



**OPCIONES REALES COMO MÉTODO ALTERNO DE VALORACIÓN PARA PRO-  
YECTOS DEL SECTOR GAS EN COLOMBIA**

**Nathalia Granados Sáenz**

**Colegio de Estudios Superiores de Administración – CESA**

**Maestría en Finanzas Corporativas**

**Bogotá**

**2019**

**OPCIONES REALES COMO MÉTODO ALTERNO DE VALORACIÓN PARA PRO-  
YECTOS DEL SECTOR GAS EN COLOMBIA**

**Nathalia Granados Sáenz**

**Director:**

**Bernardo León Camacho**

**Colegio de Estudios Superiores de Administración – CESA**

**Maestría en Finanzas Corporativas**

**Bogotá**

**2019**

## Tabla de contenido

<b>1. Introducción .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>12</b>
Objetivo General.....	12
Objetivos Específicos.....	13
<b>3. Revisión Bibliografía .....</b>	<b>13</b>
<b>4. Marco teórico .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1 Flujos de Caja Descontados.....</b>	<b>15</b>
i. Estimar los flujos del proyecto.....	15
ii. Determinar la tasa de descuento.....	16
iii. Calcular el valor actual neto (VAN) de los flujos del proyecto y comparar con la inversión inicial .....	17
<b>4.2 Opciones .....</b>	<b>18</b>
i. Opciones Financieras.....	18
ii. Opciones Reales Vs. Opciones Financieras.....	22
iii. Tipo de Opciones Reales.....	26
iv. Valoración de Opciones Reales .....	27
<b>5. Metodología.....</b>	<b>32</b>
5.1 Evaluación financiera determinística .....	32
5.2 Evaluación financiera a través de opciones reales .....	34
<b>6. Conclusiones.....</b>	<b>41</b>
<b>7. Bibliografía.....</b>	<b>45</b>

## Gráficos

Gráfico 1 Oferta de Gas - Reservas Proyectadas .....	8
Gráfico 2 Compra de Opción de Compra .....	20
Gráfico 3 Compra de Opción de Compra .....	20
Gráfico 4 Compra de Opción de Venta.....	21
Gráfico 5 Venta de Opción de Venta .....	21
Gráfico 6 Árbol Binomial .....	30
Gráfico 7 Análisis de Tornado.....	35
Gráfico 8 Análisis de Spider .....	35
Gráfico 9 Árbol Binomial VPN Tradicional.....	39
Gráfico 10 Árbol Opción Expansión .....	39
Gráfico 11 Árbol Opción Abandono.....	40
Gráfico 12 Árbol Opción Contracción.....	40
Gráfico 13 Árbol Opción Chooser .....	41

## Tablas

Tabla 1 Opciones Financieras Vs. Opciones Reales.....	24
Tabla 2 Opciones de Compra Vs. Opciones de Venta.....	25
Tabla 3 Distribución Probabilidad Variables Flujo de Caja .....	36
Tabla 4 Cuantificación Volatilidad Flujos de Caja.....	37
Tabla 5 Variables Árboles Binomiales .....	38
Tabla 6 Variables Opciones Reales .....	38
Tabla 7 Distribución Probabilidad Variables Flujo de Caja .....	42
Tabla 8 VPN y Valor Agregado Opciones Reales.....	43

**Anexos**

Anexo 1 Resumen Proyectos .....	47
Anexo 2 Históricos Variables que más Influyen en el Flujo de Caja .....	51
Anexo 3 Distribución Probabilidad Variables .....	52

## **Resumen**

En el presente trabajo de grado se pretende abordar la problemática de la evaluación de proyectos de inversión en proyectos de una compañía del sector de gas natural en Colombia, la cual radica en la toma de decisiones en función del objetivo del proyecto, generar valor. La evaluación de proyectos debe tener en cuenta decisiones coherentes a la estructura de capital y situación económica de la compañía, definiendo en los activos a invertir y el momento de invertir.

Debido a que la valoración de los proyectos del sector gas está afectada por diferentes variables tales como: probabilidades de éxito, tasa de cambio, regulación, precio, entre otros; este trabajo se enfoca en la evaluación de las opciones reales como método alternativo de valoración para los diferentes proyectos, incorporando flexibilidad e incertidumbre sobre situaciones técnicas, sociales, económicas y políticas.

## 1. Introducción

De acuerdo a la página del Sistema de información de Combustibles en Colombia (SICOM): “Se conoce como hidrocarburo al compuesto de tipo orgánico que surge al combinar átomos de hidrógeno con otros de carbono.

Cuando un hidrocarburo es extraído en estado líquido de una formación geológica, recibe el nombre de petróleo. En cambio, el hidrocarburo que se halla naturalmente en estado gaseoso se denomina **gas natural**” (Los Hidrocarburos, 2011).

De acuerdo a la definición tomada de la página Ecopetrol: “El gas natural es un recurso natural considerado un combustible fósil no renovable, cuyo componente principal es el gas metano (CH<sub>4</sub>) en proporciones que varían entre el 70 – 95%. Éste se presenta como una mezcla gaseosa junto con pequeñas cantidades de otros gases tales como el etanol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), butano (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), azufre y nitrógeno” (Comisión de Hidrocarburos del Colegio de Geólogos, 2013).

Aunque, actualmente en Colombia el gas tiene más años de autosuficiencia que el petróleo, las entidades encargadas del sector, detectan con preocupación factores adversos en la proyección de su abastecimiento en el mediano plazo (“Importación, la tabla de salvación para suministro de gas en Colombia”, 2016).

En los siguientes eventos:

- Caída de la producción

- No descubrimiento de nuevos yacimientos de gas
- Disminución de taladros y exploración sísmica

La incorporación de reservas va a ser limitada y se afectará la oferta de mercado nacional, conllevando al gobierno a establecer estrategias para el futuro como la importación desde Venezuela y el incremento de la competitividad del sector a través de un plan de inversión en infraestructura ("El Sector Gas Colombiano: Crecimiento en Producción e Inversión.", 2017)

De acuerdo al balance de gas natural 2017-2026 presentado por el UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) la oferta certificada a la fecha por los productores e importadores, abastecerá la demanda nacional de gas natural hasta noviembre del 2023 ("Balance de Gas Natural en Colombia 2017-2026, 2017)

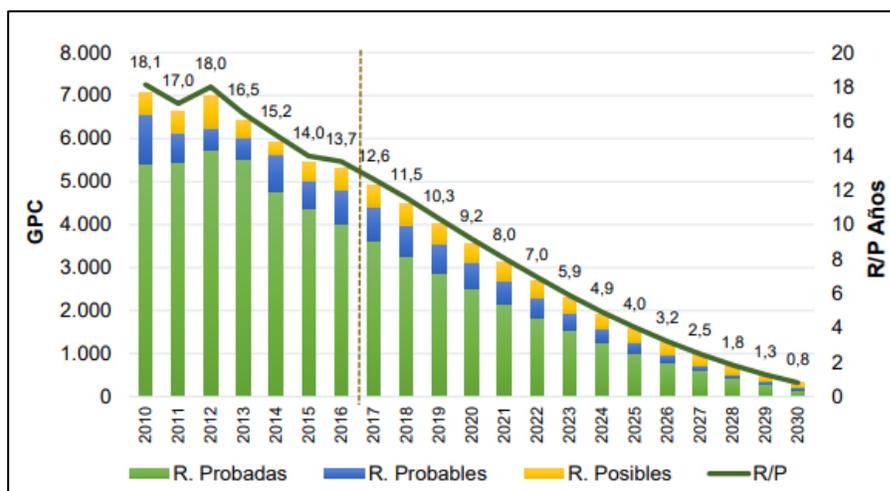


Gráfico 1 Oferta de Gas - Reservas Proyectadas

Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) – 2016

Importación, la primera estrategia establecida por el gobierno nacional, podrá generar varios problemas al país. Primero, el incremento hasta de tres veces del valor actual que pagan los con-

sumidores por los costos arancelarios, de transporte y procesamiento. Segundo, pérdida de empleos generados actualmente por los procesos de exploración y explotación de este combustible. Y tercero, el gobierno dejaría de recibir ingresos por concepto de regalías, los cuales para el 2016 fueron por 600 millones de dólares ("Canacol: Colombia debe decidir entre la autosostenibilidad y la importación de gas", 2017).

Con el escenario anterior, según el UPME se hará necesario ejecutar inversiones anuales de 4.600 millones de dólares en los próximos 18 años, para poder incrementar reservas probadas, probables y posibles y así poder seguir abasteciendo la demanda interna ("Importación, la tabla de salvación para suministro de gas en Colombia", 2016).

El modelo actualmente usado por las compañías del sector hidrocarburos para determinar y evaluar los proyectos de exploración y explotación de gas es el VAN (Valor Actual Neto) en el cual se establece el valor inicial para la realización del proyecto, se proyectan los flujos de caja que promete generar y se calcula su valor actual descontados a una tasa determinada.

Se compara el valor global de dichos flujos con el valor inicial de la inversión. Cuando el VAN es positivo, se considera viable dicho proyecto de inversión, porque la totalidad de los flujos de caja descontados a una tasa determinada, son mayores que el total de costos de inversión para realizarlo. Por el contrario, si el VAN es negativo, no es aconsejable invertir.

Para definir la tasa de descuento en el modelo VAN, éste se apoya en el "Capital Asset Pricing Model", más conocido como el CAPM desarrollado por William Sharpe (Fernandez

Lopez, 2005), en el cual se calcula la tasa de rendimiento esperada de la inversión, para traer a valor presente las proyecciones que se tienen, teniendo en cuenta una serie de variables dependiendo del tipo de industria, las cuales influyen en el valor a determinar (Delgado Aguilera & Delgado Torres, 2012).

Cuando se evalúan proyectos a través de la óptica VAN, se consideran siempre los siguientes supuestos a los resultados que se obtienen (Mascareñas Pérez-Íñigo, 1999):

- a) Los flujos de caja estimados del proyecto se consideran como conocidos desde el principio y se ignora la posibilidad de los directivos de alterarlos y adaptar su gestión a las condiciones del mercado durante la vida del mismo.
- b) Se supone que el riesgo es contante. Por tanto, la tasa de descuento es constante y se desconoce que el riesgo depende de la vida que le queda al proyecto (menor tiempo, menor riesgo) y la rentabilidad actual del mismo (efecto del apalancamiento).
- c) Se proyectan arbitrariamente los precios esperados a lo largo del proyecto, lo cual es imposible en algunos sectores por su volatilidad.
- d) Los VAN de los proyectos se suponen aditivos y no valoran los activos intangibles (flexibilidad operativa e interacciones entre proyectos).

La utilización del método VAN es efectiva cuando la decisión se toma en un momento dado, es decir, se invierte ahora o nunca. Sin embargo, los proyectos de exploración y explotación de gas no son lo suficientemente estables como para estimar con certeza lo que sucederá en

el futuro debido a la volatilidad de sus precios y las probabilidades de éxito de hallazgo. Si consideramos estas características y estando presente la incertidumbre, es necesario tomar decisiones en varios momentos (Dixit & Pindyck, 1994).

Como este método solo considera valores tangibles y considera que el proyecto a evaluar es estático y determinístico, en ocasiones no permite que la toma de decisiones sea la más acertada. En muchas situaciones las compañías ejecutan proyectos con valor presente negativo, al considerarlos estratégicos en futuras oportunidades. Sin embargo, estas decisiones son subjetivas y no están apoyadas en evaluaciones financieras robustas (Calle Fernández & Tamayo Bustamante, 2009).

En consecuencia, a lo anterior y al requerimiento de inversión en el desarrollo del sector de gas en Colombia y a su impacto en la evolución económica del país, es necesario para las compañías interesadas en invertir, encontrar un modelo que se adapte a sus características, que permitan evaluar de manera adecuada y tomar buenas decisiones. Una alternativa, es la metodología de las opciones reales atribuida a Stewart Myers, la cual se basa en que la decisión de inversión de un proyecto se puede alterar por el grado de irreversibilidad, incertidumbre y grado de maniobra del decisor. Tiene en cuenta también que las compañías y los proyectos no son estáticos y la volatilidad de los mercados.

Las opciones reales afirman que no se pueden tomar decisiones de inversión teniendo en cuenta únicamente que el valor presente debe ser mayor a cero, debido a que en la realidad, los

intangibles tienen un peso considerable (Mascareñas, 1999). Aspectos claves para la toma de decisiones de inversión, los cuales no son tenidos en cuenta por el método VAN y otros métodos tradicionales de valoración (Calle Fernández & Tamayo Bustamante, 2009).

De esta manera, dentro de la evaluación de este tipo de proyectos, se deben tener en cuenta algunos aspectos y probabilidades teniendo en cuenta algunas variables. Dentro de las variables que se pueden encontrar en las inversiones se encuentran (Dixit & Pindyck, 1994): (i) decisión sobre la inversión y capacidad de esperar. Esta puede ser aplazada, esperando tener más información sobre el mercado y las diferentes condiciones, como por ejemplo los cambios de precio de los productos o diferencias de las probabilidades sobre cambios de los mismos, teniendo así alto nivel incertidumbre, y de esta manera el proyecto puede desarrollarse en otra etapa o el nivel de la inversión puede cambiarse; (ii) Abandono del proyecto; (iii) Tipo de empleos dados en los proyectos; (iv) Competencia en el mercado, el nivel de competencia de los proyectos pueden ser mayores o menores en el futuro, obteniéndose diferentes cambios dentro de los precios y costos; (v) cambio de políticas y seguimiento de los productos.

## **2. Objetivos**

### **Objetivo General**

Contrastar el método tradicional de valoración de proyectos “Flujos de Caja Descontados” versus “Opciones Reales” con el fin de validar si estas últimas se convierten en un complemento para la valoración de proyectos con incertidumbre y volatilidad presente en los proyectos del sector gas en Colombia, valorando la flexibilidad en distintas decisiones de los proyectos del sector.

### **Objetivos Específicos**

- Cuantificar la volatilidad de los flujos de caja en la valoración de proyectos en el sector del gas en Colombia a través del método de flujos de caja descontados
- Desarrollar un modelo de valoración a través opciones reales, aplicado para el sector gas en Colombia con opciones de expansión, abandono y contracción.
- Cuantificar el valor agregado que ofrecen las opciones reales frente a las metodologías clásicas de valoración para el sector gas en Colombia.
- Analizar ventajas y desventajas de las valoraciones por opciones reales.

