

DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LAS INVERSIONES EN GENERACIÓN ELÉCTRICA

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR DECISION MAKING IN INVESTMENTS IN ELECTRICITY GENERATION

Giovanni Lima Medina¹

¹Universidad Nacional del Altiplano – Puno Av. Floral 1153, ²Escuela de Posgrado.

RESUMEN

Debido a la reestructuración del sector energético a nivel nacional hacia mercados liberalizados y competitivos en la Región de Puno, la liberación de la industria eléctrica del Perú puso en manos de inversionistas nacionales y privados la decisión de poder ampliar la capacidad de generación de los sistemas eléctricos. Para tomar una decisión más confiable y acertada deben ser considerados escenarios de riesgo en los mercados eléctricos. Para lo cual se requiere de una metodología de soporte. El análisis de opciones reales es utilizado en aplicaciones que requieren tomar decisiones bajo incertidumbre, por tanto, puede ser adaptado para que se pueda realizar la evaluación económica en las inversiones en generación eléctrica. En este sentido, el presente trabajo de investigación visa desarrollar una metodología de análisis de inversiones económicas bajo condiciones de riesgo para el apoyo en la toma de decisiones en generación eléctrica en la Región de Puno. Esta metodología está basada en un esquema de aplicación de opciones reales y modelos de precios eléctricos. Fueron utilizados series históricas de costos marginales del COES para determinar la volatilidad de precios eléctricos. Para la aplicación del análisis de opciones reales se describe un procedimiento numérico de árboles binomiales para encontrar el valor de la oportunidad de la inversión. Esta valoración abarcó la Región de Puno en la Central Hidroeléctrica Ángel I, Ángel II y Ángel III. El análisis de los resultados nos permite demostrar cual es la mejor toma de decisión para los escenarios de incertidumbre. Por último, se demuestra que el análisis de opciones reales tiene un enfoque alternativo que nos ayuda para el apoyo en la toma de decisiones de las inversiones en generación eléctrica.

Palabras clave: Árboles binomiales, decisiones estratégicas, incertidumbre, inversiones en generación eléctrica, opciones reales, precios de la electricidad, volatilidad.

ABSTRACT

Due to the restructuring of the energy sector at the national level towards liberalized and competitive markets in the Puno Region, the liberalization of the electricity industry in Peru placed the decision to expand the generation capacity of the electrical systems in the hands of national and private investors. To make a more reliable and accurate decision, risk scenarios in the electricity markets must be considered. For which a support methodology is required. The analysis of real options is used in applications that require making decisions under uncertainty, therefore, it can be adapted so that the economic evaluation of investments in electricity generation can be carried out. In this sense, the present research work aims to develop a methodology for the analysis of economic investments under risk conditions to support decision-making in electricity generation in the Puno Region. This methodology is based on a real options application scheme and electricity price models. Historical series of marginal costs of the COES were used to determine the volatility of electricity prices. For the application of real options analysis, a numerical procedure of binomial trees is described to find the value of the investment opportunity. This assessment covered the Puno Region at the Ángel I, Ángel II and Ángel III Hydroelectric Power Plants. The analysis of the results allows us to demonstrate which is the best decision making for uncertainty scenarios. Finally, it is shown that the analysis of real options has an alternative approach that helps us to support decision-making for investments in electricity generation.

Keywords: Binomials trees, strategic decisions, uncertainty, investments in electricity generation, real options, prices of electricity, volatility.

*Auto para correspondencia: gioconde2212@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0988-6197

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las empresas de generación de energía eléctrica con el objetivo de tener más participación en el mercado y expandir su capacidad de atención a la demanda tienen entre sus funciones analizar nuevos proyectos de generación de energía eléctrica (Quintanilla 2016). En el mercado mayorista particularmente en la actividad de generación, el sistema tarifario está basado en principios marginalistas así como también en planificaciones de inversiones aplicadas al sector eléctrico en un entorno más desregulado (Petrecolla *et al.* 2010). Asimismo, como los precios en generación son fijados sobre la base del abastecimiento de la demanda a mínimo costo, el cálculo de los precios se realiza con proyecciones de demanda y oferta (Petrecolla *et al.* 2010).

Por otra parte, las plataformas de negocios (*pools*) pueden negociar libremente los oferentes y demandantes, en los mercados de electricidad, implementando contratos bilaterales financieros y así asegurar la confiabilidad y eficiencia económica del suministro eléctrico (Barria & Rudnick 2011). Asimismo, inversionistas privados se interesan en ingresar al sector de generación de energía eléctrica con el fin de aumentar dicha capacidad y asegurar un suministro eléctrico confiable y económicamente eficiente (Buriticá 2012).

