

Modelización de la probabilidad de obtención de un TIR mínimo empleando el Método Montecarlo en un pequeño proyecto hidroeléctrico

Autores: Castro Valdivia, David (Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Candidato a PhD. Universidad Alfonso X El Sabio); Collado Fernández, Eduardo (Doctor Ingeniero Industrial, Profesor Universidad Alfonso X el Sabio).
Público: Ingenieros civiles. **Materia:** Ingeniería hidráulica y energética. **Idioma:** Español.

Título: Modelización de la probabilidad de obtención de un TIR mínimo empleando el Método Montecarlo en un pequeño proyecto hidroeléctrico.

Resumen

El presente artículo tiene como objetivo introducir el concepto de probabilidad en el análisis de la variabilidad del indicador económico Tasa Interna de Retorno (TIR). Para ello, se realiza una modelización con el Método Montecarlo del flujo de caja esperado para el Proyecto Hidroeléctrico Gualán, en Guatemala. Se analizan como variables estocásticas de entrada el precio de energía, la aportación anual del río como variable independiente de la producción energética, y la tasa de interés de la deuda en el caso de inversión con apalancamiento. Además, se analiza el impacto de estas variables de entrada en la TIR resultante

Palabras clave: minicentral hidroeléctrica, método Montecarlo, tasa interna de retorno.

Title: Modeling the probability of obtaining a minimum IRR using the Monte Carlo Method in a small hydroelectric project.

Abstract

The objective of this article is to introduce the concept of probability in the analysis of the variability of the Internal Rate of Return (IRR). For this, a modelling with the Montecarlo Method of the expected cash flow for the Gualán Hydroelectric Project, located in Guatemala, is carried out. The energy sale price, the annual contribution of the river as an independent variable of energy production, and the interest rate of the debt, if making the investment with leverage, are analysed as input stochastic variables. In addition, the impact of these input variables on the resulting IRR is analysed.

Keywords: small hydroelectric project, Montecarlo Method, internal rate of return.

Recibido 2016-11-24; Aceptado 2016-11-28; Publicado 2016-12-25; Código PD: 078082

INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

La decisión de invertir en la construcción de una minicentral hidroeléctrica, especialmente a nivel privado, suele estar precedida por una serie de fases de estudio. En dichas etapas se analiza la viabilidad de la inversión tomando en cuenta factores técnicos, sociales, medioambientales y económicos, con un grado de detalle cada vez mayor conforme se van superando cada una de las fases. Si bien los proyectos pueden ser viables bajo los tres primeros factores, la decisión sobre la inversión deberá necesariamente que cumplir con la viabilidad económica.

En este sentido, desde la etapa de Prefactibilidad se evalúa la rentabilidad de la inversión, utilizando generalmente un Modelo Económico-Financiero (EcoFin) particular para cada proyecto. Mediante flujos de caja esperados en un horizonte temporal dado, estos modelos calculan algunos indicadores económicos y financieros que apoyan la decisión de invertir, tales como, la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN), entre otros.

El proceso suele ser el siguiente:

- a. Se calcula el Presupuesto de Inversión, el cual incluye el Presupuesto de Construcción, Ingeniería, Costos Indirectos, entre otros.
- b. Se fija un Precio de Venta de la energía. Basado en contratos privados de venta de energía (conocidos como *Power Purchase Agreement* o PPA's) o en el Precio Spot del Mercado Mayorista.
- c. Se calcula la generación de energía anual esperada. Basada en un estudio hidrológico de caudales y en la potencia de la central.

- d. Se establecen condiciones esperadas de financiación: Tasa de Interés del préstamo, grado de apalancamiento de la inversión, plazo de amortización y periodo de gracia, entre otros.
- e. Se evalúan los resultados a un horizonte temporal determinado, usualmente 20 años.

Todo lo anterior suele realizarse con valores medios y constantes, incluyendo la producción de energía. Es evidente que los supuestos iniciales de los modelos pueden sufrir variaciones a lo largo del tiempo, lo que afectará en mayor o menor medida a los indicadores económicos evaluados. Así, es razonable fijar un precio de venta de la energía, tomando en cuenta que los PPA's suelen mantener un precio fijo a lo largo de la duración del contrato, pero es muy poco probable que la generación sea constante, debido a la variación entre años secos y años húmedos.

La evaluación de la variación en los indicadores económicos, debido a la variación de los componentes del modelo, suele realizarse mediante un Análisis de Sensibilidad de tales componentes. Para ello, se varía en un porcentaje determinado por encima y por debajo del valor inicial, y se analizan los resultados. Así, por ejemplo, se evalúan los resultados para producciones energéticas inferiores a un 10% de lo esperado, inversiones superiores a las presupuestadas, precios de venta superiores o inferiores a las estimadas, o bien combinaciones de estos supuestos.