### **3. Revisión Bibliografía**

Con los trabajos de Black & Scholes y Merton, en la década de los 70's, se dio a conocer la metodología de evaluación de opciones financieras. En 1973 Fisher Black y Myron Scholes crearon el modelo conocido como Black & Scholes, ecuación basada en la teoría de procesos estocásticos que permite determinar el valor teórico de un activo financiero para compra (opción call) o venta (opción pull) mitigando el riesgo.

El 1984, en el artículo "Finance Theory and Financial Strategy" de Steward Meyers se utilizó por primera vez el término "Opción Real" describiendo como se puede usar la teoría de opciones, para evaluar activos no financieros. A partir de ese momento, las opciones reales se convirtieron en uno de los principales temas, objeto de investigación en finanzas durante la década de los años 90s (Pringles & Garces, 2007).

Las primeras aplicaciones de las opciones reales fueron desarrolladas en los años 80s: En 1985 Brennan & Schwartz en su artículo "Evaluating Natural Resource Investments", analizaron

las opciones de cierre temporal y abandono de una mina. En 1987 Majd & Pindyck analizaron las opciones reales bajo un esquema de inversión por etapas. Y en 1988 Paddock, Siegel y Smith en su artículo “Option Valuation of Claims on Physical Assets: The Case of Offshore Petroleum Leases” usaron las opciones reales compuestas para valorar un contrato de arrendamiento de exploración petrolera (Pringles & Garces, 2007).

Para la década de los 90s se destacaron los siguientes trabajos: en 1990 Ingersoll & Ross estudiaron la opción de diferir un proyecto en la extracción de recursos naturales. Ese mismo año, en 1990 Trigeorgis evaluó un proyecto de extracción de minerales considerado tres opciones: la primera de cancelar el proyecto durante la construcción, la segunda de expansión de la producción y la tercera de abandono por rescate. En 1993 él mismo realizó una clasificación de las opciones reales y enunció su aplicación en diferentes sectores (Pringles & Garces, 2007).

Entre los trabajos más recientes de investigación también podemos mencionar: artículos de Murto (2002 y 2004) donde evalúa opciones de diferir la inversión, flexibilidad operativa y elección de alternativas de inversión en el área energética. En el 2002, Sarkar muestra como en ciertas situaciones, un incremento en las incertidumbres puede realmente incrementar la probabilidad de inversión y por lo tanto tiene un impacto positivo sobre la inversión. En el 2005 Wnag y Neuville acuñaron las opciones reales al diseño de proyectos

En los últimos cinco años se han realizado múltiples trabajos de investigación del uso de las opciones reales para la valoración de proyectos de diferentes sectores en Colombia tales como: minero (2012, Universidad Javeriana), exploración y producción de petrolero (2013, Colegio de Estudios Superiores de Administración-CESA), energía eólica (2012, Universidad Javeriana), palma de aceite (2016, Colegio de Estudios Superiores de Administración-CESA), concesiones

viales (2015, Colegio de Estudios Superiores de Administración-CESA), biotecnología(2012, Universidad de Buenos Aires).

De los anteriores trabajos se ha concluido que el método de opciones reales no sustituye el modelo tradicional de valoración por flujos de caja descontados en la valoración de activos y/o proyectos no financieros, porque este último es la base de cualquier valoración y permite tener una visión global de un activo. Sin embargo, si se catalogan como un complemento y generadores de valor a la evaluación de proyectos debido a que capturan de manera más adecuada su valor al incluir la flexibilidad de decisiones futuras y cambio de estrategia de los negocios.

#### **4. Marco teórico**

##### **4.1 Flujos de Caja Descontados**

El método de flujos de caja descontados, determina el valor de un proyecto a través de la estimación de los flujos de dinero que se generan el futuro y se descuentan a una tasa según el costo del capital y los riesgos del mismo.

El método de flujos de caja descontado para proyectos se compone de tres elementos principalmente: valor de la inversión, costo de capital (tasa de descuento) y los flujos de caja libre que se generarán en el proyecto.

##### **i. Estimar los flujos del proyecto**

Los flujos de caja hacen referencia a las entradas y salidas de dinero que se generan en un proyecto en un determinado tiempo. En las proyecciones que se realizan en la valoración del proyecto se obtienen varios tipos de flujo: los flujos de caja generados por el proyecto y que perte-

necen a todos sus inversores en conjunto, tanto accionistas como acreedores, a los que se les denominan como flujos de caja de la empresa. Por otro lado, los flujos de caja generados por la empresa y que pertenecen a sus acreedores, denominados como flujos de caja de la deuda. Además, los flujos de caja generados por la empresa y que pertenecen a sus accionistas; serán los flujos de caja del capital.

## **ii. Determinar la tasa de descuento**

La tasa de descuento es una medida financiera que se aplica para determinar el valor actual del flujo de caja neto del proyecto, teniendo en cuenta la inversión y los ingresos en periodos del futuro. Cada serie de flujos debe ser actualizada a su correspondiente tasa de interés. De esta manera, los flujos de caja generados deben actualizarse a una tasa que refleje el coste conjunto de todos los inversores; dicha tasa es el coste de capital medio ponderado. Por su parte, los flujos de caja de la deuda son descontados al tipo de interés de la misma. Por último, los flujos de caja del capital, aquellos que corresponden a los socios, deben ser descontados a la tasa de rentabilidad requerida por los mismos.

Para calcular la tasa de rentabilidad del capital, se usa el modelo CAPM ( (Capital Asset Pricing Model), modelo de valoración de activos financieros desarrollado por William Sharpe que permite estimar la rentabilidad esperada en función del riesgo sistemático.

El modelo se basa en el equilibrio del mercado, asume que la oferta de activos financieros iguala a la demanda, la situación del mercado es de competencia perfecta generando que la interacción de oferta y demanda determine el precio de los activos. Además, existe una relación directa entre la rentabilidad del activo y el riesgo asumido.

Considera que se puede estimar la rentabilidad de un activo de la siguiente manera:

$$E(r_i) = r_f + \beta [E(r_m) - r_f]$$

Donde:

- **E(r<sub>i</sub>):** tasa de rentabilidad esperada de un activo.
- **r<sub>f</sub>:** rentabilidad del activo sin riesgo.
- **Beta:** medida de la sensibilidad del activo respecto a su punto de referencia. Permite conocer la variación relativa de la rentabilidad del activo respecto al mercado en que cotiza.
- **E(r<sub>m</sub>):** Tasa de rentabilidad esperada del mercado en que cotiza el activo.

**iii. Calcular el valor actual neto (VAN) de los flujos del proyecto y comparar con la inversión inicial**

El valor actual neto (VAN) calcula a valor presente, el dinero que una inversión generará en el futuro, teniendo en cuenta que el valor real del dinero cambia con el tiempo.

$$VNA = \frac{VF_1}{(1+K)^1} + \frac{VF_2}{(1+K)^2} + \dots + \frac{VF_n}{(1+K)^n}$$

Donde:

VF<sub>n</sub>: valor del flujo neto en el periodo n

K: tasa de descuento

n: periodo

Finalmente, según el cálculo del VAN, hay que seguir adelante con el proyecto si la diferencia entra la inversión inicial y el valor actual neto es mayor a cero.

## 4.2 Opciones

Al valorar los proyectos a través de los flujos de caja descontados, no se cuenta con a diferencias que se pueden dar por la incertidumbre del comportamiento del mercado, flexibilidad del proyecto. De esta manera, las opciones reales, incorporan en la evaluación de los proyectos, flexibilidad frente a las decisiones en el proceso del proyecto. Decisiones en las que se puede evaluar el abandono, la reinversión o el mantenimiento sobre el proyecto.

Una opción es un contrato entre dos partes (una compradora y otra vendedora), en que quien compra la opción adquiere el derecho a ejercer lo que indica el contrato, aunque no tendrá la obligación de hacerlo.

### i. Opciones Financieras

Las opciones financieras son instrumentos financieros que otorgan al comprador el derecho y al vendedor la obligación de realizar la transacción a un precio fijado y en una fecha determinada (Lamothe Fernández, 1993).

Algunas definiciones sobre las opciones financieras:

- Prima: comisión que paga el comprador de la opción.
- Opción call: es el derecho a comprar un activo subyacente a un precio determinado en un momento definido en el futuro.
- Opción put: es el derecho a vender un activo subyacente a un precio determinado en un momento definido en el futuro.
- Strike: precio determinado de la operación de compra o venta de la opción.

- Comprador o posición larga: es el que posee el derecho de ejercer la compra o la venta del Activo Subyacente (acción, bono, commodity, entre otros).
- Vendedor o posición corta: es el que está obligado a comprar o vender el activo subyacente al precio pactado, si el comprador ejercita su derecho.

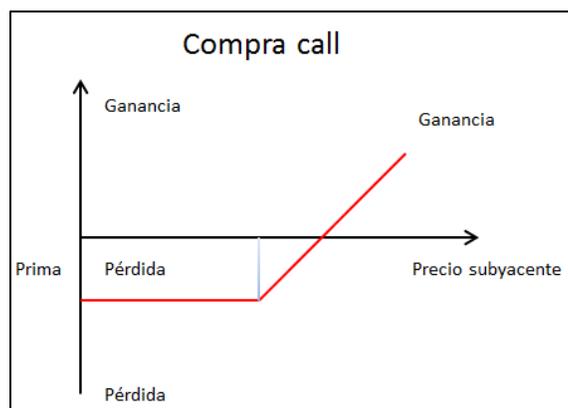
Los contratos de opciones financieras, normalmente hacen referencia a la compra o venta de activos determinados (subyacente), que pueden ser acciones, índices bursátiles, bonos u otros. Para adquirir una opción de compra o de venta es necesario hacer un desembolso inicial (prima), cuyo valor depende, fundamentalmente, del precio que tenga en el mercado el activo que es objeto del contrato, de la variabilidad de ese precio y del período de tiempo entre la fecha en que se firma el contrato y la fecha en que éste expira.

Un contrato de opción contiene, normalmente, las siguientes especificaciones:

- Fecha de ejercicio: fecha de expiración del derecho contenido en la opción.
- Precio de ejercicio: precio acordado para la compra/venta del activo al que se refiere el contrato (llamado activo subyacente).
- Prima o precio de la opción: monto que se paga a la contraparte para adquirir el derecho de compra o de venta.
- Derechos que se adquieren con la compra de una opción: pueden ser call (derecho de compra) y put (derecho de venta).
- Tipos de opción: puede haber europeas, que sólo se ejercen en la fecha de ejercicio o americanas, para ejercerse en cualquier momento durante el contrato.

Dependiendo de la situación de cada agente y la decisión que tome, podemos encontrarnos con las siguientes circunstancias:

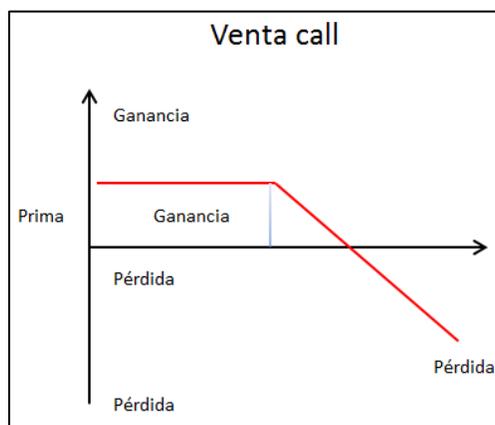
- Compra de opción de compra: da derecho al comprador a adquirir un determinado activo a un precio de ejercicio durante o antes del vencimiento a cambio del pago de una prima. Tiene pérdidas limitadas y ganancias ilimitadas.



*Gráfico 2 Compra de Opción de Compra*

Fuente: Lamothe- Opciones Financieras: un enfoque fundamental

- Venta de opción de compra: obliga al vendedor a vender un determinado bien al precio pactado antes del vencimiento a un precio fijado. Tiene pérdidas ilimitadas y ganancias limitadas (prima).



*Gráfico 3 Compra de Opción de Compra*

Fuente: Lamothe- Opciones Financieras: un enfoque fundamental

- Compra de opción de venta: da al comprador el derecho a vender el activo subyacente al precio fijado previamente antes o en el vencimiento. Tiene pérdidas limitadas a la prima y ganancias ilimitadas.

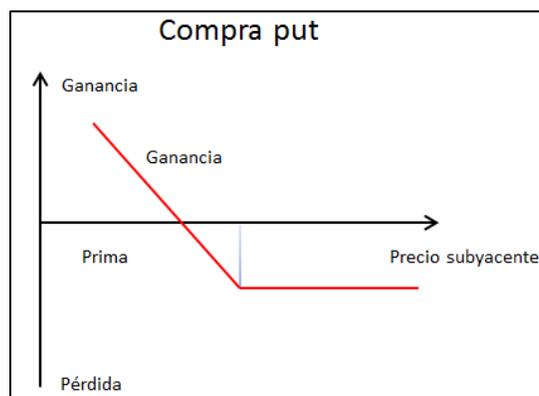


Gráfico 4 Compra de Opción de Venta

Fuente: Lamothe- Opciones Financieras: un enfoque fundamental

- Venta de opción de venta: el vendedor está obligado a comprar un determinado activo al precio convenido. Tiene ganancias limitadas (prima) y pérdidas ilimitadas.

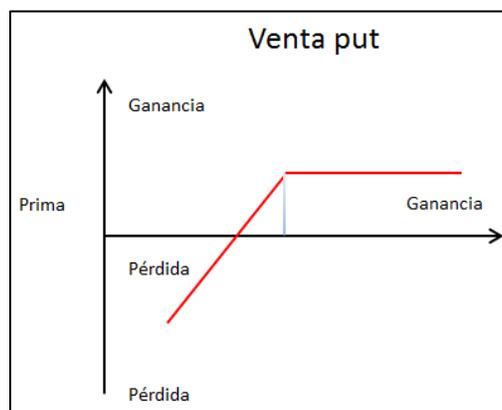


Gráfico 5 Venta de Opción de Venta

Fuente: Lamothe- Opciones Financieras: un enfoque fundamental

Cuando llega el momento en que la parte compradora ejerza la opción, si es que lo hace, ocurren dos situaciones:

- Quien aparece como vendedor de la opción estará obligado a hacer lo que indique dicho contrato; vale decir, vender o comprar el activo a la contraparte, en caso en que ésta decida ejercer su derecho de compra o de venta.
- Quien aparece como el comprador de la opción tendrá el derecho a comprar (call) o vender (put) el activo. Sin embargo, si no le conviene, puede abstenerse de efectuar la transacción.