Para tomar una decisión, en el ámbito económico de riesgo, se aplican variables aleatorias asignando probabilidades. Aquí se conoce la distribución de probabilidades de estas variables, mientras que en la incertidumbre no es conocida la distribución probabilística, es decir la aleatoriedad no puede ser expresado en términos de probabilidades (Barria & Rudnick 2011).

Los precios *spot* se relacionan al estado inmediato del mercado y su volatilidad que está vinculada, en un corto plazo, al impacto variable de los diferentes factores de incertidumbre del mercado (Barria & Rudnick 2011). El comportamiento del precio *spot* de la electricidad frente a los productos con características de *commodities*, que tienen precios de otros tipos, está en base a las características particulares del “activo” electricidad el cual no es directamente almacenable. Por tal razón, la oferta debe estar en todo momento cubierto con la demanda y cualquier diferencia entre el suministro de

electricidad y la carga se refleja inmediatamente en los precios *spot* (Lucia & Schwartz 2011).

Dentro de la estructura del Sistema Eléctrico Peruano, el mercado *spot* está formado por todas las empresas generadoras y transmisoras que operan dentro del sistema eléctrico y tienen al COES como un ente coordinador de despacho físico. En este mercado, el precio *spot* entre generadoras es el precio de oportunidad o conocido también como costo marginal (Suzuki 2015). Entre las generadoras se realizan transferencias de potencia y energía. La valorización de las transferencias de energía se valoriza al costo marginal de corto plazo y que corresponde al costo variable (Nuevos Soles por kilowatt hora – S/./kWh) de la central hidráulica o térmica que abastece la unidad adicional de energía en un momento determinado (Rivera & Tomayquispe 2015).

Para un inversionista, si va invertir en las capacidades de generación eléctrica decisiones estratégicas son aplicadas (Quezada 2008), así como se debe considerar la flexibilidad en el negocio de generación eléctrica que se refiere, por ejemplo, a la opción de retrasar la inversión, aumentar o disminuir la producción o abandonar un proyecto, de modo que durante el proceso de evaluación y ejecución de un proyecto sea posible distinguir etapas, decisiones secuenciales e incluso flexibilidad operativa a la hora de realizar la inversión (Cuervo & Botero 2014).

Factores sobre riesgo e incertidumbre, donde inciden directamente en los precios de la electricidad, están asociados a situaciones locales de los mercados, en donde es dependiente de los escenarios internacionales que afectan en su comportamiento (Tamayo *et al.* 2016). Factores importantes de riesgo e incertidumbre en la toma de decisiones sobre invertir en los mercados energéticos tenemos: Factores directos (precios de combustibles, variabilidad hidrológica, restricciones de transmisión, crecimiento y variabilidad de la demanda (Jara 2018; Fang & Karki 2018). Factores indirectos (cambio tecnológico, factores políticos y sociales) (Quezada 2008). El comportamiento dinámico de los precios de la electricidad es un problema en constante estudio (León & Rubia 2001). Elementos como

la alta volatilidad, reversión a la media, puntas y saltos, estacionalidad y efectos periódicos de los precios de la electricidad son características dinámicas del comportamiento de los precios.

La teoría de las opciones reales son adaptaciones de la teoría de precios de las opciones financieras y fue desarrollada con el objetivo de determinar la semejanza entre las funciones de pago de dichos activos derivados y las estructuras de flujos de caja de los proyectos de inversión bajo condicionantes de incertidumbre (Dixit & Pindyck 2012). El uso de esta teoría tiene ventajas en la valoración de proyectos de inversión en generación eléctrica (Vasquez 2014; Lozano & Molina 2018; Guzman 2011; Mendiola 2012), ya que se basan en optimizar la forma en que se toma en cuenta la incertidumbre de las variables críticas en la flexibilidad y valorización inherente de proyectos complejos (Quezada 2008; Calle Fernández & Tamayo Bustamante 2009; Rivasplata 2018; Mendiola *et al.* 20220).

Por tanto, el objetivo de este trabajo de investigación busca desarrollar una metodología de análisis de inversiones económicas bajo condiciones de riesgo para el apoyo en la toma de decisiones en generación eléctrica en la Región de Puno.

MÉTODOS

Ámbito o Lugar de Estudio

El ámbito de estudio está constituido en la Región de Puno, involucrando a las instituciones públicas y privadas dedicadas a la actividad de generación de energía eléctrica, pertenecientes al COES – SEIN.

Descripción de Métodos

El estudio es de tipo exploratorio y descriptivo, ya que el propósito es investigar relaciones de causa y efecto.

