainty, and Risk* (pp. 360-367). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- Banco Mundial (2018). *LAC Equity Lab: Pobreza*. Recuperado el 2 de diciembre de 2018, de <http://www.bancomundial.org/es/topic/poverty/lac-equity-lab1/poverty>
- Baca, G. (2013). *Evaluación de proyectos*. (Cuarta ed). México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Betancur, G. (2014). Porcentaje de Imprevistos del AIU - Administración, Imprevistos y Utilidad, en los contratos de obra. *Cámara Colombiana de la Infraestructura Seccional Antioquia*.
- Bissonette, M. (2016). *Project Risk Management: A Practical Implementation Approach*. Newton Square: Project Management Institute.
- Bloomberg (2019). *United States Rates & Bonds*. Recuperado el 15 de enero de 2019, de <https://www.bloomberg.com/markets/rates-bonds/government-bonds/us>
- Bohórquez, K. (2018, abril 5). «El error del BD Bacatá fue establecer plazos que no podíamos cumplir». Recuperado el 26 de abril de 2018, de <https://www.larepublica.co/empresas/el-error-del-bd-bacata-fue-establecer-plazos-que-no-podiamos-cumplir-2709418>
- Buchtik, L. (2012). *Secretos para dominar la gestión de riesgos en proyectos* (Primera ed). Montevideo: B. Global.
- Buján, A. (2018). *Estructura financiera*. Enciclopedia Financiera. Recuperado el 24 de abril de 2018, de <https://www.encyclopediainanciera.com/definicion-estructura-financiera.html>
- Bunni, N. (2003). *Risk and Insurance in Construction* (Second Ed). London: Spon Press.

- CAMACOL, C. C. de la C. (2008). *El sector de la construcción en Colombia: hechos estilizados y principales determinantes del nivel de actividad*. Recuperado el 29 de abril de 2018, de https://camacol.co/sites/default/files/secciones_internas/EE_Inv20081119101141_0.pdf
- Camacol, y Lonja, L. (2018). *Revista Informe Inmobiliario*. Recuperado el 2 de diciembre de 2018, de <https://informeinmobiliario.com/>
- Caro, D. (2015). *Afectación de la TIR por materialización de riesgos en proyectos de infraestructura*. Medellín: Universidad EAFIT.
- CESLA (2019). *Indicadores diarios de los mercados financieros de Colombia*. Recuperado el 15 de enero de 2019, de <https://www.cesla.com/indicadores-diaros-mercados-financieros-colombia.php>
- Chao, L. C. (2013). *Estimating Project S-Curve Based on Project Attributes and Conditions*. Recuperado el 15 de diciembre de 2018, de <https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/handle/2115/54353>
- Congreso de la República (1993). *Ley 80 de 1993 Nivel Nacional*. Recuperado el 15 de abril de 2018, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=304>
- Congreso de la República (2007). *Leyes desde 1992 - Vigencia expresa y control de constitucionalidad [LEY_1150_2007]*. Recuperado el 15 de abril de 2018, de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1150_2007.html
- Córdoba, M. (2011). *Formulación y Evaluación de Proyectos* (Segunda ed). Bogotá: Ecoe Ediciones.
- D'Agostino, R., y Stephens, M. (1986). *Goodness of Fit Techniques*. Boca Raton: Taylor & Francis.
- Damodaran, A. (2019). *Betas by Sector (US)*. Recuperado el 15 de enero de 2019, de http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html
- DANE (2017). *Estadísticas de Licencias de Construcción (ELIC)*. Recuperado el 29 de noviembre de 2018, de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/licencias-de-construccion>
- DANE (2018a). *Boletín Técnico. Índice de costos de la Construcción de Vivienda (ICCV)*. Recuperado el 19 de diciembre de 2018, de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/icc/bol_iccv_nov18.pdf
- DANE (2018b). *Cuentas trimestrales - Colombia*. Recuperado el 12 de abril de 2018, de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol_PIB_IVtrim17_oferta_demanda.pdf
- DANE (2018c). *Estratificación Socioeconómica - Preguntas Frecuentes*. Recuperado el 2 de diciembre de 2018, de <https://www.dane.gov.co/index.php/116-espanol/informacion-georreferenciada/2421-estratificacion-socioeconomica-preguntas-frecuentes>

- DANE (2018d). *Índice de costos de la construcción de vivienda (ICCV) Históricos*. Recuperado el 17 de diciembre de 2018, de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/indice-de-costos-de-la-construccion-de-la-vivienda/iccv>
- Del Risco, V., y Galvis, M. (2013). *Análisis Cualitativo de Factores de Riesgos Financieros en Proyectos de Construcción de tipo Residencial en la Ciudad de Cartagena bajo la Metodología del PMI. Caso de Estudio: Edificio Portovento*. Universidad de Cartagena.