La ganancia del vendedor es el valor de la prima que obtiene a la hora de realizar la transacción. Si el comprador no ejerce su derecho a ejecutar la opción, el importe total de la prima constituirá el beneficio del vendedor.

En cuanto al comprador, la ganancia podrá variar dependiendo de si se trata de una opción call o una opción put. En el primer caso, el de la opción call, cuanto más al alza se encuentre el mercado el día de su vencimiento, mayor beneficio. En caso de que, en la fecha de vencimiento, el precio de mercado sea inferior al nivel de ejecución, el tenedor obtendrá una pérdida por el valor total de la prima.

En el caso de la opción put, cuanto más a la baja esté el mercado el día de su vencimiento, mayor beneficio habrá para el tenedor de la opción. En caso de que, en la fecha de ajuste, el precio de mercado esté por encima del precio de ejecución, el tenedor obtendrá una pérdida por el valor total de la prima.

## **ii. Opciones Reales Vs. Opciones Financieras**

Las opciones reales, según Scott Methews (miembro técnico de la división de investigación y desarrollo avanzado de Boeing), se definen como la opción de compra sobre una oportunidad, dando derecho a comenzar, detener, modificar o cancelar un proyecto en un periodo futuro.

El término de opciones reales fue establecido por Stewart Myers en 1977, como uso de la teoría de opciones en la valoración de activos no financieros que presentan flexibilidad, es decir, cuyo activo subyacente es un activo real. Son un método de valoración de proyectos de inversión que parte de la premisa que los proyectos de inversión reales se asemejan a las opciones financieras y no a la cartera de bonos sin riesgo. En términos generales, las opciones reales son una extensión de las opciones financieras, que permiten modificar un proyecto para incrementar su valor (Mascareñas, 1999).

Las opciones reales se referencian como intangibles más que como opciones de compra o de venta, intangibles que se convierten en la clave de decisiones cuando se va a evaluar importantes inversiones. Su análisis es fundamental cuando se presentan los siguientes escenarios: decisiones de inversión contingentes, incertidumbre extensa, el valor parece estar capturado en futuras opciones de crecimiento o decrecimiento y cuando haya actualización de proyectos y correcciones de estrategias a medio curso.

El valor de las opciones se calcula en función de seis variables:

- Valor del activo subyacente (Spot): mientras en la opción financiera es el precio del activo financiero subyacente, en la opción real indica el valor actual del activo real, es decir, el valor presente de los flujos de caja que se espera genere el proyecto o activo.
- Valor de la Opción (Strike): mientras en la opción financiera es el precio al que el propietario de la opción puede ejercerla, en la opción real indica el precio a pagar por hacerse al activo real subyacente y el costo de oportunidad del proyecto.

- Tiempo para el ejercicio o Madurez: día de vencimiento de la opción, esta puede ser efectiva hasta determinada fecha, en la que se puede ejercer la opción. Dentro de este tiempo hay que tener en cuenta que hay dos tipos de opciones: (1) Opciones Europeas, en las que solo se puede ejercer en la fecha de vencimientos; (2) las Opciones Americanas, opciones en las que se permite la efectividad del mismo antes del vencimiento de la misma.
- Tasa libre de riesgo
- Volatilidad: desviación, indica la volatilidad del activo cuyo precio promedio es S pero puede oscilar en el futuro.
- Dividendos: dinero líquido generado por el activo durante el tiempo que el propietario de la opción lo posee y no lo ejerce.

Opciones Financieras		Opciones Reales
Valor del activo en el presente (Spot)	$S_0$	Valor del activo real
Valor de ejercicio de la opción (Strike)	K	Costo de la inversión o valor del abandono
Tiempo para el ejercicio	T	Fecha de ejercicio
Tasa libre de riesgo	r	Tasa libre de riesgo
Volatilidad	$\sigma$	Volatilidad del activo real
Dividendo	$\delta$	Valor de perder o preservar la opción

*Tabla 1 Opciones Financieras Vs. Opciones Reales*

Fuente: Mascareñas – Opciones reales y valoración de activos

A continuación, se muestra la relación entre el parámetro y el tipo de acción, si el símbolo es positivo “+” significa un aumento de valor cuando el parámetro aumenta y si el símbolo es negativo “-” indica que el valor disminuye cuando el parámetro aumenta.

	<b>Opción de Compra</b>	<b>Opción de Venta</b>
Precio del activo subyacente	+	-
Precio del ejercicio	-	+
Tiempo	+	+
Riesgo	+	+
Tipo de interés	+	-
Dividendos	-	+

*Tabla 2 Opciones de Compra Vs. Opciones de Venta*

Fuente: Mascareñas – Opciones reales y valoración de activos

Para mayor entendimiento de la tabla anterior, aunque a la fecha del vencimiento, el valor de una opción depende solamente de dos variables: el precio del activo subyacente y el precio de ejercicio, antes del vencimiento, el valor de una opción depende de los siguientes factores:

- Precio del activo subyacente: parámetro que constantemente está cambiando, pues siempre hay oferta y demanda. Por tanto, tiene relación directa con el valor de una opción compra, mientras que esta relación es inversa con el valor de una put; es decir, si aumenta el precio del subyacente el valor de la call aumenta y el la put disminuye.
- Precio del ejercicio: este parámetro es constante durante la vida del contrato. Sin embargo, un aumento del mismo disminuye el valor de una opción de compra y aumenta el valor de una opción de venta.
- Tiempo: es la fecha en la que finaliza el contrato, la cual es fija y cada mercado fija su fecha de expiración. A mayor tiempo de la fecha del ejercicio, mayor probabilidad de alteraciones en el precio del subyacente, por lo tanto es favorable para las dos posiciones (compra y venta).
- Riesgo: este parámetro define la volatilidad del subyacente, es decir, es la medida de dispersión de los precios futuros de dicho subyacente. La relación volatilidad/Valor de la opción (compra o venta), supone que su valor es mayor a mayor

volatilidad prevista en el futuro ya que el poseedor puede beneficiar o perjudicar según las oscilaciones del precio del subyacente.

- Tipo de Interés: este parámetro afecta el valor de la opción, directamente la de compra, inversamente la de venta, ya que el valor actual neto del precio de ejercicio a pagar en la fecha de expiración de la opción depende de los tipos de interés.
- Dividendos: Si el subyacente percibe un dividendo, el precio del subyacente se ajusta para reflejar el dividendo pagado, es decir disminuye el precio del subyacente. Por tanto, entre la fecha de adquisición de la opción y la fecha de ejercicio de la misma; el poseedor de una opción de compra lógicamente preferirá que la sociedad no pague dividendos o en su caso si los paga que estos sean de escasa cuantía; por el contrario, el poseedor de una opción de venta preferiría que la sociedad abone dividendos entre dichas fechas, ya que así el precio del subyacente en la fecha de ejercicio será menor.

### **iii. Tipo de Opciones Reales**

Las opciones reales se enmarcan principalmente en las siguientes categorías (Mascareñas, 1999):

- Opción de expansión: si durante la ejecución el proyecto los precios y las condiciones del mercado son más favorables que lo contemplado inicialmente, éste puede ser expandido más allá de la inversión original.
- Opción de contracción: si las condiciones del mercado resultan menos favorables que las esperadas, la gerencia puede operar por debajo de la capacidad instalada o

incluso reducir la escala de operaciones (en  $c\%$ ) ahorrando parte de la inversión prevista.

- Opción de diferir: se obtiene el derecho de esperar en un tiempo determinado hasta que obtener mayor información y poder tomar la decisión de inversión solamente siempre y cuando el VNA del proyecto sea mayor que la inversión original.
- Opción de abandono o cierre: si los precios y las condiciones de mercado son desfavorables, el propietario tiene el derecho de vender, liquidar o cerrar el proyecto para no incurrir en más costos. Cuando el precio de la venta del proyecto (abandono) es mayor al valor presente neto (VPN) se ejecuta la opción de abandono, así el VPN sea positivo.

Opción Real	Opción Financiera	Justificación
Opción de Abandono	Put Americana	Da al comprador el derecho, pero no la obligación, a vender un activo (abandonar un proyecto) a un precio predeterminado llamado precio de ejercicio (valor del salvamento), hasta una fecha concreta llamada vencimiento.
Opción de Expansión	Call Americana	Da al comprador el derecho, pero no la obligación, a comprar un activo subyacente (expandir el proyecto) a un precio predeterminado llamado precio de ejercicio (valor de la inversión), hasta una fecha concreta llamada vencimiento.
Opción de Contracción	Put Americana	Da al comprador el derecho, pero no la obligación, a vender un activo (contraer un proyecto) a un precio predeterminado llamado precio de ejercicio (valor del ahorro), hasta una fecha concreta llamada vencimiento.

#### iv. Valoración de Opciones Reales

Las metodologías de valoración de opciones reales más usadas son: la fórmula Black-Scholes, árboles binomiales y simulación de Monte Carlo (Mun, 2006).

Fórmula Black-Scholes: ecuación diferencial parcial que permite calcular el cambio en el valor de la opción ante cambios de algunas variables del mercado. Calcula el valor de una opción call europea.

Supuestos del modelo Black-Scholes:

- Volatilidad futura conocida y constante
- Tipo de interés contante, con tendencia exponencial a largo plazo
- Precio del activo subyacente cotiza de manera continua
- El precio del subyacente sigue una distribución Log Normal
- El rendimiento de los precios sigue una distribución normal
- Existe transparencia en los precios
- Los agentes económicos no influyen en el mercado por sí solo
- No existen los impuestos

Ecuación Black-Scholes:

$$c = S_0 N(d_1) - X e^{-rt} N(d_2)$$

$$p = X e^{-rt} N(-d_2) - S_0 N(-d_1)$$

Donde  $d_1$  y  $d_2$  son los perfiles de riesgo y  $N(d_1)$  y  $N(d_2)$  las probabilidades asociadas a esos perfiles.

$$d_1 = \frac{\ln(S_0 / X) + (r + \sigma^2 / 2)T}{\sigma \sqrt{T}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(S_0 / X) + (r - \sigma^2 / 2)T}{\sigma \sqrt{T}} = d_1 - \sigma \sqrt{T}$$

Y donde:

- $C$  es el valor de una opción de compra, opción europea.
- $P$  es el valor de una opción de venta, opción europea.
- $S$  es la tasa a la vista de la moneda que constituye el objeto de la opción.
- $X$  es el precio marcado en la opción (Strike price).
- $T$  es el tiempo expresado en años que aún faltan por transcurrir en la opción.
- $R$  es la tasa libre de riesgo.
- $\sigma$  es la volatilidad de la tasa de cambio.

Árboles binomiales (modelo Cox-Ross y Rubinstein): este método de valoración muestra la evolución del activo subyacente durante la vida de la opción. Se basa en la premisa de que en cada momento el activo subyacente tiene una probabilidad de subir o bajar (Kodukula & Papudesu, 2006).

El valor inicial del árbol es  $S_0$  y sigue una distribución discreta, el cual puede tomar dos caminos subir con una probabilidad  $p$  (u: up) o bajar con una probabilidad  $1-p$  (d: down).

Para cada intervalo de tiempo, los activos aumentan en un factor  $U$  y disminuyen en un factor  $D$ , factores que dependen de la variabilidad del precio del activo subyacente y del precio de expiración de la opción.

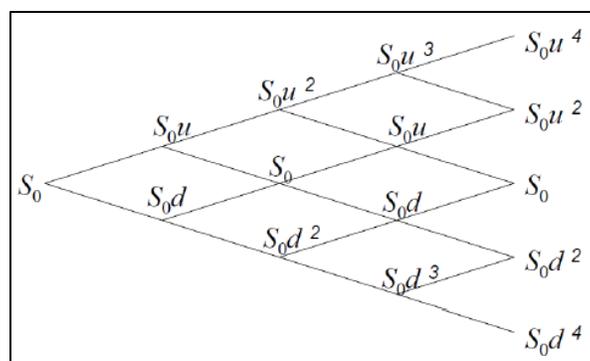


Gráfico 6 Árbol Binomial

Fuente: Mascareñas – Opciones reales y valoración de activos

Esta herramienta cuenta con dos etapas: la construcción de los flujos resultantes de cada uno de los escenarios posibles y la evaluación de cada uno de los nodos con base a las probabilidades de cada uno de los flujos.

El método de probabilidades neutras al riesgo es el más usado para solucionar los árboles binomiales. Para la construcción de este modelo se requieren las siguientes variables de entrada: valor presente del activo, costo de ejercicio de la opción, volatilidad (representada en la desviación estándar del logaritmo natural de los retornos del flujo de caja del activo subyacente), tiempo de expiración, tasa libre de riesgo y dividendos generados.

Parámetros:

- Amplitud del intervalo:

$$\Delta_t = \text{días} / 360 / \text{número de ramas del árbol}$$

- Coeficiente de subida u:

$$u = e^{ex\sqrt{t}}$$

- Coeficiente de baja d:

$$d = 1/u$$

- Coeficiente de actualización:

$$i^o = e^{ix\Delta t}$$

- Probabilidad de subida:

$$P = (i^o - d) / (u - d)$$

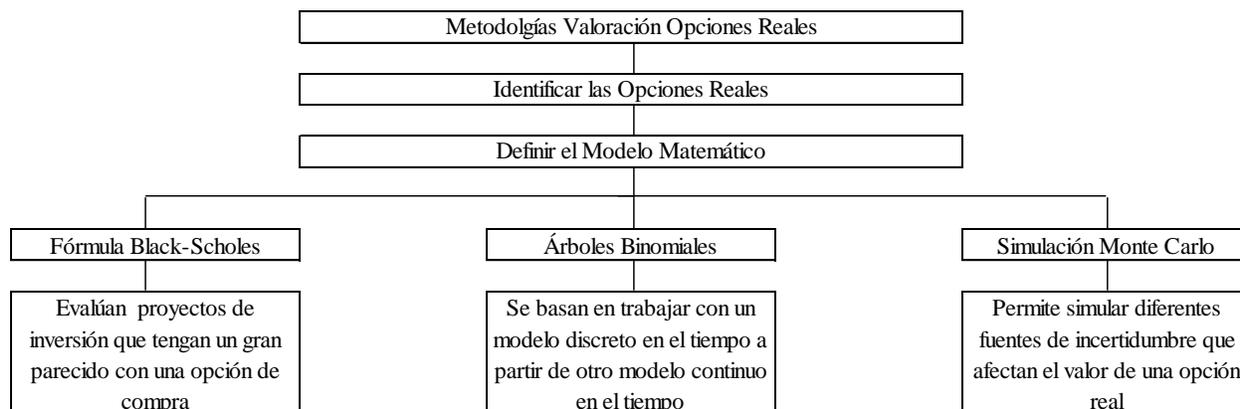
- Probabilidad de baja:  $1 - p$

### Simulación de Monte Carlo:

La simulación Monte Carlo es una técnica matemática computarizada que consiste en hacer miles de simulaciones sobre la tendencia que puede presentar el activo subyacente en durante el periodo que se puede ejercer la opción. Permite tener en cuenta el riesgo en análisis cuantitativos y tomas de decisiones.

