



**GESTIÓN DEL RIESGO DE CRÉDITO EN PROJECT FINANCE**

**MÓNICA MARIA HERNÁNDEZ RAMÍREZ**

**JUAN PABLO RIVERA GALVIS**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN  
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN FINANCIERA  
MEDELLÍN  
2019**

# **GESTIÓN DEL RIESGO DE CRÉDITO EN PROJECT FINANCE**

**Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de  
magíster en Administración Financiera**

**MÓNICA MARÍA HERNÁNDEZ RAMÍREZ<sup>1</sup>**

**JUAN PABLO RIVERA GALVIS<sup>2</sup>**

**Asesor: Miguel Ángel Bello Bernal**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN  
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN FINANCIERA  
MEDELLÍN  
2019**

---

<sup>1</sup> mherna20@eafit.edu.co

<sup>2</sup> jriver29@eafit.edu.co

## Contenido

1. Introducción .....	7
2. Identificación .....	9
3. Evaluación .....	11
4. Cobertura y mitigación .....	12
5. Riesgo de crédito (RC) .....	14
5.1 Indicadores de sostenibilidad financiera .....	14
5.2 Análisis de sensibilidad y de escenarios .....	17
6. Caso de estudio .....	20
7. Resultados .....	22
8. Conclusiones .....	26
9. Referencias .....	28
10. Anexos .....	30
10.1 Anexo 1. CAPEX .....	30
10.2 Anexo 2. OPEX .....	30
10.3. Anexo 3. EBITDA .....	31
10.4 Anexo 4. Período de amortización .....	31
10.5 Anexo 5. DSCR .....	32
10.6 Anexo 6. Análisis de sensibilidad tipo tornado .....	32
10.7 Anexo 7. Histogramas y probabilidad de ocurrencia mediante SMC .....	33

## Índice de tablas

Tabla 1. Etapas y riesgos en proyectos de infraestructura .....	9
Tabla 2. Riesgos frente a los contratos de mitigación.....	13
Tabla 3. Rango promedio del DSCR por sectores .....	16
Tabla 4. Fuentes de Agua Viva. Característica del préstamo .....	20
Tabla 5. Fuentes de Agua Viva. Inversión en la fase de construcción.....	20
Tabla 6. Fuentes de Agua Viva. Contratos entre el SPV y los actores del proyecto.....	21
Tabla 7. Fuentes de Agua Viva. Resultados del ejercicio .....	22
Tabla 8. Fuentes de Agua Viva. Probabilidad de impago en los períodos de amortización .....	24

## Índice de figuras

Figura 1. Fuentes de Agua Viva. Proceso de simulación.....	24
--	----

## Abreviaciones

APP: asociación público-privada.

CAPEX: *Capital expenditure*, inversiones en bienes de capital, gastos en capital.

DSCR: *Debt-service coverage ratio*, *ratio* de cobertura del servicio de la deuda.

EBITDA: *Earnings before interest, taxes, depreciation and amortization*, beneficio antes de intereses, impuestos, depreciaciones y amortizaciones.

EPC: *Engineering, procurement and construction*, contrato “llave en mano”.

FAV: empresa Fuentes de Agua Viva.

FCO: flujos de caja operativos.

FDN: Financiera de Desarrollo Nacional.

OPEX: *Operational expenditures*, costos operacionales.

PF: *Project Finance*, financiación de proyectos.

PFI: *Private finance initiative*, iniciativa de financiación privada.

PPA: *Power purchase agreement*, contrato de compraventa de energía.

RC: riesgo de crédito.

SMC: simulación Monte Carlo.

SPV: *Special purpose vehicle*, vehículo de propósito especial.

TIR: tasa interna de retorno.

VPN: valor presente neto.

## Resumen

La gestión del riesgo de crédito bajo la metodología Project Finance tiene el objetivo de observar la viabilidad de un proyecto basado en el comportamiento del *ratio* de cobertura del servicio de la deuda. Esta gestión busca asegurar la estabilidad de los flujos de caja operativos para responder a los prestamistas. Este riesgo se calcula utilizando la simulación Monte Carlo, estimando la probabilidad de que los flujos de caja operativos descieran por debajo de un valor determinado. En el caso de la empresa Fuentes de Agua Viva, se evidenció riesgo de crédito en los primeros años de ejecución del proyecto, explicado por las limitaciones de liquidez durante este periodo; así, se decidió optar por un crédito a largo vencimiento que conllevara bajos pagos de deuda en los primeros años de amortización.

Palabras claves: gestión de riesgo, riesgo de crédito, flujo de caja operacional, simulación Monte Carlo.

## Abstract

The management of credit risk under the Project Finance methodology aims to observe the feasibility of a project based on the performance of the debt service coverage ratio. This management seeks to ensure the stability of the operating cash flows to respond to the lenders. This risk is calculated using the Monte Carlo simulation, estimating the probability that operating cash flows will fall below a certain value. In the case of the company Fuentes de Agua Viva, credit risk was evidenced in the first years of project execution, explained by the liquidity limitations during this period; thus, it was decided to opt for a long-term loan that entailed low debt payments in the first years of amortization.

Keywords: Project Finance, risk management, credit risk, operational cash flow, Monte Carlo simulation.

## 1. Introducción

Existen en el ámbito académico diversidad de definiciones acerca del concepto de *Project Finance* (PF).<sup>3</sup> Una de las más concisas, que abarca sus principales elementos, está dada por la Financiera de Desarrollo Nacional (FDN):

El Project Finance es un esquema de financiamiento directo al proyecto, en el cual los prestamistas analizan el flujo de caja proveniente de dicho proyecto y sus futuros activos como la fuente de pago de un préstamo. Esta financiación usualmente es de largo plazo (20-30 años), respondiendo al plazo del proyecto y, particularmente, a su madurez y capacidad de generar el flujo de caja para pagar la deuda (Financiera de Desarrollo Nacional, FDN, s. f.).

El PF es una herramienta cuyo propósito principal es fijar una estructura financiera sólida para la realización de mega proyectos de infraestructura intensivos en capital: carreteras, refinerías, plantas de generación de energía, etc. En el centro de esta metodología está el vehículo de propósito especial (*Special purpose vehicle*, SPV), una empresa legal e independiente creada por los patrocinadores del proyecto, cuya composición financiera está dada tradicionalmente así: 30 % de *equity* (capital inversión) de los patrocinadores y 70 % de deuda sin recurso –no considerada como deuda corporativa–. El SPV tiene la tarea de asegurar el pago de los proveedores y los inversionistas y velar por la continuidad del proyecto.

Debido a que estos mega proyectos presentan estructuras financieras altas en deuda fuera del balance de los patrocinadores, la gestión del riesgo<sup>4</sup> es una labor determinante que exige llevar a cabo una debida diligencia cuyo objetivo principal es mantener la estabilidad financiera con niveles de flujos de caja operativos (FCO) óptimos que garanticen que el proyecto pueda responder con sus compromisos

---

<sup>3</sup> Un listado de las abreviaciones usadas en esta investigación se presenta en la sección de preliminares.

<sup>4</sup> El riesgo es un suceso no deseado que influye sobre el funcionamiento de un proyecto afectando la generación de flujos de caja operativos para responder a prestamistas e inversionistas.

financieros ante los prestamistas y accionistas y, en última instancia, evitar que se presente un riesgo de crédito (RC) y/o impago.

El propósito de esta investigación es hacer un acercamiento teórico-práctico a la manera como el SPV debe gestionar el RC bajo la metodología PF, y así poder evaluar la viabilidad de un proyecto de infraestructura enfocándose en el comportamiento de los *ratios* de cobertura del servicio de la deuda (*Debt-service coverage ratios*, DSCR) exigidos por los prestamistas. Para dar cumplimiento a este propósito se pretende describir la gestión de los riesgos, su tratamiento y cómo puede estimarse la probabilidad de que un proyecto caiga en RC, todo ello utilizando la simulación Monte Carlo (SMC).

