

# **Valoración por Opciones Reales como alternativa para valorar proyectos de infraestructura flexibles**

**Sergio Alexander Samacá Aguirre**  
*ssamaca@eafit.edu.co*

**Gustavo A. Sánchez Ribero**  
**Asesor de Tesis**

## ***Resumen***

Este trabajo tiene como objetivo, aplicar la metodología de valoración de mega proyectos de infraestructura mediante opciones reales, como una propuesta de análisis muy importante en la toma de decisiones de inversión, teniendo en cuenta los múltiples proyectos de infraestructura (energía, vías, acueductos, entre otros) que se vienen adelantando y proyectados en Colombia y Latinoamérica. En la práctica se evalúan proyectos de infraestructura mediante metodologías tradicionales de valoración, como los son Valor Presente Neto, TIR, IRR, RBC; Sin embargo los proyectos de infraestructura pueden incorporar derechos y riesgos asociados a este, como: riesgos técnicos, políticos, económicos, financieros, entre otros, que afectan la ejecución y terminación de la obra, los cuales no son incorporados totalmente en la tasa de descuento y pueden incluso generar derechos que aportan flexibilidad al proyecto, los cuales se consiguen valorar y que con la aplicación de las metodologías tradicionales, no son incorporados ni valorados.

En el presente trabajo se evaluarán dos proyectos de infraestructura, como lo son:

1. Oleoducto Bicentenario de Colombia – Fase I Arguaney-Banadía (OBC).

2. Proyecto Mejorías de la seguridad Energético del país y Desarrollo del Gasoducto Sur Peruano (GSP).

Sobre los cuales se aplicará la metodología de Valoración por Opciones Reales, partiendo de la estimación del Costo promedio de capital WACC para proyectos de infraestructura, incorporando los riesgos de cada proyecto y país mediante el modelo CAPM Ampliado. Posteriormente se evaluarán, mediante algunos de los métodos tradicionales de valoración, como lo son Valor Presente Neto o VPN, Tasa Interna de retorno o TIR, Índice de rentabilidad o IRR, Relación Beneficio Costo o RBC y se complementarán con la aplicación de la Valoración por Opciones Reales, utilizando la metodología de Árboles Binomiales para opciones tipo americanas y Black And Sholes Merton, para opciones tipo Europeas.

En el desarrollo de este trabajo se expondrá la metodología para incluir los riesgos en los grandes proyectos de infraestructura y la Valoración por Opciones Reales, incorporando la incertidumbre de diferentes alternativas estratégicas de ejecución contempladas en los mismos, específicamente en los contratos de obra suscritos.

***Palabras clave***

*Valoración por Opciones Reales, Valor Presente Neto, Proyectos Infraestructura, flexibilidad, incertidumbre, Costo de Capital.*

## *Abstract*

This work aims to apply the methodology of valuation of mega infrastructure projects through real options, as a very important analysis proposal in the decision making of investment, taking into account the multiple infrastructure projects (energy, roads, aqueducts, Among others) that are being advanced and projected in Colombia and Latin America. In practice, infrastructure projects are evaluated through traditional valuation methodologies such as Net Present Value, IRR, IRR, RBC; However, infrastructure projects may incorporate rights and risks associated with this, such as: technical, political, economic, financial, among others risks that affect the execution and completion of the work, which are not fully incorporated in the discount rate And can even generate rights that provide flexibility to the project, which are valued and that with the application of traditional methodologies, are not incorporated or valued.

In this paper, two infrastructure projects will be evaluated, such as:

1. Oleoducto Bicentenario de Colombia – Fase I Araguaney-Banadia (OBC).
2. Proyecto Mejorías de la seguridad Energético del país y Desarrollo del Gasoducto Sur Peruano (GSP).

On which the Real Options Valuation methodology will be applied, based on the estimate of the WACC average Cost of capital for infrastructure projects, incorporating the risks of each project and country through the Extended CAPM model. Subsequently, some of the traditional valuation methods, such as Net Present Value or NPV, Internal Rate of Return or IRR, Profitability Index or IRR, Cost Benefit Ratio or RBC will be evaluated and will be complemented by the application of the Valuation by Real Options, using the Binomial Trees methodology for American type options and Black And Sholes Merton, for European type options.

In the development of this paper, the methodology will be presented to include the risks in the big infrastructure projects and the Real Options Assessment, incorporating the uncertainty of different strategic implementation alternatives contemplated in the same, specifically in the signed construction contracts.

***Keywords***

*Valuation by Real Options, Net Present Value, Projects Infrastructure, flexibility, uncertainty, Cost of Capital.*

## INTRODUCCION

Mediante el siguiente trabajo se quiere demostrar la utilidad de la Valoración por Opciones Reales, en la valoración de los grandes proyectos de Infraestructura, complementándolo con algunos de los métodos tradicionales de valoración, como: Valor Presente Neto, Índice de rentabilidad, Tasa Interna de Retorno, Relación Beneficio Costo, utilizando como ejemplos los proyectos Oleoducto Bicentenario de Colombia, Fase I Araguaney-Banadia y el Gasoducto Sur Peruano, en la construcción de algunos de sus tramos o actividades desde la perspectiva de uno de los subcontratistas.

En los grandes proyectos de Infraestructura, se presentan diferentes riesgos: técnicos, económicos, de mercado, financieros, de crédito, políticos, sociales, ambientales; tanto en la ejecución como en la terminación de la obra, los cuales serán incorporados, ya sea en tasa de descuento WACC o en la volatilidad ( $\sigma$ ) al valorar por opciones reales cada proyecto. Los proyectos de infraestructura contienen a lo largo de su ejecución momentos o situaciones de incertidumbre, es decir, se abre la posibilidad de tener varias alternativas de ejecución: de abandonar o de ampliar la obra en un momento dado; se pueden presentar al iniciar el proyecto, durante la ejecución o en el proceso de liquidación del mismo. Al tener diferentes alternativas e incertidumbre, es donde la Valoración por Opciones Reales adquiere la importancia como complemento de los métodos de valoración tradicionales, al poder evaluar las diferentes opciones o alternativas presentadas dentro del mismo proyecto, generando mayor información al inversionista, gerente, director o accionista para la toma de decisiones.

Se pretende reunir estas alternativas, incertidumbres o flexibilidades y encontrar el valor que puede generar o restar financieramente en la planeación y ejecución de un proyecto de infraestructura, mediante la Valoración de Opciones Reales; metodología que consiste en utilizar

las opciones financieras y llevarlas a situaciones o proyectos reales, utilizando el mismo mecanismo, es decir, que una opción otorga el derecho, más no obligación, de comprar o vender un activo subyacente a un precio específico, en un tiempo determinado, en donde el activo subyacente podría entenderse como el VPN de los flujos que podría entregar un proyecto si se decidiera, diferir, ampliar o inclusive abandonar.

La teoría de las opciones reales proporciona un método para analizar las decisiones de tipo estratégicas en condiciones de incertidumbre, ya que incorporan la flexibilidad como una herramienta de decisión y en donde se puede realizar una revisión de ésta durante el desarrollo de un proyecto, permitiendo así no seguir un plan establecido, sino adaptarse a los acontecimientos futuros (Amram y Kulatilaka, 2000).

### *Marco Teórico*

## **Teorías y principales metodologías de evaluación de proyectos**

### **Valor Presente Neto**

De acuerdo a Andia (2011):

El VAN es un indicador que forma parte del análisis beneficio costo, es decir, cuando se aplica en aquellos casos en que los beneficios de una inversión compense a los costos. El VAN es un indicador que muestra la riqueza adicional que genera un proyecto luego de cubrir todos sus costos en un horizonte determinado de tiempo, es decir, cuando se analiza una inversión, lo mínimo que se debe obtener es: cubrir sus costos. Desde el punto de vista matemático el VAN acumula los beneficios y costos en el periodo cero (p.17, 18).

Según Mascareñas (2007):

Uno de los criterios de comparación más comúnmente empleados en las empresas es el del valor actual neto (VAN) que, además, es el criterio más acorde al objetivo general de todo directivo: la maximización del valor de la empresa para el accionista; puesto que indica exactamente cuánto se prevé que aumente el valor de una empresa si realiza el proyecto que se está valorando. Su ecuación general es la siguiente:

$$VAN = -A + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{FC_j}{(1+k)^j}$$

Donde el desembolso inicial del proyecto viene representado por A, los diversos flujos de caja esperados por FC<sub>j</sub>, el horizonte temporal del proyecto por n, y la tasa de descuento (el coste de oportunidad del capital) apropiada al riesgo del proyecto por k. Este criterio considera efectuable un proyecto de inversión cuando el VAN es positivo, es decir, cuando la totalidad de los flujos de caja esperados descontados a una tasa apropiada al riesgo del proyecto supera al coste de realizarlo. Por el contrario, si el VAN fuese negativo, sería desaconsejable realizar el Proyecto (p.2).

### **Beneficios de las Opciones Reales como complemento del Valor Presente Neto (VPN)**

En la evaluación de proyectos de infraestructura encontramos diversas limitaciones al utilizar la metodología Valor Presente Neto, que aun cuando es la más utilizada para este tipo de análisis,

no recoge o captura las diferentes alternativas, incertidumbres u opciones que puede tener un proyecto, las siguientes son algunas de las limitaciones que presente dicha metodología:

- El VPN es un criterio de ahora o nunca, es decir con el valor que arroja se determina si el proyecto se hace o no, mientras que las opciones reales me permiten posponer el proyecto y encontrar el momento en el cual este puede ser viable (Férrnandez, 1996, p.19).
- Según Mascareñas (2007)

Los flujos de caja que el proyecto promete generar pueden reemplazarse por sus valores medios esperados y estos se pueden tratar como valores conocidos desde el principio del análisis. Este supuesto implica ignorar que la directiva puede alterarlos al adaptar su gestión a las condiciones imperantes en el mercado durante toda la vida del proyecto. Esta flexibilidad operativa aporta valor al proyecto de inversión, valor que el método VAN, por ejemplo, es incapaz de reflejar (p.2).

La necesidad de proyectar los precios esperados a lo largo de todo el horizonte temporal del proyecto es algo imposible o temerario en algunos sectores, porque la gran variabilidad de aquéllos obligaría a esbozar todos los posibles caminos seguidos por los precios al contado a lo largo del horizonte de planificación. Como esto es muy difícil de hacer, de cara a la aplicación del VAN, arbitrariamente se eligen unos pocos de los muchos caminos posibles. (p.3).

Las principales limitaciones en el uso del VAN surgen debido a que éste es un método desarrollado inicialmente para la valoración de los bonos sin riesgo, y cuya utilización se extendió también a la valoración de los proyectos de inversión reales (se hace una analogía entre los cupones del bono y los flujos de caja del proyecto).

En todo caso, los métodos clásicos de valoración de proyectos, que son idóneos cuando se trata de evaluar decisiones de inversión que no admiten demora (realizar el proyecto ahora o nunca), infravaloran el proyecto si éste posee una flexibilidad operativa (se puede hacer ahora, o más adelante, o no hacerlo) u oportunidades de crecimiento contingentes. (p.4).