La simulación Monte Carlo ofrece a la hora de tomar decisiones una serie de posibles resultados, así como la probabilidad de que se produzcan según las medidas tomadas. Se tienen en cuenta los mismos parámetros de entrada que los modelos anteriores.

En resumen:



## **5. Metodología**

La modalidad de este proyecto es un caso de estudio de una situación particular dentro de una empresa del sector gas, determinada por hechos reales en los cuales se deben tomar una o varias decisiones. La naturaleza es exploratoria descriptiva y para dar cumplimiento a al objetivo principal, la metodología se dividió en dos (2) etapas: evaluación financiera determinística de cada proyecto y evaluación financiera a través de la implementación de opciones reales.

La empresa analizada para este trabajo actualmente tiene una cartera de 4 proyectos (bloques) y un total de 45 prospectos, estos prospectos deben ser implementados en los próximos 5 años, lo cual significa que las inversiones se realizarán en ese periodo. Sin embargo, la producción de éstos – en caso de éxito – se extenderá hasta el agotamiento de las reservas asociadas.

### **5.1 Evaluación financiera determinística**

A continuación se presentan los supuestos establecidos por la gerencia general y demás áreas de la compañía para la valoración de cada prospecto a través de los flujos de caja descontados:

El área de geología envió la información de los 4 proyectos, 45 prospectos en total, la cual incluía las probabilidades de recuperación de gas, ocurrencia de éxito y gas recuperable después de ocurrencia de éxito. Para efectos de proyecciones se utilizó la probabilidad media (Ver Anexo 1).

Posteriormente, se definieron los porcentajes de regalías, derechos económicos y otros compromisos de acuerdo a los contratos de operación con la agencia nacional de hidrocarburos (ANH). Además, con el área de geología se definieron los billones de pies cúbicos

recobrables posibles y el porcentaje de éxito esperado, según estudios y sísmicas iniciales (Ver anexo hoja summary Projects)

Para definir el capex, se establecieron con cada una de las áreas técnicas diferentes opciones o "tipos" de montos de inversión por actividad (ver anexo hoja Summary Capex), según el área de influencia, número de predios posibles a negociar, requerimiento de obras civiles (plataformas y vías), número de comunidades indígenas y rurales afectadas, licencias ambientales requeridas, profundidad del pozo, formación posible a explorar y número de secciones estimadas según tipo de suelo.

Con el apoyo de la vicepresidencia gas se estableció el precio de venta base de gas natural, como el promedio ponderado de los contratos largo plazo firmados actualmente por la compañía y proyecciones del mercado. Con la vicepresidencia de operaciones se establecieron los costos de operación/producción, capacidades de producción total y diaria por pozo y mantenimiento anual por pozo según históricos. Y con la vicepresidencia financiera se establecieron la tasa de retorno, tasas de indexación y tasa impositiva.

La tasa de retorno se calculó teniendo en cuenta el WACC de la compañía, costo de la deuda por su participación y costo del equity por su participación. Por aspectos confidenciales, en el ejercicio práctico no se detallará el cálculo de los costos (deuda y equity), ni la participación real.

Una vez se contó con la información de todas las variables necesarias se procedió con la construcción de los flujos de caja para cada prospecto y el cálculo del valor presente neto de los mismos. El tiempo de proyección de cada prospecto se estimó hasta agotar volúmenes de reservas reservas, según ratio y declinación de producción.

## **5.2 Evaluación financiera a través de opciones reales**

Una vez se elaboraron los flujos de caja y se calculó el valor presente neto de cada prospecto, a través del análisis de “Tornado” y “Spider” se identificaron las variables más significativas, capaz de incidir significativamente en el resultado de la evaluación: ocurrencia de éxito, reservas probadas y probables, ratio de producción, capex, precio, opex, índice precio consumidor Colombia e índice precio productor Estados Unidos.

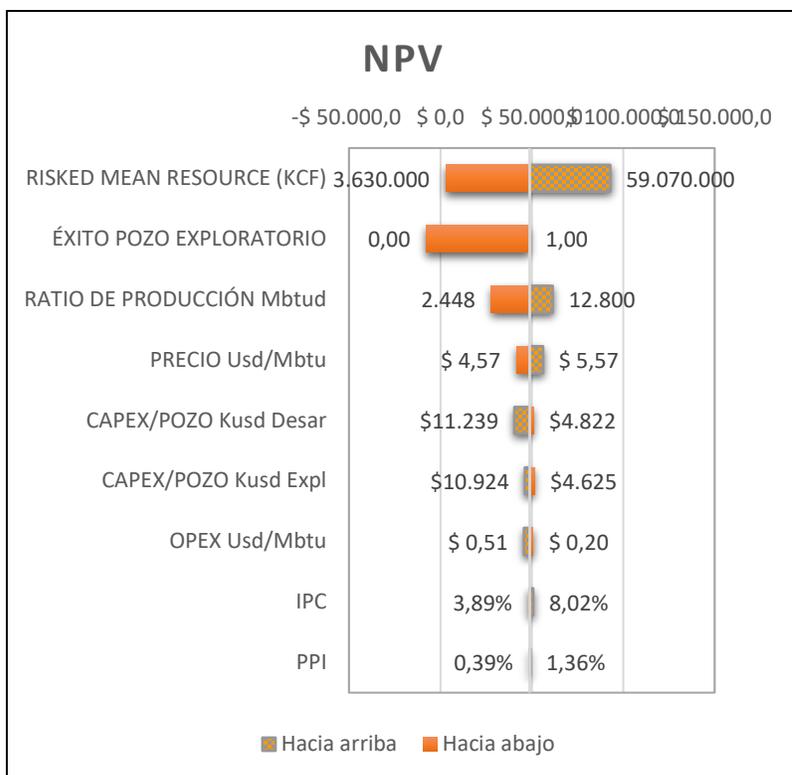


Gráfico 7 Análisis de Tornado

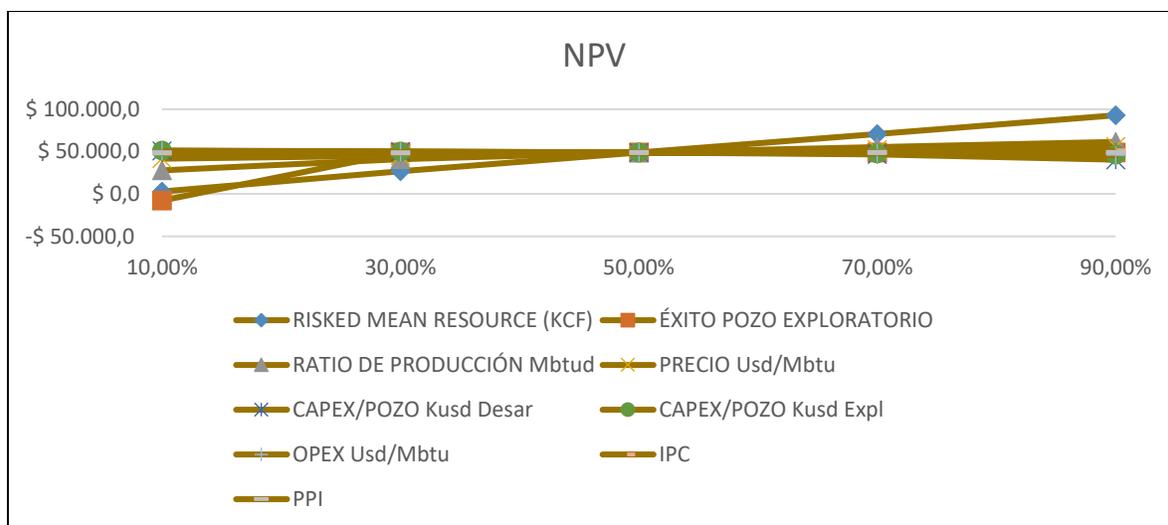


Gráfico 8 Análisis de Spider

Se buscaron los datos reales históricos de estas variables durante los tres años anteriores y se caracterizó la distribución de probabilidad de cada una de ellas (ver anexo 2).

<b>Variable</b>	<b>Distribución</b>
IPC (Indice Precio del Consumidor Colombia)	Distribución Logarítmica Normal
PPI (Indice Precio al Productor USA)	Distribución Uniforme
Precio (usd/mbtu)	Distribución Uniforme
Opex (usd/mbtu)	Distribución Logarítmica Normal
Capex Exploratorio (usd/Pozo)	Distribución Weibull
Capex Desarrollo (usd/Pozo)	Distribución Pareto
Ratio de Producción (Mbtud/Pozo)	Distribución Logarítmica Normal
Volumen de Recuperación (Mbtu/Yacimiento)	Distribución Uniforme Discreta
Éxito Pozo Exploratorio	Distribución Binomial

*Tabla 3 Distribución Probabilidad Variables Flujo de Caja*

Posteriormente se realizó la simulación de Monte Carlo y se calculó la volatilidad de cada uno de los flujos de caja a través del enfoque logarítmico del valor presente.

Año	0	1	2	3	4	5
IPC	3.98%					
PPI	0.83%					
PRECIO Usd/Mbtu	\$ 5.65					
OPEX Usd/Mbtu	\$ 0.34					
CAPEX/POZO KUSD Expl	\$ 5.370					
CAPEX/POZO KUSD Desar	\$ 5.124					
RATIO DE PRODUCCIÓN Mbtud	9.772					
RISKED MEAN RESOURCE (KCF)	56.790.690					
ÉXITO POZO EXPLORATORIO	1					
Days/Year	365					
Production/Well (KPCD)	9.772	9.772	9.772	9.772	9.772	9.772
Declination / Year	1%					
Price/KPCD	\$ 5.65	\$ 5.65	\$ 5.80	\$ 5.96	\$ 6.12	\$ 6.29
Indexing Price / Year	2.7%					
Royalties	6.40%	Changes according to project selected				
X Factor	0.00%	Changes according to project selected				
Other Commitment	2.00%	Changes according to project selected				
Opex /KPCD	\$ 0.34	\$ 0.34	\$ 0.36	\$ 0.37	\$ 0.38	\$ 0.39
Indexing Opex / Year	3.4%					
Reserves (KCF)	56.790.690	Changes according to project and prospect selected				
# Wells	5	Changes according to project and prospect selected				
Production /Well (KCF)	11.358.138	Changes according to project and prospect selected				
Investment/ Exploratory Well (KUSD)	\$ 5.370	Changes according to project and prospect selected				
Investment/ Development Well (KUSD)	\$ 5.124	Changes according to project and prospect selected				
Annual Maintenance/well (KUSD)	\$ 400	\$ 400	\$ 413	\$ 427	\$ 442	\$ 456
Indexing Maintenance / Year	3.4%					
Año	0	1	2	3	4	5
Production (KPC)		17.834.573	17.834.573	17.834.573	3.286.970	-
(+) Revenues		\$ 100.736,3	\$ 103.478,6	\$ 106.295,4	\$ 20.123,9	\$ -
(-) Royalties		-\$ 6.447,1	-\$ 6.622,6	-\$ 6.802,9	-\$ 1.287,9	-\$ -
(-) X Factor		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
(-) Other Commitments		-\$ 1.885,8	-\$ 1.937,1	-\$ 1.989,9	-\$ 376,7	-\$ -
(-) Opex		-\$ 6.144,5	-\$ 6.350,5	-\$ 6.563,3	-\$ 1.250,2	-\$ -
(-) Wells Maintenance		-\$ 2.000,0	-\$ 2.067,0	-\$ 2.136,3	-\$ 2.207,9	-\$ -
(-) Depreciation		-\$ 8.123,5	-\$ 8.123,5	-\$ 8.123,5	-\$ 1.497,2	-\$ -
Ebit	\$ -	\$ 76.135,5	\$ 78.377,8	\$ 80.679,5	\$ 13.503,9	\$ -
(-)Impuestos	33.0%	\$ -	-\$ -	-\$ 25.124,7	-\$ 25.864,7	-\$ 4.456,3
Ebit (1-t)	\$ -	\$ 76.135,5	\$ 53.253,1	\$ 54.814,9	-\$ 13.120,3	-\$ 4.456,3
(+) Depreciación y Amortizaciones	\$ -	\$ 8.123,5	\$ 8.123,5	\$ 8.123,5	\$ 1.497,2	\$ -
(-) Capex	-\$	25.867,6				
FCF	-\$	25.867,6	\$ 84.258,9	\$ 61.376,6	\$ 62.938,3	-\$ 11.623,1
Rate of Return	15%					
NPV	\$ 126.332,4					
	\$ 175.030,0	\$ 84.258,9	\$ 53.371,0	\$ 47.590,4	-\$ 7.642,4	-\$ 2.547,9
	\$ 126.332,4	-\$ 25.867,6	\$ 73.268,6	\$ 46.409,5	\$ 41.383,0	-\$ 6.645,6
Valor de X		0,3				
Volatilidad		49,37%				

Tabla 4 Cuantificación Volatilidad Flujos de Caja

Luego, se seleccionó uno de los 45 prospectos para la construcción de los árboles binomiales e implementación de las opciones reales. Para su construcción, se identificaron las siguientes variables: porcentaje de volatilidad, delta del tiempo, tasa libre de riesgo, valor de inversión, valor de salvamento, valor del ahorro, factor de expansión y factor de contracción.