Este documento se divide en diez secciones: Introducción; Identificación, que presenta algunos elementos teóricos de los riesgos en sus fases de ejecución; Evaluación, que trata la manera como el SPV puede evaluar dichos riesgos haciendo uso de la estadística; Cobertura y mitigación, que expone una revisión de la literatura en la que se plantean las diferentes opciones que tiene el SPV para llevar a cabo estas estrategias; Riesgo de crédito (RC), sección fundamental en la que se enfatiza este indicador y su medición a través de SMC; Caso de estudio, en la que se analiza un caso práctico de ayuda en la cuantificación del RC; y, finalmente, resultados, conclusiones, referencias y anexos.

Esta investigación tiene un alcance descriptivo además de práctico en su trato, analizando el caso de la empresa Fuentes de Agua Viva (FAV), un proyecto particular cuyas limitantes no permiten que sus resultados se generalicen a otros proyectos.

## 2. Identificación

Una omisión en la gestión de riesgos conduce a que no se puedan hacer correctivos ni evaluaciones en el tiempo oportuno. Por esta razón, de manera anticipada, el SPV debe estudiar, según las características propias de cada proyecto, los riesgos inherentes y externos que pueden poner en peligro la operación en todas las fases de su ejecución. La Tabla 1 muestra los posibles riesgos que puede enfrentar un PF.

Tabla 1. Etapas y riesgos en proyectos de infraestructura

Etapas del proyecto		
Preparación y pre-construcción	Construcción	Operación
Política	Inflación	Político
Financiación	Político	Financiación
Infraestructura	Financiación	Expropiación
Corrupción	Disponibilidad de materias primas o mano de obra	Corrupción
Proponente	Quiebra de la compañía constructora	Tarifario
Medioambientales	Retraso, sobrecosto	Legal
Diseño	Mayor costo por remuneración al personal	País
Viabilidad técnica y financiera	Medioambientales	Disponibilidad del personal idóneo
Predial	Expropiación	Administración: excesivo control por los financiadores
Legal	Financiero: tipo de interés, tipo de cambio, cierre financiero o insolvencia del contratista	Medioambientales
Cierre financiero	Arqueológico	Desastres naturales
		Terminación de contrato
	Sociales	Demanda
	Infraestructura complementaria	Insuficiencia de suministro
	Social	Ineficacia en el equipo de dirección
	País	Social
	Legal	Mayores cantidades de obra o variación de precios en insumos para actividades de operación y mantenimiento
	Falta de calidad en las obras	
	Escasez de cualquier tipo de material y/o insumos	
	Aseguramiento	
	Terminación anticipada	Aseguramiento
	Firmas y garantías	Terminación anticipada

	Geológico, climatológico y/o hidrológico	Geológico, climatológico y/o hidrológico
	Redes de servicios públicos	

Fuente: González, Rojas, Arboleda & Botero (2014: 70).

Como se puede observar, un proyecto de infraestructura puede llegar a enfrentar más de cincuenta riesgos en sus tres principales etapas de ejecución, de aquí nace la necesidad de que el SPV lleve a cabo una identificación y una evaluación minuciosa de sus riesgos para, finalmente, pasar a una etapa de tratamiento en la que se busque encontrar coberturas y alternativas que ayuden a su mitigación.

Con el objetivo de analizar los riesgos que se puedan presentar en la etapa de construcción y operación, Bravo & Sánchez (2007: 189) recomiendan “adelantar investigaciones de mercado, buscar el consenso de expertos, aplicar analogías históricas, lluvia de ideas y utilizar el método Delphi”.

Todo proyecto se enfrenta a riesgos inherentes y externos. Los primeros están estrechamente relacionados con el bien o servicio que producirá: problemas relacionales entre los actores implicados –patrocinadores y proveedores– y problemas administrativos, entre otros. Los segundos tienen que ver con las variaciones que se pueden presentar con los productos y servicios de los que depende el proyecto para llevar a cabo su función: materias primas, mercado financiero, estabilidad gubernamental local y desastres naturales.

### 3. Evaluación

El propósito de esta fase es hacer una valoración de los riesgos teniendo en cuenta la probabilidad de ocurrencia y el impacto en cada etapa del proyecto para tomar decisiones de control y mitigación.

Esta evaluación implica realizar tanto un análisis cualitativo como cuantitativo, en los que, primero, el SPV deberá construir una matriz de riesgos que agrupe las principales variables relacionadas con cada riesgo identificado, a partir de la cual se procederá a valorar la probabilidad de ocurrencia e impacto, asignándoles unas calificaciones descriptivas según los criterios propios del proyecto definidos con anterioridad; Julián & Mascareñas (2014: 16) sugieren que en esta matriz se sitúe “riesgo identificado, probabilidad de ocurrencia definida como una distribución de probabilidades, estimación del impacto, circunstancia que mitigan el riesgo y acción a [sic] seguir”, segundo, en la construcción de esta matriz, los evaluadores deben analizar cuantitativamente por medio de estimaciones la manera como se comporta cada riesgo crítico.

Un análisis pertinente conlleva el uso de simulaciones como mecanismo evaluador de los parámetros de la función de probabilidad sobre los datos disponibles. En este sentido, una de las opciones es realizar SMC para predecir comportamientos futuros que pudieran tener las variables de incertidumbre independientes sobre una variable objetivo.

En esta evaluación, los riesgos se pueden clasificar en tres escenarios: i) Riesgo significativo: presenta no solo una alta probabilidad de ocurrencia, sino también un fuerte impacto que podría llevar a que el proyecto se detuviera. ii) Riesgo mitigado: aunque muestra una alta probabilidad de ocurrencia, su impacto podría reducirse, y iii) Riesgo minimizado: a pesar de que pudiera tener un alto impacto, su probabilidad de ocurrencia es baja.

#### 4. Cobertura y mitigación

Una vez identificados los posibles riesgos que pueda enfrentar el SPV y conocer sus probabilidades de ocurrencia, en esta fase se buscan los mecanismos para mitigarlos y controlarlos. En este sentido, el PF ofrece un beneficio significativo, ya que, dentro de su estructura, el SPV lleva a cabo una asignación de riesgos entre las partes involucradas como un primer y fundamental paso para dicha mitigación.

Según Albújar (2010: 43), “asignar un riesgo a alguna de las partes significa que esta se encargará de administrar dicho riesgo y será responsable de las consecuencias si la situación adversa llegara a ocurrir”. De esta manera, el éxito y viabilidad futura de un proyecto dependen de que se lleve a cabo esta fase dentro del plan de gestión de riesgos. Una correcta asignación de los riesgos presenta un escenario favorable para posibles financiadores.

Debido a que el PF es usado en un contexto de financiamiento de mega proyectos, es necesario la participación de diversos actores; para Zapata (2016), estos son básicamente: Gobierno o entidad pública (asociación público-privada, APP), patrocinadores, prestamistas, contratista constructor, operador, proveedor y clientes. Estos actores tienen relaciones contractuales con el SPV para el correcto desarrollo del proyecto.

La tarea de estos actores es servir como agentes diversificadores de los riesgos que hacen presencia en las diferentes etapas del proyecto; en este sentido, cada actor asume los riesgos que estén relacionados con su principal actividad dentro del proyecto y, a cambio, recibe un beneficio de parte del SPV. El SPV debe asegurarse de que los actores que asuman dichos riesgos tienen la capacidad para gestionarlos, mitigarlos y retenerlos.

Por otro lado, si los riesgos identificados previamente no pueden ser transferidos a los actores involucrados, es responsabilidad del SPV encontrar alternativas fuera de su estructura base para controlarlos y mitigarlos, guardando así un nivel óptimo de flujo de efectivo que garantice sus compromisos con los prestamistas y accionistas.