- Editores, N., y Colombiano, E. (2018). *Revista Propiedades*, Medellín. Recuperado el 12 de octubre de 2018 de <http://propiedades.com.co/>
- Escobar, S. (2017). *Análisis del componente imprevisto de la estructura de costos Indirectos en los contratos estatales que impactan a los contratistas de obra*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Firmansyah, B., Veronika, A., y Trigunaryah, B. (2006). Risk Analysis in Feasibility Study of Building Construction Project: Case Study: PT. Perusahaan Gas Negara Indonesia. En *The Tenth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction* (pp. 145-150). Bangkok.
- Frame, J. D. (2005). *La dirección de proyectos en las organizaciones : cómo utilizar bien el tiempo, las técnicas y la gente*. (1.ª ed.). Buenos Aires: Granica.
- García, J., Echeverry, D., y Mesa, H. (2017). *Gerencia de Proyectos. Aplicación a proyectos de construcción de edificaciones*. (Segunda ed). Bogotá D.C: E. Uniandes.
- Gómez, E. (2017). *Presentación del curso: Análisis de Riesgo en Proyectos*. Medellín: Lys Comunicación gráfica.
- Gómez, E., y Díez, J. (2015). *Evaluación Financiera de Proyectos*. (Segunda ed). Medellín: Lys Comunicación gráfica.
- Gómez, E., Mora, A., y Uribe, R. (2015). *Análisis de riesgo en proyectos con @Risk*. (Segunda ed). Medellín: Gráfica, Ed.
- Gómez, J. (2005). Manejo del Riesgo en los Estudios de Preinversión Económica. *Revista UPIICSA. Investigación Interdisciplinaria*, 28(XIII), 16-23. Recuperado el 15 de abril de 2018 de <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/5328/3/38-3.pdf>
- Green, P. (2016). *Enterprise Risk Management. A Common Framework for the Entire Organization*. (1st ed.). Oxford: Elsevier.
- Gutiérrez, E. (2018, febrero 27). Vivienda nueva le abre la puerta a la clase media. *El Tiempo*. Recuperado el 29 de noviembre de 2018 de <https://www.eltiempo.com/colombia/medellin/opciones-de-la-clase-media-para-conseguir-vivienda-nueva-187444>
- Heldman, K. (2006). *Project Manager's Spotlight on Risk Management*. San Francisco: John Wiley & Sons.

- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación*. (Sexta ed). México D.F.: Mc. Graw Hill.
- Hillier, F. S., y Lieberman, G. J. (2015). *Introduction to operations research*. (10.^a ed.). New York: Mc. Graw Hill.
- Hillson, D. (2009). *Managing Risk in Projects*. Surrey: Gower.
- Hincapié, E., y Durán, W. (2006). *Evaluación Financiera de Proyectos Inmobiliarios: variables que intervienen en su elaboración*. Medellín: Universidad de Medellín.
- INTER (2010). *Investigación Correlacional Diseño de Investigación: Diferencias entre explicativo, descriptivo y correlacional*. Recuperado el 27 de abril de 2018, de http://metodologiainter.weebly.com/uploads/1/9/2/6/19268119/investigacin_correlacional.pdf
- Kendrick, T. (2015). *Identifying and managing Project Risk*. (3.^a ed.). New York: Amacom.
- Kirchsteiger, C. (1999). On the use of probabilistic and deterministic methods in risk analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 12, 399-419.
- Lira, P. (2013). *Evaluación de Proyectos de Inversión* (1.^a ed.). Lima: Universidad Peruana de Ciencias aplicadas (UPC).
- Llinás, H. (2016). *Introducción a la teoría de probabilidad*. (1.^a ed.). Barranquilla: Universidad del Norte.
- Loaiza, J. (2015, noviembre 8). ¿Cuáles son los “elefantes blancos” en el Valle de Aburrá? *El Colombiano*. Recuperado el 12 de diciembre de 2018 de <http://www.elcolombiano.com/antioquia/medellin-aun-tiene-obras-sin-usar-o-acabar-IH3081280>
- Lonja, L. (2018). *Este es el valor del metro cuadrado en Medellín según el estrato*. Recuperado el 2 de diciembre de 2018, de <https://www.lonja.org.co/biblioteca-virtual/noticias-de-interes/1510-este-es-el-valor-del-metro-cuadrado-en-medellin-segun-el-estrato>
- MarcoTeorico.com (2018). *Modelos probabilísticos*. Recuperado el 22 de abril de 2018, de <https://www.marcoteorico.com/curso/87/matematicas-para-la-toma-de-decisiones/719/modelos-probabilisticos>
- Martínez, G., Moreno, B., y Rubio, M. del C. (2012). *Gestión del Riesgo en Proyectos de Ingeniería. El Caso del Campus Universitario PTS*. Universidad de Granada (España). *DYNA*, 79(173), 7-14.