$\sigma$	Volatilidad	49,37%
$\Delta t$	Deltat	1
<b>U</b>	Upward	1,64
<b>d</b>	Downward	0,61
<b>Rf</b>	Tasa Libre de Riesgo	2,7%
<b>p</b>	Probabilidad p	40,6%
<b>q</b>	Probabilidad q	59,4%
<b>Factor</b>	Factor	0,9735

*Tabla 5 Variables Árboles Binomiales*

Los valores de inversión, salvamento, ahorro, factor de inversión y factor de contracción, fueron determinados con los expertos técnicos de la compañía. El valor de inversión correspondió al costo de comprarle la participación de ese prospecto a mi socio, y el factor de expansión en cuanto incrementaría la participación de la compañía. El valor del ahorro se determinó según en cuanto se disminuirían los costos al contraer la operación perforando menos pozos, y el factor de contracción según la disminución de la producción. Y el valor de salvamento, se calculó de acuerdo al monto en el cual estaría dispuesto la compañía en vender su participación.

<b>Expansión</b>	Inversión	0,5 veces capex actual	\$ 12.933,8	FactorE	2,0
<b>Abandono</b>	Salvamento	80% VPN Tradicional	\$ 10.000,0		
<b>Contracción</b>	Ahorro	20% ahorro del Capex	\$ 5.173,5	FactorC	0,5

*Tabla 6 Variables Opciones Reales*

Finalmente se implementaron las cuatro opciones seleccionadas: expansión, abandono, contracción y compuesta y se compararon frente al valor presente neto obtenido bajo la metodología tradicional de los flujos de caja descontados.

### Árbol inicial VPN tradicional:

	B	C	D	E	F	G
80						\$ 83.313,7
81					\$ 50.854,2	
82				\$ 31.041,1	\$ 31.041,1	
83		=+B85*Upward	\$ 18.947,3		\$ 18.947,3	
84		\$ 11.565,3		\$ 11.565,3		\$ 11.565,3
85	\$ 7.059,4		\$ 7.059,4		\$ 7.059,4	
86		\$ 4.309,0		\$ 4.309,0		\$ 4.309,0
87		=+B85*Downward	\$ 2.630,2		\$ 2.630,2	
88				\$ 1.605,5		\$ 1.605,5
89					\$ 980,0	
90						\$ 598,2

Gráfico 9 Árbol Binomial VPN Tradicional

### Expansión:

	B	C	D	E	F	G	H	
119						\$ 153.693,7		
120					\$ 89.117,9	Expansión		
121				\$ 50.284,1	Continuar	\$ 49.148,4		
122			\$ 28.177,5	Continuar	\$ 26.096,0	Expansión		
123		\$ 15.854,1	Continuar	\$ 14.387,6	Continuar	\$ 11.565,3		
124	\$ 9.007,1	Continuar	\$ 8.173,6	Continuar	\$ 7.059,4	Continuar		
125	Continuar	\$ 4.748,9	Continuar	\$ 4.309,0	Continuar	\$ 4.309,0		
126		Continuar	\$ 2.630,2	Continuar	\$ 2.630,2	Continuar		
127			Continuar	\$ 1.605,5	Continuar	\$ 1.605,5		
128				Continuar	\$ 980,0	Continuar		
129	=+MAX(B85*FactorE-Inversion;(p*C123+q*C125)*Factor)					Continuar	\$ 598,2	
130						Continuar		
131								
132								
133						=+MAX(G88*FactorE-Inversion;G88)		

Gráfico 10 Árbol Opción Expansión

### Abandono:

	B	C	D	E	F	G
101						\$ 83.313,7
102					\$ 50.854,2	Continuar
103				\$ 31.066,3	Continuar	\$ 31.041,1
104			\$ 20.501,1	Continuar	\$ 18.990,8	Continuar
105		\$ 15.243,2	Continuar	\$ 14.233,3	Continuar	\$ 11.640,4
106	\$ 12.753,8	Continuar	\$ 12.355,1	Continuar	\$ 11.640,4	Abandono
107	Continuar	\$ 11.640,4	Continuar	\$ 11.640,4	Abandono	\$ 11.640,4
108		Abandono	\$ 11.640,4	Abandono	\$ 11.640,4	Abandono
109			Abandono	\$ 11.640,4	Abandono	\$ 11.640,4
110				Abandono	\$ 11.640,4	Abandono
111	=MAX(Salvamento;(p*C105+q*C107)*Factor)					
112						Abandono
113						
114						
115						=MAX(G88;Salvamento)

Gráfico 11 Árbol Opción Abandono

**Contracción:**

	B	C	D	E	F	G	H
137						\$ 83.313,7	
138					\$ 50.854,2	Continuar	
139				\$ 31.041,1	Continuar	\$ 31.041,1	
140			\$ 19.532,3	Continuar	\$ 18.947,3	Continuar	
141		\$ 13.038,1	Continuar	\$ 12.576,2	Continuar	\$ 11.565,3	
142	\$ 9.423,1	Continuar	\$ 9.205,5	Continuar	\$ 8.806,4	Continuar	
143	Continuar	\$ 7.389,0	Continuar	\$ 7.328,0	Continuar	\$ 7.328,0	
144		Continuar	\$ 6.488,6	Contracción	\$ 6.488,6	Contracción	
145			Contracción	\$ 5.976,3	Contracción	\$ 5.976,3	
146				Contracción	\$ 5.663,5	Contracción	
147	=MAX(B85*FactorC+Ahorro;((p*C141+q*C143)*Factor))						
148						\$ 5.472,6	
149							
150							
151							=MAX(G88*FactorC+Ahorro;G88)

Gráfico 12 Árbol Opción Contracción

**Chooser:**

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
155						\$ 153.693,7			
156					\$ 89.117,9	Expansión			
157				\$ 50.309,2	Continuar	\$ 49.148,4			
158			\$ 29.731,3	Continuar	\$ 26.139,4	Expansión			
159		\$ 19.532,0	Continuar	\$ 17.055,6	Continuar	\$ 11.640,4			
160	\$ 14.686,1	Continuar	\$ 13.469,4	Continuar	\$ 11.640,4	Abandono			
161	Continuar	\$ 12.053,5	Continuar	\$ 11.640,4	Abandono	\$ 11.640,4			
162		Continuar	\$ 11.640,4	Abandono	\$ 11.640,4	Abandono			
163			Abandono	\$ 11.640,4	Abandono	\$ 11.640,4			
164				Abandono	\$ 11.640,4	Abandono			
165					Abandono	\$ 11.640,4			
166						Abandono			
167	$=+MAX(Salvamento;(B85*FactorE-Inversion);(B85*FactorC+Ahorro);((p*C159+q*C161)*Factor))$								
168									
169									$=+MAX(Salvamento;(G88*FactorE-Inversion);(G88*FactorC+Ahorro);G88)$

Gráfico 13 Árbol Opción Chooser

## 6. Conclusiones

De acuerdo al objetivo general de este trabajo, se pudo validar que las opciones reales se convierten en un complemento para la valoración de proyectos con incertidumbre y volatilidad presente en los proyectos de exploración y explotación de gas, lo cual permite implementarles flexibilidad a las distintas decisiones de los proyectos, teniendo en cuenta que la compañía caso estudio evalúa a la fecha, todos sus proyectos bajo el método tradicional de flujos de caja descontados.

Primero, se calculó el valor presente neto estático sin incorporar la flexibilidad en USD\$7.059, resultado útil si la decisión a tomar fuera invertir ahora o nunca. Sin embargo, este tipo de proyectos no son lo suficientemente estables como para estimar con certeza lo que sucederá en el futuro, lo que hace necesario tomar decisiones en varios momentos.

Por lo anterior, a través del análisis de “Tornado” y “Spider”, se identificaron las variables más influyentes y que mejor definen el valor presente neto, y se analizó la distribución de

cada una, encontrando que ninguna presenta una distribución Gaussiana. Las distribuciones obtenidas, usando las metodologías de Anderson Darling, Chi Cuadrado y Kolmogorow fueron las siguientes:

<b>Variable</b>	<b>Distribución</b>
IPC (Indice Precio del Consumidor Colombia)	Distribución Logarítmica Normal
PPI (Indice Precio al Productor USA)	Distribución Uniforme
Precio (usd/mbtu)	Distribución Uniforme
Opex (usd/mbtu)	Distribución Logarítmica Normal
Capex Exploratorio (usd/Pozo)	Distribución Weibull
Capex Desarrollo (usd/Pozo)	Distribución Pareto
Ratio de Producción (Mbtud/Pozo)	Distribución Logarítmica Normal
Volumen de Recuperación (Mbtu/Yacimiento)	Distribución Uniforme Discreta
Éxito Pozo Exploratorio	Distribución Binomial

*Tabla 7 Distribución Probabilidad Variables Flujo de Caja*

Una vez se obtuvo la distribución de las variables más significativas y de acuerdo al primer objetivo específico de este proyecto, se cuantificó la volatilidad del flujo de caja del proyecto seleccionado, arrojando un resultado de 49,37%, validando así, la alta volatilidad que genera la incertidumbre e inestabilidad de este tipo de proyectos.

Posterior a la cuantificación de la volatilidad, se pudieron elaborar los árboles binomiales para las cuatro opciones seleccionadas, y se cuantificó el valor agregado que ofrece esta metodología frente a la metodología tradicional para la evaluación de proyectos en el sector gas:

Opción	VPN (kUSD)	Valor Agregado (kUSD)
Expansión	\$9.007,1	\$7.822,1
Abandono	\$12.753,8	\$5.694,4
Contracción	\$9.423,1	\$719,9
Chooser (Compuesta)	\$14.686,1	\$7.626,7

*Tabla 8 VPN y Valor Agregado Opciones Reales*

Como se puede observar en el cuadro anterior, los resultados arrojados en las cuatro alternativas implementadas, fueron mayores al resultado obtenido bajo el método tradicional, comprobando el requerimiento de eficiencia en decisiones de inversión y permitiendo evaluar diferentes estrategias de negocio y realizar recomendaciones concretas tales como: comprar porcentaje de participación del socio, vender participación del proyecto al socio, disminuir el número de pozos a perforar y/o continuar con el proyecto según lo planeado inicialmente.

Por otro lado, aunque la metodología tradicional tiene una ventaja sobre las opciones reales, el fuerte respaldo a la hora de sustentar una valoración debido a que son ampliamente conocidas y usadas por los analistas y financieros de la compañía, al elaborar la valoración del valor presente neto a través de flujos de caja descontados, puede llevar a la errada decisión de no ejecutar un proyecto al arrojar resultados negativos o marginales según criterios estáticos definidos por los directivos de la empresa.

Por último, por medio de este trabajo se puede concluir que la metodología de las opciones reales se convierte en una gran herramienta para valorar proyectos de inversión bajo incertidumbre como la exploración y explotación de gas natural; que esta metodología es complementaria a los flujos de caja descontados y permite identificar la flexibilidad durante la vida de los proyectos para la toma de decisiones más estratégicas y generar valor a la compañía.

## 7. Bibliografía

- "Balance de Gas Natural en Colombia 2017-2026. (28 de octubre de 2017). *UPME (Unidad de Planeación Minero Energética)*. Obtenido de UPME (Unidad de Planeación Minero Energética": [http://www.upme.gov.co/SeccionHidrocarburos\\_sp/Publicaciones/2016/Balance\\_Gas\\_Natural\\_2016\\_2025.pdf](http://www.upme.gov.co/SeccionHidrocarburos_sp/Publicaciones/2016/Balance_Gas_Natural_2016_2025.pdf)
- "Canacol: Colombia debe decidir entre la autosostenibilidad y la importación de gas". (5 de abril de 2017). *Dinero*. Obtenido de Dinero: <http://www.dinero.com/economia/articulo/gas-en-colombia-se-importa-o-se-produce-segun-canacol/243683>
- "El Sector Gas Colombiano: Crecimiento en Producción e Inversión.". (11 de enero de 2017). *Sectorial: portal financiero, económico y sectorial*. Obtenido de Sectorial: portal financiero, económico y sectorial: <https://www.sectorial.co/articulos-especiales/item/50628>
- "Importación, la tabla de salvación para suministro de gas en Colombia". (13 de diciembre de 2016). *El Tiempo*. Obtenido de El Tiempo: <http://www.eltiempo.com/economia/sectores/suministro-de-gas-en-colombia-para-2017-48276>
- ¿Qué es el Gas Natural? (22 de septiembre de 2014). *Ecopetrol*. Obtenido de Ecopetrol: [http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/productos-y-servicios/productos/gas-natural/Informaci%C3%B3n%20General/que-es-el-gas-natural/!ut/p/z0/04\\_Sj9CPykyssy0xPLMnMz0vMAfljo8ziLQIMHd09DQy9DZwt3QwcjTwsQxw9g4l8nlz0C7ldFQEONbdQ/](http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/productos-y-servicios/productos/gas-natural/Informaci%C3%B3n%20General/que-es-el-gas-natural/!ut/p/z0/04_Sj9CPykyssy0xPLMnMz0vMAfljo8ziLQIMHd09DQy9DZwt3QwcjTwsQxw9g4l8nlz0C7ldFQEONbdQ/)
- Brennan, M., & Schwartz, E. (Abril de 1985). Evaluating Natural Resource Investments. *The Journal of Business*, 58(2), 135 - 147.
- Calle Fernández, A. M., & Tamayo Bustamante, V. M. (2009). Decisiones de Inversión a través de Opciones Reales. *Scielo*, 19.
- Comisión de Hidrocarburos del Colegio de Geólogos. (24 de abril de 2013). *Centro de Geólogos Costa Rica*. Obtenido de Centro de Geólogos Costa Rica: <https://www.geologos.or.cr/la-mujer-virtuosa/>
- Delgado Aguilera, J. A., & Delgado Torres, C. F. (2012). *LAS OPCIONES REALES COMO MÉTODO COMPLEMENTARIO...* Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/10537/DelgadoAguileraJorgeAndres2012.pdf?sequence=1>: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Dixit, A., & Pindyck, R. (1994). *Investment Under Uncertainty*. New Jersey: NJ: Princeton University Press.
- Fernandez Lopez, P. (2005). *Valoración de Empresas: cómo medir y gestionar la creación de valor*. Barcelona: Gestión 2000. Grupo Planeta.
- Godoy, J. A. (2002). Teoría sobre la estructura de capital. *Scielo - Estudios Gerenciales*, 18(84), II.