Por tanto, “la posibilidad de retrasar un desembolso inicial irreversible puede afectar profundamente la decisión de invertir. Esto, también, erosiona la sencilla regla del valor actual neto, y desde aquí el fundamento teórico de los típicos modelos de inversión neoclásicos” (Dixit, A.K. y Pindick, R.S, 1994, p.6)

### **Valoración por Opciones Reales:**

#### **De acuerdo a Allen, Myers y Brealey 2010:**

Cuando usted toma el flujo de efectivo descontado (FED) para valorar un proyecto, asume de manera implícita que su empresa se atenderá al proyecto en forma pasiva. En otras palabras, hará caso omiso de las opciones reales que van agregadas al proyecto, las opciones que los administradores sagaces pueden aprovechar. Usted podría decir que el FED no refleja el valor para la administración. Los administradores que mantienen opciones reales no tienen que ser pasivos; pueden tomar decisiones para capitalizar la buena fortuna o mitigar las pérdidas. Es claro que la oportunidad de tomar estas decisiones agrega valor siempre que los resultados de un proyecto son inciertos. (p.619)

La Valoración por Opciones Reales, nace como la necesidad de incorporar incertidumbre y flexibilidad a los Proyectos de inversión, al reconocer que los métodos tradicionales no incorporaban dichas variables ni escenarios, lo que

ocasiona desincentivo a la inversión al no valorar o tener en cuenta oportunidades de inversión. Allen, Myers y Brealey (2010), argumentaba que el problema radicaba en un mal uso práctico de las técnicas de evaluación tradicionales, pero reconocía las limitaciones inherentes a estos métodos, cuando se aplicaban para evaluar proyectos de naturaleza estratégica, sugiriendo que la teoría de opciones ofrecía mejores perspectivas para valorar tales inversiones. (p.608)

una Opción Real es el derecho, más no la obligación, a negociar, ya sea comprar, vender o ejecutar un bien, siendo este real y tangible, a un precio determinado en una fecha establecida previamente, que será determinada por la duración del proyecto, aplicándose a la estimación de proyectos, empresas, inversiones productivas, planes, etc. (Suarez, 2005).

### ***Marco institucional***

PBR TECHNOLOGY es una empresa de origen italiano especializada en obras civiles, obras viales, obras hidráulicas, construcción de drenajes y transportes especiales; fue fundada hace más de 30 años en Italia, sitio en el cual ha logrado posicionarse como una de las mejores compañías en el campo de la construcción. En Colombia, inicio en el año 2011 como contratista general en la construcción de gasoductos y tuberías de agua para importantes empresas, ocasionando que en la actualidad, cuente con las capacidades técnicas y de calidad necesarias para participar en actividades de construcción relacionadas con:

- Obra Civil en construcción de líneas de transporte de hidrocarburos (topografía con equipos GPS, materialización de las pistas, procesos de apertura, excavación, relleno, restauración final, cruce de ríos, abierta y perforada, etc.).

- Obras Mecánicas para líneas de transporte de hidrocarburos (quitar las sondas, doblado, soldadura, lijado y envasado por la tubería, conexión de conductos, pruebas hidráulicas, obras de protección catódicas de tubería, etc.).
- Obras hidráulicas: Dragados de ríos y diques al mar. Reconstrucción de obras de defensa hidráulica.

## ***Metodología***

### **Descripción de los proyectos**

#### **Realización de excavaciones de la línea, cruces menores a cielo abierto y cruces de ríos mayores a cielo abierto para la construcción del Oleoducto Bicentenario de Colombia OBC**

Para el desarrollo del trabajo se han seleccionado los proyectos, “*Construcción del Oleoducto Bicentenario de Colombia Fase I Arguaney – Banadia, tubo de 42”* con una longitud de 225 km” ejecutado en Colombia durante los años 2011 a 2013 (OBC) y “mejorías de la seguridad energético del país y desarrollo del Gasoducto Sur Perú” (GSP), el cual se encuentre en ejecución en Perú iniciando en el año 2015 y presentando diferentes dificultades que no han permitido un óptimo desarrollo.

Los proyectos se evaluarán desde la perspectiva de PBR Technology. Compañía a la cual se adjudicaron las obras civiles correspondientes. Los anteriores proyectos han presentado variaciones durante su ejecución las cuales se expondrán y valorarán para hacer parte de este documento.

**Oleoducto Bicentenario de Colombia Fase I Araguañey – Banadía, 42” con una longitud de 225 km.**

El origen del oleoducto se da por la necesidad de las petroleras Ecopetrol, Pacific Rubiales Energy, Petrominerales Colombia Ltda, Hocol SA, Canacol Energy SA, Vetra Exploración y Producción SAS y Grupo C&C Energy Ltda, de sacar el crudo de los llanos al puerto de Coveñas, de acuerdo al plan de evacuación de petróleo de Ecopetrol. Al construir dicho Oleoducto, los costos de extracción se reducen considerablemente, debido a que ya no se tiene que transportar en carrotanques, sino por el tubo, haciendo más rápido, seguro y eficiente el transporte del crudo. Para la ejecución de dicho proyecto se creó la compañía Oleoducto Bicentenario de Colombia SAS, con la mayor participación y control por parte de Ecopetrol.

Su construcción se extiende por 225 km desde Araguañey (Casanare) hasta Banadía (Arauca) y cuenta con la capacidad mayor del país, con un tubo de 42”, es decir 1,066 Metros de diámetro alcanzando a movilizar aproximadamente 600 mil barriles diarios.

La construcción de este proyecto fue adjudicado a la empresa Sicim SPA, empresa italiana de construcción establecida en 1962, que ofrece todo tipo de servicios relacionados con la instalación de tubería e instalaciones auxiliares para la transmisión y distribución de petróleo, gas y agua a nivel internacional. Recuperado de <http://www.sicim.eu/>, en el año 2017.

Para la ejecución de tan importante proyecto Sicim crea una sucursal en Colombia y subcontrata a su aliado estratégico en ejecución de obras civiles, con el cual ha trabajado por más de 20 años, llamado PBR Technology, que para este contrato fue subcontratado para realización de excavación de la línea, cruces menores a cielo abierto y cruces de ríos mayores a cielo abierto.

Para la ejecución del objeto en mención se firma el contrato No. 011, entre SICIM Colombia y PBR Technology Colombia, contrato soporte para la valoración del proyecto.

## Características principales del contrato:

**Objeto:** Realización de excavaciones de la línea, cruces menores a cielo abierto y cruces de ríos mayores a cielo abierto.

**Alcance de los trabajos:** Comprende la provisión de la totalidad de los equipos, mano de obra calificada, dispositivos y consumibles necesarios para la construcción de las obras, de acuerdo a las normas del buen arte y en todo, de acuerdo con las especificaciones técnicas, medio ambientales de HSEQ y QA/QC, definidas por Bicentenario.

**Valor estimado del contrato:** 19.128.450 USD, incluyendo AIU, IVA, movilización y desmovilización de maquinaria y equipos, excavación de línea principal y cruces a cielo abierto, excavación de cruces de ríos mayores a cielo abierto. EL valor final del contrato se determinará por los siguientes precios:

**Tabla 1**  
*Precios contractuales*

a)	actividades de Movilización y Desmovilización		200.000 USD suma global
b)	Excavación de la Línea Principal y Cruces a cielo abierto	Por las actividades en art. 4.A	61 USD por metro lineal ejecutado
c)	Excavación de Cruces de Ríos Mayores a cielo abierto	Por las actividades en art. 4. B	1.200 USD por metro lineal ejecutado

**Fuente:** Contrato No. 011 entre Sicim Colombia y PBR Technology

**Plazo de construcción:** De acuerdo a PDT.

## Valoración

### Aplicación del modelo CAPM

Mediante este modelo se busca obtener el Ke o Costo del capital invertido por los dueños o accionistas de la compañía, para lo cual se utiliza el modelo CAPM:

El modelo CAPM (Capital Asset Pricing Model) establece que la tasa de retorno de equilibrio de todos los activos riesgosos en una función de su covarianza con el portafolio de mercado (aquel que reúne a todos los activos riesgosos de la economía) (FERNANDEZ, 2005).

En términos matemáticos, el CAPM dice que el retorno esperado, que se exige a cualquier activo riesgoso, viene dado por;

$$E(K_e) = E(R_f) + \beta_L(E(R_m) - E(R_f)) + \textit{Prima Riesgo País}$$

En donde  $E(R_f)$  es la tasa libre de riesgo;  $E(R_m)$  es el retorno del portafolio de mercado o riesgo de mercado;  $\beta_L = \frac{Cov(R_i, R_m)}{Var(R_m)}$  es el beta de activo apalancado a la estructura de financiación de la compañía y **Prima Riesgo País**, el riesgo determinado por invertir en un país emergente, es decir, en un mercado no eficiente.

El modelo CAPM mide la rentabilidad o retorno esperado que debería entregar un activo o inversión riesgosa, que en el contexto de los proyectos de infraestructura en donde se encuentran inversiones con diferentes riesgos, se adapta correctamente. Al evaluar la tasa libre de riesgo ( $R_f$ ), la prima de riesgo ( $R_m - R_f$ ) y multiplicarla por el riesgo sistemático del mercado (Beta), apalancada específicamente a la compañía o proyecto de inversión, e incorporando una prima de riesgo país, por tratarse de países emergentes, incorpora además los riesgos asociados a la inversión. El modelo se aplica en mercados altamente eficientes y se adapta a países o escenarios con mercados menos eficientes, alcanzando un mayor acercamiento al retorno esperado. Este modelo fue presentado por el Profesor Gustavo Sánchez, en su clase de Finanzas Corporativas de la Maestría en Finanzas, en la Universidad EAFIT en el año 2015.

Para el proyecto Oleoducto Bicentenario de Colombia, se consideran las siguientes variables, dadas en la fecha inicial del proyecto:

**Tasa libre de riesgo;** 0,880% T-Bond 5Y, tomada de <https://es.investing.com/rates-bonds/u.s.-5-year-bond-yield-historical-data>, el 22 de noviembre de 2011.

**Prima de riesgo de mercado;** 6.49%, cálculos Damodaran, tomada de <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>, con fecha 30 de Noviembre de 2011.

**Beta apalancado al Proyecto:** Se determina de la siguiente forma:

**Tabla 2.**  
*Cálculos Beta.*

Descripción	Valor / %	Referencia
Sector	Oil/Gas (Production and Exploration)	<a href="http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html">http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html</a>
Beta Apalancado Sector	1,3773521	<a href="http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html">http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html</a>
Beta Desapalancado Sector	0,9380372	<a href="http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html">http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html</a>
Beta desapalancado estructura de mercado D/E ratio del sector - Oil/Gas (production and exploration)	0,9380372	Calculo con la formula de desapalancar $B_m = BL / (1 + ((1-T) * (D/T)))$
D/E Sector	47%	<a href="http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html">http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html</a>
Tax Sector	0,3%	<a href="http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html">http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html</a>
Tax Empresa en Colombia	33%	
Beta Apalancado Empresa (de acuerdo a Estructura de Capital)	0,9380372	Calculo con la formula de Apalancar $BL = B_m * (1 + ((1-T) * (D/T)))$
D/E Empresa	-	

**Fuente:** Elaboración propia

Considerando los siguientes datos:

- La obra a ejecutar pertenece al sector de Oil/Gas (Production and Exploration).
- El beta apalancado y desapalancado del sector se toma de cálculo realizado por Damodaran.

- El proyecto no requirió financiación por parte de terceros. Inversión 100% equity y el capital de trabajo se financió con anticipo entregado por el cliente.
- No tiene efecto la tasa impositiva del país, debido a que el proyecto no necesitó deuda.

**Riesgo País:** 2.130% se toma el indicador EMBI + (Emerging Markets Bond Index Plus) de [http://www.ambito.com/economia/mercados/riesgo-](http://www.ambito.com/economia/mercados/riesgo-pais/info/?id=4&desde=11/11/2011&hasta=11/05/2017&pag=48)

[pais/info/?id=4&desde=11/11/2011&hasta=11/05/2017&pag=48](http://www.ambito.com/economia/mercados/riesgo-pais/info/?id=4&desde=11/11/2011&hasta=11/05/2017&pag=48) el 22 de noviembre de 2011.