En cualquier caso, cabe preguntarse ¿qué porcentajes debemos asumir?, o ¿cuántas combinaciones de supuestos debemos realizar?, para evaluar de una mejor manera los resultados que podemos obtener.

Para estudiar más a fondo la viabilidad económica de la inversión, a continuación, se propone una metodología que introduce el concepto de *Probabilidad* en la estimación de los indicadores económicos, en concreto de la TIR. Para ello, a diferencia del análisis convencional en el que las variables son deterministas, se realiza un análisis con el Método Montecarlo. En dicho análisis, las variables Precio de la Energía, Producción de Energía Anual y Tasa de Interés del Préstamo se generarán a partir de distribuciones de probabilidad deducidas, obteniéndose valores de la TIR y la probabilidad asociada a éstos.

La metodología se desarrolla con un ejemplo práctico de un proyecto real en fase de Factibilidad.

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Método de Hertz o Método Montecarlo

El método de Montecarlo es un método numérico que permite resolver problemas matemáticos mediante la simulación de variables aleatorias (Sóbol, 1983). El método propuesto por Hertz (1964) utiliza las técnicas de simulación y se debe usar mediante herramientas informáticas. El análisis tiene varias etapas:

1. Determinar las variables explicativas de la rentabilidad. Tales como, precio de venta de la energía, presupuesto de inversión, costes de operación y mantenimiento, producción anual de energía y tasa de interés del préstamo con el que se financia la inversión
2. Estimación de las distribuciones de probabilidad de las variables anteriores.
3. Determinar las interdependencias entre las distintas variables explicativas de rentabilidad.
4. Simulación una situación real mediante el EcoFin diseñado. Este último paso se realizará iterativamente, modificando los valores de las variables explicativas.

La rentabilidad de un proyecto de inversión es función de un conjunto de valores, un valor por cada variable explicativa de esta rentabilidad (Martínez y Serrano, 2004), y que en principio serán desconocidos por cuanto que lo disponible son sus funciones de densidad o probabilidad. Para cada sistema de valores simulados se determinará una rentabilidad simulada con ayuda de la TIR.

MATERIAL Y MÉTODOS

Estudio de Factibilidad del Proyecto Hidroeléctrico Hidro Gualán (Qanat, 2014)

Para la aplicación del Método se utilizará la información procedente del Estudio de Factibilidad del Proyecto Hidroeléctrico Hidro Gualán ubicado en Guatemala. El Proyecto se encuentra localizado en el Municipio de Gualán, Departamento de Zacapa. El esquema proyectado consiste en una obra de toma ubicada en el río El Lobo. De la obra de toma se conduce el agua derivada directamente hasta la Casa de Máquinas mediante una tubería GRP (Glass Reinforced Plastic), la cual estará siempre en presión. Dicha conducción se realiza enteramente por la margen izquierda del río El Lobo, discurriendo mayormente en baja presión para, al final de la tubería, desarrollar la mayor parte del salto útil (94,31m). En la Casa de Máquinas se turbinará el agua total derivada por medio de dos turbinas Francis de eje horizontal. Las principales características del proyecto se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 | Características principales P.H. Hidro Gualán

Característica	Valor
Caudal de diseño	3,20 m ³ /s
Salto útil	94,31 m
Salto neto	87,69 m
Potencia de la Planta	2.359 kW
Producción año medio	8.696 MWh
Presupuesto de Inversión	US\$ 9.457.827,02

Fuente: Qanat, 2014

Software @RISK v7.5 versión estudiantil

Para realizar la modelación estocástica se ha utilizado el software @RISK (Palisade Corporation), un programa para el análisis de operaciones económicas y situaciones técnicas afectadas por el factor riesgo. Se trata de un sistema que introduce estas técnicas en la industria de las hojas de cálculo de Microsoft Excel. Con @RISK y Excel se puede modelar cualquier situación de riesgo, tanto en los negocios como en la ciencia o en la ingeniería (Palisade, 2016). Las Versiones Estudiantiles son copias totalmente funcionales del software sin limitaciones de tamaño de modelo o de funcionalidad.

METODOLOGÍA

Diseño del Modelo EcoFin

El modelo EcoFin se ha diseñado en base a las condiciones usuales esperadas para el flujo de caja del proyecto. Se ha considerado tanto el caso en el que la inversión se realiza con fondos propios, como el caso en el que se financie parte de dicha inversión (apalancamiento). En concreto, los parámetros que definen el modelo se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 | Parámetros que definen el modelo EcoFin