- MathWorks (2018). *Simulación Monte Carlo-MATLAB*. Recuperado el 26 de abril de 2018, de <https://es.mathworks.com/discovery/simulacion-monte-carlo.html>
- McNeil, A. J., Frey, R., y Embrechts, P. (2015). *Quantitative risk management: concepts, techniques and tools*. (Revised Ed). New Jersey: Princeton University Press.

- Medellin, A. (2011). *Municipio de Medellín. Estratificación Socioeconómica de Viviendas*. Recuperado el 2 de abril de 2018 de [https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpccontent/Sites/Subportal Ciudadano/Planeación Municipal/Secciones/Indicadores y Estadísticas/Documentos/Estratificación/EstimadoViviendasDiciembre30_2011.pdf](https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpccontent/Sites/SubportalCiudadano/PlaneaciónMunicipal/Secciones/IndicadoresyEstadísticas/Documentos/Estratificación/EstimadoViviendasDiciembre30_2011.pdf)
- Medellín, A. de. (2010). *Plan Estratégico Habitacional de Medellín. PHMED 2020*. Medellín. Recuperado el 2 de abril de 2018 de <http://www.institutodeestudiosurbanos.info/actividades-academicas/gestion-del-suelo-area-metropolitana-fase-2-2011/seminario-internacional-derecho-a-la-vivienda/1214-presentacion-plan-estrategico-habitaciona-de-medellin-cavadid-claudia-2011/file>
- Meza, J. (2013). *Evaluación financiera de proyectos*. (Tercera ed). Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Mitjavila, M. (1999). El riesgo y las dimensiones institucionales de la modernidad. *Revista de Ciencias Sociales Universidad de la República, Montevideo Uruguay*, (15). Recuperado el 15 de abril de 2018 de <http://biblioteca.clacso.edu.ar/gsd/cgi-bin/library.cgi?c=uy/uy-004&a=d&d=HASH0640b86b8ad6b7f795d04a.3>
- Murmis, G. M. (1997). «S» curves for monitoring project progress. *Project Management Journal*, 28(3), 29-35. Recuperado el 16 de septiembde de 2018 de <https://www.pmi.org/learning/library/s-curves-monitoring-project-progress-5386>
- Nagata, M., Manginelli, W., Lowe, S., y Trauner, T. (2018). *Construction Delays*. (Third ed). Oxford: Elsevier.
- ORACLE (2018). *Unparalleled Insight Into the Critical Factors Affecting Risk*. Recuperado 26 de abril de 2018, de <https://www.oracle.com/co/applications/crystalball/index.html>
- Pacheco, A., y Cruz, M. C. (2006). *Metodología Crítica de la Investigación. Lógica, procedimiento y técnicas*. (Primera ed). México D.F.: CECSA.
- PALISADE (2016). *Guía para el uso de @Risk*. (P. Corporation, Ed.) (7.^a ed.). Ithaca NY.
- PALISADE (2018a). *@Risk. Complemento de análisis de riesgos para el Microsoft Excel*. Ithaca NY.
- PALISADE (2018b). *Risk Analysis using Monte Carlo Simulation*. Recuperado el 26 de abril de 2018, de <http://www.palisade.com/risk/>
- Plazas, K. (2016). *Cálculo de imprevistos de un proyecto VIS mediante la aplicación de la gestión de riesgos*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- PMI (2009). *Practice standard for project risk management*. Newton Square: Project Management Institute.
- PMI (2016). *Construction extension to the PMBOK guide*. Newton Square: Project Management Institute.
- PMI (2017). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*. (PMI, Ed.)

- (Sixth Edit). Newton Square: Project Management Institute.
- Portafolio (2017). *El balance del 2017 hecho por el ministro de hacienda Mauricio Cárdenas | Economía | Portafolio*. Recuperado el 13 de abril de 2018, de <http://www.portafolio.co/economia/el-balance-del-2017-hecho-por-el-ministro-de-hacienda-mauricio-cardenas-512943>
- Pratt, S. P. (2002). *Cost of capital : estimation and applications*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Pratt, S. P., y Grabowski, R. J. (2008). *Cost of capital : applications and examples* (Third Edit). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Raftery, J. (2003). *Risk analysis in project management*. (E. & F. Spon, Ed.). London: E & FN Spon.