Remplazando:

$$E(K_e) = E(R_f) + \beta_L(E(R_m) - E(R_f)) + \text{Prima Riesgo País}$$

$$E(K_e) = 0.880\% + 0.9380(6.49\%) + 2.130\%$$

$$E(K_e) = 9.1\%$$

El costo del patrimonio estimado mediante la metodología desarrollada, se obtiene en dólares y se requiere pasar a pesos colombianos, con el fin de ser incorporado en la valoración.

Por lo anterior, se calcula la devaluación esperada US\$/COP:

Descripción	Tasa	Referencia	Fecha
Bono Colombia en USD 5Y	6,830%	<a href="https://es.investing.com/rates-bonds/colombia-5-year-bond-yield-historical-data">https://es.investing.com/rates-bonds/colombia-5-year-bond-yield-historical-data</a>	22/11/2011
US Treasury Yields 5Y	0,875%	<a href="https://es.investing.com/rates-bonds/u.s.-5-year-bond-yield-historical-data">https://es.investing.com/rates-bonds/u.s.-5-year-bond-yield-historical-data</a>	22/11/2011

Se toma el bono Colombia en USD a 5 años, con fecha 22 de noviembre de 2011, en el cual se refleja el comportamiento que podría tomar la inflación en Colombia en los siguientes 5 años.

También se toma el Bono de tesoro de Estados Unidos a 5 años, en el cual se refleja el comportamiento que podría tomar inflación esperada en Estados Unidos. Posteriormente se realiza el cálculo de la devaluación esperada, realizando el descuento de la tasa de US de la tasa de Colombia, es decir;

$$\text{Devaluación Esperada} = \left( \left( \frac{1+0.0683}{1+0.00875} \right) - 1 \right)$$

$$\text{Devaluación Esperada} = 5.903\%$$

Con el valor anterior ajustamos el  $E(K_e) = 9.1\%$  obtenido en USD y obtenemos un

$$E(K_e) \text{ COL} = 15.54\%, \text{ valor que se utilizará con } K_e \text{ para este proyecto.}$$

Al utilizar el Modelo CAPM, obtenemos que el proyecto OBC, para las actividades de obras civiles, en cuanto a zanjado, tapado y cruces de ríos, subcontratados con la empresa PBR Technology, tiene una rentabilidad mínima anual esperada de los inversionistas de **15.54%**.

### **Aplicación del WACC para determinar la tasa de descuento para los flujos esperados**

Una vez determinado el costo de la inversión por parte de los accionistas o dueños del proyecto, se determina el costo de la financiación en caso que se requiera, evaluando las diferentes opciones de deuda específica para cada proyecto. Para el caso del proyecto OBC, en relación a la ejecución de las obras civiles como zanjado, tapado y cruces de ríos elaborada por PBR Technology, no se requirió financiación externa, debido a que los activos para ejecutar este proyecto son propios, los costos de importación y nacionalización son asumidos por el cliente; adicionalmente, el cliente entrega un anticipo para realizar la movilización de la maquinaria y fondar el capital de trabajo necesario para los primeros meses de ejecución, antes del pago del primer avance de obra, con lo que posteriormente se financiará el capital de trabajo.

El Costo Promedio Ponderado de Capital, denominado WACC, (Weighted Average Cost of Capital), pondera el costo de la inversión de los inversionistas o accionistas ( $K_e$ ) y el costo de la deuda  $K_d$ , de acuerdo a su nivel de participación en la estructura de financiación

general del proyecto. Dicha tasa obtenida es la que se utilizará para descontar los flujos de caja esperados de cada proyecto:

$$WACC = Kd(1-t) * \left(\frac{D}{D+E}\right) + Ke * \left(\frac{E}{D+E}\right)$$

De acuerdo a la información del proyecto se realiza el cálculo teniendo en cuenta la siguiente información:

Costo Deuda (Kd) = 0

Costo Equity (Ke) = 15.54%

Valor Deuda (D) = 0

Valor Equity (E) = \$1.633.203.599

Tasa Impuestos (t) = 33%

$$WACC = 0(1-0.33) * \left(\frac{0}{0+1.633.203.599}\right) + 0.1554 * \left(\frac{1.633.203.599}{0+1.633.203.599}\right)$$

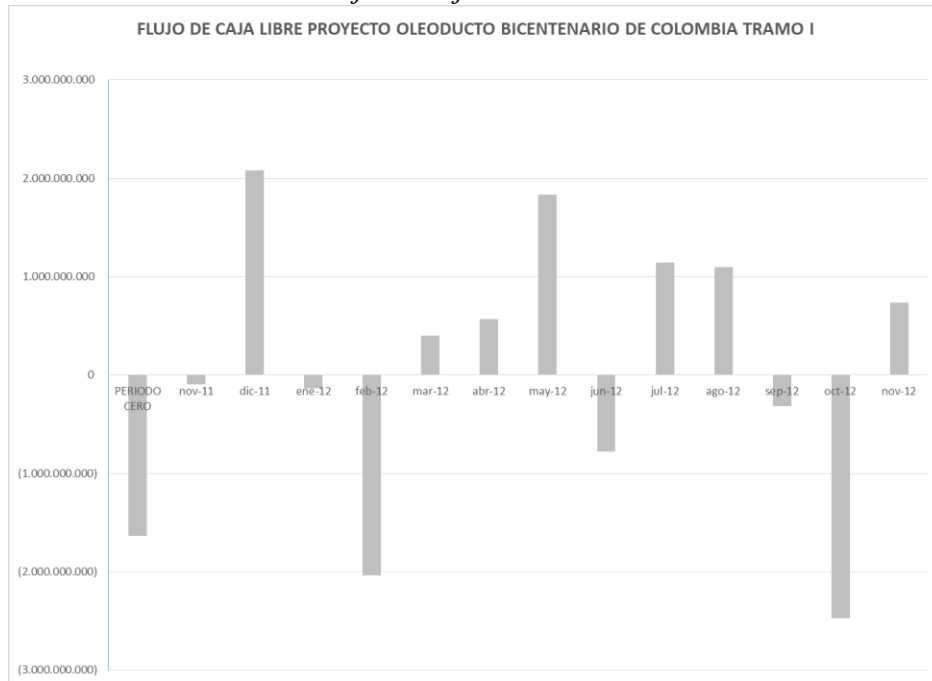
**WACC = 15.54% Anual**

**WACC = 1.211% Mensual**

## Determinación de flujos de caja libre, mediante información de mercado, bases de datos e información Corporativa

**Grafico 1.**

*Flujo de caja libre inicial*



Fuente: Elaboración Propia

El anterior grafico corresponde al flujo de caja libre, determinado de acuerdo a su inversión, rotación, capital de trabajo operativo, sus ingresos, costos y gastos. Las siguientes son las correspondientes valoraciones de acuerdo a 4 métodos:

**Tabla 3.**

*Valoración métodos tradicionales*

METODO	RESULTADO	FORMULA	CRITERIO DECISIÓN	PROYECTO	
VALOR PRESENTE NETO	VPN	322.820.221	$VPN = -Inversión_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+CostoCapital)^t}$	Si: VPN > 0; Aceptar Proyecto VPN < 0 No aceptar VPN = 0 No Aceptar	ACEPTAR
TASA INTERNA DE RETORNO	TIR	7,35%	$VPN = -Inversión_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FCL_t}{(1+TIR)^t} = 0$	Si: TIR > WACC; Aceptar < WACC No aceptar TIR = WACC Aceptar	TIR ACEPTAR
RELACION BENEFICIO COSTO	RBC	1,11	$RBC = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{Ingresos_t}{(1+WACC)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{Egresos_t}{(1+WACC)^t}}$	Si: RBC > 1; Aceptar < 1 No aceptar RBC = 1 Aceptar	RBC ACEPTAR
INDICE DE RENTABILIDAD	IRR	0,1977	$IR = \frac{VNA + Inversión_0}{Inversión_0}$	Si: RBC > 1; Aceptar < 1 No aceptar RBC = 1 Aceptar	RBC NO ACEPTAR

Fuente: Elaboración Propia

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la valoración realizada el OBC, es un proyecto que se debe aceptar por sus características y resultados de valoración. El VPN obtenido indica que el proyecto genera valor por \$322.820.221, la TIR de 7.33% es mayor al WACC 1.211%, lo que indica que el proyecto tiene una rentabilidad mayor a la esperada, la RBC nos indica que la inversión se recuperará y el IRR se encuentra en el rango de recuperación de inversión y equilibrio, sin embargo, no alcanza a cubrir la inversión inicial.

A finales del año 2012 se crea la posibilidad de ampliar el proyecto y realizar obras adicionales sobre el derecho de vía construido, el cual contempla la instalación de losas prefabricadas, como protección de la tubería instalada a un precio de 22 Dólares el metro líneas instalado. Para dicha ampliación se requiere realizar una inversión de \$7.246.832.248.

Situaciones como la expresada se presentan con frecuencia en los proyectos de Infraestructura. Para la valoración de este tipo de alternativas y como complemento del Valor Presente Neto, utilizamos la Valoración por Opciones Reales.

### **Valoración por Opciones Reales**

De acuerdo a la información anterior, y como sucede en la mayoría de proyectos de infraestructura, surge una alternativa o flexibilidad del proyecto. Al tener una valoración inicial y en el transcurso del proyecto, tener la opción de ampliar el mismo, surgen inquietudes en referencia a cómo debería cambiar la valoración inicial? ¿Debería ya no aceptar el proyecto? ¿Debería invertir? ¿Cuál será el valor que se generaría?.

Para el caso específico del OBC, antes de ser liquidado el contrato en donde se esperaba tener una creación de valor equivalente a \$322.820.221, surge la opción de ampliar el contrato, al

aumentar las obras a ejecutar, y por ende, los valores o derechos a recibir por la ejecución de estos adicionales. Por lo tanto, procedemos a realizar la Valoración por Opciones Reales como complemento de las valoraciones antes realizadas:

### **¿Qué tipo de opción real se debe utilizar?**

Al igual que las opciones financieras en donde encontramos opciones de compra y opciones de venta, tanto en negociaciones en largo como en negociaciones en corto podemos relacionarlas para las opciones reales. Las opciones financieras según Hull (2009), otorgan a su tenedor el derecho de hacer algo. El tenedor no requiere ejercer este derecho.

### **Tipos de opciones Financieras**

De acuerdo Hull (2009):

Hay dos tipos básicos de opciones. Una *opción de compra* otorga a su tenedor el derecho a comprar un activo a determinado precio en una fecha específica. Una *opción de venta* Otorga a su tenedor el derecho de vender un activo a determinado precio en una fecha específica. La fecha específica en el contrato se conoce como fecha de vencimiento. El precio determinado en el contrato se conoce como precio de ejercicio o precio strike.

Las opciones pueden ser americanas o europeas, una distinción que no tiene que ver con su ubicación geográfica. Las *opciones americanas* pueden ser ejercidas en cualquier momento de su vida hasta su fecha de vencimiento, en tanto las *opciones europeas* pueden ser ejercidas únicamente en su fecha de vencimiento. (p.185).