- Historia del Petroleo. (25 de abril de 2017). *ENAP Chile*. Obtenido de ENAP Chile:  
[http://www.enap.cl/pag/241/1119/historia\\_petroleo](http://www.enap.cl/pag/241/1119/historia_petroleo)
- Kodukula, P., & Papudesu, C. (2006). *Project Valuation Using Real Options: a practitioner's guide*. Estados Unidos: Lauderdale : Ross Publishing.
- Lamothe Fernández, P. (1993). *Opciones financieras : un enfoque fundamental*. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España.
- Los Hidrocarburos. (17 de noviembre de 2011). *Sistema de Información de Combustibles - SICOM*. Obtenido de Sistema de Información de Combustibles - SICOM:  
<http://www.sicom.gov.co/paraaprender.shtml?apc=e1-1--&x=242>
- Mascareñas Pérez-Íñigo, J. (1999). *Innovación Financiera*. Madrid: McGraw-Hill de Management.
- Mascareñas, J. (1999). *Innovación financiera: aplicaciones para la gestión empresarial*. Madrid, España: Mc Graw - Hill.
- Modigliani, F., & Miller, M. (June de 1958). The cost of capital, corporation finance and the theory of investment. *The American Economic Review*, XLVIII(III), 2-37.
- Modigliani, F., & Miller, M. (June de 1958). The cost of capital, corporation finance and the theory of investment. *The American Economic Review*, XLVIII(III), 2-37.
- Mun, J. (2006). Real options analysis : tools and techniques for valuing strategic investments and decisions. *Wiley Finance Series*, 50.
- Pringles, R. M., & Garces, F. F. (24 de Mayo de 2007). Encuentro regional Iberoamericano del CIGRÉ. *Opciones reales en la evaluación de inversiones en mercados eléctricos* (págs. 3,4,5,6,7,8). Iguazú: Universidad Nacional de San Juan, Argentina. Obtenido de  
[file:///C:/Users/ngranados.DOMAIN/Downloads/OPCIONES\\_REALES\\_EN\\_LA\\_EVALUACION\\_DE\\_INVERSIONES\\_EN%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ngranados.DOMAIN/Downloads/OPCIONES_REALES_EN_LA_EVALUACION_DE_INVERSIONES_EN%20(1).pdf)
- Zambrano V, S. M., & Acuña C, G. A. (2011). Estructura de Capital. Evolución Teórica. *Criterio Libre*, 9(15), 81-102.

## Anexos

### Anexo 1 Resumen Proyectos

#### Project 1

Royalty	6,40%
ORRI	2%

Actual Phase	
Pending	2 A3 wells
Commitments	
Ends	December 04 -2018

Name	Mean Recoverable BCF (gas)	COS	Risked Mean Resource BCF (gas)	# Wells	Investment/ Exploratory Well (KUSD)	Investment/ Development Well (KUSD)
Prospect 1.1	21	58%	12,18	2	\$ 9.763	\$ 7.873
Prospect 1.2	19	58%	11,02	1	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 1.3	32	90%	28,80	3	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 1.4	31	43%	13,33	2	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 1.5	45	26%	11,70	1	\$ 9.763	\$ 7.873
Prospect 1.6	18	56%	10,08	1	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 1.7	16	28%	4,48	1	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 1.8	6	48%	2,88	1	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 1.9	7	40%	2,80	1	\$ 9.763	\$ 7.873
Prospect 1.10	9	25%	2,25	1	\$ 9.763	\$ 7.873
Prospect 1.11	5	40%	2,00	1	\$ 9.763	\$ 7.873
Prospect 1.12	8	21%	1,68	1	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 1.13	5	38%	1,90	1	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 1.14	6	25%	1,50	1	\$ 9.763	\$ 7.873

**Project 2**

Royalty 6,40%  
 X-Factor 3%

Actual Phase

Pending NA

Commitments

Ends December 04 -2017

Phase 2 13.7 km<sup>2</sup>3D seismic (1.27 MMUSD)

Commitments 2 A3 drill (26.0MMUSD DHC)

Ends June 04 -2020

Name	Mean Recoverable BCF	COS	Risked Mean Resource BCF	# Wells	Investment/ Exploratory Well (KUSD)	Investment/ Development Well (KUSD)
Prospect 2.1	26	63%	16,38	2	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 2.2	37	41%	15,17	2	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 2.3	24	59%	14,16	2	\$ 9.763	\$ 7.873
Prospect 2.4	16	63%	10,08	1	\$ 9.763	\$ 7.873
Prospect 2.5	15	56%	8,40	1	\$ 9.763	\$ 7.873
Prospect 2.6	17	45%	7,65	1	\$ 9.763	\$ 7.873
Prospect 2.7	13	56%	7,28	1	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 2.8	15	45%	6,75	1	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 2.9	10	32%	3,20	1	\$ 9.763	\$ 7.873

**Project 3**

Royalty	6,40%
X-Factor	13%
ORRI	3%

Actual Phase	
Pending	NA
Commitments	
Ends	February 17 -2018

Name	Mean Recoverable BCF	COS	Riskd Mean Resource BCF	# Wells	Investment/ Exploratory Well (KUSD)	Investment/ Development Well (KUSD)
Prospect 3.1	97	49%	47,53	4	\$ 9.763	\$ 7.873
Prospect 3.2	96	41%	39,36	4	\$ 9.763	\$ 7.873
Prospect 3.3	88	38%	33,44	3	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 3.4	55	41%	22,55	2	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 3.5	11	36%	3,96	1	\$ 9.763	\$ 7.873
Prospect 3.6	8	38%	3,04	1	\$ 9.763	\$ 7.873
Prospect 3.7	45	27%	12,15	2	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 3.8	33	34%	11,22	1	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 3.9	168	34%	57,12	5	\$ 9.763	\$ 7.873
Prospect 3.10	202	27%	54,54	5	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 3.11	126	34%	42,84	4	\$ 9.763	\$ 7.873
Prospect 3.12	154	27%	41,58	4	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 3.13	194	20%	38,80	4	\$ 9.763	\$ 7.873
Prospect 3.14	109	34%	37,06	4	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 3.15	152	24%	36,48	4	\$ 9.763	\$ 7.873
Prospect 3.16	135	27%	36,45	4	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 3.17	121	20%	24,20	3	\$ 7.837	\$ 5.946
Prospect 3.18	84	27%	22,68	2	\$ 9.763	\$ 7.873
Prospect 3.19	41	24%	9,84	1	\$ 9.763	\$ 7.873

**Project 4**

Royalty 6,40%  
 X-Factor 15%  
 ORRI 3%

Actual Phase 200 km 2D (125 km<sup>2</sup>3D seismic) (7.6 MMUSD).

Pending 1 A3 drill (13.0MMUSD DHC)

Commitments

Ends August 22 -2019

Phase 2 2 A3 drill (26.0MMUSD DHC)

Commitments 25.12 km 2D seismic (1.52 MMUSD)

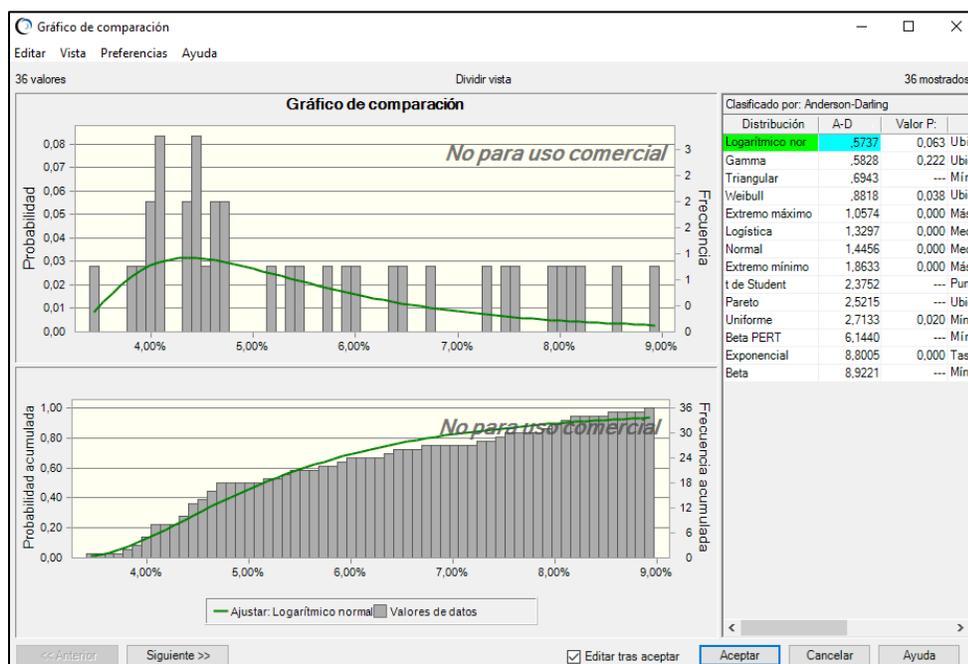
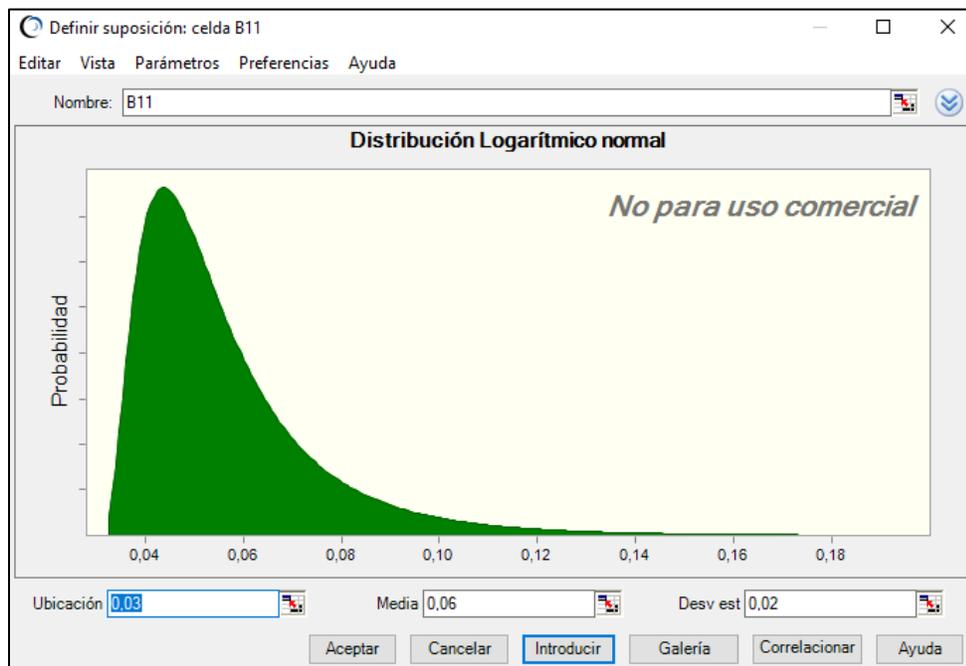
Ends February 22 -2020

Name	Mean Recoverable BCF	COS	Risked Mean Resource BCF	# Wells	Investment/ Exploratory Well (KUSD)	Investment/ Development Well (KUSD)
Prospect 4.1	48			4	\$ 11.956	\$ 10.066
Prospect 4.2	40			4	\$ 11.956	\$ 10.066
Prospect 4.3	103			9	\$ 11.956	\$ 10.066

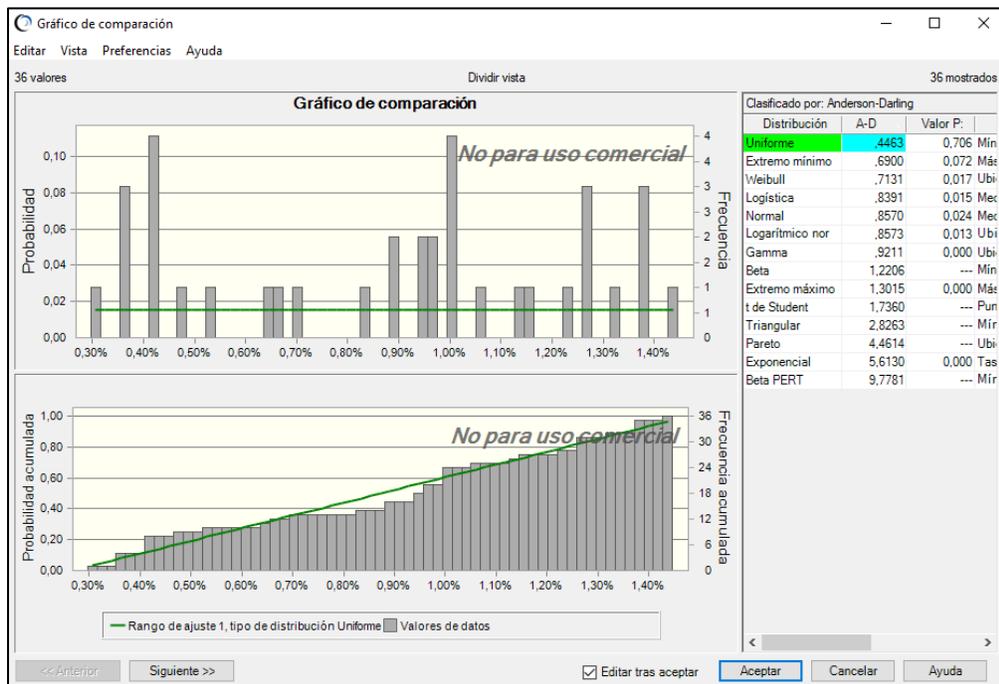
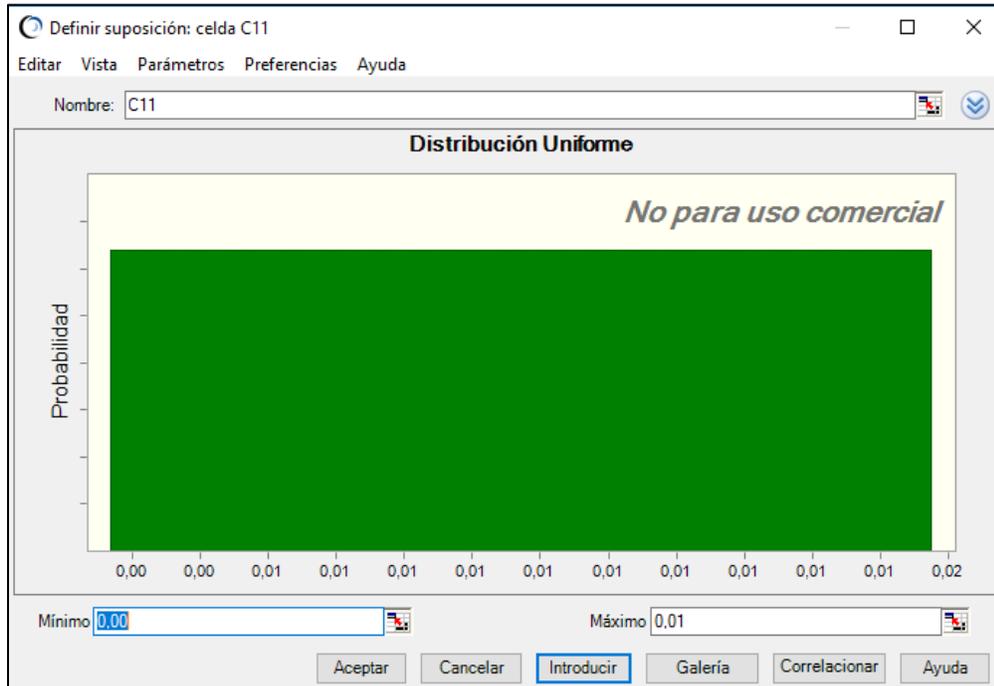