- Real Academia Española (2018). *Definición de riesgo - DLE*. Recuperado el 20 de abril de 2018, de <http://dle.rae.es/?id=WT8tAMI>
- Repetto, M. (2008). *Evaluación de Proyectos de Inversión Inmobiliarios. Carrera de Especialización en Gerenciamiento y Dirección de Proyectos y Obras (Geo)*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- República, B. de la. (2018a). *Unidad de Valor Real (UVR)*. Recuperado el 4 de enero de 2019, de <http://www.banrep.gov.co/es/unidad-valor-real-uvr>
- República, B. del la. (2018b). *Indicadores de inflación básica y su variación anual*. Recuperado 4 de enero de 2019, de <http://www.banrep.gov.co/es/indicadores-inflacion-basica-y-su-variacion-anual>
- República, B. del la. (2018c). *Tasas de colocación*. Recuperado el 5 de enero de 2019, de <http://www.banrep.gov.co/es/tasas-colocacion>
- Rojas López, M. D., Rua Machado, C. A., y Ceballos Rodríguez, E. A. (2008). *Gerencia de la construcción : guía para profesionales*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Rojas, M. D., y Bohórquez, N. (2010). Aproximación metodológica para el cálculo del AIU. *DYNA*, 77(162), 293-302. Recuperado 15 de abril de 2018 de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/15895>
- Rosas, M. (1995, mayo 20). Créditos para vivienda: subrogación o novación. *El Tiempo*, p. 1. Recuperado 22 de diciembre de 2018 de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-330791>
- Sáez, A. (2009). Modelización estocástica de precipitaciones máximas para el cálculo de eventos extremos a partir de los períodos de retorno mediante R. *Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Jaén*, 12.
- Salamanca, J. F. (2015). *Prefactibilidad de Proyectos Arquitectónicos*. (Primera ed.). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

- San-Cristóbal, J. R. (2017). The S-curve envelope as a tool for monitoring and control of projects. *Procedia Computer Science - Elsevier*, 121, 756–761.
- Schieg, M. (2006). Risk management in construction project management. *Journal of Business Economics and Management*, 7(2), 77-83.
- Sharpe, W. (1994). *The Sharpe Ratio*. Recuperado el 24 de enero de 2019, de <https://web.stanford.edu/~wfs Sharpe/art/sr/sr.htm>
- Shrivastava, N. K. (2014). A model to develop and use risk contingency reserve. En *PMI® Global Congress 2014—North America, Phoenix, AZ. Newtown Square, PA: Project Management Institute*. Phoenix: PMI. Recuperado el 24 de diciembre de 2018 de <https://www.pmi.org/learning/library/model-risk-contingency-reserve-9310>
- Sobol', I. M. (Il'ia M. (1994). *A primer for the Monte Carlo method*. Boca Raton: CRC Press.
- Statistics, T. C. E. of. (2008). Kolmogorov-Smirnov Test. En *The Concise Encyclopedia of Statistics* (pp. 283-287). New York, NY: Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-0-387-32833-1_214
- Téllez, M. (2013). *Finanzas de la Construcción* (Sexta ed). Bogotá: Bhandar Editores.
- Tobar, M. (2011). *Ingeniería Económica*. (Primera ed). Medellín: L. C. Gráfica.
- Vélez, I. (2000). *Medición del Valor Agregado: Inversión Recuperada y Valor Agregado IRVA*. Bogotá D.C. Recuperado el 15 de diciembre de 2018 de <http://www.cashflow88.com/decisiones/irva.pdf>
- Vélez, I. (2003). *Decisiones Empresariales bajo Riesgo e Incertidumbre*. Bogotá D.C.: Editorial Norma.
- Vivanco, M. (2005). *Muestreo Estadístico. Diseño y Aplicaciones*. (Primera ed). Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- Wanner, R. (2013). *Project Risk Management: The Most Important Methods and Tools for Successful Projects*. Lexington: Proconis.
- Wei, L., y Yun, T. (2015). Real State Project Financial Evaluation Based on Cash Flow Estimation. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 9, 135-141.
- Yale, U. (1997). *Chi-Square Goodness of Fit Test*. Recuperado el 19 de enero de 2019, de <http://www.stat.yale.edu/Courses/1997-98/101/chigf.htm>
- Zapata, C. J. (2010). *ANÁLISIS PROBABILÍSTICO Y SIMULACIÓN*. Pereira. Recuperado el 22 de abril de 2018 de http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/lapsee/curso_2011_zapata_3.pdf