Los riesgos financieros abarcan variables que afectan el pago del servicio de la deuda al vencimiento. Julián y Mascareñas (2014) mencionan los más relevantes: i) Riesgo de tipo de interés, el cual, puede mitigarse adquiriendo instrumentos de cobertura como *swaps* de tipo de interés, opciones y futuros. ii) Riesgo de tipo de cambio, presente cuando el proyecto maneja más de una moneda, ya sea en su intercambio comercial con proveedores de materias primas o en la recepción de ingresos por parte de algún cliente; las variaciones de la tasa de cambio pueden afectar los gastos e ingresos, y para mitigarlo se puede optar por la adquisición de productos de cobertura como seguros de cambio y opciones, y iii), RC: que ocurre cuando un tercero, en este caso el SPV, no cumple con los pagos a su proveedor de capital.

La Tabla 2 muestra los principales riesgos que pueden presentarse durante las etapas de un proyecto y cómo podrían mitigarse mediante el establecimiento de contratos específicos entre el SPV y los demás actores.

Tabla 2. Riesgos frente a los contratos de mitigación

Riesgo	Mecanismo de mitigación
Sobrecostos	Contratos de construcción “llave en mano” ( <i>Engineering, procurement and construction, EPC</i> ), precio fijado al alza.
Retrasos en la construcción	Contratos de construcción “llave en mano” (EPC); sanción al contratista por cada día de retraso. Sistemas de <i>Project Monitoring</i> .
Desempeño técnico	Contratos de construcción “llave en mano”; el contratista paga una multa por deficiencias en la operación de la infraestructura.
Demanda	Contratos <i>take-or-pay, offtakes</i> . El usuario paga independientemente del uso que le dé.
Suministro	Contratos de suministro <i>put-or-pay</i> o <i>put-and-pay</i> .
Tarifa / Regulatorio	Contratos de venta blindados <i>take-or-pay, offtakes</i> .
Fuerza mayor	Seguros comerciales: cubren los daños materiales y el lucro cesante ocasionados por eventos de fuerza mayor.
Riesgos financieros	Coberturas a través de <i>swaps</i> de tipos de interés o <i>forwards</i> de divisas. Estructura de garantías.

Fuente: Sánchez (2013: 20).

En este momento, el SPV y los prestamistas cuentan con un panorama amplio que les permiten cuantificar el RC fundamentado en los FCO futuros del proyecto y así conocer su sostenibilidad financiera en lo referente a su capacidad para pagar la deuda adquirida.

## 5. Riesgo de crédito (RC)

El propósito primordial de la gestión del riesgo es asegurar la estabilidad de los FCO futuros para responder de manera prioritaria a los prestamistas en el tiempo pactado y así no caer en RC; en otras palabras, que el SPV no tenga la capacidad para responder a sus prestamistas, valiéndose esencialmente de su FCO y/o como aduce Gatti (2012: 353), de “reservas de deuda pendientes, capital de reserva o líneas de crédito de reserva”.

La importancia del RC en el PF reside en su naturaleza, es decir, el financiamiento fuera del balance de los patrocinadores con un alto nivel de apalancamiento financiero; por esta razón, su medición y gestión es de vital importancia, ya que una gestión incorrecta podría dar señales erróneas a los prestamistas e inversionistas al momento de proveer sus capitales, indicándoles, por un lado, escenarios muy favorables donde se ignoran variables generadoras de incertidumbre y, por otro, escenarios negativos y confusos de proyectos que, a la verdad, sí poseían potencial de desarrollo financiero.

Sorge (2011) muestra que el RC de la deuda sin recurso puede verse afectado por el tiempo, la incertidumbre de los flujos de efectivo del proyecto y el comportamiento a través de las etapas de ejecución; por ejemplo, una finalización correcta de la fase de construcción tiende a reducir en mayor proporción las fuentes residuales de incertidumbre para la viabilidad financiera de un proyecto.

### 5.1 Indicadores de sostenibilidad financiera

Esta investigación evalúa los indicadores de sostenibilidad más significativos para los prestamistas, dejando a un lado aquellos relevantes para inversionistas: la TIR y el VPN.

Dailami, Lipkovich & Van (1999) argumentan que la capacidad de un proyecto para atender sus compromisos con los prestamistas se mide esencialmente calculando los siguientes *ratios* de cobertura:

$$\text{Cobertura de intereses} = \frac{\text{Ingresos antes de intereses e impuestos}}{\text{Pago de intereses}} \quad (1)$$

$$\text{Cobertura del servicio de la deuda} = \frac{\text{Ingresos antes de intereses, impuestos y depreciación}}{\text{Interes} + \frac{\text{Reembolso principal}}{1 - \text{tasa de interés}}} \quad (2)$$

Los *ratios* de cobertura son indicadores primordiales para la banca que muestran la sostenibilidad financiera de un proyecto indicando, en el caso del DSCR –fórmula (2)–, hasta qué punto sus FCO anuales tienen la capacidad de pagar el reembolso principal y los intereses de la deuda; estos indicadores son tenidos en cuenta por los banqueros para tomar la decisión de prestar sus capitales a dicho proyecto. En este sentido, una TIR llamativa no es suficiente para ellos; es necesario que esté acompañada con un *ratio* de cobertura al servicio de la deuda por encima de un valor determinado, según la estructura financiera del proyecto y su naturaleza.

Gatti (2012) argumenta que manejar *ratios* sobre 1 sería algo insostenible, ya que, en este escenario, donde los FCO del proyecto arrojen un *ratio* igual a 1, todo el flujo disponible se usaría para pagar a los prestamistas, pero descuidaría rotundamente el compromiso con los patrocinadores, en razón a que el flujo para responderles vía dividendos caería a cero, una situación totalmente desfavorable que hace que el proyecto sea económicamente inconveniente para estos.

De igual manera, teniendo en cuenta que no existe una certeza total del valor preciso de los FCO generados por el proyecto, un escenario donde solo se exijan unos *ratios* sobre 1 que indiquen favorabilidad para no caer en el RC o en impago no sería una buena medida para los prestamistas. Todo proyecto, por sus características propias, puede enfrentar riesgos específicos; además, los prestamistas pueden tener diferentes exposiciones de él que los pueden llevar a exigir diferentes márgenes.

Ante esta problemática –el margen mínimo adecuado que se debe usar para los *ratios* del DSCR–, la Tabla 3 muestra los promedios de este indicador recomendados por Gatti (2012), según el sector al que pertenezca el proyecto.

Según estos rangos, este *ratio* podría manejar un valor mínimo de entre 1,20 y 2, siendo los proyectos ubicados en sectores de transporte y telecomunicaciones

los que demandan unos *ratios* más altos por parte de los prestamistas, debido a que aquí no es posible implementar contratos de compra a plazo fijo.

Tabla 3. Rango promedio del DSCR por sectores

Sector del proyecto	Promedio del DSCR
Poder	
Plantas comerciales (plantas sin acuerdo de extracción)	2x - 2,25x
Con un acuerdo de peaje	1,5x - 1,7x
En casos que involucren negocios regulados.	1,4x - 1,45x
Transporte / Envío	1,35x - 1,5x
Telecomunicaciones	1,35x - 1,5x
Agua	1,20x - 1,30x
Pérdida de energía	1,35x - 1,40x
PFI ( <i>Private Finance Initiative</i> , iniciativa de financiación privada)	1,35x - 1,40x

Fuente: Gatti (2012: 155). Traducción libre de los autores

Los *ratios* de cobertura requeridos disminuyen a medida que el riesgo asociado al proyecto (o al sector) se percibe como menor, de forma que en aquellos proyectos con flujos de caja más previsibles (debido generalmente a que las estimaciones de demanda son menos inciertas al estar en muchos casos incluso garantizadas mediante diferentes acuerdos contractuales) los *ratios* son mucho menores (Julián y Mascareñas, 2014: 21).

Tradicionalmente, tanto los prestamistas como los patrocinadores en su evaluación financiera se valen no solo del DSCR presente año a año de manera individual, sino también de su promedio, ya que tomar una decisión basándose solamente en el resultado de este indicador en un año individual llevaría probablemente a un mal juicio.

Una vez se estime el DSCR, los evaluadores deben tener en cuenta aquellas variables que tengan una participación significativa dentro del FCO; para ello se realiza primero un análisis de sensibilidad para encontrar las variables *drivers* dentro del modelo, y luego un análisis de escenarios para encontrar la probabilidad de que el proyecto pueda caer en un estado de RC.