Parámetro	Valor	Observaciones
Periodo de Análisis	20 años	Valor fijo
Presupuesto de Inversión	US\$ 9.457.827,02	Valor fijo
Producción	8.707 MWh de media	Función de la aportación anual (Hm ³) del río El Lobo
Ingresos	Variable	Únicamente por venta de energía
Egresos	7% de los Ingresos	En concepto de Operación y Mantenimiento
Precio de la energía	98,65 US\$/MWh de media	Variable estocástica
Condiciones de la Financiación		
Cantidad a financiar	60% del Presupuesto de Inversión	Desembolso en cantidades idénticas en 2 años
Plazo de amortización	12 años	Préstamo de cuota fija
Periodo de gracia	2 años	Duración estimada de la construcción
Tasa de Interés	7.05% de media	Variable estocástica
Régimen Impositivo		
ISR - Impuesto Sobre la Renta	7% sobre la venta de energía	Exención durante los primeros 10 años

Fuente: Elaboración propia con datos de Qanat, 2014

Las variables estocásticas de entrada, es decir, aquellas con las cuales se analizará el riesgo de la inversión a través del modelo Montecarlo serán tres: Producción, Precio de la energía y Tasa de Interés de la deuda. La variable de salida a analizar será la TIR. Para el caso de la situación con financiamiento, se evaluará la TIR de la inversión realizada, que en este caso corresponde al 40% de la inversión total del proyecto.

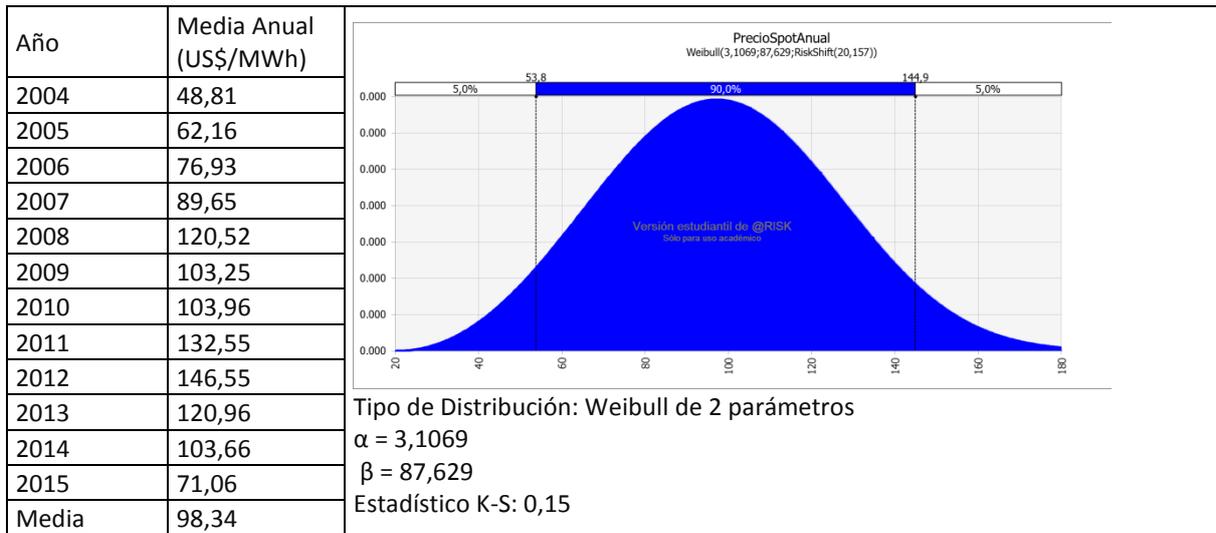
Obtención de las distribuciones de probabilidad de las variables de entrada

Precio de la Energía

La energía producida por minicentrales hidroeléctricas en Guatemala suele comercializarse mediante contratos privados (PPA's), por los que los precios suelen fijarse para la duración del contrato sobre la base de las proyecciones del Precio Spot. Para simplificar la simulación, se ha asumido que el precio de venta de la energía producida por el proyecto en estudio será el Precio Spot, ya que se tiene un registro histórico del mismo lo suficientemente largo para ajustar una función de distribución de probabilidad.

Por tanto, se ha consultado la información publicada por el Administrador del Mercado Mayorista (AMM) de Guatemala, y se ha obtenido la serie de promedios anuales entre 2004 y 2015. La distribución seleccionada fue la Weibull (2 parámetros). La información de la distribución se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3 | Distribución de probabilidad para el Precio Spot