Metodología del WACC

El costo de oportunidad del capital se estimará a partir del concepto de Costo de Capital Promedio Ponderado (WACC - *Weighted Average Cost of Capital*), el cual es un promedio ponderado del costo de la deuda y el costo del capital propio (*equity*), asumiendo que

las empresas se financian mediante ambos tipos de fondos (deuda y capital propio) (Vásquez & Aguirre 2017). Si se tiene el caso de una empresa que no ha emitido deuda y sólo se financia con capitales propios, su costo de oportunidad del capital equivaldría al costo del capital propio (Barrios 2018). En el otro caso, si una empresa se financia sólo mediante deuda, su costo de oportunidad del capital equivaldría al costo de la deuda. La tasa WACC es una medida de referencia del retorno esperado que las empresas esperan obtener como mínimo para que se haga frente a sus obligaciones y permitirles una rentabilidad adecuada (Vásquez & Aguirre 2017).

Diagnóstico situacional de Inversión en Generación Eléctrica

La aplicación de la metodología de análisis de inversiones en generación eléctrica se realiza en el mercado energético peruano, en particular en el mercado eléctrico de la región Puno. Las diferencias estructurales, permiten estudiar y mostrar el desempeño de la propuesta de la metodología para evaluar las inversiones en mercados con diferentes dinámicas de comportamiento.

En primer lugar, se establecen claramente los supuestos (Metodología del WACC) bajo los cuales se desarrolló el estudio junto con las características de los proyectos de inversión evaluados. Seguidamente se aplica el modelo y algoritmo binomial sobre las bases de los casos seleccionados para el sistema eléctrico estudiado, datos históricos completos y el escenario de largo plazo mejores expectativas del mercado.

Finalmente, se ejecuta un análisis de la metodología utilizando la teoría de opciones en los indicadores de rentabilidad, evidenciando una mejora significativa.

Árbol Binomial

El árbol binomial es un modelo en tiempo discreto donde suponemos que a lo largo de la vida de la opción el precio del subyacente experimenta un número determinado de movimientos al alza o a la baja (Mascareñas 2018). En el árbol binomial se muestra su

aplicación una técnica que permite representar y analizar las decisiones de forma secuencial a través del tiempo (Corpus 2011), mediante probabilidades de incremento (q) o disminución en los precios ($1-p$), siendo (p) menor a 1 (Figura 1).

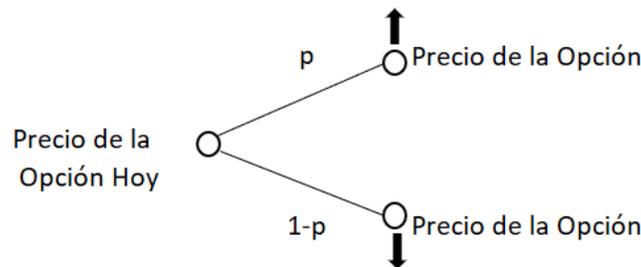


Figura 1. Árbol binomial

Teoría de Opciones Reales (TOR)

Esta teoría nace como complemento del valor actual neto (VAN) y la metodología de valuación es la misma que se utiliza para la valuación de opciones financieras, a diferencia de éstas, la opción no es la compra o venta de un activo financiero, sino la toma de una decisión sobre la inversión.

Las opciones que se analizan en el presente artículo de investigación son: diferir, expandir,

abandonar una inversión para la Central Hidroeléctrica Ángel I, II, y II.

Diferir la inversión

Es la posibilidad de aplazar la inversión y se puede parecer a una opción de compra (*Call*) americana (Machado 2001). Debido a que la realización anticipada del proyecto implica renunciar a la opción de diferir, el valor de esta última actúa como un coste de oportunidad, justificando la realización del proyecto.

$$E_1^+ = \text{Max}[VA_1^+ - A_1; 0] \quad (1)$$

$$E_1^- = \text{Max}[VA_1^- - A_1; 0] \quad (2)$$

$$E_0 = \frac{pE_1^+ + (1-p)E_1^-}{(1+r_f)} \quad (3)$$

$$\text{Opcion de diferir} = VAN_{total} - VAN_{básico} \quad (4)$$

Donde:

- VA_1 : Valor de los flujos de Caja una vez finalizado el tiempo de la opción
- A_1 : Inversión Inicial
- $VAN_{total}(E_0)$: Valor total del proyecto de una opción diferir
- $VAN_{básico}$: Valor básico del proyecto de una opción diferir
- r_f : Tasa de descuento

Expandir la inversión

La opción de expandir una inversión es similar a una opción de compra americana, donde el valor del activo subyacente está dado por el VAN de la inversión (Machado 2001).