## 5.2 Análisis de sensibilidad y de escenarios

El primer paso implica identificar las variables *drivers* dentro del modelo, que se tomarán posteriormente como variables de “entrada” en la SMC. En este sentido, la sensibilidad tipo tornado da un acercamiento a esta identificación, según Mun:

El análisis de tornado es una poderosa herramienta analítica que captura los impactos estáticos de cada variable en el resultado del modelo; es decir, la herramienta perturba automáticamente cada variable en el modelo en una cantidad preestablecida, captura la fluctuación en el pronóstico o resultado final del modelo, y enumera las perturbaciones resultantes clasificándolas desde la más significativa hasta la menos representativa (Mun, 2015: 199; traducción libre de los autores).

Este análisis estático muestra el comportamiento que puede tener una variable objetivo como el DSCR ante los cambios en las variables independientes: precio del bien, tasas de inflación a los que se indexan los precios de venta, tasas de interés o variables que hacen parte de los costos operacionales (*Operational Expenditures*, OPEX).

Una vez se hayan identificado las variables *drivers* del modelo y se tenga un acercamiento de la sensibilidad del DSCR en un escenario estático es necesario recurrir a la SMC, que recreará una diversidad de escenarios que ayuden a evaluar la estabilidad de los FCO y su capacidad para responder al DSCR demandado por el proyecto.

Al momento de construir modelos financieros y económicos aparecen limitantes como la ausencia de información, ya que no se puede observar todas las variables o consecuencias que estas podrían traer a la variable dependiente u objetivo. Bajo este contexto es necesario valerse de procedimientos estadísticos y matemáticos con el objetivo de simular diversas situaciones o comportamientos hipotéticos de variables que se creen relevantes y que pueden ser agentes de incertidumbre dentro de dicho modelo y observar su impacto.

Ante dicha posible incertidumbre creada por algunas variables, los modelos de simulación aparecen como respuesta para dar una interpretación eficaz y así ser una ayuda para el equipo estructurador del SPV a la hora de tomar decisiones en su administración.

En el ámbito académico, la simulación ha sido una herramienta adoptada por investigadores debido a que sus modelos estáticos se han podido optimizar simulando una realidad y con la posibilidad de pronosticar futuros comportamientos de sus variables dependientes usando distribuciones de probabilidad. En el espectro financiero, la simulación tiene gran aplicabilidad en la gestión de riesgos.

Según Metropolis, N (1987), la SMC es el método propuesto por J. Von Neumann y S. Ulam entre 1946 – 47; sus primeras aplicaciones las realizaron en 1948 al analizar los valores singulares de la ecuación de Schrödinger. Este método tuvo un rápido crecimiento llevando a que en 1949 se llevará a cabo el primer simposio en los Ángeles, California para hablar de sus particularidades e implicaciones.

Tradicionalmente la SMC se ha utilizado para simular sistemas reales fundamentándose en la creación de diversidad de escenarios a partir de un muestreo aleatorio con base en distribuciones de probabilidad, sus resultados se van guardando para finalmente dar una distribución de valores con respecto a la variable dependiente. De esta manera, dicho método es una técnica de selección de números aleatorios a través de distribuciones de probabilidad que se usan en la simulación.

Como lo señalan Bravo & Sánchez (2006: 268), “el propósito de la SMC es imitar el mundo real a partir de la utilización de un modelo matemático que permita estudiar las propiedades y características de la situación analizada, para generar conclusiones y tomar decisiones basados en los resultados”.

La SMC es un proceso que simula diversas situaciones o comportamientos hipotéticos de variables que se encontraron como relevantes en el análisis de sensibilidad y que son agentes de incertidumbre. La literatura llama la atención sobre la pertinencia del uso del método SMC como herramienta en el modelado del

RC, estimando la probabilidad de incumplimiento basado en el comportamiento de los FCO del proyecto.

Tal como lo plantean Aragonés, Blanco e Iniesta (2009), en la modelización del RC en PF, la SMC tiene relevancia para calcular la probabilidad de que los *ratios* de cobertura estén por debajo de un determinado valor; en este sentido se simulan escenarios posibles afectando las variables señaladas como importantes dentro del proyecto que puedan afectar el flujo de caja.

Por su parte, Gatti (2012) muestra cómo luego de medir el DSCR con el objetivo de observar la existencia de RC o de impago por parte del SPV es necesario usar la técnica de SMC como un instrumento de estimación en donde se escogen unas variables de entrada significativas que pudieran generar riesgo en los flujos de caja futuros, y el DSCR como una variable de salida; de esta manera se puede predecir la probabilidad de impago en dicho proyecto, estando dicho *ratio* por debajo de un determinado valor.

Partiendo del resultado de la SMC, los actores del proyecto, en especial los prestamistas, tomarán la decisión de participar y considerarán qué tan probable sería la existencia de un escenario negativo según sus propios análisis.

## 6. Caso de estudio

En un departamento ubicado en la zona central de Colombia se planea construir una pequeña hidroeléctrica bajo el esquema de las APP usando la metodología PF. Por motivos de privacidad de la información, el proyecto se denominará Fuentes de Agua Viva (FAV). Las Tablas 4 y 5 muestran las características necesarias para evaluar el RC en FAV.

Tabla 4. Característica del préstamo. Fuentes de Agua Viva

Datos base	
Moneda	COP
Préstamo banca	\$ 100.078.529*
Plazo préstamo	11 años (a partir del año 4, el SPV inicia el cronograma de pagos de la deuda)
Tasa de interés	6,8 % E. A.
Periodicidad de amortización	Semestral

\* Valor redondeado en cientos de millares.

Fuente: elaboración de los autores.

En las condiciones propias de este proyecto de APP (patrocinadores – entidad gubernamental), los patrocinadores tendrán el derecho de operar la planta hidroeléctrica hasta el año 25 antes de cederla a la administración regional; los primeros tres años están dedicados a la construcción, y los prestamistas deberán desembolsar proporcionalmente el capital demandado por el SPV; para los prestamistas este es un período de gracia, ya que no recibirán el pago de la deuda; la fase operativa inicia a partir del año 4, cuando comienza el pago de la deuda, que finaliza en el año 11.

Tabla 5. Inversión en la fase de construcción. Fuentes de Agua Viva

Fase de construcción				
Participación*	Año 1 (30 %)	Año 2 (50 %)	Año 3 (20 %)	Total inversión
<i>Equity</i> de los patrocinadores (30 %)	\$ 12.867.239	\$ 21.445.399	\$ 8.578.159	\$ 42.890.798
Préstamo banca (70 %)	\$ 30.023.558	\$ 50.039.264	\$ 20.015.705	\$ 100.078.529
Inversión total	\$ 42.890.798	\$ 71.484.663	\$ 28.593.865	\$ 142.969.327

\* Valores en COP millardos (10<sup>9</sup>).

Fuente: elaboración de los autores.

Con base en la proporción del préstamo, el SPV debe priorizar los compromisos de deuda sobre los compromisos con los patrocinadores; por esta razón, solo a partir del año 11 estos empezarán a recibir sus dividendos respectivos. Este proyecto maneja una relación contractual tradicional entre el SPV y los demás actores implicados como mecanismo de diversificación de los riesgos. La Tabla 6 muestra los tipos de contratos celebrados entre el SPV y los actores del proyecto.

Tabla 6. Contratos entre el SPV y los actores del proyecto. Fuentes de Agua Viva

Tipo de contrato	Actor responsable
Contrato llave en mano (EPC)	Fuentes de Agua Viva (SPV)
Contrato PPA ( <i>take-or-pay</i> )	Empresas Públicas de Medellín, EPM
Contrato de servicios	Operador
Contrato financiero	Banca comercial colombiana
Contrato societario	Promotores inversionistas

Fuente: elaboración de los autores.