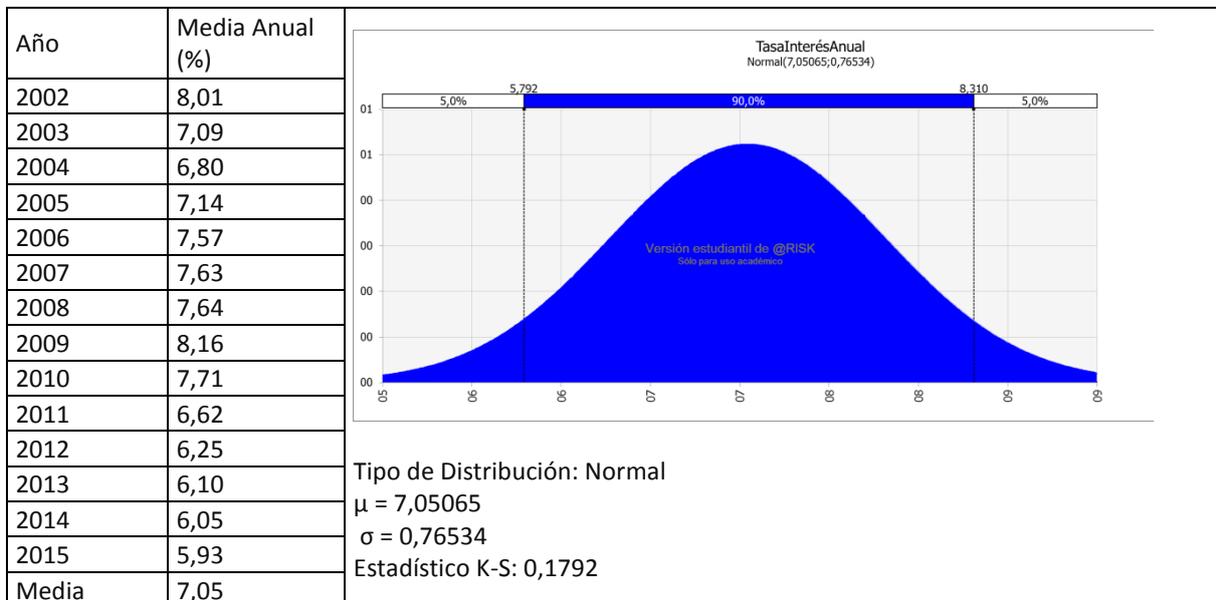


Fuente: Elaboración propia

Tasa de Interés de la deuda

Usualmente los proyectos hidroeléctricos tienen tasas de interés preferentes dado que los fondos se canalizan a través de instituciones como el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE) o el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Para simplificar la simulación se ha utilizado la información histórica publicada por el Banco de Guatemala para la tasa de interés activa en moneda extranjera. El periodo de datos comprende entre 2002 y 2015. La distribución seleccionada fue la Normal.

Tabla 4 | Distribución de probabilidad para la Tasa de Interés

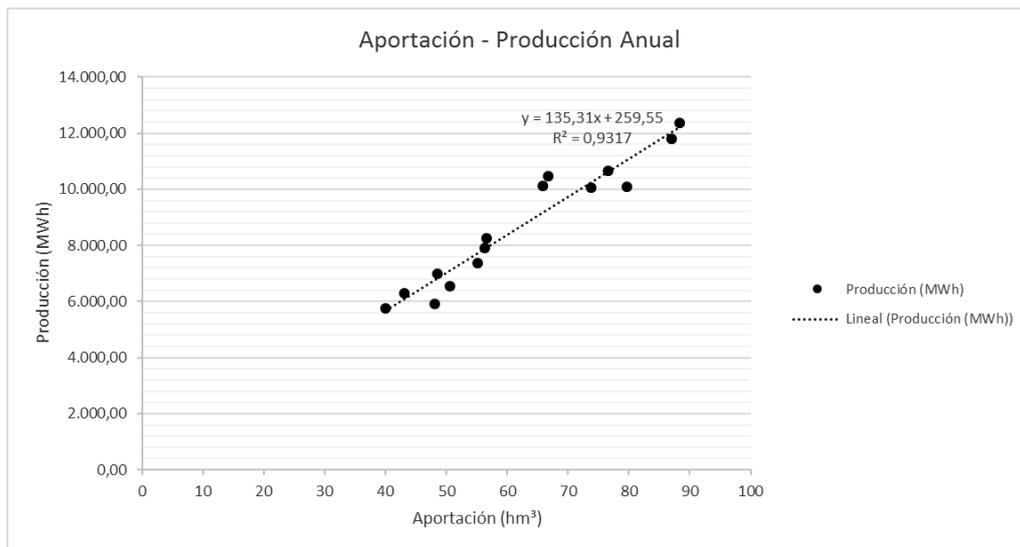


Fuente: Elaboración propia

Producción

En el Estudio de Factibilidad se cuenta con información de 15 años de caudales diarios para el sitio de toma de la central hidroeléctrica. Utilizando el salto neto, el caudal de diseño, la eficiencia de las turbinas y considerando las pérdidas hidráulicas, se calculó la producción anual para cada uno de los 15 años de los que se disponen datos. Posteriormente se correlacionó la Aportación Anual del río El Lobo (en Hm³) con la Producción de la central (MWh), obteniéndose una ecuación lineal cuya variable independiente es la Aportación y la dependiente la Producción, como se muestra en el Gráfico 1.