En este caso el *pay off* se ve levemente modificado, por lo que la empresa paga el

$$E_1^+ = VA_1^+ + Máx[xVA_1^+ - A_E; 0] \quad (5)$$

$$E_1^- = VA_1^- + Máx[xVA_1^- - A_E; 0] \quad (6)$$

$$E_0 = \frac{pE_1^+ + (1-p)E_1^-}{(1+r_f)} - A_1 \quad (7)$$

$$Opcion\ de\ ampliar = VAN_{total} - VAN_{básico} \quad (8)$$

precio de ejercicio (el costo de ampliación) y lo que recibe es un aumento en el valor de los flujos de fondos futuros. Por tanto, el *pay off* de una opción de expansión, en la fecha de vencimiento de la misma se determina de la siguiente manera:

Donde:

- VA_1 : Valor presente de los flujos de Caja una vez finalizado el tiempo de la opción
- $VAN_{total}(E_0)$: Valor total del proyecto de una opción expandir
- $VAN_{básico}$: Valor básico del proyecto de una opción expandir
- A_E : Inversión adicional requerida
- X : Porcentaje adicional del proyecto inicial
- r_f : Tasa de descuento

Abandonar el proyecto

Una opción de abandono es similar a una opción de venta, es brindar la oportunidad o posibilidad de que un activo se venda a un precio predeterminado (precio de ejercicio) y por un determinado periodo (Machado 2001).

A partir de los valores Finales los árboles de decisión, se calculan los posibles *pay off* de la opción que, en este caso, están dados por la diferencia entre el monto que se obtiene al abandonar y el VAN que se reasigna:

$$E_1^+ = Máx[VA_1^+; VR; 0] \quad (9)$$

$$E_1^- = Máx[VA_1^-; VR; 0] \quad (10)$$

$$E_0 = \frac{pE_1^+ + (1-p)E_1^-}{(1+r_f)} - A_1 \quad (11)$$

$$Opcion\ de\ abandonar = VAN_{total} - VAN_{básico} \quad (12)$$

Donde:

- VA_1 : Valor de los flujos de Caja una vez finalizado el tiempo de la opción
- $VAN_{total}(E_0)$: Valor total del proyecto de una opción abandonar
- $VAN_{básico}$: Valor básico del proyecto de una opción abandonar
- VR : Valor residual
- r_f : Tasa de descuento

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelo de Evaluación en la Región Puno

Se tomó los datos de la Central Hidroeléctrica Ángel I, Ángel II y Ángel III, cada central tiene

una potencia de 20 MW que se encuentra ubicado en la Provincia de Carabaya - Distrito de Ollachea - Región de Puno con las características del proyecto de inversión (Tabla 1).

Tabla 1. Característica del proyecto de inversión

PARAMETROS		UNIDAD
Potencia Instalada	60	[MW]
Factor de Planta	0,6	p.u.
Precio Inicial	75	[MMUS\$]
Inversión	80	[MMUS\$]
Tasa de Descuento	8,42	[%]
Sigma anual	44,49	[%]
Vida Útil	24	[Años]
Plazo de Construcción	2	[Años]

Para el proyecto de inversión de la central hidroeléctrica se empezó realizando el cálculo del valor actual neto (VAN) medio esperado en base a la inversión del proyecto.

VAN medio esperado: $VAN = - 5$ MMUS\$, este valor indicaría que el proyecto de generación eléctrica es rechazado al no tener en cuenta el valor de las opciones implícitas.

Por otro lado, las opciones son evaluadas al realizar un proceso que es neutral al riesgo por el cual el valor actual para cualquier derecho contingente es calculado utilizando sus futuros esperados valores

Para que esta evaluación se logre, se aplicó el método binomial de valoración de opciones y se

calculó el valor de probabilidad neutral al riesgo. Previamente se calculó los coeficientes de ascenso $U = e^{\sigma}$ ($U=1,56$) y de descenso ($D=0,64$) del valor medio esperado (los 75 MMUS\$).

Seguidamente se calculó la probabilidad de ascenso ($p = 0,482$) y probabilidad de descenso ($1-p = 0,518$)

A continuación, se puede observar la distribución de valores del proyecto del negocio el próximo año en relación con su valor actual. En otras palabras, con arreglo a la desviación típica del valor actual del negocio podemos esperar que su valor dentro de un año alcance uno de los siguientes valores: 117 millones o 48 millones (Figura 2).