## 7. Resultados

La Tabla 7 muestra los resultados obtenidos de los *ratios* de cobertura de intereses y los *ratios* de cobertura del servicio de la deuda.<sup>5</sup> Entre el año 1 y el 3 no hay amortización del principal de la deuda debido a que el proyecto está en la fase de construcción y, por tanto, no genera EBITDA (*Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*: beneficio antes de intereses, impuestos, depreciaciones y amortizaciones).

Tabla 7. Resultados del ejercicio. Fuentes de Agua Viva

Índices / Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
EBITDA - Impuestos	0	0	0	20.638	21.620	22.648	23.725	24.853	26.034	27.272	28.568
Servicio de la deuda	2.008	5.354	6.693	18.575	17.739	16.902	16.065	15.229	14.392	13.555	12.718
Principal	0	0	0	12.509	12.509	12.509	12.509	12.509	12.509	12.509	12.509
Intereses	2.008	5.354	6.693	6.065	5.229	4.392	3.555	2.719	1.882	1.045	209
DSCR	0	0	0	1,11	1,22	1,34	1,48	1,63	1,81	2,01	2,25
<i>Ratio</i> de cobertura de los intereses	0	0	0	3,4	3,13	5,15	6,67	9,13	13,83	26,0766	136,58

Fuente: elaboración de los autores. Cifras en COP millardos (10<sup>9</sup>).

Según el comportamiento proyectado de los *ratios*, este proyecto presenta un estado crítico de RC en los primeros cuatro años y excedentes de capital en el resto del período.

La medición del RC para los prestamistas se centra en el análisis del DSCR bajo dos situaciones bases;<sup>6</sup> asimismo se practicó un análisis de sensibilidad tipo tornado para encontrar las variables *drivers* que se simularon posteriormente usando SMC para de esta manera calcular la probabilidad ( $\epsilon_1$ ) de que este indicador se encuentre por debajo de un valor determinado ( $\alpha_1$ ), situación que se podría considerar como de impago de su contrato de financiación:

<sup>5</sup> La sección de Anexos incluye el modelado realizado.

<sup>6</sup> Por un lado, teniendo en cuenta el promedio del DSCR con los tres años de gracia de la etapa de construcción, y, por otro, sin tener en cuenta estos tres años.

$$\text{Prob [DSCR} \leq \alpha_1] = \epsilon_1 \quad (3)$$

Siguiendo las recomendaciones de Gatti (2012, v. la Tabla 3), debido a la naturaleza del proyecto, el valor  $\alpha_1$  mínimo de este *ratio* para que se pueda responder ante los prestamistas y a la vez a los patrocinadores se sitúa en 1,20. De esta manera, si el DSCR está por debajo de este valor, el SPV no podrá responder a la totalidad con el pago pactado vía FCO.

Para estimar la probabilidad de impago se utiliza una distribución triangular que, según Mun (2015: 161) “describe una situación en la que se sabe el valor mínimo, máximo y más probable que ocurra”. La Figura 1 muestra las variables de entrada que se escogieron teniendo en cuenta los resultados del análisis de sensibilidad tipo tornado (v. el Anexo 6) y el procedimiento usado para llegar a los resultados.

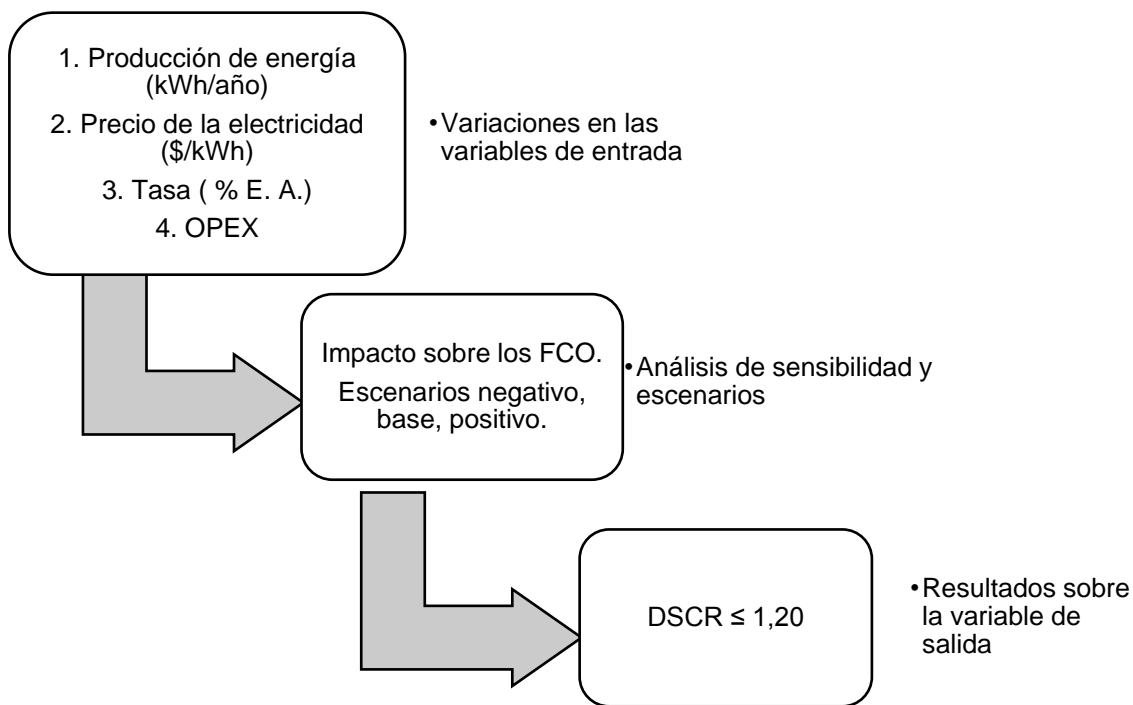
En la Tabla 8 se recopilan las probabilidades de impago durante los 11 años de amortización del préstamo, medidos como la probabilidad de que el *ratio* esté por debajo del punto de impago 1,20 observado en las 10.000 iteraciones<sup>7</sup> hechas con SMC. Teniendo en cuenta los diferentes resultados que se pueden obtener cada vez que se realice el ejercicio de simulación, explicado por la rutina de generación de números aleatorios, es necesario establecer una secuencia de números aleatorios, conocida como valor semilla, con el objetivo de evitar dichas diferencias en los reportes si se quisiera realizar un segundo ejercicio. En la presente SMC se ha utilizado la semilla “999”, siendo un entero positivo. Mun (2015) señala que para garantizar los mismos resultados en la SMC se deben especificar al iniciar el ejercicio de simulación el mismo valor semilla, el mismo número de iteraciones y las mismas variables de entrada.

---

<sup>7</sup> Número de iteraciones suficientes para garantizar un error de precisión por debajo del 1%,  $n = \left\lceil \frac{Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \sigma}{d} \right\rceil^2$ , sugerido por Machain (2014). Donde Z representa el percentil de la distribución normal estándar dado un nivel de significancia  $\alpha$ ,  $\sigma$  es la desviación estándar poblacional y d es el error máximo tolerable medido en las unidades de la variable aleatoria.

El proyecto presenta una situación de impago en los primeros cuatro años del préstamo. Para un valor de  $\alpha_1 = 1,20$  (mínimo valor que puede llegar el *ratio* para no caer en RC), la probabilidad de que el DSCR sea igual o esté por debajo en el año 4 es del 88.14 % (v. el Anexo 7), lo cual indica que de las 10.000 iteraciones realizadas con SMC, en 8.814 ocasiones el SPV no tendría cómo responder con su FCO al prestamista, estando así en un riesgo de impago.

Figura 1. Fuentes de Agua Viva. Proceso de simulación



Fuente: elaboración de los autores.