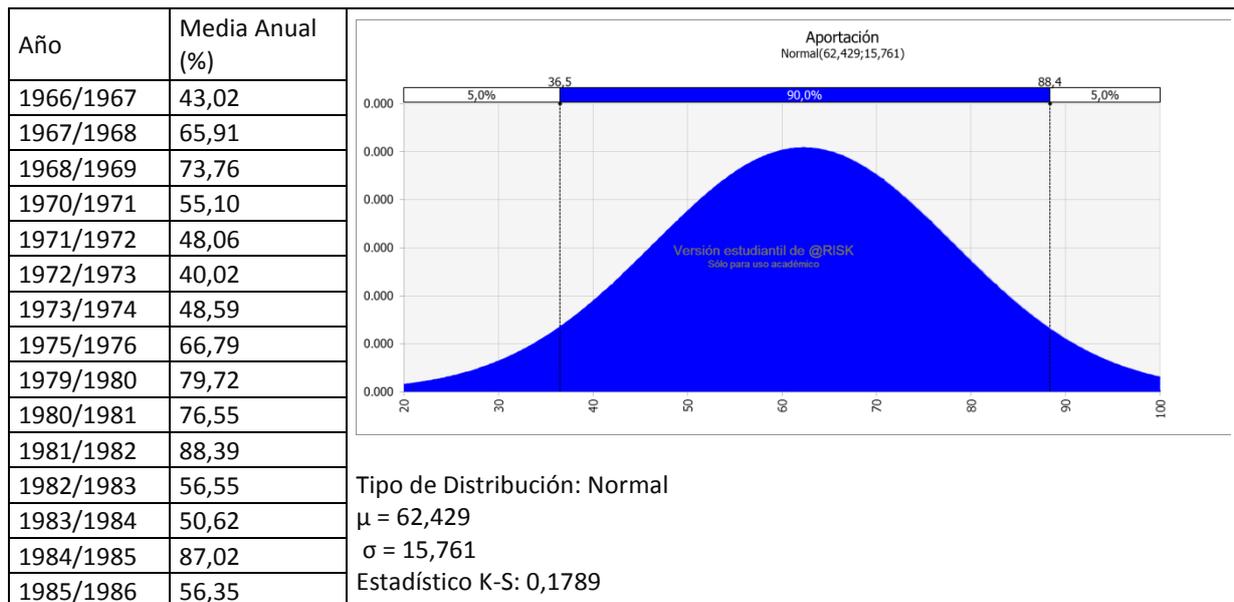
Gráfico 1 | Correlación entre Aportación y Producción Energética



Fuente: Elaboración propia

Para convertir la Producción en una variable estocástica, se procedió a obtener una distribución de probabilidad para su variable dependiente: la Aportación.

Tabla 4 | Distribución de probabilidad para la Aportación Anual (Hm³)



Fuente: Elaboración propia

Escenarios

Se evalúan tres escenarios. El Escenario 0 utiliza las variables Precio de la Energía, Producción y Tasa de Interés, fijas en magnitud e invariables en el tiempo. Se evalúa la rentabilidad para los valores medios de dichas variables según la Tabla 2. El Escenario 1 obtiene los valores de las mismas variables a través de las distribuciones de probabilidad previamente definidas, no obstante, para cada iteración las variables son fijas en el tiempo. Por ejemplo, en el caso de la producción, en la primera iteración ésta se considera constante durante los 20 años de análisis. En la segunda iteración el valor de la producción será distinto de acuerdo a la distribución de probabilidad de las aportaciones, pero sin embargo éste se mantendrá constante en los 20 años de análisis de esta segunda iteración. El Escenario 2 introduce la variación temporal en el análisis. Para cada iteración, la producción será distinta en cada uno de los 20 años analizados, al igual que el precio de venta. La tasa de interés, se considerará constante a lo largo del periodo de amortización del préstamo en cada una de las iteraciones.

Realización de simulaciones

Se realizará una simulación por escenario con 30.000 iteraciones por simulación.

RESULTADOS

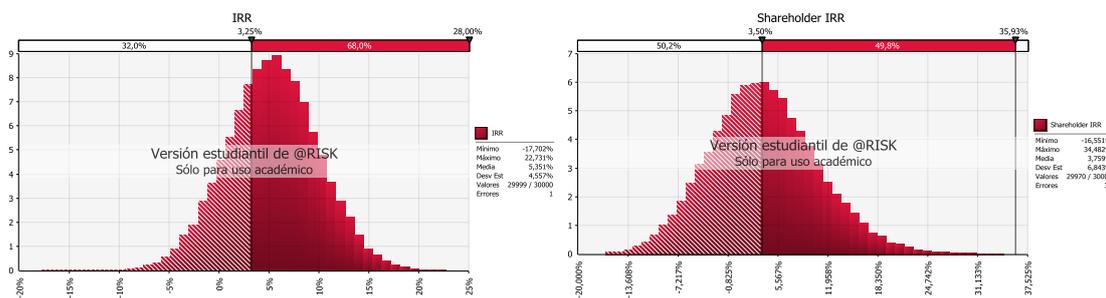
Escenario 0

La TIR del proyecto con fondos propios resulta en 5,78%, mientras que la misma para la inversión realizada con apalancamiento es 4,11%. El promedio de la Tasa Pasiva en moneda extranjera publicada por el Banco de Guatemala (BDG), para el periodo 2002-2015 es 3,30%. Tomando esta tasa como referencia, podemos decir que la TIR en ambos casos es satisfactoria y que el proyecto es rentable.