Conociendo lo anterior, podemos relacionar las opciones financieras con las opciones reales, no antes de explicar cómo se clasifican las opciones reales:

Los tipos de opciones reales se pueden clasificar en 3 grupos, y al igual que las opciones financieras, también se pueden interrelacionar:

1. **Opción de diferir:** entrega el derecho de posponer o diferir un proyecto durante un tiempo determinado, para recibir como beneficio flujos de efectivos con mayor valor. Al tener la opción de diferir el proyecto, se logra reducir la incertidumbre o volatilidad del activo, lo cual hace que los flujos futuros tengan mayor valor. Se puede relacionar con una opción de compra "Call" Financiera debido a que se obtiene el derecho a comprar el VPN futuro cuando se encuentre en determinado precio a cambio de pagar o renunciar a obtener flujos inmediatos.
2. **Opción de Inversión o ampliación:** Entrega el derecho de obtener mayor flujo de caja futuro o mayor VPN, a cambio de una inversión en un momento determinado. Se realiza una inversión durante la ejecución del proyecto para obtener mayor flujo de caja y por ende un mayor VPN. Se relaciona con una opción de compra "Call", debido a que se obtiene el derecho a comprar VPN futuros a cambio de un precio de ejercicio o valor de la inversión.
3. **Opción de Abandono:** Entrega el derecho de abandonar o retirarse de una inversión a cambio de una prima o debido a que el ahorro es mayor que seguir el proyecto. Se abandona un proyecto porque contractualmente entrega beneficios económicos por el abandono o porque las pérdidas de ejecutar el proyecto serían mayores que realizar el abandono en el momento de la valoración. Se relaciona con una opción de venta "Put", debido a que otorga el derecho de vender VPN futuros, a cambio de obtener valores económicos contractuales actuales, o porque el ahorro que se obtendría ahora será mayor que si se decide ejecutar el proyecto.

Ahora si procedemos a relacionar las opciones financieras con las opciones reales:

**Tabla 4.**

*Relación entre opción real y opción financiera.*

Variable	Nombre	opción Financiera Compra	Opción compra real	Opción Venta Real
S	Spot	Precio del activo financiero: VA de los flujos de caja que genera el activo financiero	Valor de los activos operativos que se van a adquirir: VA de los flujos de caja que genere el activo real	VAN de los flujos que se obtendrían si se continuara con el proyecto
X	Strike	Precio de ejercicio al que se tiene derecho a adquirir o vender el activo financiero	Desembolsos requeridos para adquirir el activo real: costo del proyecto de inversión	Valor al que se tiene derecho por abandonar o valor que se ahorraría el inversionista si decide abandonar
t	Plazo	Tiempo hasta el vencimiento de la opción	tiempo hasta el vencimiento del proyecto de Inversión	tiempo hasta el vencimiento del proyecto de Inversión
$\sigma$	Volatilidad	Volatilidad del precio de un activo financiero	incertidumbre de como evolucionará el VA de los flujos futuros en una dirección y en que porcentaje	incertidumbre de como evolucionará el VA de los flujos futuros en una dirección y en que porcentaje
Rf	Renta Fija	Tasa interés Libre de riesgo	Tasa de interés sin riesgo	Tasa de interés sin riesgo
n	Pasos	Longitud de tiempo en el que se puede ejercer la opción	Longitud de tiempo que se puede tardar en tomar la decisión de realizar la inversión	Longitud de tiempo que se puede tardar en tomar la decisión de abandono
$\Delta t$	Delta t	Variación tiempo, vencimiento respecto al Numero de Pasos	Variación tiempo, vencimiento respecto al Numero de Pasos	Variación tiempo, vencimiento respecto al Numero de Pasos

Fuente: Elaboración Propia

Como se indicó existen dos tipos de opciones: Americanas y Europeas, en donde su diferencia radica en el momento del ejercicio. Las opciones americanas se pueden ejercer en cualquier momento, mientras que las opciones Europeas se ejercen únicamente en el vencimiento.

Las opciones americanas se pueden valorar en opciones reales mediante el procedimiento de Binomiales y las opciones europeas se pueden valorar mediante el procedimiento Black and Sholes, Merton, los cuales se expondrán cuando se realice la valoración de los proyectos.

El procedimiento más adecuado para valorar por opciones reales es el procedimiento mediante Binomiales, ya que otorga la opción de ejercer en cualquier momento, situación reflejada en los proyectos de inversión. El procedimiento de valoración Black and Sholes,

Merton, básicamente consiste en traer a valor presente todas las opciones que se generan y establece que la opción se ejerce al vencimiento.

### Valoración por Opciones Reales Proyecto Oleoducto Bicentenario de Colombia

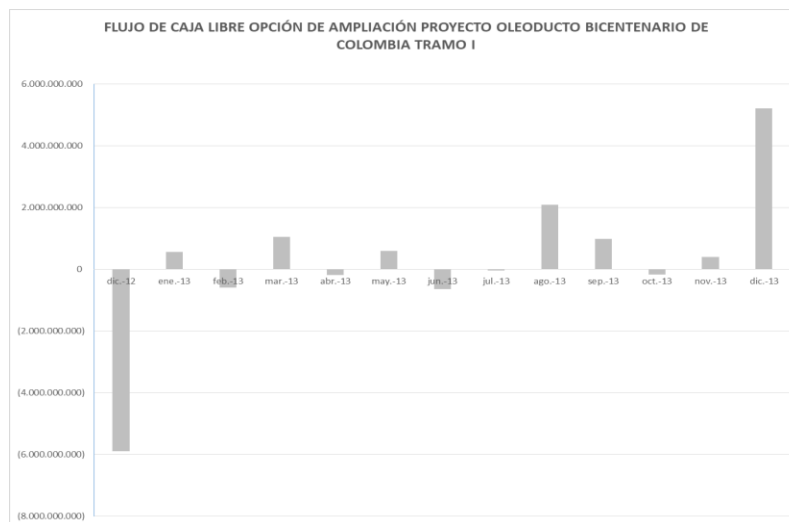
A finales del año 2012 se obtiene la posibilidad de realizar la ampliación del proyecto, en la cual se ampliarían las obras a ejecutar, para lo cual se requiere desembolsar una inversión, en movilización, maquinaria y equipo y mayor capital de trabajo.

### Método Binomial opción de compra Call

Se determina el flujo de caja del proyecto de ampliación:

#### Grafico 2.

*Flujo de caja Opción de ampliación*



**Fuente:** Elaboración Propia

El Valor Presenten Neto o precio Spot de la opción equivale a \$2.310.836.524, se determinan las siguientes variables para realizar la valoración de la opción real tipo call, mediante método Binomial:

**Tabla 5.***Descripción y valores de las variables.*

Descripción	Variable	Valor	Observación
Tasa Libre de Riesgo	Rf	0,073%	Conversión a Mensual de la Tasa libre de riesgo 0,880%
Precio SPOT	S	2.310.836.524	VPN De los flujos que generaría la opción de ampliación
Precio Ejercicio STRIKE	X	7.246.832.248	Inversión a Realizar para realizar la ampliación
Plazo al Vto. (meses)	t	13	plazo de vencimiento del proyecto
Volatilidad (mensual)	$\sigma$	13,375%	Volatilidad implícita mercado de opciones de un índice internacional MSCI Oil&Gas: 13,37%
No de Pasos	n	6	Meses que podría tardar en tomar la decisión
Delta T	$\Delta t$	2	Variación tiempo vencimiento respecto al Numero de Pasos

Fuente: Elaboración propia

**Fuente:** Elaboración Propia

Teniendo en cuenta la información anterior, el primer paso para realizar la valoración por método binomial, es realizar el bosquejo o diagrama del comportamiento del precio en el tiempo, calculando los coeficientes de crecimiento “u” y descenso “d” de la siguiente forma:

$$u = e^{\delta * \sqrt{\Delta t}}, \quad \text{es decir que } u = e^{0.13375 * \sqrt{2}}, \quad u = 1.2176$$

$$d = \frac{1}{u}; \quad \text{es decir que } d = \frac{1}{1.2176}; \quad d = 0.8213$$

el coeficiente de ascenso “u” es de 1.2176 y el coeficiente de descenso “d” es de 0.8213, para cada paso o tiempo que demore en tomar la decisión de realizar la inversión.

Se realiza la multiplicación del valor Spot por el coeficiente de ascenso y por el coeficiente de descenso  $S * u$  y  $S * d$  para cada paso, y así sucesivamente hasta completar los pasos o periodos estimados para tomar la decisión, que en el caso del OBC, son 6 meses:

### Grafico 3.

#### Proyección precio del Valor Presente Neto

Proyección Precio del Activo

	0	1	2	3	4	5	6
0	2.310.836.524	2.813.654.747	3.425.881.906	4.171.324.447	5.078.968.897	6.184.108.999	7.529.718.117
1		1.897.875.156	2.310.836.524	2.813.654.747	3.425.881.906	4.171.324.447	5.078.968.897
2			1.558.712.643	1.897.875.156	2.310.836.524	2.813.654.747	3.425.881.906
3				1.280.160.656	1.558.712.643	1.897.875.156	2.310.836.524
4					1.051.387.703	1.280.160.656	1.558.712.643
5						863.497.950	1.051.387.703
6							709.185.305

Fuente: Elaboración propia

**Fuente:** Elaboración propia

Una vez realizada la proyección binomial del precio del activo, se calcula el valor intrínseco del activo, teniendo en cuenta que se realiza la valoración de una opción de compra “Call” americana. Al tener la posibilidad de ampliar el proyecto se tendrá la opción de comprar o no el VPN, realizando un pago o inversión para obtenerlo. Utilizando la misma teoría de la opción de compra financiera, es decir, se debe tomar el máximo valor entre la diferencia del Spot (VPN del proyecto) y Strike (Valor de la inversión) y 0, entendiendo que se ejerce la opción cuando el valor Spot (VPN del Proyecto) es mayor al Strike (Valor de la Inversión). El criterio de decisión será que la opción de ampliar se debe tomar cuando el  $VPN > Inversión$ .

El anterior criterio se realiza para determinar los valores en el paso 6 o últimos valores posteriormente evaluar el árbol o recorrido de derecha a izquierda así:

### Grafico 4.

#### Proyección valor de la opción

Proyección Valor Opción

	0	1	2	3	4	5	6
0	2.502.853	5.503.402	12.101.167	26.608.676	58.508.540	128.651.619	282.885.869
1		0	0	0	0	0	0
2			0	0	0	0	0
3				0	0	0	0
4					0	0	0
5						0	0
6							0

Fuente: Elaboración propia

**Fuente:** Elaboración Propia

Una vez calculado los valores en el paso 6 ( $Valor\ Opción = MAX(S - X: 0)$ ), se calculan los valores de los pasos 5 a 1 de la siguiente forma:

$$p = \frac{e^{Rf \cdot \Delta t} - d}{u - d}; \text{ reemplazando con las variables de la tabla No.## } p = \frac{e^{0.0073 \cdot 2} - 1.2176}{1.2176 - 0.8213};$$

es decir  $p = 0.455$

Donde P corresponde a la probabilidad neutral al riesgo que según Hull, 2009 corresponde a la probabilidad de un aumento en el precio de la acción. Entonces la variable 1-p, corresponde a la probabilidad de una disminución del precio de la acción y la expresión  $pf_u + (1 - p)f_d$  corresponde al beneficio esperado de la opción. Con esta interpretación de  $p$ , la siguiente ecuación establece que el valor de la opción el día de hoy es su beneficio futuro esperado, descontado a la tasa de interese libre de riesgo.

$$f = e^{-rT} [pf_u + (1 - p)f_d]$$

Al reemplazar las variables en cada paso, se obtienen los valores esperados en el mismo, para por ultimo obtener el valor de \$2.502.853, el cual es el valor de la opción de compra o de ampliación del proyecto Oleoducto Bicentenario de Colombia, lo que nos indica que la opción de ampliar el proyecto, realizando una inversión de \$7.246.832.248, generaría un VPN de \$2.310.836.524 y otorgando la posibilidad de ejercer, en cualquiera de los pasos, para por último tener un beneficio en el paso 0 de \$2.502.853.