Tabla 8. Fuentes de Agua Viva. Probabilidad de impago en los períodos de amortización

Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Ratio</i> mínimo	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Media	0	0	0	1,11	1,22	1,34	1,47	1,63	1,80	2,01	2,24
Desviación estándar	0	0	0	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12
Frecuencia de eventos en % por debajo del punto de impago en la SMC (10.000 iteraciones)	100	100	100	88,14	43,10	6,07	0,01	0	0	0	0

Fuente: elaboración de los autores

A partir del año 5, la probabilidad de incumplimiento baja de manera significativa a 43,10 %, y es nula a partir del año 7 (v. la sección de Anexos). Las probabilidades de incumplimiento del DSCR promedio a partir del año 1 (considerando el período de gracia) y del DSCR promedio a partir del año 4 (cuando el proyecto ya está en operación) fueron de 67,19 % (media de 1,17) y 0 % (media de 1,60); en este sentido, si no se estableciera un período de gracia para el pago de la deuda, el proyecto estaría en una situación crítica de impago.

Con base en el análisis de los indicadores de evaluación financiera para los patrocinadores, este proyecto presentó un VPN > 0 y una TIR del 16 %. Estos resultados reflejan un equilibrio entre los indicadores de evaluación tanto para los patrocinadores como para los prestamistas, por esta razón no se manejó un DSCR mínimo de 1.

En caso de que la banca comercial decida aceptar el período de gracia de tres años en el que no recibirá el pago de los intereses ni el reembolso de su principal, es labor del SPV buscar alternativas para cubrir el riesgo presente en el año 4, cuando, a pesar de que el proyecto se encuentra generando EBITDA, tiene una probabilidad significativa de no responder con su compromiso. El SPV podría optar por la creación dentro del CAPEX (*Capital expenditure*, inversiones en bienes de capital, gastos en capital) de una reserva de repago de deuda para soportar los años de la fase de construcción, por otro lado, tiene la opción de soportar con sus reservas de ingresos durante el período de amortización acudir a un préstamo adicional para llegar a cubrir el año deficitario.

## 8. Conclusiones

La metodología PF, a diferencia de otras modalidades de financiamiento, ofrece en su naturaleza una estructura sólida que permite hacer un tratamiento adecuado de los riesgos asignándolos a las partes que mejor pueden gestionarlos, controlarlos y mitigarlos.

El RC está atado al calendario de flujos de efectivo del proyecto; en este sentido, los proyectos que presentan en un largo plazo viabilidad financiera enfrentan poca generación de efectivo en el corto plazo; esto se evidenció en el caso práctico de FAV. Como medida para enfrentar las limitaciones de liquidez que puede presentar el SPV en las primeras etapas del proyecto y, en última instancia, un RC, el equipo estructurador podría optar por un crédito a largo vencimiento que conlleve bajos pagos de la deuda en los primeros años de amortización.

Si el evaluador tuviera en cuenta de manera aislada el DSCR mínimo, podría pensar erróneamente que este no sería un proyecto viable, sin tener en cuenta que lo que realmente indica este valor es que, en por lo menos un año de operación, el FCO disponible no alcanzaría a cubrir el pago a los prestamistas (situación presentada en el año cuatro de la fase de operación del proyecto FAV), problema que se podría solucionar modificando el plan de reembolsos con los prestamistas o dejando reservas en aquellos años que presenten un DSCR alto.

Los sectores de infraestructura o de recursos naturales presentan características únicas que podrían ser un obstáculo para una buena financiación. No solo se debe tener en cuenta un margen óptimo del DSCR promedio para evaluar la viabilidad financiera; también es necesario considerar la durabilidad de la fase de construcción, ya que, en este tiempo, el FCO generado es nulo, aunque creciente durante sus primeros años de operación. Esta situación no solo es un reto que debe enfrentar el SPV, sino, además, un tema que abre la puerta a nuevas investigaciones acerca de la manera como se podría estructurar o cubrir el riesgo

de liquidez por parte del SPV considerando garantías explícitas o implícitas de bancos multilaterales de desarrollo o agencias de crédito, con el objetivo de no afectar la relación del SPV con los proveedores de capital y los montos de préstamo a los que podría acceder.

A través del caso práctico de FAV se evidencia la relevancia de la SMC como herramienta útil para optimizar modelos estáticos, simulando una realidad y dando una posibilidad para pronosticar variaciones futuras en las variables *drivers* usando distribuciones de probabilidad; asimismo, esta simulación es fundamental para encontrar la probabilidad de impago del proyecto y es de gran aplicabilidad en la gestión de riesgos.

## 9. Referencias

- Albújar Cruz, Á. (2010). *El Project Finance: una técnica para viabilizar proyectos de infraestructura*. Documento de Trabajo n.º 27. Lima: Universidad ESÁN. Disponible en <https://www.esan.edu.pe/publicaciones/DefAlbujarImprentaDocTrab27.pdf>
- Aragónés, J. R., Blanco, C. e Iniesta, F. (2009). Modelización del riesgo de crédito en proyectos de infraestructuras. *Innovar*, 19(35), 65-80. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/inno/v19n35/19n35a06.pdf>
- Bravo Mendoza, Ó. y Sánchez Celis, M. (2006). *Gestión integral de riesgos*, vol. I (2.ª ed.). Bogotá: Bravo y Sánchez.
- Dailami, M., Lipkovich, I. y Van Dyck, J. (1999). *Infrisk: A computer simulation approach to risk management in infrastructure project finance transactions*. Policy Research Working Paper n.º 2083. Washington, D. C.: The World Bank. Disponible en <http://documents.worldbank.org/curated/en/903671468739455227/pdf/multi-page.pdf>
- Financiera de Desarrollo Nacional, FDN (s. f.). *Información de Project Finance* [en línea]. Disponible en <https://www.fdn.com.co/es/node/377>
- Gatti, S. (2012). *Project finance in theory and practice: Designing, structuring, and financing private and public projects*. Cambridge, MA: Elsevier, Academic Press. Disponible en [http://www.untagsmd.ac.id/files/Perpustakaan\\_Digital\\_1/FINANCE%20Project%20Finance%20in%20Theory%20and%20Practice.pdf](http://www.untagsmd.ac.id/files/Perpustakaan_Digital_1/FINANCE%20Project%20Finance%20in%20Theory%20and%20Practice.pdf)
- González, J. D., Rojas, M. D., Arboleda, C. A. y Botero, S. (2014). Project Finance y asociaciones público-privadas para la provisión de servicios de infraestructura en Colombia. *Obras y Proyectos*, 16, 61-82. Disponible en <https://scielo.conicyt.cl/pdf/oyp/n16/art05.pdf>

- Julián, R. y Mascareñas, J. (2014). *La financiación de proyectos (Project Finance)*. Madrid; Universidad Complutense. Disponible en SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2407394>
- Machain, L. (2014). *Simulación de modelos financieros* (1.ª ed.). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Alfaomega.
- Metropolis, N. (1987). *The beginning of the Monte Carlo method*. Los Alamos Science, 15(584), 125-130. Disponible en <https://library.lanl.gov/cgi-bin/getfile?00326866.pdf>
- Mun, J. (2015). *Modeling risk: Applying Monte Carlo risk simulation, strategic real options, stochastic forecasting, portafolio optimization, data analytics, business intelligence, and decisión modeling* (3.ª ed.). Dexter, MI: Thomson-Shore.
- Sánchez, E. (2013). *El Project Finance: gestión del riesgo en la coyuntura económica actual – Especial referencia a los mecanismos contractuales de mitigación de riesgos*. España: IE Law School Working Paper AJ8-196. Disponible por descarga en [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2257285](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2257285)
- Sorge, M. (2011). The nature of credit risk in project finance. *BIS Quarterly Review*, diciembre, 91-101. Disponible en [https://www.bis.org/publ/qtrpdf/r\\_qt0412h.pdf](https://www.bis.org/publ/qtrpdf/r_qt0412h.pdf)
- Zapata Quimbayo, C. (2016). *Análisis de riesgos y modelación financiera en proyectos de infraestructura*. Cuadernos del CIPE n.º 39. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.