Escenario 1

En el Gráfico 2 se muestra la distribución de probabilidad resultante de la TIR tanto realizando la inversión con fondos propios (IRR), como financiando parte de ella (Shareholder IRR). De media la IRR alcanza un valor de 5,35% y un máximo absoluto de 22,73%, éste último en casos con probabilidades cercanas a cero. Se observa que existe un 32% de riesgo de que la rentabilidad IRR sea inferior al umbral establecido (tasa pasiva). En el caso de la Shareholder IRR, el valor medio es de 3,76% y un máximo de 34,48%, con probabilidades similares tanto de superar el umbral establecido como de no hacerlo.

Gráfico 2 | Escenario 1: Distribuciones de probabilidad resultantes de la TIR

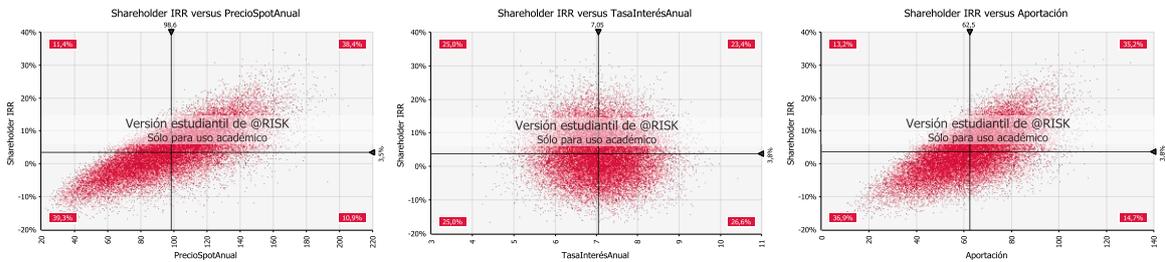
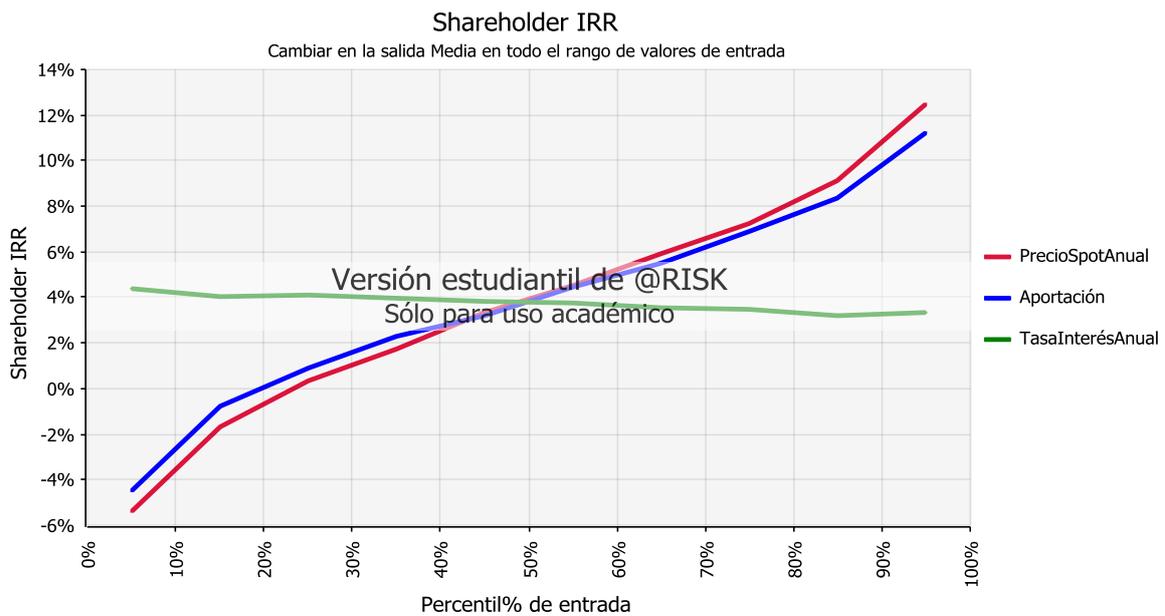


Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las dependencias de la TIR respecto a las variables estocásticas, el Gráfico 3 superior, muestra lo que se denomina un Gráfico de Araña. Este gráfico muestra cómo cambia el valor de la estadística de salida con los cambios del valor de entrada de la muestra. Cuanto más pronunciada es la línea, mayor es el impacto de la entrada sobre la salida. Se observa que la variable que más impacta a la TIR es el precio de venta de la energía, seguido de la aportación anual (es decir, la producción energética). En ambos casos, entre mayor sea la variable, mayor será la TIR esperada. Por su parte, la

Tasa de Interés del préstamo no influye en gran medida en los resultados como lo evidencia la línea menos pronunciada. No obstante, se observa que a medida que la tasa es mayor, la rentabilidad decrece. En la parte inferior del gráfico se muestra la correlación entre las variables estocásticas y la TIR. Se muestra que la única variable que no tiene una correlación alta es la Tasa de Interés, mientras que las otras dos presentan una tendencia lineal positiva.

Gráfico 3 | Escenario 1: Influencia de las variables de entrada en la TIR

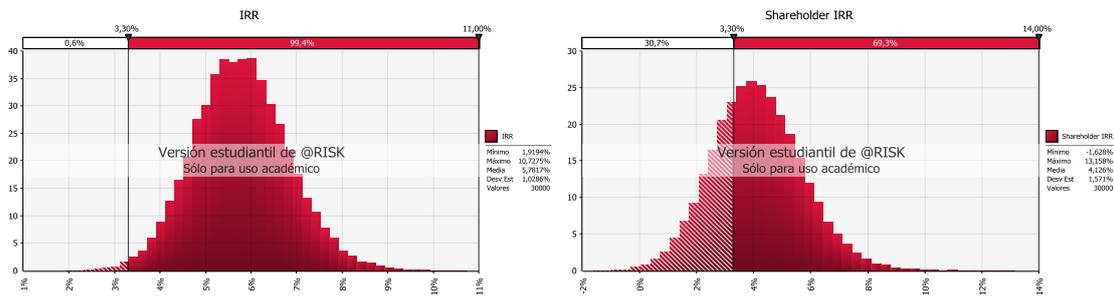


Fuente: Elaboración propia

Escenario 2

En el Gráfico 4 se muestra como la IRR de media alcanza un valor de 5,78%, con un máximo absoluto de 10,73%. A diferencia del Escenario 1, el riesgo de no alcanzar la tasa pasiva se reduce al mínimo, obteniéndose un valor de 0,60%. Por otro lado, la TIR del inversionista (Shareholder IRR), alcanza un valor medio de 4,13%, con un riesgo del 30,70% de no superar la tasa pasiva.

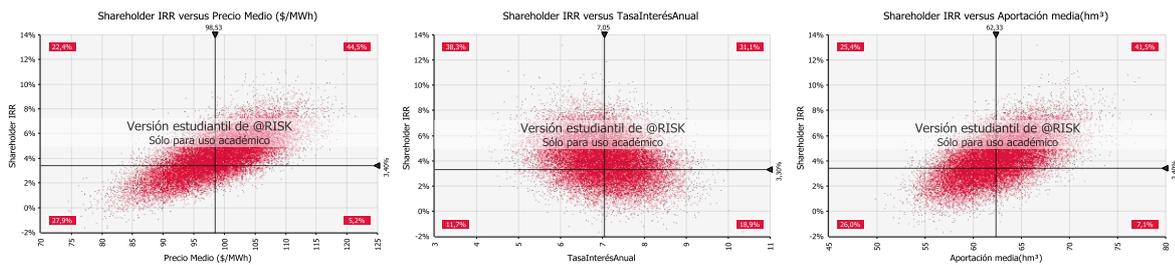
Gráfico 4 | Escenario 2: Distribuciones de probabilidad resultantes de la TIR



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la dependencia de los resultados de las variables de entrada, el Gráfico 5 muestra un comportamiento similar que en el Escenario 2 para el caso de inversión con apalancamiento. Se observa una alta dependencia tanto del precio de la energía como de la aportación anual, mientras que, si bien la influencia de la tasa de interés es mínima, no deja de ser inversamente proporcional a la TIR del inversionista. Debido a que los valores en este escenario no son fijos en el tiempo, la correlación se ha realizado con la media del periodo de análisis para cada iteración.

Gráfico 5 | Escenario 2: Influencia de las variables de entrada en la TIR



Fuente: Elaboración propia

En resumen, las rentabilidades obtenidas se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5 | Rentabilidades obtenidas para diferentes escenarios.