### **Método Binomial opción de venta Put.**

Continuando con el proyecto Oleoducto Bicentenario de Colombia. En el mes de mayo de 2013, se reciben amenazas de grupos armados al margen de la Ley, en el departamento de Arauca, lo que impide la continuidad del proyecto. Por esta razón se evalúa la opción de

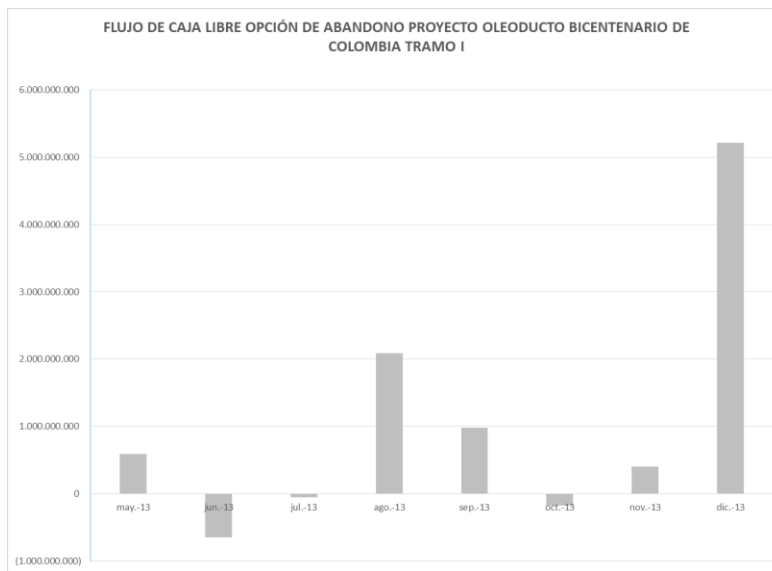
abandono, teniendo en cuenta que dentro del contrato se contempla como causal de terminación del mismo, otorgando el derecho a pago sobre las obras ejecutadas y liquidación del contrato.

Se utiliza la opción de Venta “Put”, debido a que el inversionista tiene la opción de vender o abandonar el proyecto, a cambio de los valores de liquidación entregados por el mismo y también por el ahorro que se generaría al no continuar con el proyecto.

Se determinan los flujos de caja que se abandonarían y se calcula el VPN:

### Grafico 5.

*Flujo de caja Libre Opción de Abandono.*



**Fuente:** Elaboración propia

EL VPN o precio spot de la opción es \$7.357.939.327 de los flujos de caja esperados para finalizar el proyecto, sin embargo, el contrato entrega la posibilidad de abandono dando derecho a los valores de liquidación por las obras ejecutadas hasta el momento, la retención en garantía y el pago o reconocimiento por las maquinas retenidas, el cual equivale a \$5.141.694.890. Con la anterior información y demás variables podemos realizar la valoración de la opción real Put para determinar si es viable abandonar el proyecto.

**Tabla 6.**  
*Descripción y valores de las variables.*

<i>Descripción</i>	<i>Variable</i>	<i>Valor</i>	<i>Observación</i>
Tasa Libre de Riesgo	<i>Rf</i>	0,07%	Conversión a Mensual de la Tasa libre de riesgo 0,880%
Precio Acción / Spot	<i>So</i>	7.357.393.327	VAN De los flujos que generaría continuar el proyecto
Precio Ejercicio / Strike	<i>K</i>	5.141.694.890	Valor al que se tiene derecho si se decide abandonar
Plazo al Vto (meses)	<i>t</i>	7	plazo de vencimiento del proyecto
Volatilidad (anual)	<i>σ</i>	13,38%	Volatilidad implícita mercado de opciones de un índice internacional MSCI Oil&Gas: 13,37%.
No de Pasos	<i>n</i>	2	Meses que podría tardar en tomar la decisión
Delta T	<i>Δt</i>	4	Variación tiempo vencimiento respecto al Numero de Pasos

**Fuente:** Elaboración propia.

Al igual que la opción de compra “Call”, se determinan los valores de ascenso y descenso “u” y “d”, de la misma forma que en la opción Call:

$$u = e^{\delta \cdot \sqrt{\Delta t}}, \quad \text{es decir que } u = e^{0.13375 \cdot \sqrt{4}}; \quad u = 1.2843$$

$$d = \frac{1}{u}; \quad \text{es decir que } d = \frac{1}{1.2843}; \quad d = 0.7786$$

El coeficiente de ascenso “u” es de 1.2843 y el coeficiente de descenso “d” es de 0.7786, para cada paso o tiempo que demore en tomar la decisión de realizar la inversión.

Se realiza la multiplicación del valor Spot por el coeficiente de ascenso y por el coeficiente de descenso  $S * u$  y  $S * d$  para cada paso y así sucesivamente hasta completar los pasos o periodos estimados para tomar la decisión, que en el caso de la opción de venta Put o abandono presentado en el OBC son 2 meses.

**Grafico 6.**  
*Proyección precio del Valor Presente Neto*

*Proyección Precio del Activo*

	0	1	2
0	7.357.393.327	9.449.190.158	12.135.710.389
1		5.728.664.115	7.357.393.327
2			4.460.491.791

**Fuente:** Elaboración propia

Una vez realizado la proyección binomial del precio del activo se calcula el valor intrínseco del activo, teniendo en cuenta que se realiza la valoración de una opción de venta “Put” americana. Al tener la posibilidad de abandonar el proyecto se tendrá la opción de vender o no el VPN esperado a un valor determinado o ahorro determinado. Utilizando la misma teoría de la opción de Venta financiera, es decir, se debe tomar el máximo valor entre la diferencia del Strike (Valor de pago o ahorro) y Spot (VPN del proyecto esperado) y 0, entendiendo que se ejerce la opción cuando el valor Strike (Valor de Pago o ahorro) es mayor al Spot (VPN del Proyecto esperado). El criterio de decisión será que la opción de abandono se debe tomar cuando el VPN < Pago o ahorro obtenido.

El anterior criterio se realiza para determinar los últimos valores, que en este caso es el periodo 2, para posteriormente evaluar el árbol o recorrido de derecha a izquierda así:

### Grafico 7.

#### Proyección valor de la opción

Proyección Valor Opción

	0	1	2
0	210.373.225		0
1		378.558.969	0
2			681.203.099

Fuente: Elaboración propia

Una vez calculado los valores en el paso 2 (*valor de la opción* =  $MAX(X - S; 0)$ ), se calculan los valores de los pasos 1 y 0 de la siguiente forma:

$$p = \frac{e^{Rf \cdot \Delta t} - d}{u - d}; \text{ reemplazando } p = \frac{e^{0.0073 \cdot 2} - 1.2176}{1.2176 - 0.8213}; \text{ es decir } p = 0.455$$

$$(1 - p) = 1 - 0.455 = 0.557$$

Donde P corresponde a la probabilidad de aumento del precio y (P-1) la probabilidad de disminución del precio. Posteriormente aplicamos la siguiente fórmula para determinar el valor de la opción de venta “Put” tipo americana:

$$f = e^{-r\Delta t}[pfu + (1 - p)fd];$$

En dónde;  $r = \text{Renta Fija}$

$\Delta t = \text{Variación tiempo de vencimiento respecto al numero de pasos}$

$p = \text{Probabilidad de ascenso}$

$fu = \text{Valor de la opción de ascenso}$

$(1-p) = \text{Probabilidad de descenso}$

$fd = \text{Valor de la opción de descenso}$

Al reemplazar las variables en cada paso, se obtienen los valores esperados en el mismo, y en el último paso es decir “0” obtiene el valor de \$210.373.225, el cual es el valor de la opción de venta o de abandono.

### **Construcción de obras civiles y geotécnicas para la construcción del gasoducto del Sur Peruano en 62 Km. Pk 40+600 al Pk 102+020. (GSP)**

El 23 de julio de 2014, el Estado Peruano firmo el “contrato de concesión del proyecto mejoras a la seguridad energética del país y desarrollo del gasoducto sur peruano” con la empresa Peruana Gasoducto Sur Peruano S.A., el proyecto consta de un sistema de ductos que tienen como fin el dar redundancia al sistema de transporte de hidrocarburos existente, así como transportar gas natural y líquidos asociados al Perú.

De acuerdo al contrato, la concesionaria es responsable por el diseño, financiamiento, construcción, suministro de bienes y servicios, explotación de los bienes de la concesión,

operación, mantenimiento y transferencia de estos al Estado, al término del plazo del contrato que es 34 años.

El proyecto Gasoducto Sur Peruano (GSP) es el proyecto energético más ambicioso en la historia del Perú. EL GSP partirá de Cusco y recorrerá el país, posibilitando que las regiones de Cusco, Apurímac, Puno, Arequipa, Moquegua y Tacna se beneficien de este combustible económico y amigable con el medio ambiente.

EL GSP contará con un diámetro de 32 pulgadas, en una longitud de 828 Km, 24” en una Longitud de 204Km, 14” en una Longitud de 102Km para un total de 1.134Km de construcción, adicionalmente se construirá una estación de compresión de Ticumpina, de aproximadamente 90.000 hp, 3 Estaciones reguladoras en Quillabamba, Cusco y Anta, 7 estaciones de medición y un punto de conexión con el ducto de TGP.

Recuperado de: <http://www.gasoductodelsur.pe/gasoducto.ph>, en año 2017

El sistema recorrerá 1.134 kilómetros desde el yacimiento de Camisea en la selva de Cusco, hasta la provincia costeña de Ilo, en Moquegua, alcanzando una altura máxima de 4.890 metros sobre el nivel del mar, lo que representa grandes desafíos para su construcción.

El Gasoducto Sur Peruano es una Concesión privada de 34 años y cuenta con una inversión de US 7.328 Millones. Fue adjudicado a Oderecht Latinvest (75%) y Enagas (25%).

Recuperado de: <http://www.odebrecht.com.pe/negocios/infraestructura/obras-actuales/gasoducto-sur-peruano>

La empresa Gasoducto del Sur Peruano S.A. contrató a la empresa Sicim SPA Sucursal de Perú mediante un contrato de construcción llave en mano a suma alzada para la ingeniería constructiva, los materiales, la construcción del sistema de transporte del Proyecto “mejorías de la seguridad energética del país y desarrollo del gasoducto sur Peruano”, Sicim a su vez

subcontrato a la empresa PBR Technology para la ingeniería en campo, suministro de materiales, realización de las obras civiles y geotécnicas del Gasoducto Sur Peruano entre las progresivas Pk 40+600 al Pk 102+020. Contrato soporte para la Valoración por Opciones Reales.

### **Características Principales del Contrato**

**Objeto:** ingeniería en campo, suministro de materiales, realización de las obras civiles y geotécnicas del Gasoducto Sur Peruano entre las progresivas Pk 40+600 al Pk 102+020.

**Opcional:** SICIM se reserva el derecho de extender el alcance del subcontrato a PBR adicionando otros tramos a definir del gasoducto. En caso de aplicarse esta opción, las partes concordaran el cronograma y otros términos.

**Alcance:** Comprende la provisión total de los equipos, mano de obra calificada, dispositivos y consumibles necesarios para la construcción de las obras y dar cumplimiento al objeto. PBR realizará todas tareas necesarias, dentro del alcance de su prestación para completar las actividades de construcción en tiempo y forma para que SICIM complete el proyecto de acuerdo a su programa de construcción.