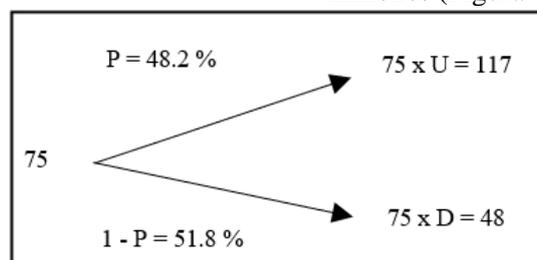


Figura 2. Distribución de valores del proyecto

Podemos indicar que en el mercado mayorista de electricidad el valor del proyecto E_0 , se utilizó la neutralidad con respecto al riesgo dentro de un periodo de tiempo, para los precios del proyecto de electricidad que aumentan y desciendan (E^+ y E^-) (Arango *et al.* 2013).

Donde el valor actual del proyecto $E_0 = 75$ MMUS\$, para este proyecto se evidencia que es igual que cuando se valora a través del descuento de sus flujos de caja.

De esta manera, los precios en generación son fijados sobre la base del abastecimiento de la

demanda a mínimo costo (Petrecolla *et al.* 2010).

La opción de diferir el proyecto de inversión

Para el proyecto de inversión en generación eléctrica la opción de diferir provee a su propietario el derecho a retrasar su realización durante un plazo de tiempo determinado. Donde observamos que la opción de diferir es parecida a una opción de compra americana sobre el

valor actualizado de los flujos de caja esperados del proyecto (VA) y el precio de ejercicio es A_1 .

$A_1 = 80 \times 1,0842 = 86,74$ MMUS\$, mientras que los valores actuales del proyecto E_1^+ y E_1^- durante un año, en el caso de neutralidad al riesgo, se calculó mediante la distribución de valores del proyecto para una opción diferir (Figura 3).

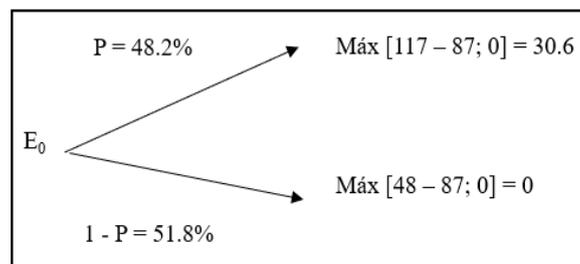


Figura 3. Distribución de valores del proyecto para una opción diferir

El valor total del proyecto de la opción de diferir incluida E_0 es:

$$E_0 = \frac{pE_1^+ + (1-p)E_1^-}{(1+r_f)} = 13,46 \text{ MMU\$}$$

Por tanto, la Opción de diferir en el momento se necesita conocer el valor de este proyecto de inversión, se tendría nada más que restarle a su valor actual total (E_0) juntamente con el valor actual neto básico (VAN básico).

Opción de diferir = VAN total – VAN básico = $13,46 - (-5) = 18,46$ MMU\$. Asimismo, en las inversiones en mercados competitivos los inversionistas privados tienen la responsabilidad de aumentar la capacidad de generación eléctrica y asegurar un confiable suministro eléctrico; (Lozano *et al.* 2018), bajo este concepto dependerán de la fluctuación de los costos marginales o volatilidad para este tipo de opción de diferir.

La opción de ampliación o crecimiento del proyecto de inversión

Si los resultados de los precios son más rentables de lo que se esperaba inicialmente, la dirección o gerencia podría tomar la decisión de acelerar sus planes de ampliación de la producción (en un $x\%$) con un costo adicional A_E . Esto equivale a tener una opción de compra

sobre una parte adicional del proyecto base con un precio de ejercicio igual a A_E . Tal cual, la oportunidad de inversión con la incorporación de la opción de ampliación puede considerarse como un proyecto de inversión inicial o base (VA) más una opción de compra sobre una futura inversión se realiza mediante la expresión

$$E_1 = VA_1 + \text{Máx} [XA_1 - A_E; 0];$$

La opción de ampliar el proyecto de inversión puede ser estratégicamente importante, así se podrá posibilitar a la compañía la capitalización de las futuras oportunidades de crecimiento.

Se tiene en consideración que la empresa tiene la oportunidad de incrementar la tasa de producción en un 50 % más ($x = 0,5$) influyendo en un desembolso adicional posterior de 30 millones de dólares (A_E), siempre que las condiciones imperantes en ese momento resulten ser las más adecuadas.

Posteriormente, después de un año, el equipo directivo puede tomar la decisión entre continuar con producción actual o ampliarla en un 50 % más pagando una cantidad adicional, asimismo se calculó mediante la distribución de valores del proyecto para una opción ampliación (Figura 4).