Indicador/Escenario	Valor medio (%)	Probabilidad de no superar el valor mínimo (%)
IRR/0	5,78	Indefinida
IRR/1	5,35	32,00
IRR/2	5,78	0,60
Shareholder IRR/0	4,11	Indefinida
Shareholder IRR/1	3,76	50,20
Shareholder IRR/2	4,13	30,70

Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN

Los valores de la rentabilidad con fondos propios son similares en los tres escenarios, con una variación de -0,43% del escenario 1 respecto al resto. Para el caso de la rentabilidad del inversionista (Shareholder IRR), los valores se sitúan en torno al 4%, con una variación máxima de -0,35% para el escenario 1.

Se observa que el riesgo es variable dependiendo del escenario seleccionado, encontrándose diferencias de casi 30 puntos entre el escenario 1 y 2. Esto se puede explicar tomando en cuenta que en el escenario 1 la invariabilidad de las aportaciones y del precio de venta a lo largo de los 20 años del modelo, hacen que los ingresos no puedan recuperarse dentro de la misma iteración, suponiendo un mayor riesgo de no alcanzar la TIR mínima.

En cuanto a la dependencia de la rentabilidad de las variables de entrada, es evidente que el precio de la energía y la aportación anuales son factores que se correlacionan en gran medida con la Tasa Interna de Retorno. En concreto, se obtuvieron coeficientes de correlación de superiores a 0,60 para la aportación y el precio de la energía. Por otro lado, si bien la tasa de interés de la deuda tiene un peso sobre la TIR del inversionista, éste es muy inferior al de los otros dos factores. En concreto, se encontraron coeficientes negativos de hasta -0,06, evidenciando que entre más alta sea la tasa de interés de la deuda menor será la rentabilidad del inversionista. Esta correlación, al ser tan baja, sugiere que la tasa de interés no es un factor determinante que afecte a la rentabilidad, bajo las condiciones del presente estudio.

De las dos variables más influyentes, el precio de la energía podría controlarse en el caso que se suscribiera un PPA cuyas condiciones mantuvieran el precio relativamente constante. No obstante, la aportación es un factor que depende de la naturaleza, por cuanto se presentan años secos o húmedos. En este sentido, cobra importancia el estudio hidrológico que se realice para la estimación de la producción, así como las técnicas que modelicen la variación de los caudales en un horizonte temporal determinado. Por tanto, la presente metodología podría mejorarse incluyendo análisis de series de tiempo con técnicas estocásticas específicas para tal fin, tales como la evaluación con Modelos Autorregresivos.

CONCLUSIÓN

Para el Proyecto Hidroeléctrico Gualán, se han encontrado probabilidades superiores al 30% de no obtener la rentabilidad mínima en tres de los cuatro escenarios estocásticos analizados. A diferencia de los Análisis de Sensibilidad tradicionales, los resultados son producto de miles de combinaciones probables de las variables de entrada (Precio de la Energía, Aportación y Tasa de Interés de la deuda), por lo que la distribución resultante de la TIR, mejora la estimación del riesgo de la inversión en base a los valores históricos de dichas variables. Para el caso de estudio, los valores medios de la TIR con las variables de entrada fija, no difieren en gran medida con los resultados medios del Método Montecarlo. En concreto, las diferencias máximas respecto al Escenario 0 fueron de -0,43% para la TIR del proyecto financiado con fondos propios y -0,35% para la TIR de la proporción invertida en la minicentral, en el caso con financiamiento. No obstante, el añadir el riesgo de no cumplir con las expectativas del inversionista, hace que esta metodología constituya una herramienta importante para el proceso de toma de decisiones sobre la inversión en una minicentral hidroeléctrica.

●

Bibliografía

- AMM, Administrador del Mercado Mayorista. *Resultados de Operación*. http://www.amm.org.gt/portal/?page_id=145 consultado el 07/11/16.
- Banco de Guatemala. *Tasa de Interés*. <https://www.banguat.gob.gt/inc/main.asp?id=22446&aud=1&lang=1> consultado el 07/11/16
- Hertz, D. (1964). *Risk Analysis in Capital Investment*. Harvard Business Review 42 (jan-feb) 96-108. IEA (2010c), Energy Technology Perspectives 2010, Paris, OECD/IEA
- Martínez, G. y Serrano, M. (2004). *Minicentrales Hidroeléctricas. Mercado Eléctrico, Aspectos Técnicos y Viabilidad Económica de las Inversiones*. Primera Edición. Madrid, BELLISCO. Ediciones Técnicas y Científicas.
- Palisade (2016). Guía para el uso de @RISK. Programa de complemento para el análisis y simulación de riesgos en Microsoft® Excel. Versión 7. Junio, 2016. Ithaca, NY. Palisade Corporation
- Qanat (2014). *Estudio de Factibilidad del Proyecto Hidroeléctrico Hidro Gualán*. Ciudad de Guatemala. Qanat Ingeniería de Guatemala, S.A.
- Sóbol, I.M. (1983). *Método de Monte-Carlo*. Editorial Mir, Segunda Edición, Moscú.