El alcance de PBR es el de realizar los trabajos que se describen a continuación:

- Localización y Geo-referencia del D.d.V. y de las áreas adicionales como shoe fly, botaderos, etc. (incluida la construcción de puntos de control).
- Tala y desbroce.
- Geotecnia Preliminar.
- Apertura, adecuación, conformación y mantenimiento del D.d.V. y de las áreas adicionales como shoe fly, botaderos, etc.
- Apertura de zanja.
- Pretapado.

- Instalación de Bitubo (excluido el suministro de material).
- Tapado.
- Reconfiguración.
- Restauración y Geotecnia Final.

**Valor estimado del contrato;** 47.477.600 USD. El valor final del contrato se determinará por los siguientes precios:

De KP	A Kp	M	USD/m	Tot. USD
40+600	78+520	37.920	905	34.317.600
78+520	102+020	23.500	560	13.160.000

**Plazo de ejecución;** de acuerdo al PDT

### Valoración:

Para la valoración de este proyecto aplicaremos las teorías de CAPM, WACC, VPN y Valoración por Opciones Reales, de acuerdo a lo expuesto en la valoración del proyecto Oleoducto Bicentenario de Colombia, utilizando la información macroeconómica de Perú.

### Aplicación del modelo CAPM

Se utiliza el modelo para calcular el costo que tiene el capital invertido por el accionista:

$$E(K_e) = E(R_f) + \beta_L(E(R_m) - E(R_f)) + \text{Prima Riesgo País}$$

$E(R_f)$ : Tasa libre de riesgo 1.573% T-Bond 5Y, tomada de <https://es.investing.com/rates-bonds/u.s.-5-year-bond-yield-historical-data>, el 05 de marzo de 2015.

$E(R_m) - E(R_f)$ : **Prima de riesgo de Mercado:** 5.670%, cálculos Damodaran tomada de <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>, con fecha 05 de marzo de 2015.

$\beta_L$ : **Beta apalancado al Proyecto:** Se Determina de la siguiente forma:

**Tabla 7.**  
*Cálculos Beta*

Descripción	Valor / %	Referencia
Sector	Oil/Gas (Production and Exploration)	<a href="http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html">http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html</a>
Beta Apalancado Sector	1,3773521	<a href="http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html">http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html</a>
Beta Desapalancado Sector	0,9380372	<a href="http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html">http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html</a>
Beta desapalancado estructura de mercado D/E ratio del sector - Oil/Gas (production and exploration)	0,9380372	Calculo con la formula de desapalancar $B_m = BL / (1 + ((1-T) * (D/T)))$
D/E Sector	47%	<a href="http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html">http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html</a>
Tax Sector	0%	<a href="http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html">http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html</a>
Tax Empresa en Perú	30%	
Beta Apalancado Empresa (de acuerdo a Estructura de Capital)	0,9380372	Calculo con la formula de Apalancar $BL = B_m * (1 + ((1-T) * (D/T)))$
D/E Empresa	-	

**Fuente:** Elaboración propia

Considerando los siguientes datos:

- La obra a ejecutar pertenece al sector de Oil/Gas (Production and Exploration).
- El beta apalancado y desapalancado del sector se toma de cálculo realizado por Damodaran.
- El proyecto no requirió financiación por parte de terceros. Inversión 100% equity y el capital de trabajo se financió con anticipo entregado por el cliente.
- No tiene efecto la tasa impositiva del país, debido a que el proyecto no necesitó deuda.

**Prima Riesgo País:** 1.680% se toma del indicador EMBI + (Emerging Markets Bond Index Plus) de <http://www.ambito.com/economia/mercados/riesgo-pais/info/?id=13>, el 5 de marzo de 2011.

$$E(K_e) = E(R_f) + \beta_L(E(R_m) - E(R_f)) + \text{Prima Riesgo País}$$

Reemplazando:

$$E(K_e) = 1.573\% + 0.9380(5.670\%) + 1.680\%$$

$$E(K_e) = 8.57\%$$

Se realiza el ajuste por la inflación esperada para cálculo de la devaluación esperada.

Descripción	Tasa	Referencia	Fecha
Bono Perú en USD 5Y	4,100%	<a href="https://es.investing.com/rates-bonds/peru-5-year-bond-yield-historical-data">https://es.investing.com/rates-bonds/peru-5-year-bond-yield-historical-data</a>	05/03/2015
US Treasury Yields 5Y	1,573%	<a href="https://es.investing.com/rates-bonds/u.s.-5-year-bond-yield-historical-data">https://es.investing.com/rates-bonds/u.s.-5-year-bond-yield-historical-data</a>	05/03/2015

Se toma el bono emitido por el Estado de Perú en USD a 5 años y el bono del tesoro emitido por el gobierno de Estados Unidos.

Calculo devaluación esperada:

$$\text{Devaluación Esperada} = \left( \left( \frac{1 + 0.041}{1 + 0.01573} \right) - 1 \right)$$

$$\text{Devaluación Esperada} = 2.488\%$$

Ajustando por la devaluación el  $E(K_e) = 8.5\%$ , se obtiene el valor de  $E(K_e) = 11.27\%$  para Perú.

### **Aplicación del WACC para determinar la tasa de descuento para los flujos esperados**

En la valoración de GSP para las obras civiles y de geotecnia de un tramo de 62km, no se requirió financiación externa, debido a que los activos para ejecutar este proyecto son propios, los costos de importación, nacionalización y capital de trabajo inicial fueron financiados mediante anticipo.

$$WACC = K_d(1-t) * \left( \frac{D}{D+E} \right) + K_e * \left( \frac{E}{D+E} \right)$$

Información del Proyecto:

$$\text{Costo Deuda (Kd)} = 0$$

$$\text{Costo Equity (Ke)} = 11.27\%$$

$$\text{Valor Deuda (D)} = 0$$

Valor Equity (E) = US 8.106.194

Tasa Impuestos (t) =30%

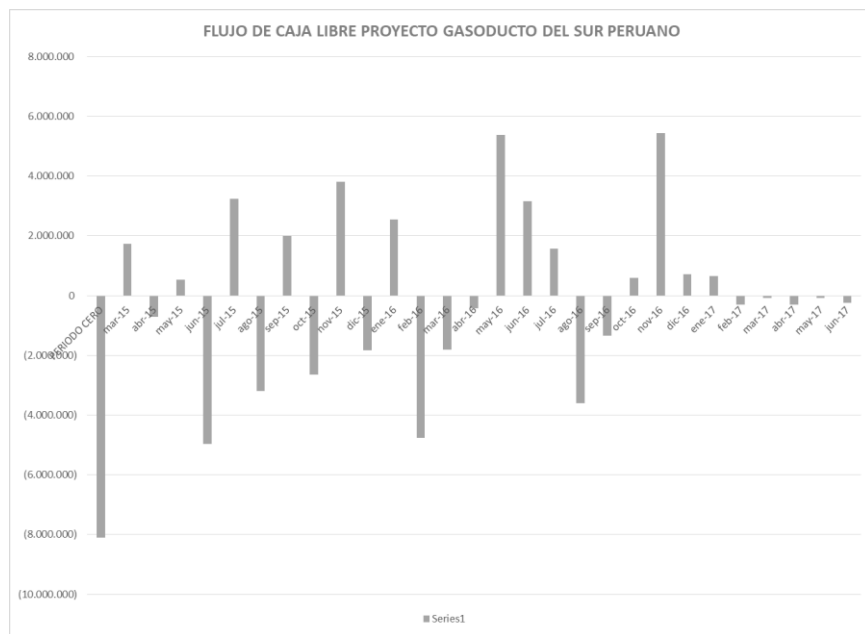
$$WACC = 0(1-0.3) * \left(\frac{0}{0+8.106.194}\right) + 0.1127 * \left(\frac{8.106.194}{0+8.106.194}\right)$$

WACC = 11.27% Anual

WACC = 0.894% Mensual

**Determinación de flujos de caja libre, mediante información de mercado, bases de datos e información Corporativa.**

**Grafico 8.**  
*Flujo de caja inicial*



**Fuente:** Elaboración Propia

El anterior grafico corresponde al flujo de caja libre, determinado de acuerdo a su inversión, rotación capital de trabajo operativo, sus ingresos, costos y gastos. Las siguientes son las correspondientes valoraciones de acuerdo a 4 métodos.

**Tabla 9.**

*Valoración métodos tradicionales*

METODO		RESULTADO	FORMULA	CRITERIO DECISIÓN	PROYECTO
VALOR PRESENTE NETO	VPN	-4.049.677	$VPN = -Inversión_0 + \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1 + CostoCapital)^i}$	Si; VPN > 0; Aceptar Proyecto VPN < 0 No aceptar VPN = 0 No Aceptar	NO ACEPTAR
TASA INTERNA DE RETORNO	TIR	-1,89%	$VPN = -Inversión_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FCL_i}{(1 + TIR)^i} = 0$	Si; TIR > WACC; Aceptar TIR < WACC No aceptar TIR = WACC Aceptar	NO ACEPTAR
RELACIÓN ENEFICIO COSTO	RBC	1,13	$RBC = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Ingresos_i}{(1 + WACC)^i}}{\sum_{i=0}^n \frac{Egresos_i}{(1 + WACC)^i}}$	Si; RBC > 1; Aceptar RBC < 1 No aceptar 1 Aceptar	ACEPTAR
INDICE DE RENTABILIDAD	IRR	-0,50	$IR = \frac{VNA + Inversión_0}{Inversión_0}$	Si; RBC > 1; Aceptar RBC < 1 No aceptar 1 Aceptar	NO ACEPTAR

**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo a la valoración realizada, el GSP es un proyecto que no se debe aceptar por sus características y resultados de valoración. El VPN obtenido indica que el proyecto destruye valor por US 4.049.677, al TIR de -1.89% es negativa y menor al WACC 0.894%, lo que indica que el proyecto genera una menor rentabilidad a la esperada, la RBC nos indica que la inversión se recuperará y el IRR se encuentra en el rango de recuperación de inversión y equilibrio, sin embargo, no alcanza a cubrir la inversión inicial.

En el mes de octubre de 2015 se evalúa la posibilidad de ampliar el proyecto, debido a cambios en la ingeniería que ocasionan mayores costos, y por ende, generan mayores ingresos, para lo cual se requiere realizar una inversión en maquinaria y equipos especiales para el nuevo procedimiento constructivo. Modificación que consiste en reevaluar el precio unitario establecido, debido a que en la ingeniería se contempla el trabajo en pendientes no superiores a 20 grados, sin embargo, al realizar la actividad en campo, se han encontrado pendientes superiores de hasta 35 grados, al aumentar la pendiente esperada, se requiere maquinaria especializada, personal especializado y procesos constructivos diferentes a los establecidos inicialmente. Adicional a

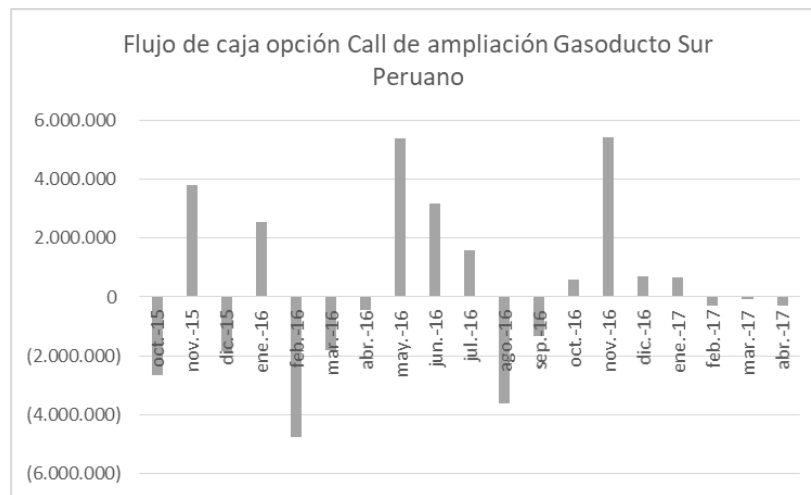
esto, se contempla la construcción de campamentos cerca a los derechos de vías para reducir tiempos de movilización del personal.