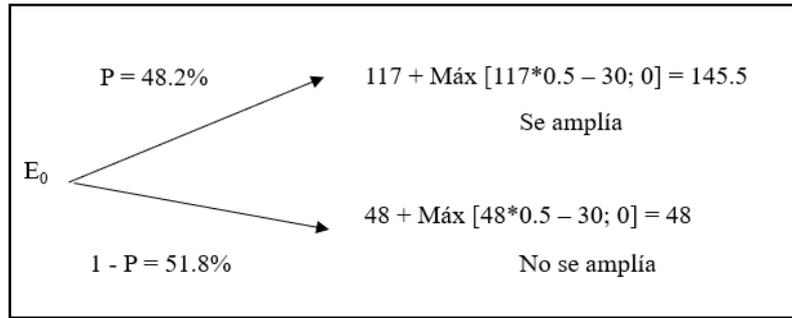


Figura 4. Distribución de valores del proyecto para una opción ampliación

El valor total del proyecto (E_0), opción de ampliación incluida, será igual a actualizar el valor medio del proyecto en el año 1 (E_1) y restarle el desembolso inicial necesario para realizar la inversión (80 millones).

$$E_0 = \frac{pE_1^+ + (1-p)E_1^-}{(1+r_f)} - A_0 = 7,62 \text{ MMU\$}$$

Opción de ampliar = VAN total - VAN básico = $7,62 - (-5) = 12,62$ MMU\$; Además el valor de la opción de ampliar tendrá un valor de 12,62 millones de dólares (lo que representa el 16,83 % del valor actual de los flujos de caja). Y en el ámbito económico riesgo es aquel momento que se va tomar la decisión mediante las variables aleatorias asignando probabilidades (Barria & Rudnick 2011), en aquí se conoce la distribución de probabilidades de estas variables, mientras en la incertidumbre no es conocida la distribución probabilística, es decir

la aleatoriedad no puede ser expresado en términos de probabilidades (Lucia & Schwartz 2002). Además los precios *spot* se relacionan al estado inmediato del mercado y su volatilidad que es vinculada, representa en un corto plazo (Manavalle 2014).

La opción de abandono del proyecto de inversión

Los directivos tienen una opción para abandonar el proyecto de inversión a cambio de su valor residual, éste podría ser su valor de liquidación, la venta de la compañía.

$$VA + \text{Máx} [VR - VA; 0] = \text{Máx} [VA; VR]$$

Por lo tanto, se supone que el valor residual del proyecto de generación hidroeléctrica (o el de su mejor alternativa) se distribuye de acuerdo a la distribución binomial del valor residual mostrado en la (Figura 5).

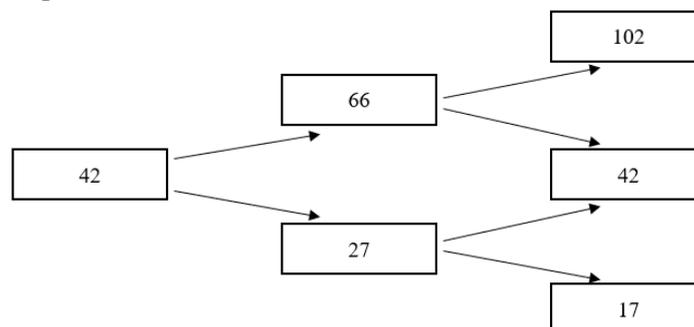


Figura 5. Distribución binomial del valor residual.

La dirección o gerencia para la toma de decisiones en la opción de abandono del proyecto de inversión puede observar como el valor residual actual ($VR_0 = 42$ MMU\$) (Silva 2019), además se puede ver que es menor al valor actual del proyecto de inversión ($VA_0 = 75$ MMU\$), por tanto si esto no fuese así la directiva directamente elegirá por no acometer este último; además tiene una menor varianza

(Ruiz & Mimbela 2021). Así, el valor del proyecto para los accionistas, suponiendo que puedan renunciar o abandonar al final del primer año (Tamayo *et al.* 2016), será:

$$E^+ = \text{Máx} [VA^+; VR^+] = 117 \text{ MMU\$}$$

(continuar)

$$E^- = \text{Máx} [VA^-; VR^-] = 48 \text{ MMU\$}$$

(abandonar)

El valor del proyecto de inversión, opción de abandono incluida, será:

$$E_0 = \frac{pE_1^+ + (1-p)E_1^-}{(1+r_f)} - A_0 = -5 \text{ MMU\$}$$

$$\text{Opción de cerrar} = \text{Valor total} - \text{VAN básico} = -5 - (-5) = 0 \text{ MMU\$}$$

El resultado de la opción de abandonar de acuerdo a la distribución binomial del valor residual (Figura 5), el proyecto de inversión en generación eléctrica es negativo, por consiguiente, la opción de abandonar el proyecto es nulo, indica que el proyecto no se puede valorar, por lo tanto, no es factible esta opción,

CONCLUSIONES

En la investigación se desarrolló la metodología propuesta de opciones reales donde se adapta a procesos de inversión en el sector eléctrico de la Región de Puno, asumiendo la incertidumbre estratégica como medio de análisis. Además, se adaptó a medios cambiantes dependiendo del tipo de opción que se utilizó en esta metodología de opciones reales los cuales no se consideran en estudios tradicionales.