## 10. Anexos

### 10.1 Anexo 1. CAPEX

Total costo directo por obra	\$	100.776.541
Administración	\$	28.217.431
Imprevistos obras civiles	\$	1.435.645
Imprevistos equipos electromecánicos	\$	1.739.656
Utilidades	\$	5.038.827
Total costo directo + AIU (administración, imprevistos y utilidad)	\$	137.208.101
Impuesto al valor agregado IVA	\$	806.212
Total costo directo + AIU + IVA	\$	129.733.455
Compra de predios (ejecutado en el 99 %)	\$	1.316.000
Estudios y diseños (hidrogeología, diseño estructural, línea de transmisión, otros diseños menores)	\$	1.297.334
Promoción y gerencia del proyecto	\$	1.946.001
Asesorías durante la construcción del proyecto	\$	648.667
Costos ambientales (incluye plan de inversión del 1 %, PMA y otros costos socio-ambientales)	\$	3.196.000
Seguros	\$	1.128.000
Presupuesto total	\$	139.265.459

Fuente: elaboración de los autores a partir de información por el proyecto FAV

### 10.2 Anexo 2. OPEX

Costo de arranque y parada	0,9588	\$/kWh	\$	130.607.736
Cargo por confiabilidad	0	\$/kWh	\$	-
Fondo apoyo a zona no interconectada	0	\$/kWh	\$	-
Cargo mensual	173,9	\$/kW instalado	\$	3.460.610
Cargo mensual (IVA incluido)	62,04	\$/kW instalado	\$	1.234.596
Transferencias	4,37	\$/kWh	\$	595.281.400
Contribución	0,007708		\$	1.049.984
Generación media anual	136.220.000	kWh/año		
Capacidad instalada	19.900	kW		

Fuente: elaboración de los autores a partir de información por el proyecto FAV

Total anual	\$	731.634
Total anual nómina	\$	676.800
Seguros TRDM (todo riesgo daño material) y RC	\$	302.680
Mantenimiento	\$	451.200
Manejo ambiental	\$	135.360
Administración	\$	112.800
ICA y revisoría fiscal	\$	26.300
Cargo de conexión y AOM (administración, operación y mantenimiento) línea	\$	104.000
Impacto social	\$	13.918
TOTAL OPEX ANUAL	\$	2.554.692

Fuente: elaboración de los autores a partir de información por el proyecto FAV

### 10.3. Anexo 3. EBITDA

Año	Condiciones del contrato (PPA)					
	CAPEX	OPEX	Tarifa	Producción de energía	Ingreso	EBITDA
	[COP]	[COP]	[\$/kWh]	[kWh]	[COP]	[COP]
0	-					
1	42.890.798	-				
2	71.484.664	-				
3	28.593.865	-				
4		2.554.692	170	136.220	23.157.400	20.602.708
5		2.656.880	179	135.539	24.239.777	21.582.897
6		2.763.155	188	134.861	25.372.744	22.609.589
7		2.873.681	198	134.187	26.558.666	23.684.985
8		2.988.628	208	133.516	27.800.018	24.811.390
9		3.108.173	219	132.848	29.099.391	25.991.218
10		3.232.500	230	132.184	30.459.497	27.226.996
11		3.361.800	242	131.523	31.883.173	28.521.373
12		3.496.272	255	130.866	33.373.393	29.877.121
13		3.636.123	268	130.211	34.933.265	31.297.142
14		3.781.568	282	129.560	36.566.046	32.784.478
15		3.932.831	297	128.912	38.275.143	34.342.312
16		4.090.144	312	128.268	40.064.123	35.973.979
17		4.253.750	329	127.627	41.936.720	37.682.970
18		4.423.900	346	126.988	43.896.843	39.472.943
19		4.600.856	364	126.353	45.948.581	41.347.725
20		4.784.890	383	125.722	48.096.218	43.311.328
21		4.976.286	402	125.093	50.344.235	45.367.949
22		5.175.337	423	124.468	52.697.325	47.521.987
23		5.382.351	445	123.845	55.160.398	49.778.047
24		5.597.645	469	123.226	57.738.595	52.140.950
25		5.821.551	493	122.610	60.437.297	54.615.746

Fuente: elaboración de los autores

### 10.4 Anexo 4. Período de amortización

Semestre	Valor de la cuota	Intereses	Capital	Abono a capital	Saldo del capital
	[COP]	[COP]	[COP]	[COP]	[COP]
0					
1	1.004.013	1.004.013	30.023.559	-	30.023.559
2	1.004.013	1.004.013		-	30.023.559
3	2.677.369	2.677.369	50.039.264	-	80.062.823
4	2.677.369	2.677.369		-	80.062.823

5	3.346.712	3.346.712	20.015.706	-	100.078.529
6	3.346.712	3.346.712			100.078.529
7	9.392.450	3.137.542		6.254.908	93.823.621
8	9.183.281	2.928.373		6.254.908	87.568.713
9	8.974.111	2.719.203		6.254.908	81.313.805
10	8.764.942	2.510.034		6.254.908	75.058.897
11	8.555.772	2.300.864		6.254.908	68.803.989
12	8.346.603	2.091.695		6.254.908	62.549.081
13	8.137.433	1.882.525		6.254.908	56.294.173
14	7.928.264	1.673.356		6.254.908	50.039.264
15	7.719.094	1.464.186		6.254.908	43.784.356
16	7.509.925	1.255.017		6.254.908	37.529.448
17	7.300.755	1.045.847		6.254.908	31.274.540
18	7.091.586	836.678		6.254.908	25.019.632
19	6.882.416	627.508		6.254.908	18.764.724
20	6.673.247	418.339		6.254.908	12.509.816
21	6.464.078	209.169		6.254.908	6.254.908
22	6.254.908	-		6.254.908	-

Fuente: elaboración de los autores

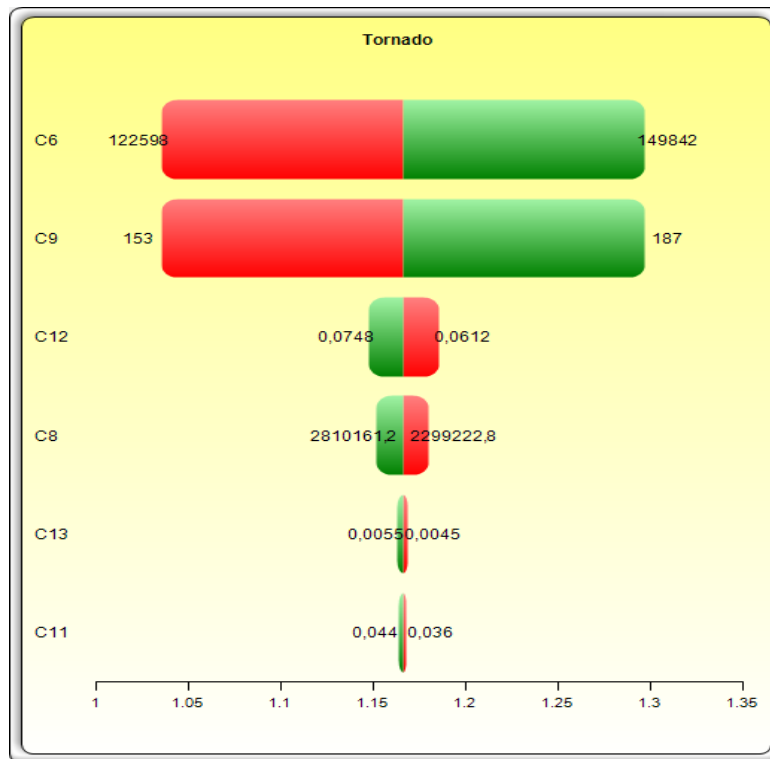
### 10.5 Anexo 5. DSCR

DSCR anual	
Año	EBITDA / Deuda
1	0
2	0
3	0
4	1,11
5	1,22
6	1,34
7	1,47
8	1,63
9	1,81
10	2,01
11	2,24