### Valoración por Opciones Reales

Se utiliza la opción de compra u Opción Call, de acuerdo los parámetros dados en párrafos anteriores, en donde se determina el nuevo flujo de caja:

**Grafico 9.**

*Flujo de caja opción de ampliación*



**Fuente:** Elaboración propia

El Valor Presente Neto o precio Spot de la opción de compra equivale a US 6.016.918, se determinan las siguientes variables para realizar la valoración de la opción real Tipo Call mediante método Binomial.

**Tabla 10.**

*Descripción y valores de las variables.*

Descripción	Variable	Valor	Observación
Tasa Libre de Riesgo	Rf	0,13%	Conversión Mensual de tasa libre de riesgo
Precio Acción	S	6.016.918	VAN De los flujos que generaría la ampliación 1,573%
Precio Ejercicio	X	2.649.560	Inversión a Realizar para ampliar y continuar con los trabajos
Plazo al Vto (meses)	t	19	plazo de vencimiento del proyecto
Volatilidad (anual)	$\sigma$	13,38%	Volatilidad implícita mercado de opciones de un índice internacional MSCI Oil&Gas: 13,37%.
No de Pasos	n	6	Meses que podría tardar en tomar la decisión
Delta T	$\Delta t$	3	Variación tiempo vencimiento respecto al Numero de Pasos

**Fuente:** Elaboración propia

Posteriormente realizamos el cálculo de los coeficientes de ascenso “u” y descenso “d” de la siguiente forma:

$$u = e^{\delta \cdot \sqrt{\Delta t}}, \text{ es decir que } u = e^{0.13375 \cdot \sqrt{3}}; \quad u = 1.2687$$

$$d = \frac{1}{u}; \quad \text{es decir que } d = \frac{1}{1.2687}; \quad d = 0.7882$$

El coeficiente de ascenso “u” es de 1.2687 y el coeficiente de descenso “d” es de 0.782, para cada paso o tiempo que demore en tomar la decisión de realizar la inversión.

Se realiza la multiplicación del valor Spot o VPN del proyecto por el coeficiente de ascenso y por el coeficiente de descenso  $S * u$  y  $S * d$ , para cada paso, y así sucesivamente hasta completar los pasos o periodos estimados para tomar la decisión, que en el caso de la opción de compra o Call, o de ampliación presentada en el GSP, es de 6 meses.

### Grafico 10.

#### *Proyección precio del Valor Presente Neto*

Proyección Precio del Activo

	0	1	2	3	4	5	6
0	6.016.918	7.633.795	9.685.161	12.287.774	15.589.766	19.779.074	25.094.141
1		4.742.504	6.016.918	7.633.795	9.685.161	12.287.774	15.589.766
2			3.738.018	4.742.504	6.016.918	7.633.795	9.685.161
3				2.946.286	3.738.018	4.742.504	6.016.918
4					2.322.248	2.946.286	3.738.018
5						1.830.384	2.322.248
6							1.442.699

**Fuente:** elaboración propia

Posterior a la proyección binomial del precio del activo, con dichos valores se calcula el valor intrínseco o de la opción de la siguiente forma:

Como la opción de ampliación se considera opción Call, por otorga el derecho de comprar el VPN de los flujos de caja futuros generados por la ampliación, a cambio de una inversión, entonces:

$$f = \max(S - X; 0) \text{ por ejemplo; } f = \max(25.094.141 - 2.649.560; 0)$$

$$f = 22.444.581$$

El anterior criterio se utiliza para todos los valores del paso número 6, último paso. Para los pasos evaluados de derecha a izquierda, 5-4-3-2-1 y 0 utilizamos la siguiente formula:

$$f = e^{-r\Delta t}[pfu + (1 - p)fd];$$

Sin embargo faltaría realizar el cálculo de las probabilidades de ascenso “p” y de descenso “(1-p)”, las cuales calcularemos a continuación:

$$p = \frac{e^{Rf*\Delta t} - u}{u - d}; \text{ reemplazando } p = \frac{e^{0.0013*3} - 1.2687}{1.2687 - 0.7882}; \text{ es decir } p = 0.449$$

$$(1 - p) = 1 - 0.449 = 0.551$$

Calculadas las probabilidades de ascenso y descenso se calcula el VPN en cada paso desde el 5 al 0 del valor de la opción de compra con la formula antes dada, reemplazando:

$$f = e^{-0.0013*3}[0.449 * 22.444.581 + 0.551 * 12.940.206]$$

$$f = 17.140.490$$

Se realiza el cálculo para los demás valores tal cual se muestra en el siguiente cuadro:

### Grafico 11.

*Proyección valor de la Opción.*

Proyección Valor Opción

	0	1	2	3	4	5	6
0	3.508.872	5.054.877	7.079.231	9.671.004	12.962.111	17.140.490	22.444.581
1		2.273.362	3.440.567	5.017.025	7.057.506	9.649.189	12.940.206
2			1.337.737	2.179.683	3.389.264	4.995.210	7.035.601
3				660.554	1.208.759	2.103.920	3.367.358
4					218.040	487.163	1.088.458
5						0	0
6							0

**Fuente:** Elaboración propia

El Valor Presente Neto de la opción de compra Call o de ampliación de proyecto es de US 3.508.872, teniendo en cuenta las diferentes opciones de valor Spot o VPN del proyecto, indicando los valores para cada paso, entendiendo que se puede ejercer en cualquier momento al ser Opción tipo Americana.

### **Método Binomial opción de venta Put Gasoducto del Sur Peruano.**

A finales del años 2015, el Gasoducto del Sur Peruano se venía ejecutando, no obstante para PBR Technology presentaba diferentes dificultades, tanto técnicas como económicas, si bien se había solicitado la opción de ampliar el contrato, este se seguía ejecutando de la misma forma, es decir, las pendientes contratadas eran diferentes, los accesos no contaban con sus respectivos permisos y por dificultades geográficas de la zona, la producción era escasa. Sin embargo, la raíz de los problemas no era esta, paralelamente se anunciaban investigaciones y declaraciones involucrando a Odebrecht (socio principal del Gasoducto del Sur Peruano) en actos de corrupción en Brasil y se venía extendiendo por Sur América, llegando a Perú y Colombia. Esta situación terminaría afectando la liquidez del proyecto, debido a que a finales del 2015 aún estaba en etapa de preconstrucción, y según el contrato de concesión firmado entre el Estado y GSP, para pasar a la etapa de construcción se tendría que dar cumplimiento a algunos requisitos, dentro de los cuales se encontraba certificar un cierre financiero, es decir, la financiación del proyecto por parte de alguna entidad financiera; dichas comunicaciones incrementaron el riesgo de imagen y de cumplimiento de parte de Odebrecht ,y por ende de GSP, por lo tanto fue imposible lograr el cierre financiero por parte de Odebrecht, a quien meses posteriores le caducaran el contrato.

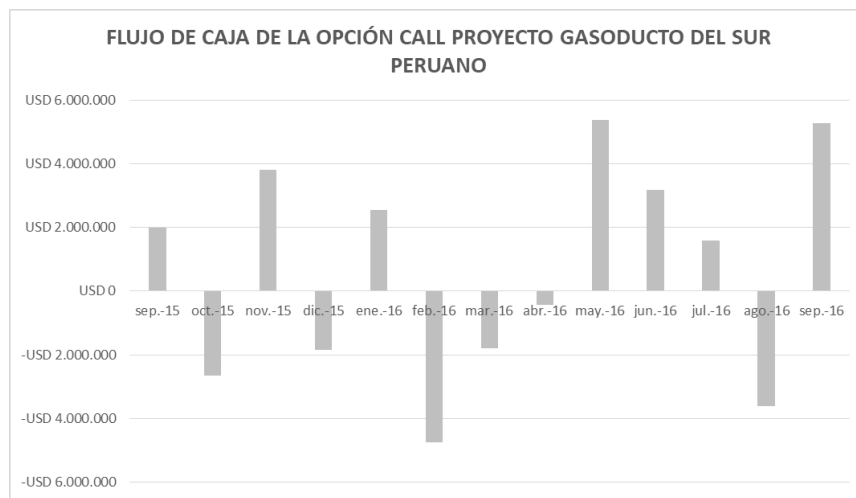
En enero de 2016, PBR Technology recibe la opción de su cliente Sicim (Contratista de Construcción del GSP) para abandonar o retirarse del proyecto debido a los inconvenientes antes expuestos.

PBR Technology, al tener la opción de abandono da origen a la opción de venta (Put) en la cual se evalúa entregar el VPN de los flujos del proyecto a cambio de los valores de liquidación del contrato y un ahorro de costos para evitar un proyecto con un alto grado de incertidumbre.

Se determina el VPN del flujo de caja que se vendería:

**Grafico 12.**

*Flujo de caja de la opción*



**Fuente:** Elaboración propia

El Valor Presente Neto o precio Spot de la opción de venta equivale a US 6.880.406, se determinan las siguientes variables para realizar la valoración de la opción real Tipo Put, mediante método Binomial.

**Tabla 11.**

*Descripción y valor de las variables.*

Descripción	Variable	Valor	Observación
Tasa Libre de Riesgo	$R_f$	0,13%	Conversión Mensual $R_f$
Precio Acción	$S_0$	6.880.406	VAN De los flujos que generaría continuar el proyecto
Precio Ejercicio	$K$	10.820.435	Valor al que se tiene derecho si se decide abandonar
Plazo al Vto (meses)	$t$	17	plazo de vencimiento del proyecto
Volatilidad (anual)	$\sigma$	13,38%	Volatilidad implícita mercado de opciones de un índice internacional MSCI Oil&Gas: 13,37%.
No de Pasos	$n$	3	Meses que podría tardar en tomar la decisión
Delta T	$\Delta t$	6	Variación tiempo vencimiento respecto al Numero de Pasos

**Fuente:** Elaboración Propia

Determinando las variables de la opción de venta, procedemos a calcular la opción de venta Put o de abandono, se calculan el coeficiente de ascenso “u” y el coeficiente de descenso “d” con la siguiente formula, la cual determina el valor máximo de ascenso y valor máximo de descenso:

$$u = e^{\delta \cdot \sqrt{\Delta t}}, \text{ es decir que } u = e^{0.13108 \cdot \sqrt{3}}; \quad u = 1.3749$$

$$d = \frac{1}{u}; \quad \text{es decir que } d = \frac{1}{1.3749}; \quad d = 0.7273$$

Teniendo el valor de los coeficientes, se determinan los valores que podría tomar el activo en un mecanismo binomial:

**Tabla 12.**

*Proyección precio del Valor Presente Neto*

*Proyección Precio del Activo*

	0	1	2	3
0	6.880.406	9.459.943	13.006.575	17.882.878
1		5.004.257	6.880.406	9.459.943
2			3.639.696	5.004.257
3				2.647.224

**Fuente:** Elaboración propia

Cálculo probabilidades de ascenso y descenso:

$$p = \frac{e^{Rf \cdot \Delta t} - d}{u - d}; \text{ reemplazando } p = \frac{e^{0.0013 \cdot 3} - 0.7273}{1.3749 - 0.7273}; \text{ es decir } p = 0.433$$

$$(1 - p) = 1 - 0.433 = 0.567$$

Cálculo del valor de la opción:

$$f = \max(X - S; 0);$$

Máximo entre la diferencia del valor strike o valor que se recibiría por abandonar el contrato y el valor Spot o VPN de los flujos de caja que se abandonarían y comparándolo con cero.