Para el análisis de la central hidroeléctrica Ángel I, Ángel II y Ángel III se consideró apropiado la utilización de la opción de diferir y ampliar, debido a que la mayoría de proyectos hidroeléctricos son inversiones grandes e irreversibles, es decir una vez puesto en marcha el proyecto muy difícilmente se abandonará o reducirá, pero no es aplicable a la opción abandonar puesto que no se puede valorar porque el resultado obtenido fue nulo (0).

La opción de diferir la inversión, muestra como el valor actual de los flujos de caja esperados es de 75 millones de dólares, quiere decir que el valor de la opción de diferir es igual al 24.61 % del valor de dichos flujos. Un valor importante. También lo que estos resultados nos dicen es que ahora mismo no interesa invertir pero que el valor de esperar un año a ver cómo evoluciona el mercado de generación eléctrica es de 18,46 millones de dólares.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, por haberme brindado la enseñanza en la Escuela de Posgrado en la Maestría de Ciencias de la Ingeniería Mecánica Eléctrica, todos los conocimientos adquiridos serán puestos en práctica para el desarrollo de la Región de Puno.

REFERENCIAS

- Arango, M. A. A., Cataño, E. T. A., & Hernández, J. D. 2013. Valoración de proyectos de energía térmica bajo condiciones de incertidumbre a través de opciones reales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 12(23), 83–100. <https://doi.org/10.22395/rium.v12n23a7>
- Barria, C., & Rudnick, H. 2011. Investment under Uncertainty in Power Generation: Integrated Electricity Prices Modeling and Real Options Approach. *IEEE Latin America Transactions*, 9(5), 785–792. <https://doi.org/10.1109/TLA.2011.6030990>
- Barrios, A. P. 2018 . Un acercamiento al costo de capital de la empresa: naturaleza y aplicación en las decisiones financieras. *Contexto*, 7, 5-22. <https://revistas.ugca.edu.co/index.php/contexto/article/view/883/1357>
- Buriticá Arboleda, C. I. 2012. Gestión Integral de la Seguridad del Abastecimiento Eléctrico en Mercados Liberalizados [Universitat Politècnica de València]. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/18466>
- Calle Fernández, A. M., & Tamayo Bustamante, V. M. 2009. Decisiones de Inversión a través de Opciones Reales. *Estudios Gerenciales*, 25(111), 107–126.
- Corpus, G. M. I. 2011. Valoración de empresas hidroeléctricas mediante opciones reales. Trabajo Final para optar el título de: Magister en ingeniería administrativa. Universidad Nacional de Colombia.

- <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/10136/30569259.2011.pdf?sequence=1>
- Cuervo, I. F., & Botero Botero, S. 2014. Aplicación de las opciones reales en la toma de decisiones en los mercados de electricidad. *Estudios Gerenciales*, 30(133), 397-407. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2014.06.003>
- Dixit, R. K., & Pindyck, R. S. 2012. *Investment under Uncertainty*. Princeton University Press. Princeton, NJ. <https://doi.org/10.1515/9781400830176>
- Dugarte Coll, E. J. 2009. Diseño de una metodología automatizada para la evaluación financiera de proyectos de inversión en activos fijos bajo condiciones de riesgo e incertidumbre (Master's thesis, Maestría en Ingeniería Industrial). <http://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/91#page=1>
- Fang, F., & Karki, R. 2018. Reliability Implications of Riverflow Variations in Planning Hydropower Systems. In 2018 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech) (pp. 1-6). IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/SusTech.2018.8671365>.
- Guzman Estremadoyro, W. A. 2011. Impactos de la introducción de la comercialización en el mercado eléctrico peruano (Master dissertation, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica). Universidad de Ingeniería. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2341970>
- Jara Solórzano, J. M. 2018. Los ingresos fiscales del Perú y la evolución del precio de los *commodities*, entre los años 2005-2016. Universidad Nacional Agraria de la Selva. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1581>
- León, A. & Rubia, A. 2001. Comportamiento del precio y volatilidad en el *pool* eléctrico español. Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas, S.A. (IVIE) WK-2001-04. <http://www.ivie.es/downloads/docs/wpasec/wpasec-2001-04.pdf>
- Lozano, J., Luyo, J., & Molina, Y. 2018. El Mercado Eléctrico Mayorista: Agentes y Modelos de Organización. *TECNIA*, 28(1), Article 1. <http://www.revistas.uni.edu.pe/index.php/tecnia/article/view/188>
- Lucia, J. J., & Schwartz, E. S. 2002. Electricity prices and power derivatives: Evidence from the Nordic Power Exchange. *Review of derivatives research*, 5(1), 5-50. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1013846631785>
- Machado, J. J. G. 2001. Opciones reales: Aplicaciones de la teoría de opciones a las finanzas empresariales. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=308730>
- Manayalle, A. 2014. Desregulación de tarifas en el mercado de generación eléctrica en el Perú | *Revista de Derecho Administrativo*. (14), 431-455. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derchoadministrativo/article/view/13460>
- Mascareñas, J. 2018. Opciones Reales en la Valoración de Proyectos de Inversión (Real Options in Project Valuation) (SSRN Scholarly Paper ID 2314567). Social Science Research Network. <https://papers.ssrn.com/abstract=2314567>
- Mendiola, A., Aguirre, C., Aguilar, O., Castillo, S., Giglio, G., & Maldonado, W. 2012. Proyectos de generación eléctrica en el Perú: ¿centrales hidroeléctricas o centrales térmicas?. *ESAN*. <https://www.esan.edu.pe/publicaciones/serie-gerencia-para-el-desarrollo/2012/proyectos-generacion-electrica-peru-centrales-hidroelectricas-termicas/>
- Mendiola, A., Aguirre, C., Santana, S. de, & Yarma, F. 2020. Participación competitiva en las subastas RER: Estrategia basada en