Fuente: elaboración de los autores

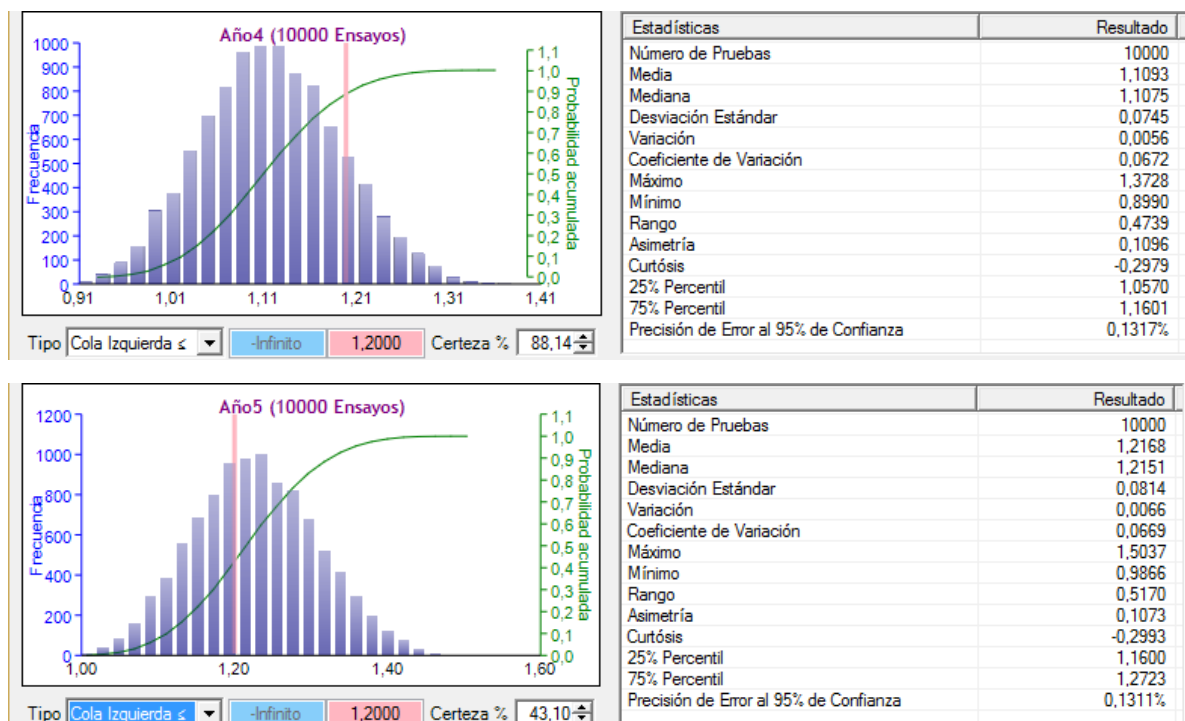
### 10.6 Anexo 6. Análisis de sensibilidad tipo tornado

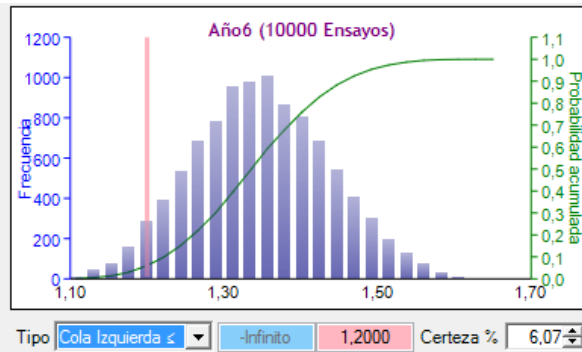
Celda precedente	Valor base: 1,1658005101778			Cambio de ingreso		
	Resultado inferior	Resultado superior	Rango de efectividad	Ingreso inferior	Ingreso superior	Valor caso base
C6: Producción energía (kWh/año)	1,0351783	1,2964227	0,26	122.598	149.842	136.220
C9: Precio electricidad	1,0351783	1,2964227	0,26	153	187	170
C12: Tasa (% E. A.)	1,1851721	1,147338	0,04	6,1 %	7,5 %	6,8 %
C8: OPEX [COP]	1,1798426	1,1517584	0,03	2.299.222,80	2.810.161,20	2.554.692
C13: Rendimiento equipos	1,1684424	1,1631643	0,01	0,45 %	0,55 %	0,50 %
C11: IPC	1,1679364	1,1636292	0,00	3,60 %	4,40 %	4,00 %



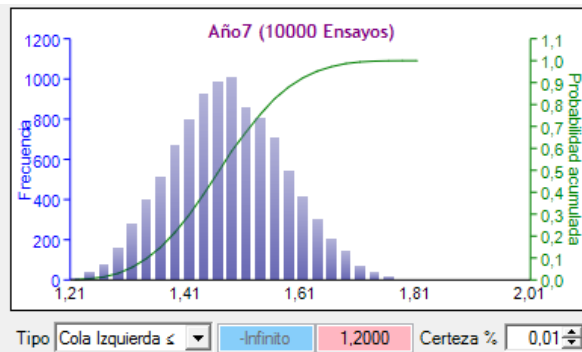
Fuente: elaboración de los autores mediante RiskSimulator

## 10.7 Anexo 7. Histogramas y probabilidad de ocurrencia mediante SMC

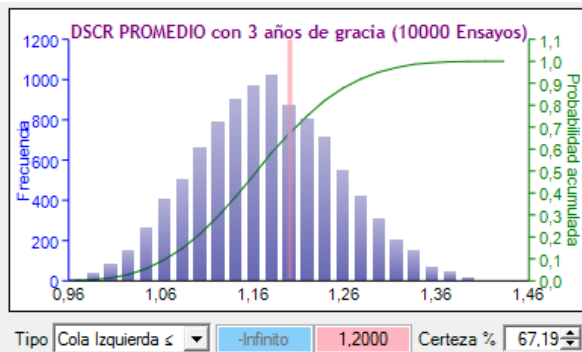




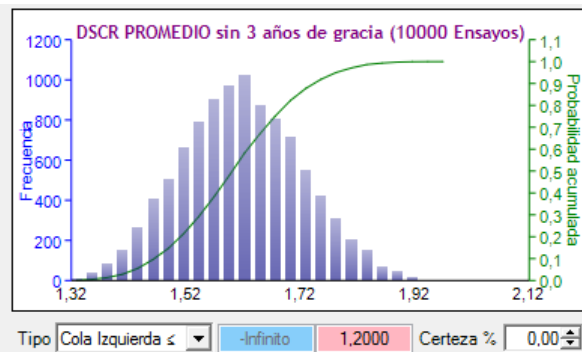
Estadísticas	Resultado
Número de Pruebas	10000
Media	1,3378
Mediana	1,3359
Desviación Estándar	0,0890
Variación	0,0079
Coefficiente de Variación	0,0666
Máximo	1,6504
Mínimo	1,0853
Rango	0,5651
Asimetría	0,1049
Curtosis	-0,3006
25% Percentil	1,2756
75% Percentil	1,3986
Precisión de Error al 95% de Confianza	0,1305%



Estadísticas	Resultado
Número de Pruebas	10000
Media	1,4743
Mediana	1,4721
Desviación Estándar	0,0977
Variación	0,0095
Coefficiente de Variación	0,0663
Máximo	1,8156
Mínimo	1,1968
Rango	0,6188
Asimetría	0,1026
Curtosis	-0,3015
25% Percentil	1,4059
75% Percentil	1,5415
Precisión de Error al 95% de Confianza	0,1299%



Estadísticas	Resultado
Número de Pruebas	10000
Media	1,1657
Mediana	1,1642
Desviación Estándar	0,0768
Variación	0,0059
Coefficiente de Variación	0,0659
Máximo	1,4320
Mínimo	0,9472
Rango	0,4849
Asimetría	0,0995
Curtosis	-0,3020
25% Percentil	1,1121
75% Percentil	1,2186
Precisión de Error al 95% de Confianza	0,1292%



Estadísticas	Resultado
Número de Pruebas	10000
Media	1,6029
Mediana	1,6008
Desviación Estándar	0,1057
Variación	0,0112
Coefficiente de Variación	0,0659
Máximo	1,9691
Mínimo	1,3024
Rango	0,6667
Asimetría	0,0995
Curtosis	-0,3020
25% Percentil	1,5291
75% Percentil	1,6756
Precisión de Error al 95% de Confianza	0,1292%