Se utiliza para los últimos valores de VPN determinados, para este caso es el paso número 3. En los paso 2 – 1 y 0 se realiza el cálculo mediante la siguiente fórmula para cada opción en cada paso:

$$f = e^{-r\Delta t}[pfu + (1 - p)fd]$$

**Tabla 13.**  
*Proyección valor de la opción.*

*Proyección Valor Opción*

	0	1	2	3
0	4.353.649	2.539.302	771.790	0
1		5.738.624	3.887.832	1.360.493
2			7.151.948	5.816.178
3				8.173.211

**Fuente:** Elaboración propia

Es decir, mediante la fórmula anterior se trae el valor de la opción a Valor Presente Neto, dando la posibilidad de ser ejecutado en cualquier momento, tal cual funciona una opción tipo americano y diferente al método Black and Sholes, el cual se aplica para la opción tipo europea, la cual se puede ejercer únicamente al vencimiento.

El valor de la opción de venta Put o de abandono es de US 4.353.649.

### **Valoración mediante el procedimiento Black and Sholes Merton**

Método utilizado para realizar la valoración de opciones, el cual se puede utilizar también para la valoración de opciones reales de tipo europea, es decir, que se puede ejercer al vencimiento, para los proyectos Oleoducto Bicentenario de Colombia y Gasoducto del Sur Peruano, expuestos en los párrafos anteriores. Realizaremos el cálculo de acuerdo a la formula definida para conocer el valor que tendría:

## Oleoducto Bicentenario de Colombia

Opción de compra Call o de ampliación con fecha de ejercicio al vencimiento de la opción

**Tabla 14**

*Valoración opción Call con método Black And Sholes, Merton*

BLACK SCHOLES MERTON			
VARIABLES DE ENTRADA		RESULTADOS	
SPOT / VPN FLUJOS	\$2.310.836.524,08	D1	- 3,311482
STRIKE / INVERSIÓN	\$7.246.832.248,02	D2	- 3,639101
VOLATILIDAD	13%	N(D1)	0,000464
R / TASA LIBRE DE RIESGO	0,07%	N(D2)	0,000137
T AÑOS / DIFERIR EL PROYECTO	6,00	PRECIO OPCIÓN CALL	<b>\$85.265,28</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Opción de Venta Put o de abandono con fecha de ejercicio al vencimiento de la opción:

**Tabla 15.**

*Valoración opción Put con método Black And Sholes, Merton*

BLACK SCHOLES MERTON			
VARIABLES DE ENTRADA		RESULTADOS	
SPOT / VPN FLUJOS	\$7.357.393.327,33	D1	1,996704
STRIKE / INVERSIÓN	\$5.141.694.889,75	D2	1,807553
VOLATILIDAD	13%	N(-D1)	0,022929
R / TASA LIBRE DE RIESGO	0,07%	N(-D2)	0,035338
T AÑOS / DIFERIR EL PROYECTO	2,00	PRECIO OPCIÓN	<b>\$12.735.928,64</b>

**Fuente:** Elaboración propia

## Gasoducto del sur peruano

Opción de compra Call o de ampliación con fecha de ejercicio al vencimiento de la opción

**Tabla 16.***Valoración opción Call con método Black And Sholes, Merton*

BLACK SCHOLES MERTON			
VARIABLES DE ENTRADA		RESULTADOS	
SPOT / VPN FLUJOS	\$6.016.918,01	D1	2,691276
STRIKE / INVERSIÓN	\$2.649.559,92	D2	2,363657
VOLATILIDAD	13%	N(D1)	0,996441
R / TASA LIBRE DE RIESGO	0,13%	N(D2)	0,990952
T AÑOS / DIFERIR EL PROYECTO	6,00	PRECIO OPCIÓN CALL	<b>\$3.390.485,99</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Opción de Venta Put o de abandono con fecha de ejercicio al vencimiento de la opción:

**Tabla 17.***Valoración opción Putl con método Black And Sholes, Merton*

BLACK SCHOLES MERTON			
VARIABLES DE ENTRADA		RESULTADOS	
SPOT / VPN FLUJOS	\$6.880.405,87	D1	- 1,821590
STRIKE / INVERSIÓN	\$10.820.435,40	D2	- 2,053252
VOLATILIDAD	13%	N(-D1)	0,965741
R / TASA LIBRE DE RIESGO	0,13%	N(-D2)	0,979976
T AÑOS / DIFERIR EL PROYECTO	3,00	PRECIO OPCIÓN	<b>\$3.917.455,96</b>

**Fuente:** Elaboración propia

## CONCLUSIONES

Al realizar las valoraciones de los proyecto Oleoducto Bicentenario de Colombia y Gasoducto del Sur Peruano, se refleja que la valoración mediante Valor Presente Neto, Tasa interna de Retorno y demás métodos clásicos de valoración, no son suficientes para realizar la valoración de un proyecto de infraestructura, dado que no capturan la flexibilidad e incertidumbre que puede presentar un proyecto. Por lo tanto, se hace necesario complementarla mediante el uso de la valoración por opciones reales, método que incorpora dentro de su valoración las diferentes opciones y variables que también pueden interrelacionarse dentro de un mismo proyecto.

El método de Valoración por Opciones Reales más adecuado para proyectos de infraestructura el Binomial utilizado para opciones americanas, lo que indica que se pueden ejercer en cualquier momento.

Para efectos de incorporar los riesgos asociados al proyecto, se estimó el costo de capital mediante el método CAPM, logrando un mayor acercamiento a la realidad y estimación de los riesgos.

La valoración de un proyecto de infraestructura por la metodología planteada, en la cual se incorporan riesgos en la tasa de descuento, se determinan los flujos de caja esperados, posteriormente se valora el proyecto mediante Valor Presente Neto, TIR, IRR, RBC para obtener la aceptabilidad o no del mismo. Si existiera una posibilidad que el proyecto cambie, se plantea la valoración mediante opciones reales, en donde se determina qué tipo de opción real es, relacionándola con las opciones financieras de compra o venta, tanto en corto como en largo, incorporando los nuevos flujos de caja el nuevo VPN, y posteriormente de acuerdo a la opción definida se calcula el valor de la opción.

Para el Oleoducto Bicentenario de Colombia y Gasoducto del Sur Peruano, el proceso resultó beneficioso ya que se logró determinar, en los dos casos, tanto de ampliación como de abandono, el valor que tendría tomar o no tomar la opción. En proyectos que inicialmente no eran tan atractivos, incluso para el caso del GSP, la decisión era de no ejecutar el proyecto.

## Referencias

- Allen F., Myers S. y Brealy R. (2010). Principios de Finanzas Corporativas novena edición..  
Mexico, D.F: McGraw-Hill.
- Ambito.com. (2017). Ambito.com Sitio de Información, recuperado de  
<http://www.ambito.com/economia/mercados/riesgo-pais/info/?id=4&desde=11/11/2011&hasta=11/05/2017&pag=48> el 22 de noviembre de 2011.
- Andia Valencia W. (2011). Indicador de Rentabilidad de Proyectos: el Valor Actual Neto (VAN) o el Valor Economico Agregado (EVA). *Revista de Ingenieria Industrial* 15, 18.
- Ayús, A. L. T., Velásquez, R. E. A., et al. (2012). Las opciones reales como metodología alternativa en la evaluación de proyectos de inversión. *Ecos de Economía*, 16(35), 29–44.
- Dixit, A.K. y Pindick, R.S. (1994). *Investment under Uncertainty*. Princeton: University Press.  
Princeton.
- Damodaran. (2017). Damodaran online Sitio Educativo, recuperado de  
<http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar> en el año 2017.
- Fernandez, P. (1996). Opciones, Futuros e Instrumentos Derivados. En P. Fernandez, Opciones, Futuros e Instrumentos Derivados (págs. 19-22). España: Ediciones Deusto S.A.
- Fernandez, V. (2005). El modelo CAPM para distintos horizontes de tiempo. En Revista de ingenieria de Sistemas Volumen XIX (págs. 07-18).
- Fernández, M. R. (2007). Problemática del Riesgo en los Proyectos de Infraestructura y en los Contratos Internacionales de Construcción, La. *Rev. E-Mercatoria*, 6, 1.
- Fernández, C., María, A., y Tamayo Bustamante, V. (2009). Decisiones de inversión a través de opciones reales. *Estudios Gerenciales*, 25(111), 107–126.

- Forcael, E., Andalaft, A., Schovelin, R., y Vargas, P. (2013). Aplicación del método de opciones reales en la valoración de proyectos inmobiliarios. *Obras Y Proyectos*, (14), 58–70.
- Gasoducto Sur Peruano. (2017). Gasoductodelsur.pe Sitio Institucional, Recuperado de <http://www.gasoductodelsur.pe/gasoducto.ph> en el año 2017.
- Hull, J. (2009). Introducción a los mercados de futuros y opciones (págs. 185-292). Estado de Mexico: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
- Ho, S. P., & Liu, L. Y. (2002). An option pricing-based model for evaluating the financial viability of privatized infrastructure projects. *Construction Management and Economics*, 20(2), 143–156. Disponible en: <http://doi.org/10.1080/01446190110110533>. Noviembre 2016
- Investing.com. (2017). Investing.com Sitio de Información, recuperado de <https://es.investing.com/rates-bonds/u.s.-5-year-bond-yield-historical-data>
- Mascareñas, J. (2007). Opciones reales en la valoración de Proyecto de Inversión. Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas 1-36.
- Oderecht. (2017). Odebrecht.com.pe Sitio Institucional, Recuperado de <http://www.odebrecht.com.pe/negocios/infraestructura/obras-actuales/gasoducto-sur-peruano> en el año 2017.
- Oleoducto Bicentenario. Disponible en: <http://negociospetroleo.com/es/2014/11/11/retos-e-innovaciones-del-oleoducto-bicentenario-en-colombia/>, Marzo de 2017.
- Paddock, J. L., Siegel, D. R., & Smith, J. L. (1988). Option Valuation of Claims on Real Assets: The Case of Offshore Petroleum Leases. *The Quarterly Journal of Economics*, 103(3), 479. Disponible en: <http://doi.org/10.2307/1885541>, Marzo de 2016.
- Rózsa, A. (2015). Real Option as a Potential Link between Financial and Strategic Decision-

making. *Procedia Economics and Finance*, 32, 316–323. Disponible en:

[http://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)01398-2](http://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)01398-2). Marzo de 2016.

Sánchez, G. (2015). *Finanzas corporativas*. Notas de clase EAFIT. Marzo de 2015.

Sicim Worldwide EPC Solutions. (2017). Sicim.eu Sitio Institucional, Recuperado de

<http://www.sicim.eu/>, en el año 2017.

Suarez, A. (2005). E-print Complutense. Biblioteca Universidad Complutense. Disponible en:

<http://eprints.ucm.es/6820/1/0404.pdf>. Recuperado el 02 de 12 de 2010.

Vanegas, F., & Fundia, A. (2006). Opciones reales, evaluación financiera de proyectos y

estrategías de negocios: Aplicaciones al caso mexicano. *El trimestre económico*, vol.

*LXXIII*, núm. 290, 363-405.