- la teoría de opciones reales.
<https://repositorio.esan.edu.pe//handle/20.500.12640/2428>
- Petrecolla, D., Romero, C. A., & Pircho, Alexis. 2010. Análisis de monitoreo de las condiciones de competencia en el sector eléctrico de Perú. OSINERGMIN. 145.
https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Otros-Estudios/Consultoria/AnalisisMonitoreo-CondicioneseSectorElectrico.pdf
- Quezada, C. E. B. 2008. Inversiones bajo incertidumbre en generación eléctrica: Aplicación de Opciones Reales y Modelos de Precios. [Doctoral dissertation, Pontificia Universidad Católica de Chile]. 170.
<https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/paperspdf/CarlosBarria.pdf>
- Quintanilla, E. 2016. Perú: Soluciones para un mercado eléctrico de alto crecimiento-Promoción de energías renovables... y competitivas. Cuadernos de Energía, 48(7).
<https://www.osinergmin.gob.pe/Paginas/ARIAE-XX/uploads/Energias-renovables-competitivas-ARIAE.pdf>
- Rivasplata Ramírez, A. R. 2018. Dinámica de inversión y competencia en generación eléctrica en un escenario de liberalización en el Perú (periodo 2012-2021): La importancia de los contratos de largo plazo [Pontificia Universidad Católica del Perú].
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/10165>
- Rivera Antonio, J. C., & Tomayquispe Llamoca, C. 2015. Modelo de portafolio de generación eléctrica de corto plazo en el Perú. Universidad Nacional del Callao.
<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/1489>
- Ruiz Roldán, K. J. E., & Mimbela Jiménez, M. A. 2021. Análisis del sector de energía eléctrica en el Perú. Universidad de Piura.
<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/5092>
- Silva, K. G. H. 2019. Método de Opciones Reales para Evaluación Financiera de Proyectos de Generación de Energía Eléctrica. 102.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20546/1/CD%2010039.pdf>
- Suzuki, P. A. O. 2015. El mercado mayorista de electricidad en el Perú. THEMIS Revista de Derecho, 68, 261–277.
<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/themis/article/view/15598/16047>
- Tamayo, J., Salvador, J., Vásquez, A., & Vilches, C. 2016. La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país. OSINERGMIN. Lima, Perú.
<https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/informes-publicaciones/483410-la-industria-de-la-electricidad-en-el-peru-25-anos-de-aportes-al-crecimiento-economico-del-pais%20>
- Vásquez Cordano, A. & Aguirre, C. 2017. El Costo Promedio Ponderado del Capital (WACC): Una estimación para los sectores de Minería, Electricidad, Hidrocarburos Líquidos y Gas Natural en el Perú. Documento de Trabajo No 37. Gerencia de Políticas y Análisis Económico – OSINERGMIN.
https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Documentos_de_Trabajo/Documento-Trabajo-37.pdf
- Vásquez, J. A. G. 2014. Valoración de Proyectos de Empresas con Teoría de Opciones Reales – Caso ENERSUR S.A. Tecnología y Desarrollo (Trujillo), 12(1), 69–75.
<https://doi.org/10.18050/td.v12i1.1684>