### Anexo 3 Distribución Probabilidad Variables

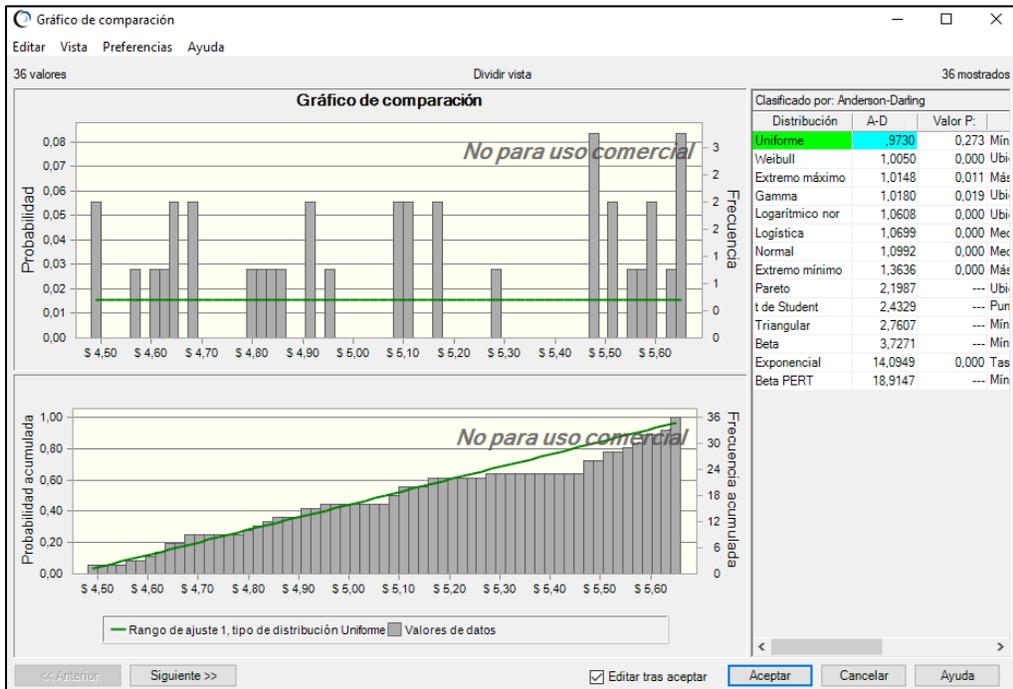
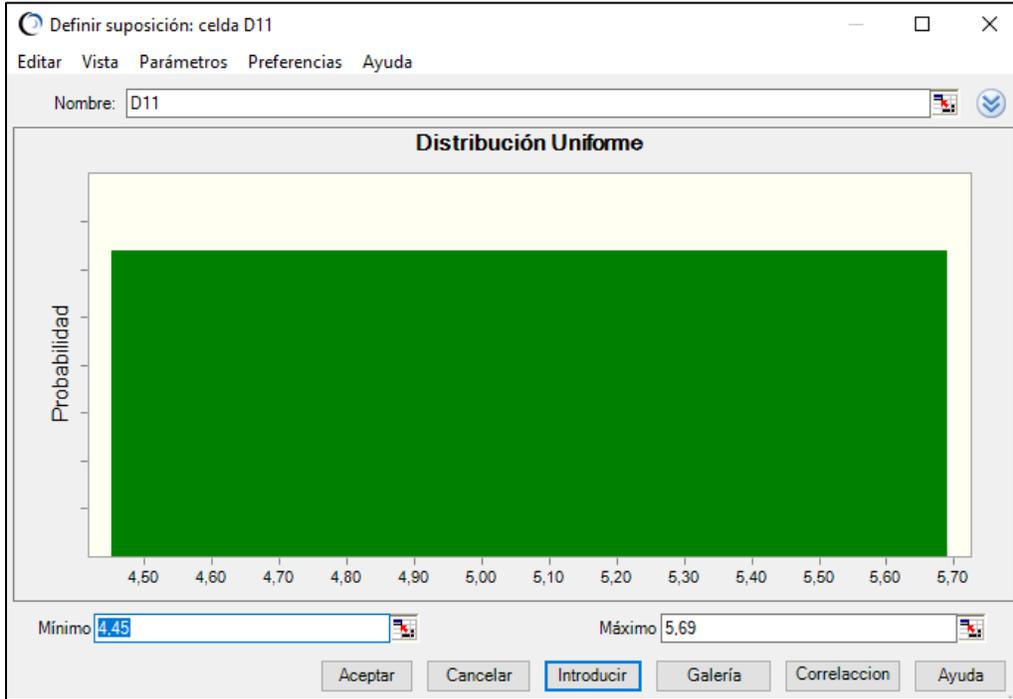
IPC Colombia:



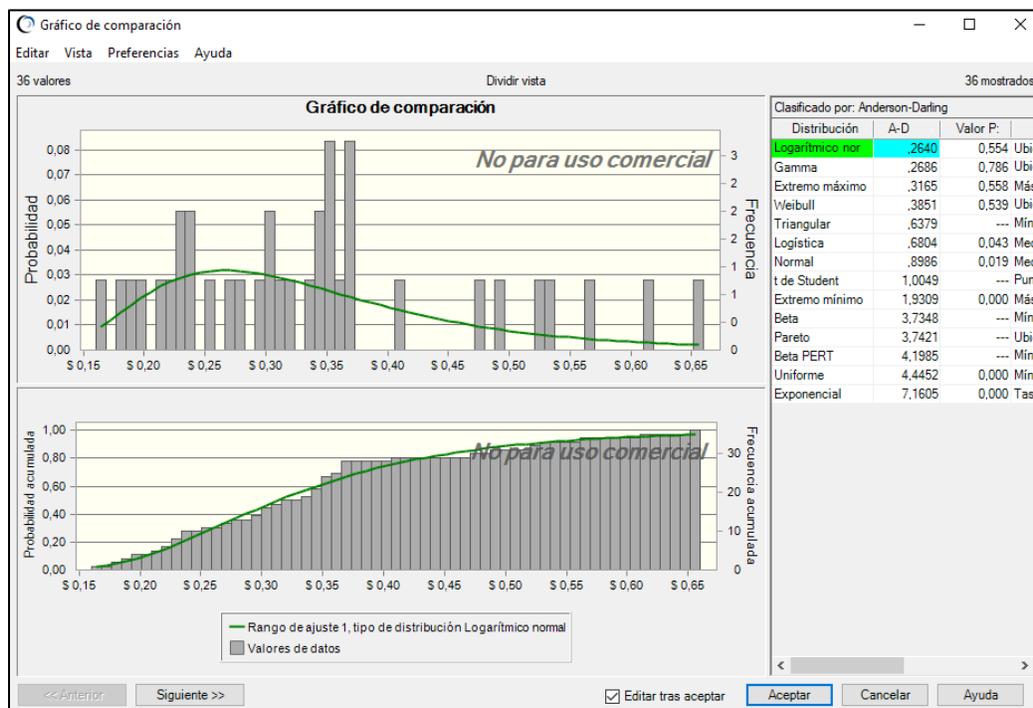
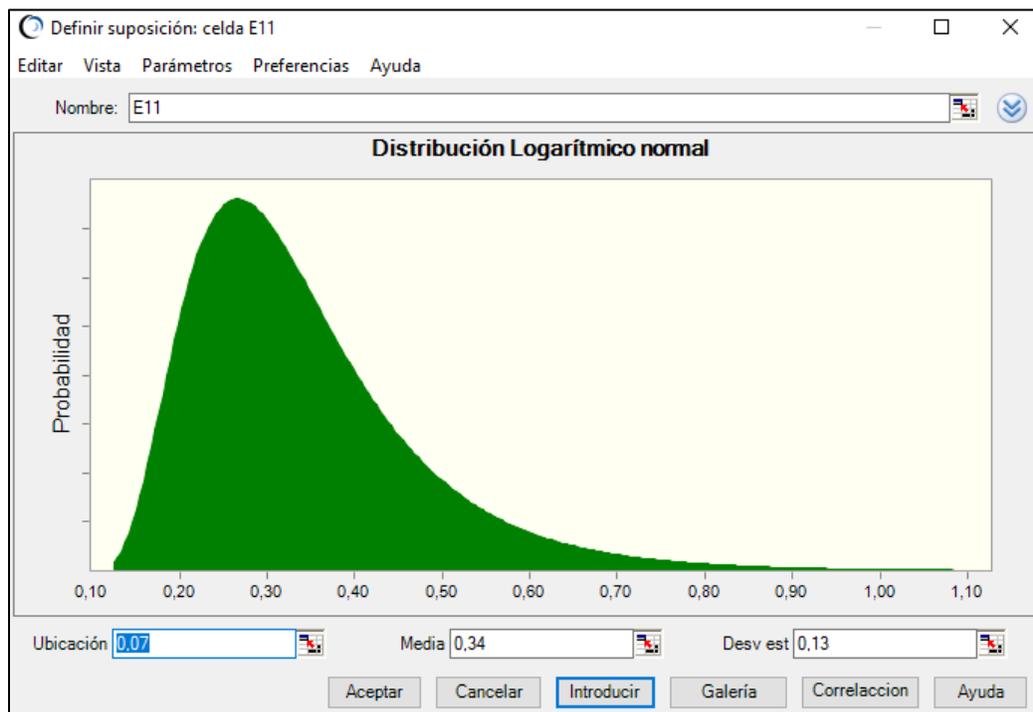
## PPI USA:



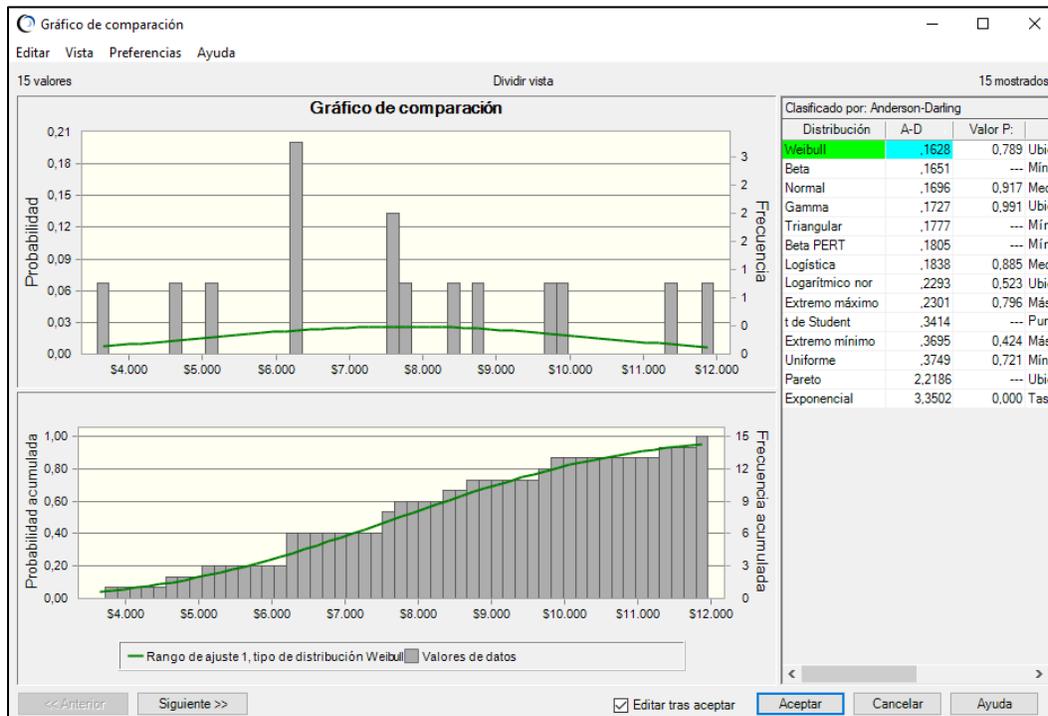
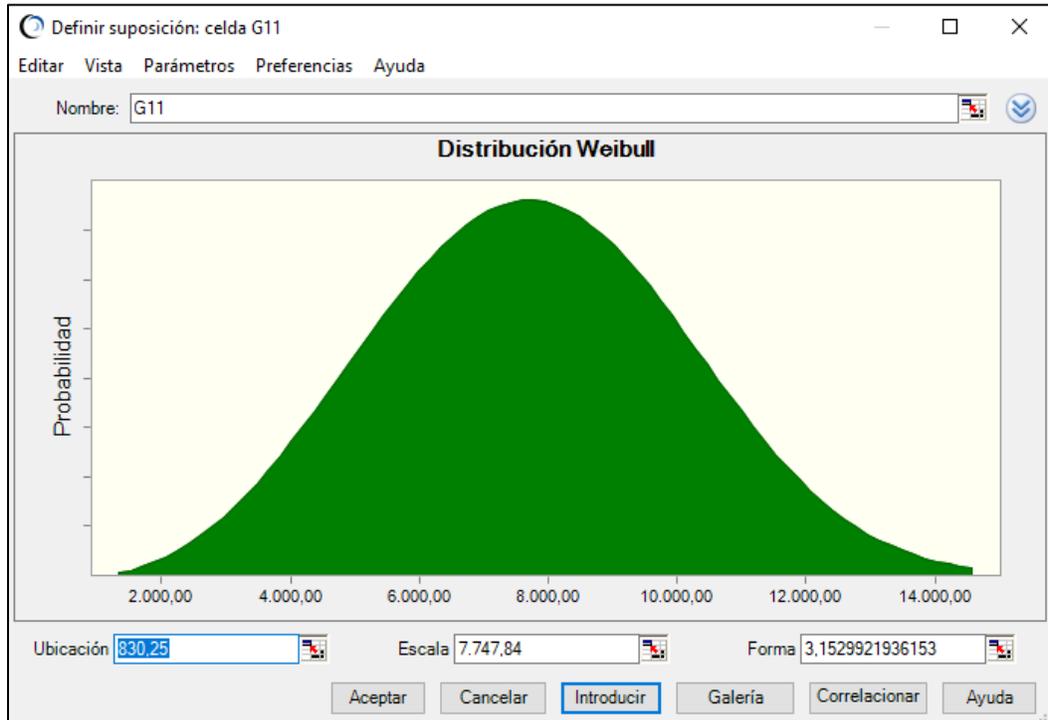
**Precio:**



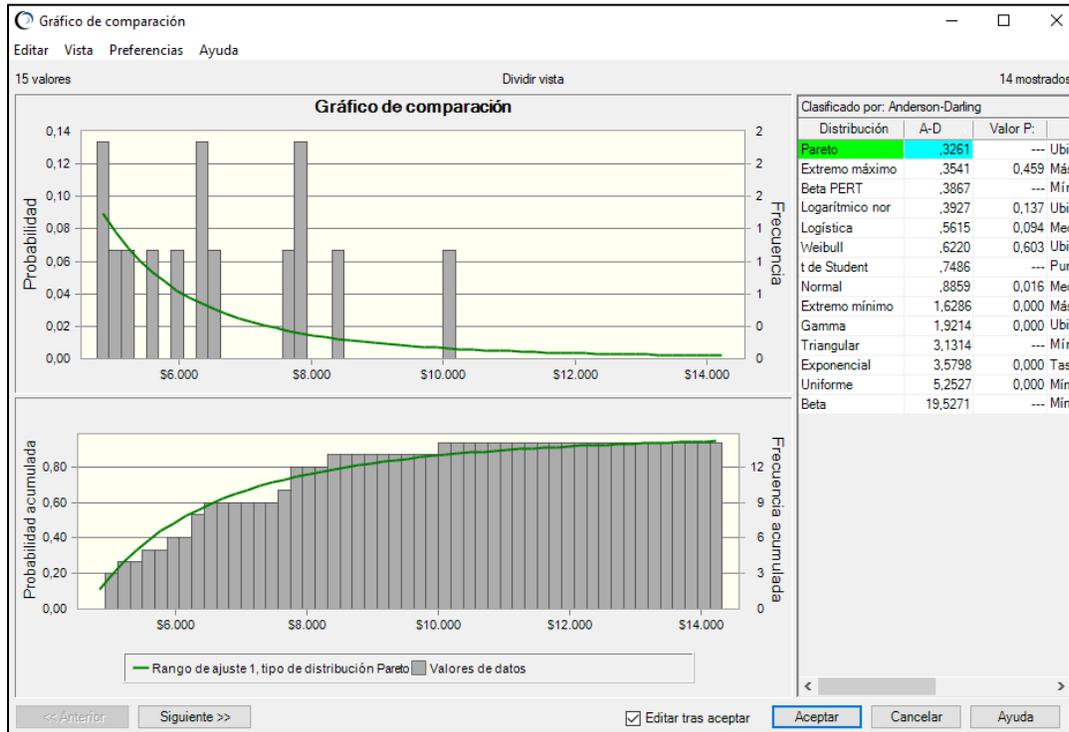
## Opex:



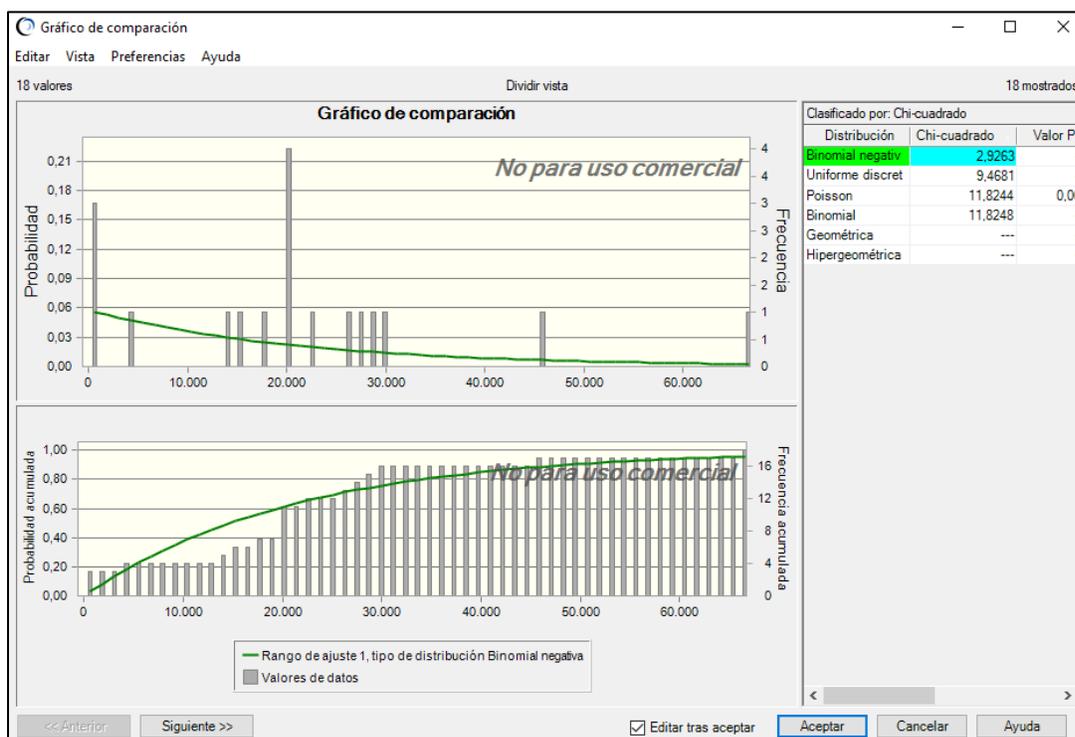
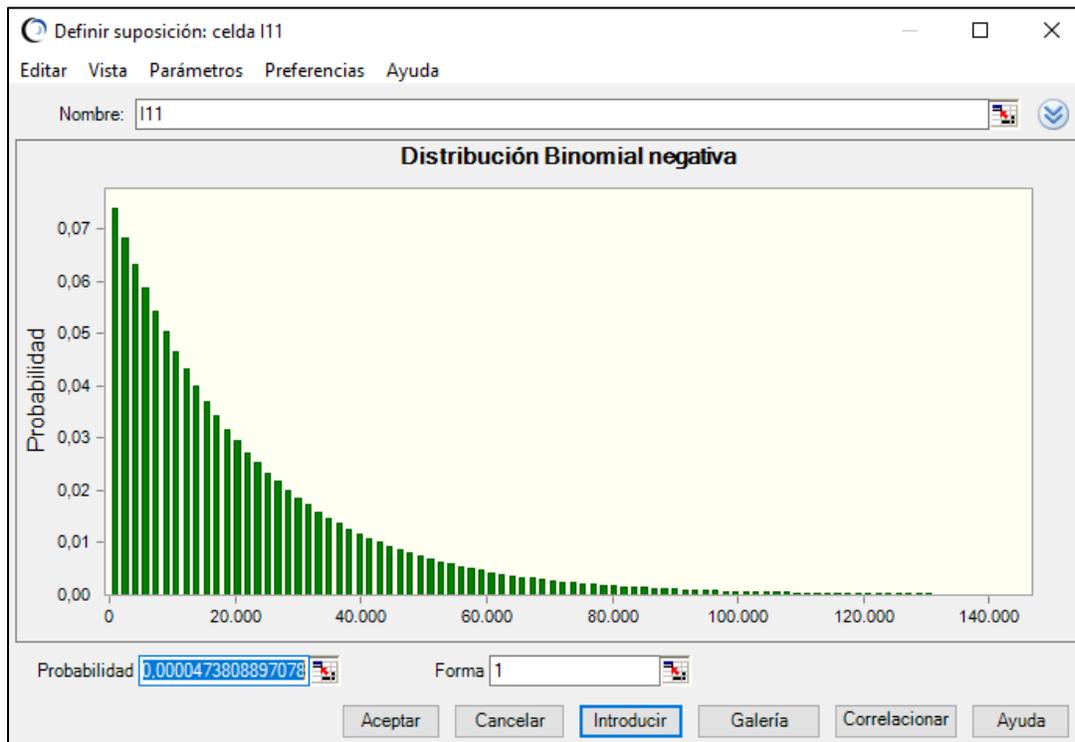
Capex Exploratorio:



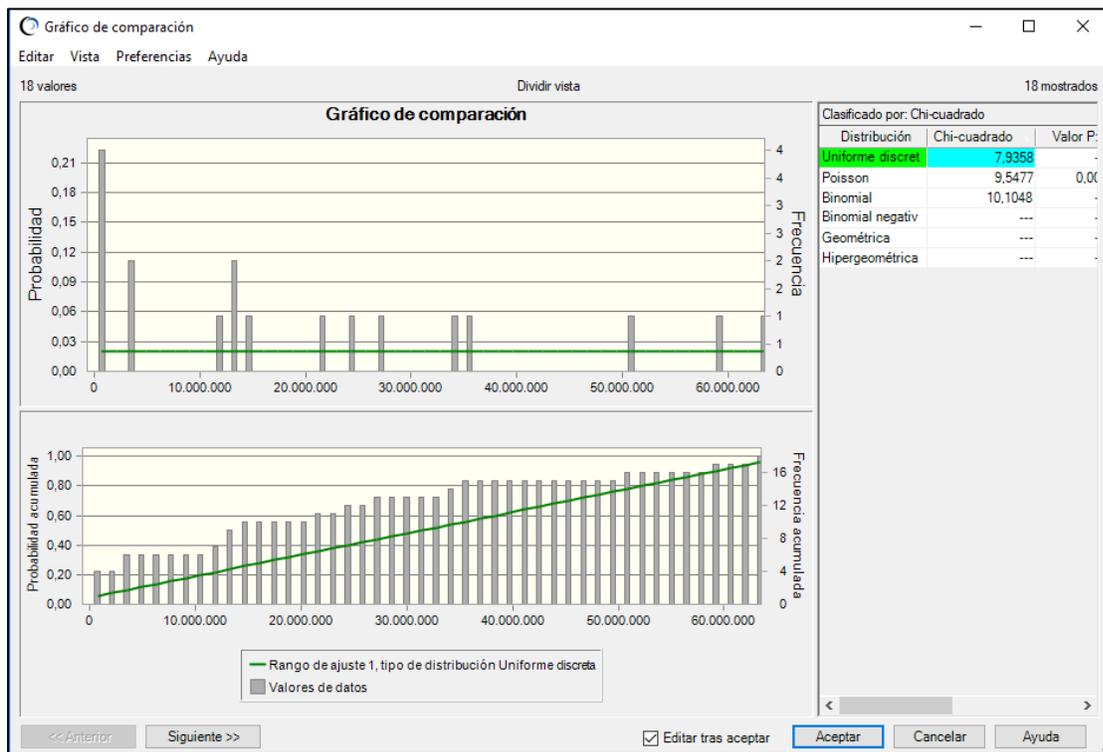
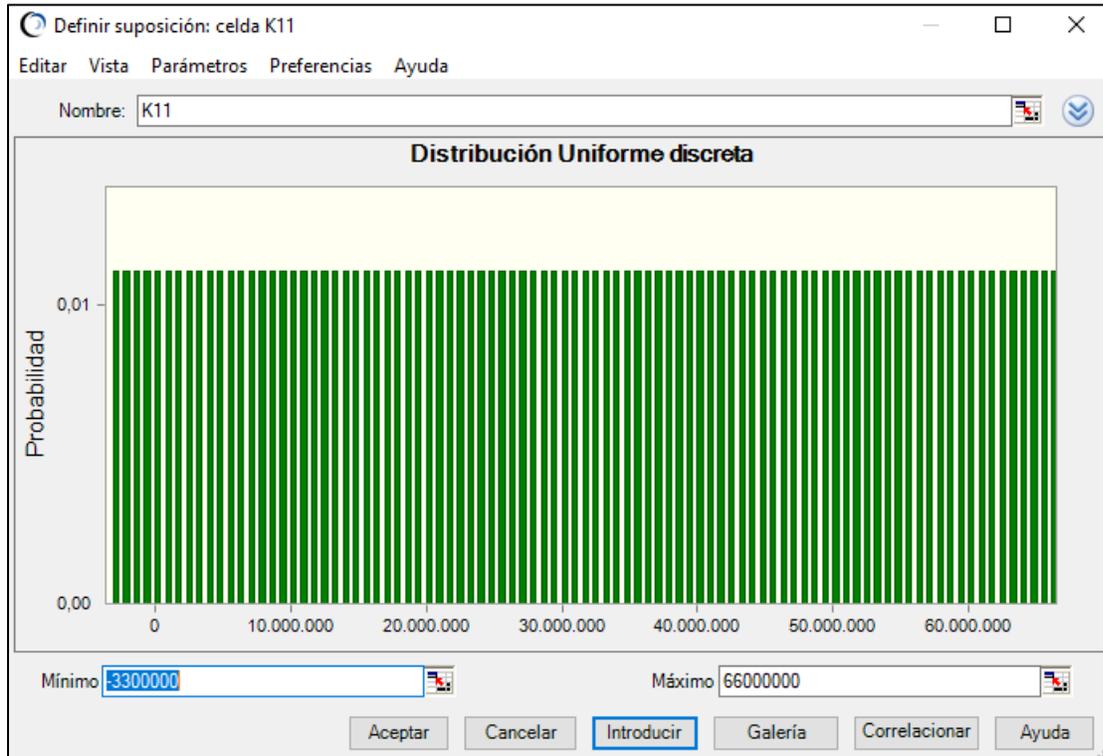
# Capex Desarrollo:



## Ratio de Producción:



## Reservas:



## Éxito:

