



**EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE DESARROLLO DE CAMPOS
PETROLEROS UTILIZANDO OPCIONES REALES**

JAVIER MAURICIO LEÓN ORTEGA

DIRECTOR

BERNARDO LEÓN CAMACHO

Colegio de Estudios Superiores de Administración – CESA –

Maestría en Finanzas Corporativas

Bogotá D.C.

2017

AGRADECIMIENTOS

Para la realización de este trabajo de grado agradezco de manera muy especial al Profesor Bernardo León, quien con sus conocimientos dio luz en este proceso y fuera parte fundamental de la motivación necesaria para el logro de cada uno de los procesos de investigación requeridos.

Agradezco también y sobre todo a mi papá por haber sido a través de los años mi mayor ejemplo, apoyo y fuente inagotable de energía para conseguir cada uno de los peldaños que he logrado alcanzar. Ha sido mi coach en todos mis proyectos, en este que terminó, y en todos los que vendrán.

“¿podrías decirme, por favor, ¿qué camino debo seguir para salir de aquí?
-Esto depende en gran parte del sitio al que quieras llegar - dijo el Gato.
-No me importa mucho el sitio... -dijo Alicia.
-Entonces tampoco importa mucho el camino que tomes - dijo el Gato.
- ... siempre que llegue a alguna parte - añadió Alicia como explicación.
- ¡Oh, siempre llegarás a alguna parte - aseguró el Gato -, si caminas lo bastante!
”

Alicia en el País de las Maravillas - (Carroll, 1865)

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 Planteamiento problema y justificación	7
1.2 Estado del arte	13
1.3 Hipótesis	22
2. PROYECTO DE DESARROLLO CAMPOS PETROLEROS	23
2.1 Definición proyecto	23
2.2 Análisis de yacimientos y reservas para producción petrolera	26
2.3 Análisis de datos del proyecto	27
3. VALORACIÓN FINANCIERA	33
3.1 Marco teórico	34
3.2 Construcción flujo de caja	36
3.2.1 Cálculo de valores de crudo y Agua	37
3.2.2 Definición y Cálculo Costos Operativos	38
3.2.3 Definición y Cálculo inversiones	39
3.2.4 Definición y Cálculo Regalías	40
3.2.5 Definición y Cálculo Depreciación	42
3.2.6 Valor Proyectado venta crudo	45
3.3 Análisis tasa de descuento	46
3.3.1 Marco Teórico	46
3.3.2 Determinar CAPM – WACC	52
3.4 Evaluación Valor Presente Neto	53
4. VOLATILIDAD	55
4.1 Análisis distribuciones de probabilidad de las variables del modelo	56
4.1.1 Análisis distribución probabilidad producción agua y crudo	56
4.1.2 Análisis distribución probabilidad Inversiones	58
4.1.3 Análisis distribución de probabilidad costos Operativos	60
4.1.4 Análisis distribución probabilidad WACC – Intereses – Amortización	62
4.1.5 Análisis distribución probabilidad precios crudo	64
4.1.5.1 Ajustar distribución de datos precio crudo	64
4.1.5.2 Pruebas Bondad de Ajuste	65
4.1.5.2.1 Marco Teórico	65
4.1.5.2.2 Chi Cuadrado	67

4.1.5.2.3	Kolmogorov Smirnov	68
4.1.5.2.4	Anderson Darling	70
4.1.5.2.5	P – Value	71
4.1.5.3	Distribución probabilidad Precio crudo	71
4.2	Volatilidad Proyecto	73
4.3	Volatilidad Valor Presente Neto	76
4.4	Volatilidad Variables Relevantes	76
5.	OPCIONES REALES	79
5.1	Marco teórico	79
5.2	Árboles Binomiales	90
5.2.1	Modelo matemático Árboles	91
5.2.1.1	Definición de parámetros de evaluación	92
5.2.2	Evaluación Opción abandonar	95
5.2.2.1	Análisis Valor Abandonar	95
5.2.2.1.1	Contratos Petroleros	97
5.2.2.1.1.1	Contrato de producción Incremental:	98
5.2.2.1.1.2	Contrato de producción compartida	98
5.2.2.2	Evaluación Opción Abandonar	99
5.2.3	Opción Expansión	101
5.2.3.1	Análisis Valor Expansión	101
5.2.4	Opción Contracción	103
5.2.4.1	Análisis Valor Contracción	103
5.2.5	Opción Choose	105
6.	CONCLUSIONES	108
7.	BIBLIOGRAFÍA	111

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Planes inversión OPEC (OPEC).....	10
Ilustración 2 tipo valoración por incertidumbre y flexibilidad (Gallardo Gomez & Andalaft Chacur)	21
Ilustración 3 Ejemplo curvas de producción proyectada.....	29
Ilustración 4 distribución de pozos y tubería.....	30
Ilustración 5 ejemplo Equipos manejo proceso agua y crudo	31
Ilustración 6 ejemplo de Costos Operativos Campo en producción.....	32
Ilustración 7 Tabla de contenido modelo en Excel (Anexo)	33
Ilustración 8 modelo VPN para Proyecto	37
Ilustración 9 Niveles de Crudo y agua proyectados	38
Ilustración 10 distribución costos fijos - Variables	39
Ilustración 11 Inversiones.....	40
Ilustración 12 Regalías (Moix Muntó, 2014)	41
Ilustración 13 Distribución Regalías	41
Ilustración 14 Tabla Depreciación Ley 1819 de 2016.....	43
Ilustración 15 Depreciación Activos	44
Ilustración 16 Pronostico precio barril Banco Mundial.....	46
Ilustración 17 Riesgo de mercado	47
Ilustración 18 Betas de acuerdo a sensibilidad del mercado (Moix Muntó, 2014, pág. 38)	49
Ilustración 19 CAPM - WACC	53
Ilustración 20 Flujo de Caja y Cálculo VPN	54
Ilustración 21 VPN	54
Ilustración 22 proceso Montecarlo (Mun, 2005).....	56
Ilustración 23 Distribución de probabilidad factor de crudo incremental	57
Ilustración 24 Distribución de probabilidad factor de agua incremental.....	57
Ilustración 25 Estimados presupuestales	58
Ilustración 26 Distribución crudo pozo nuevo	59
Ilustración 27 Distribución crudo mantenimiento pozos.....	59
Ilustración 28 Distribución facilidades sistemas de proceso	60
Ilustración 29 Distribución facilidades producción líneas transporte de fluido	60
Ilustración 30 Distribución costo variable crudo.....	61
Ilustración 31 Distribución costo variable agua	61
Ilustración 32 Distribución prima riesgo país	62
Ilustración 33 Distribución porcentaje de la deuda que compone el capital de la empresa	62
Ilustración 34 Distribución intereses	63
Ilustración 35 Distribución porcentaje de amortización a capital	63
Ilustración 36 Datos variación crudo (Ejemplo un año).....	64

Ilustración 37 Tabla Chi Cuadrado.....	68
Ilustración 38 Tabla Kolmogorov – Smirnov.....	70
Ilustración 39 Bondad de ajuste.....	72
Ilustración 40 Distribución de probabilidad venta crudo	72
Ilustración 41 Análisis volatilidad (Mun, 2005).....	73
Ilustración 42 Análisis VPN - Montecarlo	74
Ilustración 43 Datos del modelo Análisis volatilidad.....	74
Ilustración 44 Cambio porcentual en el valor del proyecto.....	75
Ilustración 45 Distribución VPN	76
Ilustración 46 Sensibilización variables relevantes	77
Ilustración 47 Correlación VPN – Valor Crudo	77
Ilustración 48 Correlación VPN – Factor Crudo Incremental.....	78
Ilustración 49 Correlación VPN - Costo Pozo Nuevo.....	78
Ilustración 50 comparativo Opciones(Contreras Andreoli & Muñoz Rojas, 2013).....	83
Ilustración 51 Definiciones opciones (Contreras Andreoli & Muñoz Rojas, 2013)	85
Ilustración 52 Tipos Opciones (Contreras Andreoli & Muñoz Rojas, 2013).....	86
Ilustración 53 Valor ganado por Opciones Reales (Calle & Tamayo, 2009).....	89
Ilustración 54 Ejemplo Parámetros – Expansión.....	93
Ilustración 55 Árbol binomial	94
Ilustración 56 Cálculo Nodo.....	94
Ilustración 57 Valoración opción abierta.....	95
Ilustración 58 Valores Opción Abandono	99
Ilustración 59 Árbol Binomial Opción abandonar (se muestra 5 Años)	100
Ilustración 60 Datos análisis Opción Expansión	101
Ilustración 61 Árbol Binomial Opción Expansión (se muestra 5 Años)	102
Ilustración 62 Resultados Opción Expansión.....	103
Ilustración 63 Datos análisis Opción Expansión	103
Ilustración 64 Árbol Binomial Opción Contracción (se muestra 5 Años)	104
Ilustración 65 Resultados Opción Contracción	105
Ilustración 66 Árbol Binomial Opción Choose (se muestra 5 Años).....	106

Evaluación de Proyectos de Desarrollo de Campos Petroleros utilizando Opciones Reales

1. Introducción

“Debido a que la financiación del desarrollo es limitada, el gasto de cada dólar de la manera más eficaz nunca ha sido más importante” IEG World Bank¹

1.1 Planteamiento problema y justificación

El desarrollo de la humanidad requiere de la producción de una inmensa cantidad de energía. La curva de demanda asociada a incrementos de necesidades de transporte, energía eléctrica, procesamiento de comida, purificación de agua, entre otras, crece de manera constante. Como logremos encarar esta oportunidad de generación de energía responsable, mediante desarrollo sostenible, será lo que marque la diferencia a futuro. Es necesario que se revisen las mejores fuentes de generación y estrategias para involucrar entes públicos y privados en la consecución de resultados requeridos. Es muy importante encontrar las mejores soluciones técnicas, modelos de evaluación y financiamiento de proyectos que manejen conceptos de incertidumbre y política global de cómo el mundo entero gerencia los recursos energéticos, actualmente basados en combustibles fósiles.

La energía es fundamental para el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental. El acceso a una energía asequible, fiable y sostenible es vital para acabar con la pobreza extrema y promover la prosperidad compartida. Los servicios energéticos modernos pueden ayudar a mejorar la calidad de vida de millones de personas en todo el mundo y sostener el progreso en todas las áreas del desarrollo. Alrededor de 1.100 millones de personas en todo el mundo todavía viven sin acceso a la electricidad, la mayoría en África y Asia, lo que repercute en la educación de los niños, la seguridad pública, los servicios y la creación de empleo. Otros 2,8 mil millones se apoyan en la madera o la biomasa para cocinar y obtener calefacción, lo que

¹ Traducción del autor, a continuación texto original. “Because development financing is limited, spending each dollar in the most effective manner has never been more important”

resulta en la contaminación del aire que causa alrededor de 4,3 millones de muertes cada año. (World Bank)²

Teniendo la necesidad de desvincular el crecimiento económico con el deterioro del medio ambiente, se deben analizar las demandas de energía para contrastarlas con recursos disponibles e impactos asociados para establecer soluciones hechas a la medida. Los cambios climáticos están ocurriendo a mayor velocidad que la de adaptación global, lo que significa que la evaluación y gerencia de proyectos energéticos debe evolucionar a esta nueva realidad de un mundo cada vez más demandante.

La respuesta política internacional al cambio climático en la conferencia de Paris celebrada el pasado mes de diciembre de 2015 es un acercamiento conveniente a una estrategia global para resolver el equilibrio entre crecimiento y deterioro del medio ambiente mediante el establecimiento de límites globales de aumento de temperatura. Para poder lograr estos niveles deseados es necesario desarrollar modelos energéticos que evaluada técnica, financiera y ambientalmente logren garantizar las necesidades de una población creciente mientras reducen las emisiones de efecto invernadero.

² Traducción del autor, a continuación texto original. "Energy is fundamental to economic growth and environmental sustainability. Access to affordable, reliable and sustainable energy is vital to ending extreme poverty and promoting shared prosperity. Modern energy services can help improve the quality of life for millions around the world and underpin progress in all areas of development. Around 1.1 billion people worldwide still live without access to electricity – most of them in Africa and Asia -- which has an impact on children's education, public safety, services, and job creation. Another 2.8 billion rely on wood or other biomass for cooking and heating, resulting in indoor and outdoor air pollution that causes about 4.3 million deaths each year."

El World Energy Outlook de la International Energy Agency establece como se verá el sector energético en 2014 si las naciones acatan sus promesas.

30% incremento en demanda energética, sobretodo países en desarrollo donde aún hay 500 millones de personas sin acceso a electricidad. 37% de generación será por medio de energías renovables, comparado con un 23% hoy. 150 millones de vehículos eléctricos estarán en las vías, comparados con 1,3 millones en la actualidad. 50% de crecimiento demanda gas natural, sobreponiéndose al carbón. 103.50 mb/d será el nivel de consumo de crudo, comparado con 92.5 mb/d en 2015. (International Energy Agency)

El proceso de cambio de generación de energía por consumo de combustibles fósiles hacia métodos de menor impacto ambiental tomaran un tiempo, la transición requiere de soluciones técnicas tanto para las nuevas formas de energía como para mantener a las energías asociadas a combustibles fósiles por un tiempo adicional en el mercado. Los conceptos de sostenibilidad y las nuevas políticas de los gobiernos determinaran el tiempo durante el cual se seguirán utilizando energías basadas en combustibles fósiles, este tiempo definirá la nueva frontera con la que se deban enfrentar las inversiones de desarrollo de campos de extracción de combustibles fósiles para el retorno de su capital. De acuerdo a estos nuevos aspectos económicos y políticos, cada inversión que se realice en campos de extracción de hidrocarburos deberá ser evaluada con mayor detalle y con modelos que permitan incorporar la incertidumbre y flexibilidad en cada evaluación.

Existen diversos aspectos técnicos, económicos, comerciales, ambientales, sociales y políticos que pueden hacer variar por completo el rumbo de un proyecto de desarrollo energético por medio de uso de combustibles fósiles. Aun con esta nueva realidad en el

panorama de inversiones de campos petroleros, podemos encontrar datos en la página de la OPEC donde se establecen las cifras que se esperan invertir.

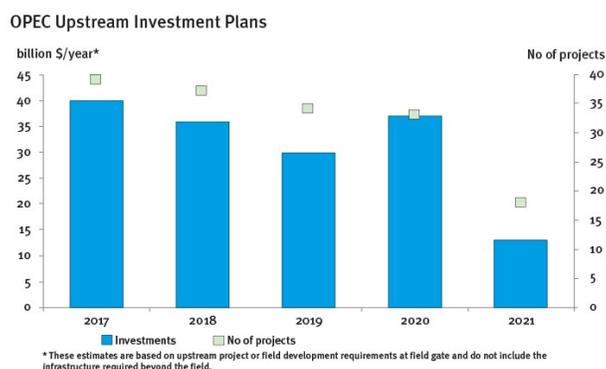


Ilustración 1 Planes inversión OPEC (OPEC)

Independientemente de todos los desafíos e incertidumbres, los Países Miembros de la OPEP continúan invirtiendo en aumentar su capacidad. Además de los enormes costes de mantenimiento de la capacidad instalada a que se enfrentan los Países Miembros, continúan invirtiendo en nuevos proyectos y reforzando su compromiso con el mercado del petróleo y el gas así como con la seguridad del suministro para todos los consumidores. Sobra decir que esto es sólo un reflejo de la política bien conocida de la OPEP que está claramente establecida en su Estrategia a Largo Plazo y su Estatuto. En el mediano plazo, cerca de 160 proyectos, con un costo total estimado de unos 156.000 millones de dólares, están siendo emprendidos por los Países Miembros de la OPEP. (OPEC)³

Cuando se toma la decisión de inicio de un proyecto de desarrollo de un campo petrolero, existen muchas variables que se deben tener en cuenta para proyectar las condiciones futuras. Con las condiciones presentes conocidas y futuras estimadas, se realiza la evaluación inicial que proyecta los valores de retorno de la inversión. En estas inversiones existen horizontes

³ Traducción del autor, a continuación texto original. “Regardless of all the challenges and uncertainties, OPEC Member Countries continue to invest in additional upstream capacities. On top of the huge capacity maintenance costs that Member Countries are faced with, they continue to invest in new projects and reinforce their commitment to the oil and gas market as well as to the security of supply for all consumers. Needless to say, this is only a reflection of OPEC’s well-known policy that is clearly stated in its Long-Term Strategy and its Statute. In the medium-term, about 160 projects, with an overall estimated cost of some \$156 billion, are being undertaken by OPEC Member Countries.”

determinados por los contratos de asociación o concesión que cada gobierno maneja, usualmente superiores a 5 años.

En el momento que se está recolectando la información que conformara el modelo financiero, se trabaja con el valor instantáneo de las variables y se ejecuta la valoración. Esta forma de realizar los supuestos no contempla la flexibilidad ni la volatilidad del proceso o del mercado. Cuando durante la ejecución de un proyecto surgen variaciones significativas en alguna de las variables independientes relevantes, estas desvirtúan por completo el modelo original, sin poder saber cómo fue el resultante en ganancia o pérdida de valor. Esto genera que las variaciones en el entorno del negocio, mercado o producción, no estén acompañadas de las debidas correcciones en el desarrollo del proyecto puesto que no se sabe hacia qué nuevo rumbo dirigirse. Finalmente, el proyecto puede tener resultados negativos, dada la poca capacidad o flexibilidad que tiene la gerencia para tomar acción.

Es necesario que en la etapa de conceptualización y viabilidad, se tenga la información completa de todas las variables involucradas en los flujos de Inversiones (Capex), Costos operativos (Opex) y retorno por ventas. Se debe conocer el comportamiento de estas variables para poder determinar la volatilidad a la cual se enfrenta el proyecto. Por medio de Opciones reales, las cuales comparten características de opciones financieras, se puede cuantificar y evaluar las desventajas o virtudes de la volatilidad y el tiempo de retorno. De esta forma se puede tomar decisiones respecto a proyectos, pero no viéndolos como un ente estático y ajeno a la flexibilidad.

Las variables que determinan los retornos de inversión están dadas por precio de crudo, TRM, impuestos y regulaciones políticas. Dentro de las variables que determinan los valores de inversión y costos operacionales podemos encontrar:

- Pozos de explotación: La cantidad de pozos se define mediante el plan de desarrollo, mediante geología se determina la cantidad de crudo y agua que aportará cada pozo.
- Infraestructura de Facilidades de Producción de crudo: El tamaño está asociada con la cantidad de crudo esperado y con el porcentaje de agua que tenga dicho crudo.
- Infraestructura de tratamiento e inyección de agua: Sistemas de disposición de agua residual mediante la inyección hacia formaciones geológicas. La capacidad se determina de acuerdo a La curva proyectada de producción de agua.
- Campamento temporal: Construcción de instalaciones que albergaran personal por un término máximo de un año. De esta manera se da un arranque temprano a la construcción de facilidades teniendo el personal a una corta distancia de los sitios de construcción.
- Campamento permanente: Construcción de instalaciones para poder continuar con el plan de desarrollo completo del campo.

Durante el desarrollo de este tipo de proyectos se presentan variaciones que no estaban inicialmente contempladas, afectando así los resultados esperados en el momento de validación. Por esta razón es importante trabajar modelos de inversión que puedan involucrar la incertidumbre. Las opciones reales permiten realizar cuantificación de trabajar con diferentes caminos entre el comienzo y fin del proyecto, sabiendo que tanto el tiempo, la incertidumbre y la flexibilidad maximizan el valor de un proyecto. La evaluación de VPN no determina la bondad de un proyecto que pueda cambiar de rumbo según sean las condiciones,

pero la evaluación por opciones reales es capaz de cuantificar el aumento de valor generado por esta flexibilidad.

El objetivo principal es el de establecer el modelo financiero de opciones reales que valore la incertidumbre y flexibilidad ante cambios macroeconómicos, microeconómicos y de producción, como herramienta para la toma de decisiones estratégicas. Esto se logra mediante la cuantificación y modelación tanto de la incertidumbre como la flexibilidad para aumentar la valoración desarrollo de un campo petrolero utilizando opciones reales.

1.2 Estado del arte

Durante la ejecución de proyectos de desarrollo de campos petroleros se desarrollan diferentes procesos técnicos, operativos, administrativos y comerciales dirigidos a la consecución del logro. Para que todos estos esfuerzos tengan un propósito, debe existir una rentabilidad esperada como consecuencia de la materialización del proyecto de acuerdo con la evaluación de viabilidad basada en estudios económicos previos al inicio del proyecto. Esta evaluación económica del proyecto parte de la proyección de resultados, la cual se puede realizar mediante la metodología de flujo de caja descontado. Para esto primero se debe determinar el periodo de tiempo durante el cual se calcularán los flujos de caja del proyecto, y la tasa de descuento. Esta tasa corresponde al valor por el cual se está dispuesto a arriesgar capital bajo un determinado grado de riesgo. “De esta manera la tasa de descuento está íntimamente relacionada con el riesgo de cada negocio y por supuesto con el deseo de ganancia de cada inversionista”. (Moix Muntó, 2014).

Como parte del análisis de viabilidad financiera, se determinan los recursos con los cuales se contará para el desarrollo del proyecto. Estos recursos en gran parte son recursos financieros, es por esto que de igual manera que es importante hacer un uso adecuado de estos, existe la necesidad de planear cual es la mejor estrategia para su consecución.

La optimización en las decisiones de financiamiento de proyectos debe mejorar el valor actual de los mismos mediante la óptima elección de una combinación de fuentes de financiamiento. Se debe decidir cuánto capital propio se debe invertir y como se debe financiar el monto restante de la inversión (Muñoz Valdez & Ramírez Monardez).

Para que esto tenga sentido dentro del marco de la financiación, es importante asegurar que en el modelo realizado, el proyecto de desarrollo sea rentable. En los proyectos financiados se trabaja para que la inversión sea respaldada por los flujos de caja y no por patrimonio personal de los inversionistas. John Finnerty, en su libro de Project Financing, describe que los entregables deben funcionar como una unidad económica independiente donde el flujo de caja de la operación debe pagar el crédito con el cual se elaboró el proyecto. Establece la postura que para dar esta seguridad, se debe garantizar que la producción del bien final sea técnicamente posible y económicamente viable (Finnerty, 2013). Solo de esta forma se garantiza el posible cumplimiento de los compromisos financieros asociados a la deuda. El valor del dinero debe maximizarse en la moneda en la que respalde al accionista o sponsor del proyecto.

En los proyectos de desarrollo de Campos petroleros no siempre se han dado buenos resultados como producto de procesos que han sido realizados de forma adecuada, esta situación se presenta cuando no se contempla la existencia de la incertidumbre que trae consigo al error. En el libro de valoración de Aswath Damodaran se indica que valorar es un

proceso dinámico el cual no solo se basa en el presente, sino que maneja el ingrediente “futuro” y “error”. A su vez se denota que es por esto que no solos se debe realizar una valoración de acuerdo con los datos existentes, sino que se debe realizar una proyección de acuerdo con la evolución esperada de tal valoración (Damodaran, 2006). Los mayores agentes que generan error en las valoraciones, usualmente son: cambios de condiciones de mercado, valoración generada por datos incompletos, datos subjetivos, decisiones gerenciales que corresponden a diferentes intereses y no menos importante, volatilidad macroeconómica.

Es un primer paso la adecuada identificación de las variables y restricciones que influyen en un proyecto, tanto como sus montos, fuentes y modelos de financiamiento. La función objetivo de cualquier tipo de optimización en este campo es la de maximizar el valor actual neto del proyecto para el inversionista o sponsor (Muñoz Valdez & Ramírez Monardez).

Para que esto funcione se debe conocer el global del proyecto ya que solo así se contemplaran los parámetros de entrada y salida completos del sistema, lo cual es necesario para poder tener una evaluación real.

Los procesos de validación y consecución de aprobación para los proyectos toman bastante tiempo, es usual que durante este tiempo existan cambios en el entorno los cuales no estarán reflejados en el producto aprobado. Esto se da a raíz que la información con la cual comenzó el proceso de validación y aprobación no tuvo evolución o adaptabilidad desde su origen. “Se debe poder contar con la flexibilidad suficiente para cambiar la planificación y poder adaptarse a las variaciones en las condiciones del mercado. Se debe ver la incertidumbre y la flexibilidad como factores determinantes en la toma de decisiones”. (García Ruíz & Romero Romero). Conociendo las virtudes y restricciones a la hora de la ejecución se puede escoger

hasta donde es posible llegar sin entrar a perjudicar el objetivo principal de rentabilidad e impacto tanto social como ambiental. Es de vital importancia asegurar que se contará con los insumos que el proyecto requiera para lograr su producto final. Estos insumos pueden estar representados en materiales, dinero, personal, permisos, contratos, definiciones. Nuevamente revisando el trabajo de John Finnerty en Project Finance, se puede precisar que para esta evaluación se debe estudiar el sistema completo, no sub sistemas, dejando claro los riesgos y ganancias basados en el tiempo y retorno de inversión. Estipula que los riesgos se comparten entre los inversionistas (Finnerty, 2013). Es importante tener presente que el modelo de inversión es propio para cada proyecto.

El uso de modelos probabilísticos, como lo son el modelo de Montecarlo aplicado a la medición de probabilidad, resultan altamente útiles en el momento de la toma de decisión. Cuando queremos conocer la volatilidad total, en el cual intervienen aspectos internos de la empresa y del mercado, podemos comenzar en pequeños paquetes o sistemas. En el momento que tenemos un indicador máximo y mínimo, podemos conocer rutas críticas y totales mediante iteraciones realizadas por paquetes de software (Fuenzalida & Mongrut, 2007).

De la mano con el concepto de herramientas de estudio, encontramos que “Este mismo modelo probabilístico se utiliza a menudo en la valoración de empresas o negocios asociados a generación o transmisión eléctrica. Dada la implicación que tiene el clima, mercado o factores políticos sobre esta industria” (Navas, Lozano, & Manotas, 2012). A los modelos tradicionales utilizados en evaluación de proyectos energéticos se les ha ampliado su alcance mediante la utilización metodologías de programación que utilizan dos corrientes de la inteligencia artificial. Por un lado existen las redes neuronales, estas son metodologías que son capaces de “aprender” mediante estímulos y respuestas, así no solo tienen respuestas predefinidas sino que por medio de iteraciones pueden ir refinándolas. También se ha trabajado con lógica difusa, la cual es otra metodología de programación que permite trabajar

el espectro valores análogas posibles y no solo determinar entradas digitales de 1 (cierto) o 0 (falso). Indicando lo expresado por Damodaran en su libro de valoración, es claro que donde no existe espacio de disertación es en la afirmación que los precios de los bienes no pueden ser justificados por que exista quien esté dispuesto a pagar. Compara con el juego de sillas musicales, donde una vez se acabe la música cada uno debe buscar donde sentarse, pero no hay silla para todos. Advierte que esto necesita que siempre haya alguien más inocente que pague más, hasta que no haya quien más lo haga. Subraya que en este tipo de ejercicios se presentan diferencias conceptuales, incluyendo estimar los valores reales y el tiempo que el mercado se toma en llegar a ellos. Es reiterativo que el valor que estamos dispuestos a pagar por un proyecto o inversión debe ser consecuente con los flujos de caja que este va a retornar, teniendo presente que estos tienen propiedades tanto de incertidumbre como de crecimiento esperado. (Damodaran, 2006)

Es fundamental identificar, valorar y realizar planes que permitan la debida gestión del riesgo. En los desarrollos de Campos petroleros existe una gran volatilidad, esto no debe tomarse como riesgo excepto cuando existe incertidumbre. Este concepto puede ser ampliado de acuerdo a Finnerty, donde expone que se debe contemplar el impacto asociado a los riesgos propios como son: aumento costos por escala, demoras en el arranque de producción, cambio de tasas de intereses, fluctuación de producción, variación de costos (Finnerty, 2013). Todos los riesgos tienen un impacto diferente sobre el proyecto, y a su vez todos tienen probabilidades diferentes de ocurrencia. De acuerdo a estas dos variables, y revisando las implicaciones de la mitigación, es que se puede proceder a la elaboración de planes de acción o mitigación. Esta posición se complementa con lo expresado “Es fundamental identificar

los tipos de riesgos existentes, los cuales pueden ser: estratégicos, operacionales, Humanos, Financieros y legales” (Zapata, 2008). No todos los proyectos pueden asumir la misma cantidad de riesgo, esto depende en gran medida del respaldo financiero que se tenga y del retorno que se espere. “Es importante conocer el máximo riesgo que puede soportar un inversionista. Para eso es muy importante manejar teoría de portafolios, modelos de optimización, modelos de selección e identificar las variables de entrada controlables y aleatorias.” (Manotas Duque, Estrada Bedon, & Uribe Rodríguez, 2011). Usualmente la manera de presentar un presupuesto o cronograma es entregando un número absoluto. Este es el resultado de datos históricos, sumas, restas y revisión de expertos, lo cual genera una salida determinista. El procedimiento que podría llegar a representar estos números de una mejor forma, dándoles movilidad y realidad estocástica, es mediante distribuciones de probabilidad. Esto es importante contando con que son la base para la generación de viabilidad de un proyecto.

De esta forma no se tiene un valor vacío, sino que se presenta de tal manera que el ente responsable de tomar la decisión tenga claro el valor esperado de acuerdo con el nivel de riesgo que puede soportar mediante una campana de gauss (Serrano Rodríguez, 2010).

De acuerdo con las identificaciones previas que se realizan de riesgo y las opciones de disipación que existen para cada proyecto, se toma la determinación de diseñar un portafolio de inversiones; este portafolio está constituido por proyectos que generan una rentabilidad de acuerdo a una inversión inicial y a un costo de operación.

Es necesario revisar de forma Holista los proyectos de un portafolio, considerando que la valoración financiera y de riesgo de un proyecto debe ser realizada dentro de un global de relaciones con los demás proyectos. El proceso de inversión en un portafolio también implica la toma de decisiones sobre tres preguntas fundamentales: ¿En qué proyectos invertir?

¿Cuánto es el capital que debo asignar a cada uno? ¿En qué momento hacerlo? (Manotas Duque, Estrada Bedon, & Uribe Rodríguez, 2011).

De esta teoría de manejo de portafolios, podemos reforzar enfatizando de acuerdo a lo presentado por Carlos Slim, “Existe también la posibilidad de diversificar las inversiones dividiéndolas en dos: Inversiones en la cadena de valor del negocio e inversiones fuera del negocio que generan dividendos positivos para la empresa (Slim, 2013). De acuerdo con estas posturas, podemos determinar que el portafolio de proyectos se convierte en el centro para toma de decisiones, donde se espera la máxima rentabilidad del conjunto. “La flexibilidad del proyecto, cuando existen múltiples opciones, no es la suma de ellas por separado; ello, debido a la interacción entre todas” (García Ruíz & Romero Romero). Idealmente los integrantes de este portafolio deben tener riesgos complementarios o que se encuentren en diferente ciclo.

El valor de un portafolio de proyectos es la sumatoria del valor de los proyectos actuales más el potencial de futura creación de valor. La actuación futura de cualquier gerente no suele ser la de un espectador pasivo, sino la de alguien que gestiona el proyecto a la luz de los acontecimientos que se producen (Gallardo Gomez & Andalaft Chacur).

Dada la virtud de utilizar flexibilidad, e incluir parámetros estocásticos a la evaluación de proyectos, existen metodologías que generan resultados satisfactorios. Frecuentemente los altos directivos utilizan como previsión el análisis de posibles escenarios del proyecto. Pero las decisiones futuras de inversión están determinadas desde un comienzo de forma estática.

El descuento de flujo dinámico y las opciones reales son metodologías utilizadas con el propósito de involucrar flexibilidad a los modelos ya que los métodos tradicionales fallan por omisión de esta posibilidad. El flujo dinámico aun cuando contempla un abanico de opciones y escenarios, estos son considerados estáticos ya que no se maneja forma de actualización. Las opciones reales incluyen movimientos sobre la marcha dada la flexibilidad que manejan en entornos de alta incertidumbre (Gallardo Gomez & Andalaft Chacur).

Los escenarios más utilizados en diversas empresas, dados los montos de inversión, incertidumbre, largo tiempo de flujo de caja y manejo de riesgos en desarrollo de campos petroleros se pueden ver en el libro de Koduluka y Papudesu:

- Abandonar: En caso que el modelo de negocio no sea rentable dada cierta variación de condiciones. Esto puede darse cuando las condiciones de producción no son las esperadas, luego de realizar perforaciones puede que no se logre que el crudo llegue a superficie o en el yacimiento solo se encuentre agua.
- Expandir: En caso que exista la proyección que aun cuando las condiciones actuales sean favorables, éstas tengan la opción de mejorar.
- Contraer: Se determina esta opción cuando exista la posibilidad que las condiciones futuras no sean tan favorables como las actuales.
- Escoger: es la opción que permite escoger entre la mejor de las opciones simples ya mencionadas. (Koduluka & Papudesu, 2006)

Mediante los conceptos presentados por Johnathan Mun en su libro de análisis de opciones reales, se puede relacionar que Los caminos tradicionales asumen una habilidad de toma de decisión estática, mientras que las opciones reales asumen una serie de decisiones futuras donde la gerencia tiene la flexibilidad de adaptarse dados los cambios en el ambiente de negocio. Establece que de esta manera se construye un portafolio de escenarios los cuales contemplan la evolución misma de las condiciones y permite evaluar cada una mediante técnicas de flujo descontado. El camino que propone es:

1. Identificación de riesgo: Lista de opciones
2. Predicción riesgo: Proyección cada opción
3. Modelamiento riesgo: VPN cada opción
4. Análisis riesgo: Probabilidad
5. Mitigación riesgo: Opciones enmarcadas
6. Cobertura riesgo: Volatilidad
7. Diversificación riesgo: Portafolio
8. Gerencia riesgo: Reportes y seguimiento (Mun, 2005)

Teniendo el listado de opciones reales y la metodología para llevar el proceso de validación se puede proceder a contrastarlo con la realidad del proyecto mediante el uso de tablas o matrices. El uso de cada metodología de evaluación posible debe ser claro con el grado de incertidumbre y la importancia de poderse adaptar a los cambios.

Grado de Incertidumbre	ALTO	Modelos de Simulación (por ejemplo Montecarlo) SITUACIÓN II	Valoración por Teoría de Opciones Reales SITUACIÓN IV
	BAJO	Descuento de Flujos de Caja (DFC) SITUACIÓN I	Descuento Dinámico de flujos SITUACIÓN III
		BAJA	ALTA

Importancia de la flexibilidad

Ilustración 2 tipo valoración por incertidumbre y flexibilidad (Gallardo Gomez & Andalaft Chacur)

Teniendo claro que existe volatilidad y riesgo en las variables tanto internas como externas, no podemos dejar a un lado el factor humano, este que es quien termina realizando las labores que generan un valor para la compañía.

Uno de los factores de riesgo tácito de una empresa o proyecto es la organización y manejo del talento humano, el cual es particular para cada caso. De acuerdo a esta revisión se puede tomar la decisión del organigrama que se utilizará, tipos de contratos que se firmaran y métodos de motivación que se deben emplear. De esta forma se debe considerar que una debida gestión de talento humano logra la diferencia cuando de maximizar resultados se refiere (Djenderedjian, 2011).

La solución para esto no es siempre subcontratar para que realicen ciertas labores mediante supervisión directa. El capital de conocimiento puede llegar a verse afectado mediante este uso de herramientas y la moral en el equipo puede verse seriamente disminuida.

En el momento en que el proyecto a ejecutar es realizado por un tercero, es importante revisar los riesgos que esto acarrea. Se deben valorar los riesgos que significan los cambios que una vez firmado el contrato, pueda pretender el contratista o que por alguna razón sean necesarios por el contratante. Teniendo presente la inestabilidad macroeconómica, el tamaño mínimo que debe tener el proyecto y el mínimo de demanda una vez este esté operativo (Conthe, 2004).

Dado que la gestión de proyectos se basa en el correcto direccionamiento del equipo de trabajo, es necesario mantener prácticas que permitan la confianza, se debe mantener una buena comunicación horizontal y vertical en la organización o proyecto. “Es tan valioso tener información y directrices claras en cada aspecto de la actividad, como peligroso perder la confiabilidad interna del equipo por información manipulada” (Girsky, 2014). La forma correcta de compartir la información debe ser de manera clara y sincera. Del concepto de Golden Circle, trabajado por Simon Synek en su libro *Why*, se evidencia que la única forma para que cualquier miembro del equipo pueda estar preparado para afrontar adversidades y tomar decisiones en pro del cumplimiento del objetivo, es conocer la razón y el porqué. Si solo nos enfocamos en impartir tareas o directrices siempre existirán vacíos que no permitirán la sinergia (Synek, 2009).

1.3 Hipótesis

Las Opciones Reales aportan un incremento de valor sobre el método clásico de valoración de proyectos asociado al grado de flexibilidad, después de haber cuantificado la volatilidad de los flujos de caja del Campo petrolero.

2. Proyecto de desarrollo campos petroleros

2.1 Definición proyecto

Para realizar un correcto análisis de los proyectos de inversión en desarrollo de Campos de extracción de hidrocarburos es necesario resaltar que varias ciencias, como lo son la economía y la gerencia de proyectos, buscan la mejor forma de administrar los recursos cuando estos son limitados, pero se requieren para un fin determinado. Tal como lo expresa el Project Management Institute, en su PMBOK (Project Management Body of Knowledge):

La dirección de Proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo. Se logra mediante la aplicación e integración adecuada de 42 procesos de dirección de proyectos, agrupados lógicamente, que conforman los 5 grupos de procesos. Estos 5 grupos de procesos son: Iniciación, Planificación, Ejecución, Seguimiento y control y Cierre. Dirigir un proyecto por lo general implica: identificar requisitos, abordar las diversas necesidades, inquietudes y expectativas de los interesados según se planifica y ejecuta el proyecto y equilibrar las restricciones contrapuestas del proyecto. Estas restricciones, entre otros aspectos, son: Alcance, Calidad, Cronograma, Presupuesto, Recursos y Riesgo. (PMBOK, 2004)

La evaluación financiera del proyecto es parte fundamental de la iniciación y planificación, para evaluar su viabilidad y los controles necesarios que deban instaurarse para asegurar su rentabilidad. De igual forma esta evaluación debe ir siendo actualizada durante el seguimiento y control para poder generar alertas y planes de acción. Finalmente, con el cierre del proyecto, es la evaluación financiera de los resultados quien determina su éxito o fracaso. Las restricciones mencionadas son parte de los indicadores que sirven para controlar parámetros, pero la finalidad de un proyecto es respaldar la promesa de valor con el cual se aprobó. Para lograr realizar una evaluación de proyectos que pueda ser utilizada por los inversionistas para la toma de decisiones, es necesario hacerlo teniendo en cuenta todas las

variables involucradas, revisando como la incertidumbre y la flexibilidad aumenta el valor que se logra respecto al VPN tradicional.

Una adecuada evaluación de proyectos, donde se contemple la volatilidad y flexibilidad puede abrir nuevos caminos al financiamiento de proyectos. Los proyectos de inversión están enmarcados en una serie de desembolsos, esperando a su vez la generación a futuro de ingresos netos. Esto se debe a la naturaleza misma de los negocios de lograr maximización de valor del dinero en el tiempo. Para esto es muy importante conocer el origen de los fondos a invertir, si estos han de ser propios o existe la necesidad de recurrir a financiamiento externo. En el caso de financiamiento con agentes externos es de vital importancia conocer tanto el monto como el horizonte de tiempo sobre el cual se realizan las proyecciones, tener presente el flujo de caja esperada y la rentabilidad estimada.

Una vez se realiza el proceso de consecución de dinero este conlleva a una definición de intereses, pudiendo ser nominal o efectivo. El interés efectivo equivale a un interés nominal con una frecuencia dada de pago. Es muy importante realizar diferentes escenarios para analizar las decisiones, se sabe que es una equivocación tratar de la misma forma dinero recibido en puntos diferentes de tiempo. El valor del dinero en el tiempo es la equivalencia futura a una suma presente, o sencillamente la equivalencia de dos momentos diferentes. Para este tipo de comparaciones se debe utilizar matemáticas financieras que nos permitan comparar de forma objetiva diferentes montos de dinero. De esta manera se puede conocer las ganancias esperadas para compararlas con el nivel de riesgo propio de cada escenario (Serrano Rodríguez, 2010) .

De las lecciones aprendidas de la empresa de servicios petroleros e ingeniería Schlumberger, podemos tomar como ejemplo las diferentes fases de desarrollo Campos Petroleros. De esta forma revisar como en cada una de estas fases es posible realizar análisis de diferentes escenarios financieros y de ejecución.

- ❖ Exploración:
 - ¿Mayor cantidad de dato de subsuelo asociado a posibles reservas?
 - Valores de Incertidumbre del tamaño de la reserva de hidrocarburo para tener posibles escenarios de inversión.
 - ¿Con cuántas perforaciones de pozos consideramos que se tiene información relevante? ¿1, 2, 5, mas?
- ❖ Desarrollo: De la incertidumbre a lo explícito.
 - ¿Cuántos pozos se deben perforar para lograr cantidad de producción esperada de acuerdo a modelo financiero?
 - ¿Qué tipo de perforación se debe realizar (verticales/ horizontales)?
 - ¿Cuántas locaciones de perforación? ¿A qué distancia?
 - ¿Cuál debe ser la intervención futura en los pozos – nuevas perforaciones de mantenimiento?
 - ¿Cuántos pozos inyectores de agua de producción para recuperación secundaria se deben perforar?
 - ¿Qué tan grande debe ser la infraestructura para el manejo de los volúmenes de crudo y agua se debe construir?
 - ¿Existen campos similares cercanos para apalancarse?
 - ¿Qué tipo de transporte presenta el mejor costo beneficio? ¿Carro tanques? ¿Oleoducto?
- ❖ Producción:
 - ¿Se debe subcontratar con empresas adicionales la construcción, operación o mantenimiento?
 - ¿Se debe buscar mayor cantidad de data sísmica de subsuelo para validar la producción?
 - ¿Se deben cambiar pozos productores de crudo y convertirlos en inyectores de agua?
 - ¿Estrategias para aumentar la producción de crudo?
 - ¿Volver a entrar con taladro a pozos ya productores para buscar mejorar la movilidad del crudo (mantenimiento de pozos)?
- ❖ Decomisionamiento: Abandono
 - ¿Cuál es el costo de abandono? ¿Implicaciones sociales, ambientales y económicas?
 - ¿Preservación de equipos una vez retirados y almacenados?
 - ¿Traslado de equipos a otros proyectos?
 - ¿Se debe mitigar este costo con estrategias durante el desarrollo?
 - ¿Cuándo este costo puede hacer el proyecto no sea rentable?
 - ¿Qué posibles cambios de legislación pueden afectar el proyecto?

2.2 Análisis de yacimientos y reservas para producción petrolera

Para manejar los modelos de proyección de la producción de un campo petrolero, revisaremos algunos conceptos. En el libro Fundamentos de Ingeniería de Yacimientos, la Ingeniera Magdalena Paris de Ferrer, presenta la definición de yacimiento.

Los yacimientos de hidrocarburos son trampas subterráneas compuestas por una capa porosa y permeable que puede almacenar cantidades comerciales de petróleo y gas dentro de sus espacios porosos, en forma semejante como el agua empapa una esponja [...] generalmente el petróleo se origina en sitios diferentes de aquel donde se encuentra, denominados roca madre, y luego migra, desplazando de las formaciones adyacentes a la roca hasta encontrar una trampa con sello impermeable que interrumpe su migración. Es entonces cuando se forman los yacimientos de hidrocarburos. (Paris de Ferrer, 2009)

A partir de la ubicación de los yacimientos hace falta todo un proceso de recolección y manejo de información, que permita llegar a calcular las proyecciones de producción con la certeza requerida para la modelación del negocio.

El volumen de petróleo acumulado en las rocas de la corteza terrestre es finito y puede clasificarse según el grado de certeza que se tenga sobre su existencia y la probabilidad de que su extracción resulte rentable. A este petróleo que se sabe existe en la corteza terrestre se le llama recurso. Las reservas, siendo un volumen menor que los recursos, es el volumen que puede ser producido con la tecnología actual y a los precios proyectados.

Martin Essenfeld da una breve explicación de los procesos de obtención y manejo de datos de las condiciones de subsuelo. Las reservas probadas (o reservas 1P) son aquellas sobre las que existe una “certeza razonable”, o una probabilidad mínima del 90% (P90), de que podrán ser extraídas de forma rentable. Las reservas probadas pueden subdividirse a su vez en desarrolladas (“proven developed” o PD) y por desarrollar (“proved undeveloped” o PUD),

dependiendo de que su explotación requiera, o no, inversiones adicionales a las ya efectuadas (como, por ejemplo, la realización de estudios adicionales del subsuelo, la perforación de más pozos o la instalación de nuevas infraestructuras). Las reservas probables se definen igual que las anteriores, con la salvedad de que la probabilidad exigida para que su extracción resulte rentable es como mínimo del 50%. Este tipo de reservas también son conocidas como reservas P50 o 2P (probadas + probables). Las reservas posibles se diferencian de las otras dos porque la probabilidad exigida para que su extracción resulte provechosa es como mínimo del 10%. Estas reservas también se conocen con el nombre de P10 o 3P (probadas + probables + posibles) (Essenfeld, 1979).

De esta manera con los datos que ya se han obtenido y las probabilidades de éxito estipuladas se realizan las curvas de producción, siendo estas las proyecciones de cantidad de agua y crudo a obtener por cada pozo.

2.3 Análisis de datos del proyecto

Al determinar que existe el proyecto de desarrollo de un campo petrolero, este se debe valorar en términos financieros para poder conocer su valor de mercado, su utilidad para fines comerciales y poderlo comparar con otros proyectos del portafolio. El plan de desarrollo de un campo de extracción de hidrocarburos se planea de acuerdo con los datos entregados por yacimientos, así se realiza una cuantificación del crudo que se puede llegar a vender y de las inversiones requeridas para esta producción. Es necesario contemplar que la inversión (Capex – Capital Expenditure) y los costos operativos (Opex – Operational Expenditures) no serán solo del crudo sino para el agua y fluidos que aporta cada uno de los pozos.

Para realizar el modelo de evaluación de proyectos de desarrollo de Campos Petroleros se debe tener claridad de la información inicial que se logra en este tipo de inversiones y el comportamiento de las principales variables que lo acompañan en el tiempo. Así poder validar los costos de Capex y Opex que se requieren según los niveles de producción esperados, y los flujos positivos de dinero de acuerdo con el comportamiento del mercado de venta de crudo.

Basado en las curvas de producción esperadas y calculadas, se determinan los niveles de Crudo, agua y fluido asociados por cada pozo, al realizar la sumatoria de cada uno de estos se generan los perfiles, “Plateau” o “Meseta”, lo que significa el valor máximo que se espera conseguir.

Ejemplo:

Se recibe la información asociada a cada uno de los pozos que se espera perforar de acuerdo a la información estudiada por el grupo de yacimientos. Para los valores de agua, crudo y fluido tenemos que en cada momento el valor de la producción total es la sumatoria de todos los pozos operativos en ese momento:

$$q(t) = \sum q_i(t)$$

Siendo $q(t)$ el valor total de producción, usualmente en periodo mensual, y $q_i(t)$ el valor aportado por cada pozo.

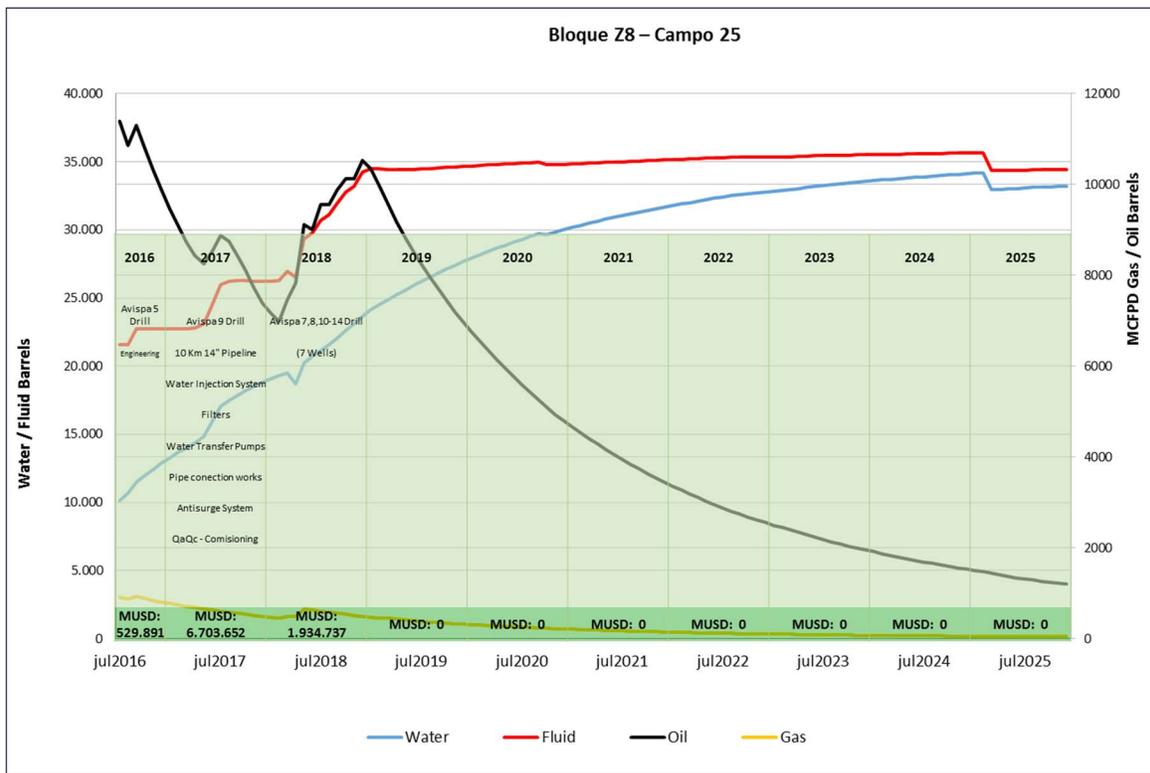


Ilustración 3 Ejemplo curvas de producción proyectada

Al recibir los valores proyectados de producción de todos los pozos de un campo petrolero, se pueden calcular los niveles de producción de Agua, Crudo, Fluido (Agua + crudo). Al tener las cantidades de barriles de cada tipo de fluido, y la sumatoria de todos se calculan las inversiones en infraestructura y el costo operativo de tratamiento de los fluidos, para así poder distribuir los costos. Con las proyecciones de costo de venta de crudo y los pronósticos de cantidades de producción, se calculan los ingresos.

La producción de cada pozo perforado es una sumatoria de fluidos, principalmente agua y crudo. La sumatoria de estos fluidos debe ser llevada de manera conjunta por tubería desde cada uno de los pozos hasta el lugar donde se realiza el tratamiento, o centro de facilidades. De esta forma se definen trazados asociados a las líneas de flujo que llevan la producción

desde los pozos hasta el separador. En el Capex tenemos los estudios ambientales, la negociación de tierras, la compra de tubería, los estudios de ingenieros y la construcción de la línea de flujo. En el Capex se debe incluir el costo de taladro para cada perforación y los costos de tubería para llevar el fluido (agua, crudo) desde cada pozo hasta el separador.



Ilustración 4 distribución de pozos y tubería

Una vez en estos centros de facilidades, mediante equipos llamados separadores, se logra la separación del agua y el crudo. Cada producto se maneja en equipos e infraestructura por separado de acuerdo a las cantidades de cada uno.

Ejemplo de equipos requeridos para proceso de tratamiento agua y crudo:

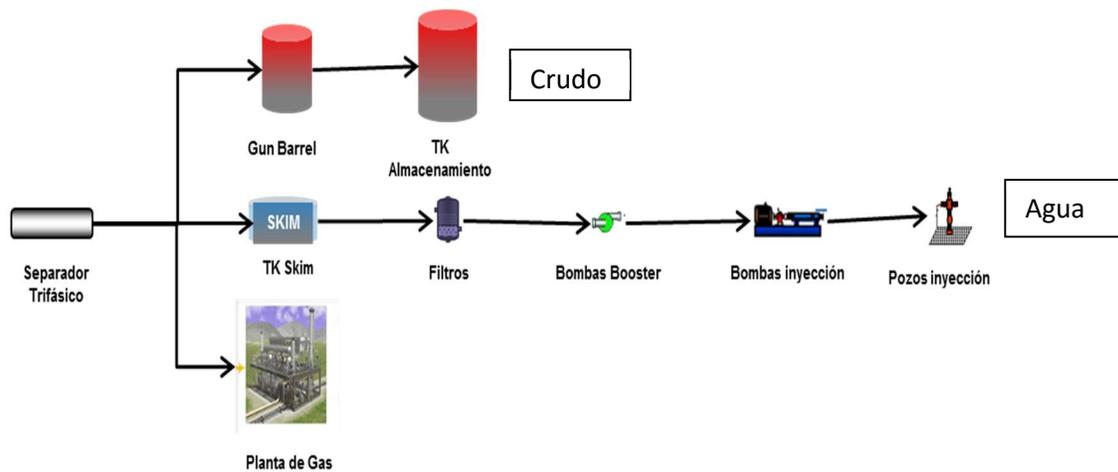


Ilustración 5 ejemplo Equipos manejo proceso agua y crudo

Vale resaltar que el ingreso por ventas se debe por la cantidad de crudo, los niveles de agua solo generan costos requeridos para la producción del nivel de crudo asociado.

Estas inversiones se distribuyen en el tiempo, de acuerdo de la fecha en que se requiera estar operativas las facilidades menos el tiempo de ejecución y el modelo de pago a los contratistas.

Para cálculos de Opex existen ciertas métricas que permiten calcular de acuerdo a la cantidad de Crudo y Agua, los valores fijos y los variables.

Ejemplo:

TIPO DE SERVICIO	Valor total	Agua	Crudo	Fijos
	Arrendamiento equipos producción	\$ 514,02		
Arrendamiento equipos campamento	\$ 324,22			\$ 324,22
Transporte Agua	\$ 1.128,45	\$ 1.128,45		
Combustibles y lubricantes agua	\$ 1.957,97	\$ 1.957,97		
Combustibles y lubricantes crudo	\$ 2.247,42		\$ 2.247,42	
Materiales agua	\$ 33,33	\$ 33,33		
Materiales Crudo	\$ 166,67		\$ 166,67	
Generación Gas – agua	\$ 21.582,91	\$ 21.582,91		
Generación Gas – crudo	\$ 1.216,93		\$ 1.216,93	
Catering y hospedaje	\$ 707,87			\$ 707,87
Mantenimiento técnico y de Ingeniería	\$ 3.396,02			\$ 3.396,02
Soporte Técnico y de Ingeniería	\$ 19,11			\$ 19,11
Análisis de Muestras (Sólidos y fluidos)	\$ 238,23			\$ 238,23
Tratamiento de sólidos y fluidos	\$ 46,86			\$ 46,86
Costo tratamiento químico de agua	\$ 2.590,89	\$ 2.590,89		
Costo tratamiento químico de Crudo	\$ 1.628,63		\$ 1.628,63	
Costo Por barril		0,543229495	0,31901229	\$ 5.246,33

Ilustración 6 ejemplo de Costos Operativos Campo en producción

Debido al comportamiento de los pozos petroleros, donde luego de un tiempo determinado estos comienzan a reducir la cantidad de crudo que llega a superficie y en casos aumentan la cantidad de agua, en los campos petroleros es necesario estar en una continua perforación de nuevos pozos que replacen o equilibren la producción de los anteriores.

El proyecto que se analizará en este trabajo es el de una campaña de Perforación. Esto es que teniendo un campo petrolero en operación, con cierta cantidad operativa de pozos se determina la posibilidad y la necesidad de perforar otros adicionales. Dado que el campo ya cuenta con licencias de operación, no se contemplan los tiempos asociados a estudios sísmicos ni a licencias propias de nuevos campos.

Las facilidades de tratamiento de crudo, de agua y las facilidades de transporte de fluidos desde pozos hasta centros de producción se consideran ya construidas para niveles de producción en momentos anteriores. Se analiza si de acuerdo a los nuevos niveles estas facilidades deben ser intervenidas para su ampliación.

3. Valoración financiera

Los cálculos y datos presentados en este trabajo se encuentran en el archivo de Excel

“Modelo Financiero Opciones Reales” anexo al presente documento.

CONTENIDO DEL ARCHIVO POR PESTAÑAS	
Petroleo	Datos de la proyeccion de la produccion de Barriles de Crudo por Pozos, dada por ingenieria de Yacimientos.
Agua	Datos de la proyeccion de la produccion de Barriles de Agua por Pozos, dada por ingenieria de Yacimientos.
Proyecto	Analiza y define el proyecto de acuerdo a la sumatoria del aporte total de los pozos analizados en Crudo, Agua. Solo se analiza los resultados de incremento en la produccion de crudo y agua asociados a la inversion para construccion de infraestructura necesaria para el incremento de produccion anteriormente citado.
Costos Operativos	Proceso para hallar costos de produccion fijos y variables de acuerdo a costos reales de campo.
Inversiones	Se Cuantifica el costo de cada pozo, bien sea perforacion nueva o trabajo de ampliacion de perforacion, de acuerdo a solicitud de yacimientos. Adicionalmente se cuantifica la necesidad de ampliar lineas de flujo o equipos para manejo de Agua o crudo en CPF.
CAPM- WACC	Calculo de Tasa de descuento.
Cronograma	Distribucion de inversiones y costos en el tiempo. Se totaliza de forma anual la produccion, la cual en las pestañas "Petroleo" y " Agua" está como promedio mensual.
Depreciacion	Distribucion depreciacion de activos según ley 1819 2016
Regalias	Descuento de Crudo por pago de regalias
Volatilidad Crudo	Variacion precios de crudo ultimos 10 años, para calcular la distribucion de probabilidad "Valor Venta Crudo" en pestaña flujo de caja.
Precio Crudo	Precios de crudo proyectados por Banco Mundial, como base de nuestras proyecciones de acuerdo con la Volatilidad del Crudo Calculada
Flujo de caja	Distribucion de flujo de caja y calculo de VPN
Volatilidad Management Approach	Calculo de volatilidad del modelo financiero del proyecto, Por Management approach
Volatilidad Ln	Calculo de volatilidad del modelo financiero del proyecto, Por logaritmos naturales
Opcion abandonar	Estructuracion de arbol binomial y Valoracion Abandono de acuerdo a strike price
Opcion Expansion	Estructuracion de arbol binomial y Valoracion Expansion de acuerdo a strike price
Opcion Contraccion	Estructuracion de arbol binomial y Valoracion Contraccion de acuerdo a strike price
Choose	Estructuracion de arbol binomial y Valoracion de acuerdo a la existencia excluyente de Abandono, Expansion y Contraccion
Brownian	Distribucion VPN de acuerdo a Volatilidad

Ilustración 7 Tabla de contenido modelo en Excel (Anexo)

3.1 Marco teórico

Como lo describen Dixit & Pindyck en su libro de inversión bajo incertidumbre, incurrir en un costo inmediato en búsqueda de recompensa futura, es lo que la economía reconoce como inversión. La recompensa que se puede obtener es un aumento en ganancias o una disminución de posibles pérdidas a futuro. Determinan que la mayoría de inversiones comparten tres características especiales, los cuales tienen en algún grado. Primero son irreversibles, el costo inicial está hundido y no se puede recuperar si esto fuera necesario por algún cambio de estrategia de inversión. Segundo, existe incertidumbre sobre las recompensas futuras que se pueden lograr. Lo mejor que se puede hacer en este caso es trabajar con las probabilidades de mejores o peores resultados a los proyectados. Tercero, el tiempo de comienzo se puede dilatar hasta tanto se logre obtener mayor información del proyecto. (Dixit & Pindyck, 1994). Esta necesidad de generar modelos cada vez más robustos se ejemplifica por Alvarez, Lopez y Venegas asociada a los eventos energéticos presentados a nivel mundial, donde cada vez es más importante el balance económico – ambiental, y donde la política energética ha cobrado gran importancia. Exponen que, como consecuencia del desarrollo de la humanidad, y el consumo energético asociado, la mayoría de los países basan sus estrategias actuales en un inmenso consumo de combustibles fósiles, los cuales requieren generación de proyectos. Precisan que el uso incremental de estos combustibles ha generado impactos al medio ambiente, esto asociado a sus emisiones contaminantes. Relacionan que los precios de los combustibles fósiles alcanzados en el 2010 demostraron la volatilidad que este insumo puede tener para la generación eléctrica, dejando claro la vulnerabilidad de las economías desarrolladas y en vías de desarrollo. (Alvarez Echeverria,

Lopez Sarabia, & Venegas Martinez, Mayo 2012). Para la correcta determinación del riesgo asociado al momento de realizar una inversión podemos basarnos usando un concepto clave utilizado por Dixit y Pindyck en cuanto a costo hundido. Aseveran que uno de los factores que determina si es un costo hundido, en construcción de infraestructura es cuando es un proyecto para una industria específica (Dixit & Pindyck, 1994). Se infiere esta sensibilidad en el caso de las inversiones asociadas a desarrollo energético, dadas las condiciones geográficas donde se realizan las construcciones y la poca flexibilidad para dar otro tipo de uso a futuro de la infraestructura.

Por otra parte, en cuanto a la valoración de las inversiones se podría advertir el principio que Damodaran refiere en su libro de valoración que existen corrientes que afirman que el valor es impuesto por quien tiene el bien, y este valor es sencillamente justificado por la cantidad de inversionistas dispuestos a pagar dicho valor (Damodaran, 2006). Esto puede ser cierto en el caso de bienes de los que no se espera generen beneficio monetario, pero en el caso de inversiones financieras, estas se realizan con efecto al flujo de caja que nos pueden llegar a retornar. Hay que tener presente que en las valoraciones existe peso ponderado de acuerdo a las relaciones de tiempo y a las premisas que se contemplen. En el libro de Copeland y Antikarov se ejemplifica que es poco realista que un viaje organizado con tiempo carezca de cambios o contratiempos, no importa el tiempo o esfuerzo que se haya dedicado a su planificación. De esta misma forma presentan que es poco realista creer que el VPN de un proyecto capture el valor de flexibilidad que cobija el proyecto (Copeland & Antikarov, 2001). Este ejemplo aferra lo expresado por Damodaran donde exhibe que en el ámbito de la valoración existen dos grandes tendencias, quienes la ven como una ciencia exacta manejada

por la matemática, y quienes la aprecian como un arte lleno de subjetividad (Damodaran, 2006). La verdad reposa de una manera sutil en el medio, donde se puede hablar de Ciencia, Obra y Arte. De esta forma se unen las lecciones de la academia, la experiencia y se moldea por medio de la imaginación.

Según Dixit & Pindyck la teoría ortodoxa de inversión no ha reconocido la importancia cualitativa y cuantitativa de irreversibilidad, incertidumbre y la escogencia de tiempo. De esta forma se puede entender por qué ciertas inversiones son menos afectadas por tasas de intereses o cambio y si son afectadas en gran medida por volatilidad e incertidumbre en el ambiente económico. Ellos amplían esta definición explicando que durante la fase de toma de decisiones para comenzar un proyecto, usualmente se calculan los valores futuros de los ingresos y los egresos que este generara, luego se encuentra la diferencia y se procederá en caso que el VPN que sea mayor a cero. Explican cómo esta metodología abarca ciertas complicaciones, como lo son la definición las tasas de descuento, inflación, y si se debe trabajar solo con una tasa de descuento. De esta forma las aproximaciones que se realizan solo comparan un valor estático al cuantificar la inversión con un patrón de referencia y se define si es viable o no realizar la inversión. Acentúan que esta teoría tiene además dos asunciones, que una vez se realice la inversión esta no podrá ser revertida y que la posibilidad de inversión es en el momento presente $t = 0$ sin opción a dilatar la toma de la decisión. (Dixit & Pindyck, 1994)

3.2 Construcción flujo de caja

Se estudia analizar los flujos descontados manejando el siguiente esquema

Balance		
Ingresos		Ventas crudo x Precio Proyectado
Gastos		OPEX tratamiento Agua y Crudo
Ebitda	= Ingresos - Gastos - Capex - Regalias	Earnings before interest taxes depreciation amortization
Depreciacion		Depreciacion activos
Ebit	= Ebitda- Depreciacion	Earnings before interest taxes
Intereses		Cuadro Deuda
EBT	= Ebit - Intereses	Earnings before taxes
Taxes		Inpuestos
UN	= Ebt - Taxes	Utilidad neta
Inversiones Capital		Capex requeridas en infraestructura, transporte, perforacion, optimizacion
FcF	= Depreciacion + Intereses + UN	Free Cash Flow = efectivo para atender deuda y dividendos o retribucion accion
Servicio a La deuda		Cuadro Deuda
ECF	= Fcf - Servicio a la deuda	Equiti Cash Flow = Efectivo dividendos o retribucion accionistas
Flujo inversionista	= ECF	Con este se construye el flujo año a año
Cuadro Deuda		
Saldo	= Deuda - Amortizacion	
Intereses	= Deuda * Intereses bancarios	
Amortización	= % de amortizacion a capital	
Servicio de la deuda	= Amortizacion + Intereses	

Ilustración 8 modelo VPN para Proyecto

Para esto se deben calcular los valores del proyecto en cuanto a producción estimada de crudo y de agua, los valores de inversiones y los valores de costos de operación.

3.2.1 Cálculo de valores de crudo y Agua

De acuerdo a los valores entregados en las proyecciones de producción de crudo y de agua de los pozos que corresponden a la campaña de perforación, se realiza la sumatoria de los promedios mensuales por cada pozo, para así determinar los valores promedios por mes. El valor asociado al proyecto de campaña de Perforación es el de incremental, no se tiene en cuenta el valor de base pues es de un proyecto pasado.

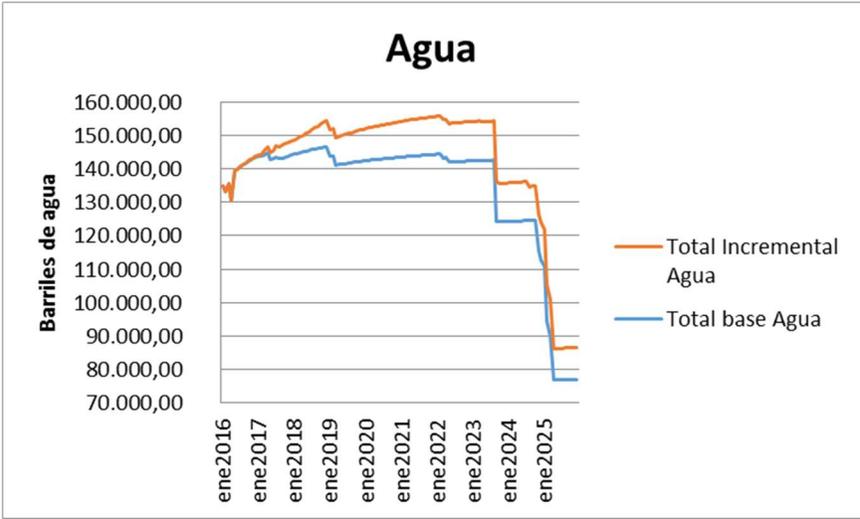
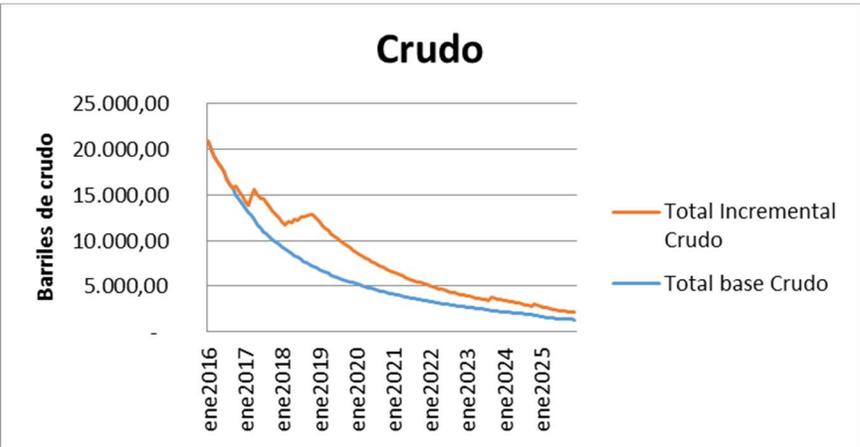


Ilustración 9 Niveles de Crudo y Agua proyectados

3.2.2 Definición y Cálculo Costos Operativos

De acuerdo con los costos actuales del campo, antes del plan de crecimiento en producción se pueden establecer los costos variables y los costos fijos.

TIPO DE SERVICIO	Costo USD
Arrendamiento equipos producción	\$ 514,02
Arrendamiento equipos campamento	\$ 679,13
Transporte Agua	\$ 1.348,99
Combustibles y lubricantes agua	\$ 4.924,66
Combustibles y lubricantes crudo	\$ 2.977,24
Materiales agua	\$ 17.000,65
Materiales Crudo	\$ 718,53
Generación Gas – agua	\$ 22.228,10
Generación Gas – crudo	\$ 4.240,40
Catering y hospedaje	\$ 797,67
Mantenimiento técnico y de Ingeniería	\$ 3.437,35
Soporte Técnico y de Ingeniería	\$ 1.160,95
Análisis de Muestras (Sólidos y fluidos)	\$ 488,15
Tratamiento de sólidos y fluidos	\$ 46,86
Costo tratamiento químico de agua	\$ 2.590,89
Costo tratamiento químico de Crudo	\$ 1.628,63

Total	\$ 64.782,21
-------	--------------

Niveles Para estos costos	
Agua	135.083,00
Crudo	20.828,45

Costos Variables por barril	
Crudo USD	\$ 0,46
Agua USD	\$ 0,36

Costos fijos	\$ 7.124,13
--------------	-------------

Variable agua	Variabe Crudo	Fijo
		\$ 514,02
		\$ 679,13
\$ 1.348,99		
\$ 4.924,66		
	\$ 2.977,24	
\$ 17.000,65		
	\$ 718,53	
\$ 22.228,10		
	\$ 4.240,40	
		\$ 797,67
		\$ 3.437,35
		\$ 1.160,95
		\$ 488,15
		\$ 46,86
\$ 2.590,89		
	\$ 1.628,63	

\$ 48.093,30	\$ 9.564,79	\$ 7.124,13
--------------	-------------	-------------

Ilustración 10 distribución costos fijos - Variables

3.2.3 Definición y Cálculo inversiones

De acuerdo a las nuevas curvas de producción, se determina que para proceso de crudo no se requieren inversiones puesto que este se mantendrá por debajo de la capacidad ya previamente instalada. Para manejo de agua se determinan unas inversiones en construcción de facilidades. Adicionalmente se cuantifican los costos de cada pozo.

Costos Pozos		
	Pozos Nuevos	Mantenimiento de pozos
Seguridad industrial	\$ 60.000	\$ 40.000
Medio ambiente	\$ 60.000	\$ 40.000
Responsabilidad social - Comunidades	\$ 80.000	\$ 60.000
Seguridad fisica	\$ 200.000	\$ 100.000
Movimiento Taladro	\$ 500.000	\$ 300.000
Perforacion	\$ 2.500.000	\$ 1.500.000
Completamiento pozo	\$ 2.000.000	\$ 1.000.000
Trabajos civiles	\$ 50.000	\$ 10.000
Adecuaciones de vias	\$ 200.000	\$ 100.000
Trabajos Tuberia	\$ 40.000	\$ 10.000
Trabajos electricos	\$ 80.000	\$ 10.000
Trabajos Instrumentacion	\$ 225.000	\$ 15.000
Total	\$ 5.995.000	\$ 3.185.000

Facilidades de produccion	
Sistema de crudo	\$ -
Sistemas de procesamiento Agua - Crudo	\$ 6.824.400
Plantas tratamiento de agua	\$ 2.000.000
Sistema de inyeccion de agua	\$ 1.200.000
Generacion electrica Adicional	\$ 900.000
Movilizacion de equipos y materiales	\$ 1.000.000
Socializacion comunidad	\$ 40.000
Permisos Ambientales	\$ 30.000
Gerencia royecto	\$ 517.000
Costos Indirectos	\$ 1.137.400
Lineas de transporte fluido	\$ 11.193.600
Poliducto 10Km	\$ 6.500.000
Movilizacion equipos y materiales	\$ 800.000
Geotecnia - vias	\$ 500.000
Gestio inmobiliaria	\$ 500.000
Socializacion comunidad	\$ 80.000
Permisos Ambientales	\$ 100.000
Gerencia proyectos	\$ 848.000
Costos Indirectos	\$ 1.865.600

Ilustración 11 Inversiones

3.2.4 Definición y Cálculo Regalías

Debido a que la razón de este proyecto es la explotación de recursos no renovables, y al impacto que se tiene en las áreas de influencia, el gobierno nacional determina la necesidad de pago de regalías. De acuerdo al Sistema General de Regalías, esto se debe a:

Conforme al referido Acto Legislativo el Gobierno Nacional tenía la obligación de hacer operativo el Sistema General de Regalías (SGR) a partir del 1 de enero de 2012, razón por la cual expidió el Decreto Ley transitorio 4923-2011, el cual determina la distribución, objetivos, fines, administración, ejecución, control, el uso eficiente y la destinación de los ingresos provenientes de la explotación de los recursos naturales no renovables precisando las condiciones de participación de sus beneficiarios.

El Nuevo sistema General de Regalías tiene como objetivos:

- ✓ Crear condiciones de equidad en la distribución de los ingresos para generar ahorros en época de escasez.
- ✓ Distribuir los recursos hacia la población más pobre generando mayor equidad social.
- ✓ Promover el desarrollo y la competitividad regional
- ✓ Incentivar proyectos minero energéticos (tanto para pequeña y mediana industria y para la minería artesanal)
- ✓ Promover la integración de las entidades territoriales en proyectos comunes.
- ✓ Propiciar la inversión en la restauración social y económica de los territorios donde se desarrollen actividades de exploración y explotación. (Sistema General de Regalías, s.f.)

Para el cálculo del valor de Regalías, se toma el nivel de producción de cada campo y se contrasta con la tabla presentada a continuación. Una vez se tiene el porcentaje que se debe pagar como regalía, se descuenta de la producción del campo.

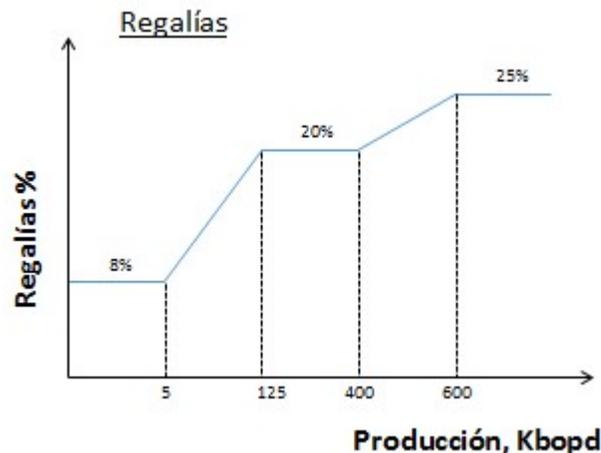


Ilustración 12 Regalías (Moix Muntó, 2014)

Para nuestro caso de estudio, las regalías estarían dadas por la siguiente distribución:

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Produccion anualizada	6.268.702	5.078.142	4.447.179	3.744.977	2.757.299	2.095.880	1.624.153	1.325.431	1.123.566	871.171
Promedio diario en miles de barr	17,2	13,9	12,2	10,3	7,6	5,7	4,4	3,6	3,1	2,4
Regalías	9,22%	8,89%	8,72%	8,53%	8,26%	8,07%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%
Produccion Gross	82.945	993.290	1.537.130	1.560.093	1.054.630	738.495	532.194	436.603	403.902	339.102
Crudo asociado regalías	- 7.645	- 88.316	- 134.013	- 133.014	- 87.064	- 59.628	- 42.575	- 34.928	- 32.312	- 27.128
Produccion Neta	75.300	904.973	1.403.117	1.427.079	967.566	678.867	489.618	401.675	371.589	311.973

Ilustración 13 Distribución Regalías

Teniendo la producción neta, la que genera ingresos, como la producción total menos el porcentaje asociado a regalías.

Vale resaltar la importancia de verificar el análisis de regalías con la distribución de campos petroleros dentro de una zona de producción. En caso que los fluidos provengan de diferentes campos estos no se deberían sumar para calcular los niveles de regalías.

3.2.5 Definición y Cálculo Depreciación

La depreciación debe ser tomada en cuenta para los análisis de cada proyecto, teniendo precaución de contar solo con los activos depreciables y no los servicios o permisos asociados. En el libro *Proyectos Formulación y criterios de evaluación*, los autores presentan una clara definición. “Depreciación se entiende como la pérdida de valor de un activo producida por factores como la edad y la obsolescencia, entre otros. También se entiende como un costo (valor) de uso, de utilización o de disponibilidad de un activo fijo depreciable.” (Murcia, y otros, 2011). En su cálculo y manejo es importante resaltar que esta partida no representa salida de efectivo constituyendo salida contra ingreso pero sin afectar el flujo de efectivo (Ross, Westerfield, & Jaffe, 2005).

En el caso de Colombia, rigiéndonos por la ley 1819 de 2016, las depreciaciones se hacen de acuerdo con la siguiente tabla:

Activos	Tasa de depreciación fiscal anual %
CONSTRUCCIONES Y EDIFICACIONES	2,22%
ACUEDUCTO, PLANTA Y REDES	2,50%
VIAS DE COMUNICACIÓN	2,50%
FLOTA Y EQUIPO AEREO	3,33%
FLOTA Y EQUIPO FERREO	5,00%
FLOTA Y EQUIPO FLUVIAL	6,67%
ARMAMENTO Y EQUIPO DE VIGILANCIA	10,00%
EQUIPO ELECTRICO	10,00%
FLOTA Y EQUIPO DE TRANSPORTE TERRESTRE	10,00%
MAQUINARIA Y EQUIPO	10,00%
MUEBLES Y ENSERES	10,00%
EQUIPO MEDICO CIENTIFICO	12,50%
ENVASES, EMPAQUES Y HERRAMIENTAS	20,00%
EQUIPO DE COMPUTACION	20,00%
REDES DE PROCESAMIENTO DE DATOS	20,00%
EQUIPOS DE COMUNICACIÓN	20,00%

Ilustración 14 Tabla Depreciación Ley 1819 de 2016

Siguiendo este lineamiento, la depreciación para los activos del proyecto serian enmarcados en:

Pozos Nuevos		Factor depreciacion ley 1819
Perforacion	\$ 2.500.000	2,2%
Completamiento pozo	\$ 2.000.000	2,2%
Trabajos civiles	\$ 50.000	2,2%
Adecuaciones de vias	\$ 200.000	2,5%
Trabajos Tuberia	\$ 40.000	2,5%
Trabajos electricos	\$ 80.000	10%
Trabajos Instrumentacion	\$ 225.000	20%
Factor depreciacion anual respecto a inversion total		2,65%

Mantenimiento Pozos		Factor depreciacion ley 1819
Perforacion	\$ 1.500.000	2,2%
Completamiento pozo	\$ 1.000.000	2,2%
Trabajos civiles	\$ 10.000	2,2%
Adecuaciones de vias	\$ 100.000	2,5%
Trabajos Tuberia	\$ 10.000	2,5%
Trabajos electricos	\$ 10.000	10%
Trabajos Instrumentacion	\$ 15.000	20%
Factor depreciacion anual respecto a inversion total		1,95%

Sistemas de procesamiento Agua - Crudo		Factor depreciacion ley 1819
Plantas tratamiento de agua	\$ 2.000.000	2,50%
Sistema de inyeccion de agua	\$ 1.200.000	2,50%
Generacion electrica Adicional	\$ 900.000	10%
Factor depreciacion anual respecto a inversion total		2,49%

Lineas de transporte fluido		Factor depreciacion ley 1819
Poliducto 10Km	\$ 6.500.000	2,50%
Geotecnia - vias	\$ 500.000	2,50%
Factor depreciacion anual respecto a inversion total		1,56%

Ilustración 15 Depreciación Activos

3.2.6 Valor Proyectado venta crudo

Se debe tener presente los diferentes factores que intervienen en el precio de barril de crudo, los cuales son determinantes para la debida proyección de inversiones. La Opep (Organización Países Productores de Petróleo) resalta estos factores:

Los factores nos son familiares e incluyen: subidas inesperadamente grandes de la demanda; Tendencias imprevistas con la oferta no OPEP; Desarrollos geopolíticos en varias partes del mundo; Cuellos de botella aguas abajo en algunos de los principales países consumidores; Accidentes, desastres naturales y condiciones meteorológicas extremas; La disminución de la fortaleza del dólar estadounidense (más recientemente); Y un gran aumento en la especulación. La aparición del petróleo como activo ha transformado el mercado del petróleo, que ahora está mucho más expuesto a los mercados financieros más amplios. Como resultado, el mercado del petróleo ha experimentado una mayor volatilidad y el precio del crudo ha sido afectado por un número creciente de factores que no están directamente relacionados con los fundamentos de la oferta y la demanda. Estos factores incluyen las fluctuaciones del tipo de cambio, la gestión de la cartera y las estrategias de cobertura del riesgo por parte de los participantes no comerciales del mercado, y el arbitraje entre diversos activos.⁴

Con estas premisas, el Banco Mundial hace una proyección de precios de venta. (<http://pubdocs.worldbank.org/en/926111485188873241/CMO-January-2017-Forecasts.pdf>).

⁴ Traducción del autor, a continuación texto original. "The factors are familiar to us and include: unexpectedly large rises in demand; unanticipated trends with non-OPEC supply; geopolitical developments in various parts of the world; downstream bottlenecks in some major consuming countries; accidents, natural disasters and extreme weather; the declining strength of the US dollar (most recently); and a big rise in speculation. The emergence of oil as an asset class has transformed the oil market, which is now far more exposed to the broader financial markets. As a result, the oil market has experienced greater volatility and the price of crude has been impacted by a growing number of factors that are not directly related to supply and demand fundamentals. These factors include exchange rate fluctuations, portfolio management and risk hedging strategies on the part of non-commercial market participants, and arbitrage between various assets."

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Pronostico USD/Barril - Fuente World Bank	42,8	55	60	61,5	62,9	64,5	66	67,6	69,3	71

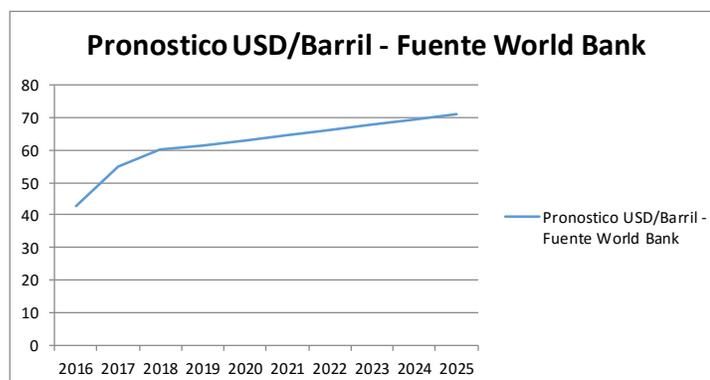


Ilustración 16 Pronostico precio barril Banco Mundial

3.3 Análisis tasa de descuento

3.3.1 Marco Teórico

Para determinar la tasa de descuento con la cual se halla el VPN del proyecto podemos trabajar con la reseña de Rigoberto Moix en su libro Evaluación económica de proyectos petroleros.

Existen modelos económicos que permiten establecer la tasa de descuento que deben adoptar las empresas. Uno de los más reconocidos es el modelo de equilibrio de activos financieros también conocido como Capital Asset pricing Model o CAPM, el cual debe ser ajustado pro el riesgo País y complementado con el cálculo del Costo de Capital Ponderado o Weighted Average Cost of Capital o WACC (Moix Muntó, 2014).

Para comenzar con el CAPM debemos afianzar los conceptos de Richardl Brealey, Stewart Myers y Alan Marcus en su libro Fundamentals of Corporate Finance en cuanto a que cuando se quiere disminuir el riesgo, se trabaja en diversificación de activos. Presentan que el riesgo que puede ser eliminado por diversificación, o trabajo de portafolios, se llama riesgo específico. Adicionalmente aseguran que el riesgo que no se puede eliminar

independientemente del esfuerzo que se tome es conocido como riesgo de mercado o sistémico.

El riesgo específico se presenta porque muchos de los peligros que rodean a una compañía individual son peculiares a esa compañía y quizás a sus competidores directos. El riesgo de mercado proviene de los peligros de toda la economía que amenazan a todas las empresas. El riesgo de mercado explica por qué las acciones tienen una tendencia a moverse juntas, por lo que incluso las carteras bien diversificadas están expuestas a los movimientos del mercado. (Brealey, Myers, & Marcus, 2012, pág. 334)⁵

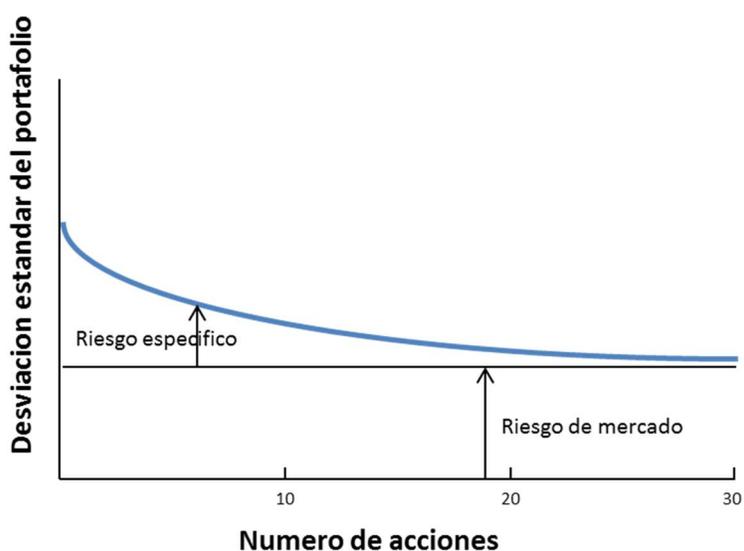


Ilustración 17 Riesgo de mercado

En cuanto a medición del riesgo de Mercado, Richard Brealey, Stewart Myers y Alan Marcus sostienen que los cambios en tasa de interés, los precios de crudo, las tasas de cambio internacionales, y otros eventos macroeconómicos afectan casi todas las compañías y el retorno en casi todas las acciones. Una forma de evaluar el impacto macroeconómico es

⁵ Traducción del autor, a continuación texto original. “Specific risk arises because many of the perils that surround an individual company are peculiar to that company and perhaps its direct competitors. Market risk stems from economywide perils that threaten all businesses. Market risk explains why stocks have a tendency to move together, so even well-diversified portfolios are exposed to market movements.”

mediante la medición y seguimiento de la tasa de retorno en un portafolio de mercado. Orientan que el desempeño del mercado refleja solo eventos macroeconómicos, porque los eventos específicos de las empresas se compensan en los portafolios al combinar miles de empresas y bonos. Indican que el riesgo depende de la exposición a eventos macroeconómicos y puede ser medido como la sensibilidad del retorno de una acción a la fluctuación de retornos en el portafolio de mercado. Reseñan que esta sensibilidad es conocida como el beta de la acción (β). La diversificación puede eliminar el riesgo que es propio de bonos individuales, pero no el riesgo de mercado, algunos bonos son menos afectados que otros por fluctuaciones de mercado. Presentan que los gerentes de inversión hablan de dos tipos de bonos en este aspecto, los bonos defensivos y los agresivos. Los bonos defensivos no son muy sensibles a fluctuaciones de mercado y por eso tienen betas pequeños. En contraste los bonos agresivos amplifican cualquier movimiento de mercado y tienen betas más altos. (Brealey, Myers, & Marcus, 2012)

Las acciones agresivas tienen betas elevadas, betas superiores a 1,0, lo que significa que sus retornos tienden a responder en una proporción superior a 1:1 a los cambios en el retorno de los mercados globales. Las betas de las acciones defensivas son inferiores a 1,0 las rentabilidades de estas acciones varían en menor proporción de 1:1 con los rendimientos del mercado. El beta promedio de todas las poblaciones es - no hay sorpresas en esto - 1,0 exactamente (Brealey, Myers, & Marcus, 2012, pág. 346) ⁶

⁶ Traducción del autor, a continuación texto original. "Aggressive stocks have high betas, betas greater than 1.0, meaning that their returns tend to respond more than one for one to changes in the return of overall markets. The betas of defensive stocks are less than 1.0 the returns of these stocks vary less than one for one with market returns. The average beta of all stocks is - no surprises in it- 1.0 exactly."

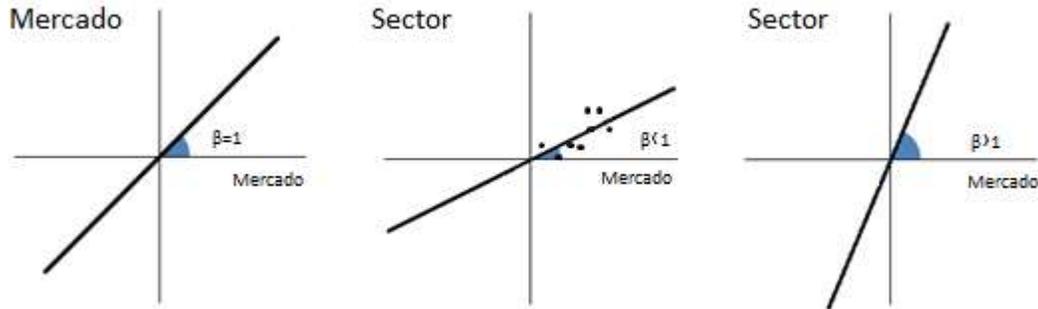


Ilustración 18 Betas de acuerdo a sensibilidad del mercado (Moix Muntó, 2014, pág. 38)

Podemos determinar que el beta (β) es la pendiente de la línea que se genera de la gráfica de riesgo del mercado vs riesgo del sector.

Richard Brealey, Stewart Myers y Alan Marcus resaltan la importancia de los conceptos de riesgo y retorno en las inversiones. Para esto mencionan que la inversión de menor riesgo es los bonos de tesoro de EEUU. Debido a que el retorno en los bonos de tesoro de EEUU esta predeterminado, no es afectado por lo que suceda en el mercado, teniendo un beta de cero. Reiteran que un inversionista no busca riesgo por diversión, este solo materializará una inversión si el portafolio de mercado tiene un retorno superior al del bono de tesoro EEUU. La diferencia entre la inversión y el retorno ofrecido por los bonos del tesoro de EEUU es conocida como Market Risk Premium. Esto lo expresan matemáticamente como:

Market Risk Premium

= Retorno esperado de mercado (r_m)

– Retorno de bonos del tesoro (r_f)

$$\text{Market Risk Premium} = r_m - r_f$$

Beta (β) mide el riesgo relativo al mercado, de esta forma expresan:

$$\text{Risk Premium} = \beta \text{ Market Risk Premium}$$

$$\text{Risk Premi} = \beta (r_m - r_f)$$

Así finalmente llegan a la expresión de retorno esperado

$$\text{Expected Return}(r_e) = \text{Retorno libre de riesgo}(r_m) + \text{Risk Premium}(r_f)$$

$$r_e = r_f + \beta (r_m - r_f)$$

(Brealey, Myers, & Marcus, 2012)

Para hallar los valores de Beta podemos apalancarnos en lo expresado por Rigoberto Moix

Para aplicar la fórmula de CAPM no es necesario llevar a cabo una ardua tarea de investigación. Existe información pública y disponible sobre la tasa de mercado, betas de los sectores económicos, cost of equity y cost of capital. Una fuente disponible es la publicada por el profesor Aswath Damodaran de NYU Stern School of Business (http://pages.stern.nyu.edu/~adamor/New_Home_Page/datafile/wacc.htm), quien la actualiza anualmente y donde pueden ubicar el sector económico de su empresa y buscar directamente el costo de capital o beta correspondiente (Moix Muntó, 2014).

Richard Brealey, Stewart Myers y Alan Marcus muestran que al utilizar este modelo de CAPM, que predice que el Beta es la única razón de variación en retornos esperados, no se refleja toda la verdad. Declaran que muchas compañías estiman la tasa de descuento requerida por sus inversionistas en sus acciones, y usan este mismo costo de capital de la compañía para realizar el descuento de flujos de caja en todos sus nuevos proyectos. Debido a que los inversionistas requieren unas tasas más altas cuando se enfrentan a mayor riesgo, las compañías riesgosas tendrán un costo de capital elevado con el cual evaluarán sus proyectos. Aseguran que esto puede diferir cuando los proyectos de una empresa no son de

la misma naturaleza de esta, como por ejemplo cuando extienden sus operaciones a otras áreas o productos. Adicionalmente hay que diferenciar cuando las inversiones se hacen con capital o deuda. Resaltan la importancia de evaluar los proyectos de acuerdo a su riesgo propio y no al de la empresa que los materializa. (Brealey, Myers, & Marcus, 2012)

A este valor de retorno esperado Rigoberto Moix, en su libro, manifiesta que se debe ajustar agregando una prima de riesgo país por cuanto el riesgo varía de una nación a otra y con esta variación el retorno esperado cambia. Enfatiza que los inversionistas exigirán un mayor retorno si el riesgo aumenta, de esta forma un país con mayor nivel de riesgo deberá ofrecer mejores retornos. (Moix Muntó, 2014)

Existe información pública sobre este respecto. Una fuente publica es la página del profesor Aswath Damodaran de NYU Stern School of Business, que actualiza anualmente (http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/ctryprem.html). En la tabla del sitio Web se puede encontrar la calificación crediticia del país y la Prima de Riesgo correspondiente (Moix Muntó, 2014).

Esto lo expresa matemáticamente:

$$r_e (\text{Ajustado}) = r_e + \text{Prima de Riesgo País}$$

Richard Brealey, Stewart Myers y Alan Marcus enfatizan como el CAPM se queda corto en algunas asunciones. Identifican que esto se debe a que la mayoría de las compañías son financiadas por una mezcla de acciones ordinarias, bonos, acciones preferenciales y otros tipos de valores. Cada uno de estos tiene diferentes riesgos, y por esto los inversionistas buscan diferentes tasas de retorno en cada uno de ellos. Adicionalmente exponen que el costo de capital también depende de impuestos, dado que los pagos de interés realizados por corporaciones son deducibles de impuestos. Por consiguiente, el costo de capital de la

compañía es usualmente calculado como el peso ponderado como el costo de intereses de deuda luego de impuestos y el costo de capital, que es la tasa de retorno esperada de las acciones ordinarias. Esto se conoce como WACC por sus siglas en inglés (Weighted Average Cost of Capital) (Brealey, Myers, & Marcus, 2012).

$$WAAC = i * (1 - ISLR) * D + r_e * E$$

i = Tasa de interes de la deuda

ISLR = Tasa Nominal de Impuesto sobre la renta

D = Porcentaje de la deuda que compona el capital de la empresa

E = Porcentaje de patrimonio que compone el capital de la empresa

3.3.2 Determinar CAPM – WACC

Utilizando los valores de beta y costo del mercado empresas Oil/Gas (Production and Exploration) y la prima de riesgo de País para Colombia, que encontramos en la página del profesor Aswath Damodaran, podemos determinar:

CAPM	
Rf	2,24%
Beta	1,38
Rs	10,29%
$R_E = R_F + \beta * (R_S - R_f)$	
Re	13,35%
Prima riesgo pais	2,51%
Re con Prima pais	15,86%
WACC	
Tasa de interes de la deuda (i)	12%
Impuesto sobre la renta (ISLR)	33%
Porcentaje de la deuda que compone el capital de la empresa (D)	30%
Porcentaje de patrimonio que compone el capital de la empresa (E)	70%
$WACC = i * (1 - ISLR) * D + R_E * E$	
WACC	13,51%

Ilustración 19 CAPM - WACC

3.4 Evaluación Valor Presente Neto

Para el análisis de VPN, de acuerdo al Capex calculado con apoyo de la ingeniería elaborada, se definirá la distribución de este entre Deuda y Capital. Para este proyecto se tomó la distribución 70 % Capital 30% Deuda.

Se calcula el FLUJO DE INVERSIONISTA para todos los años, se descuenta al año cero mediante la tasa de descuento WACC y al sumarlos se tiene el VPN del proyecto.

Así se analiza el VPN de todos los flujos de Capex, Opex y retornos, comenzando en el momento 0 con la primera inversión y levándolo hasta el fin del tiempo comercial (fin de contrato de operación, fin de licencia, fin de reservas, permisos de explotación asociados a nuevas leyes, posicionamiento en el mercado de nuevas fuentes de energía).

Balance		
Ingresos		Ventas crudo x Precio Proyectado
Gastos		OPEX tratamiento Agua y Crudo
Ebitda	= Ingresos - Gastos - Capex - Regalias	Earnings before interest taxes depreciation amortization
Depreciacion		Depreciacion activos
Ebit	= Ebitda- Depreciacion	Earnings before interest taxes
Intereses		Cuadro Deuda
EBT	= Ebit - Intereses	Earnings before taxes
Taxes		Inpuestos
UN	= Ebt - Taxes	Utilidad neta
Inversiones Capital		Capex requeridas en infraestructura, transporte, perforacion, optimizacion
Fcf	= Depreciacion + Intereses + UN	Free Cash Flow = efectivo para atender deuda y dividendos o retribucion accionistas
Servicio a La deuda		Cuadro Deuda
ECF	= Fcf - Servicio a la deuda	Equiti Cash Flow = Efectivo dividendos o retribucion accionistas
Flujo inversionista	= ECF	Con este se construye el flujo año a año

Descontado al año 1	
	VPN Acumulado
VPN	\$ 70.093.017,52

Intereses	10%
Deuda	30%

Cuadro Deuda		
Saldo	= Deuda - Amortizacion	
Intereses	= Deuda * Intereses bancarios	
Amortización	= % de amortizacion a capital	10%
Servicio de la deuda	= Amortizacion + Intereses	

Ilustración 20 Flujo de Caja y Cálculo VPN

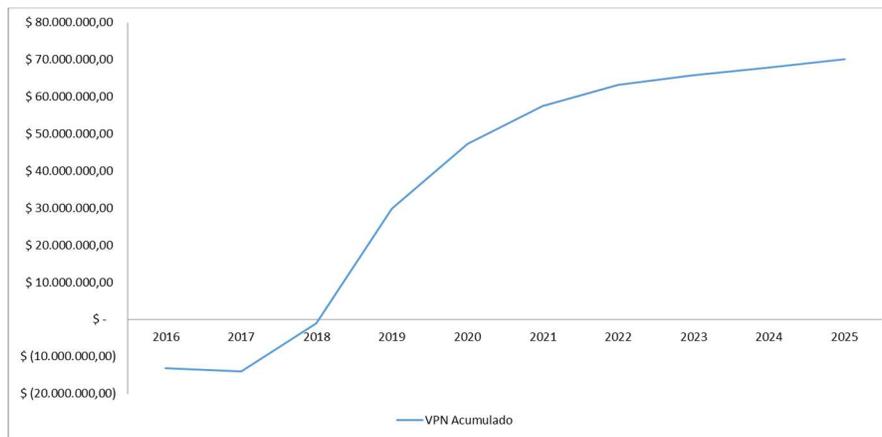


Ilustración 21 VPN

De acuerdo a la teoría de evaluación de proyectos mediante el valor presente neto, se podría concluir que este proyecto presenta un valor significativamente mayor que cero, podemos afirmar que estamos generando valor para los inversionistas.

Sin embargo, este análisis no tiene en cuenta las bondades de un proyecto donde se puedan tomar diferentes rumbos una vez se ha comenzado su ejecución, no contempla las bondades ni cuantifica en la valoración el poder de que tienen la incertidumbre ni la flexibilidad.

4. Volatilidad

Las herramientas de simulación permiten comparar los modelos con los posibles comportamientos reales del universo, no concibiendo que cada variable tiene un valor único e inmodificable. De esta forma se pueden encontrar sensibilidades de algunas variables, volatilidad de los resultados y posibles puntos críticos o de máxima oportunidad.

La simulación de Montecarlo es una técnica muy eficiente para analizar los elementos de incertidumbre, que suelen ser demasiado complejos para ser resueltos exclusivamente mediante métodos analíticos. La probabilidad de un evento puede ser estimada partiendo de las frecuencias relativas observadas en un experimento controlado o mediante un muestreo a una población bastante grande que refleje la probabilidad de ocurrencia de dicho evento (Zitzmann Riedler, 2009)

No sería correcto considerar la volatilidad de un proyecto como la volatilidad del mercado. Resaltando lo expresado por Jonathan Mun, Para en análisis de la volatilidad se debe tener claridad que no se está hallando la volatilidad de una sola de las variables del modelo, la volatilidad de un Proyecto no es igual que la volatilidad de cualquiera de las variables de entrada, ni es igual al capital de la empresa. Cada muestra que se escoja como conjunto de parámetros genera una estimación del valor actual del Proyecto. " (Mun, 2005)

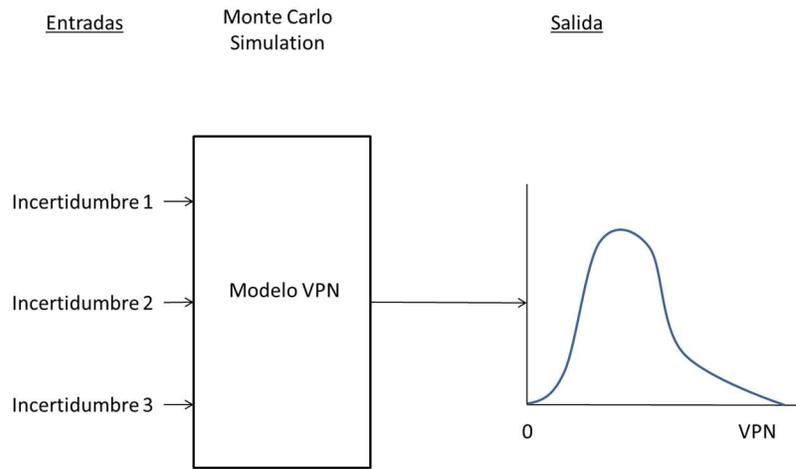


Ilustración 22 proceso Montecarlo (Mun, 2005)

Teniendo presente que la volatilidad del proyecto es la variación en el VPN o valor del mismo, es importante calcularlo para poder proceder con el análisis de Opciones reales. Para este cálculo es necesario conocer las distribuciones de probabilidad de las variables que intervienen en el modelo. Adicionalmente así se realiza un análisis de sensibilidad de las variables relevantes.

4.1 Análisis distribuciones de probabilidad de las variables del modelo

4.1.1 Análisis distribución probabilidad producción agua y crudo

Para el análisis de la distribución de probabilidad de variaciones en el volumen de Agua y crudo, se parte de los análisis presentados en estimación de recursos y reservas que entregan un nivel de certeza de -30% / +10% para el crudo y -10% / +30% para el agua. Utilizando una distribución Beta Pert por sus bondades en la predicción de comportamiento de valores porcentuales aleatorios, donde en este caso se conoce el mínimo, máximo, y valor más probable. (Charnes, 2012)

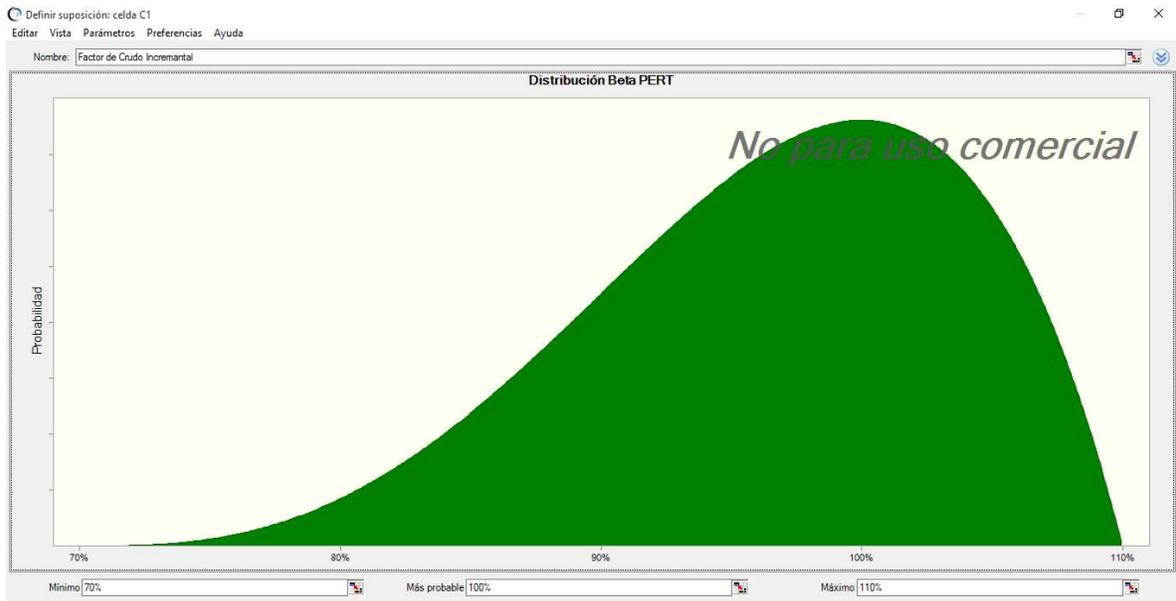


Ilustración 23 Distribución de probabilidad factor de crudo incremental



Ilustración 24 Distribución de probabilidad factor de agua incremental

4.1.2 Análisis distribución probabilidad Inversiones

Para el análisis de la probabilidad de desviación del valor inversiones de las inversiones, se determina el nivel de certeza con el cual se plantea la inversión. Las inversiones en construcción se determinan de acuerdo a la madurez de la ingeniería con que se planean y ejecuten. Algunas inversiones se planean y ejecutan con niveles de ingeniería básica, esto cuando los tiempos de contratación, permisos, movilización, compra y entrega de equipos o materiales no permiten esperar hasta una ingeniería de detalle. Las desviaciones en los costos, partiendo que el alcance de las obras no aumente, es el de retrasos, reprocesos, ítems no contemplados en el contrato, pagos de stand by por falta de definiciones o llegada tardía de equipos o materiales que no están en los diseños originales.



Clase de estimado	V	IV	III	II	I
Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> Planificación Estudios factibilidad Técnico - Económica Financiamiento para Ing. Conceptual 	<ul style="list-style-type: none"> Selección entre varios proyectos y alternativas Financiamiento para Ing. Básica 	<ul style="list-style-type: none"> Propuestas tentativas al presupuesto de inversiones Financiamiento para Ing. De Detalle y para compra de equipos y materiales LTE 	<ul style="list-style-type: none"> Propuestas firmes al presupuesto de inversiones Financiamiento para ingeniería, procura, construcción y arranque del proyecto 	<ul style="list-style-type: none"> Análisis de contratistas Control de ejecución de construcción del proyecto
Etapas del proyecto	Determinación de la necesidad	Ing. Conceptual 100% terminada	60% de la Ing. Básica terminada	Ing. Básica 100% terminada	Ing. De Detalle en etapa de finalización
Información requerida	Definición "Draft" del proyecto y de sus componentes	Proceso Parámetros claves de diseño de plantas y equipos mayores	Especificaciones de diseño de equipos críticos, diagramas de flujo, instrumentación y control	Especificaciones de proceso y de los equipos principales, planos de distribución de planta, etc.	Planos detallados cómputos métricos de materiales, planificación y estrategias de contratación
Método de Estimación	Datos históricos o académicos de curvas de costo de proyectos en el área	Factorizado y curvas de costo de proyectos análogos	Factorizado y cotizaciones firmes de equipos de largo tiempo de entrega	Principalmente detallado, cotizaciones firmes de equipos críticos	Principalmente detallado, precios unitarios, partidas normalizadas
Rango de Precisión	-50% + 100%	-30% +50%	-20% +30%	-15% +20%	-10% +15%
Confiabilidad	100%	100%	100%	100%	100%
Contingencia	50%	30%	20%	15%	5%

Ilustración 25 Estimados presupuestales

De acuerdo a los niveles de maduración en que se suelen acometer las diferentes inversiones, se determinaron sus distribuciones de probabilidad. Teniendo los valores mínimos, máximos, y esperados, se determina una distribución Beta Pert por sus bondades en comportamiento de proyectos. (Charnes, 2012).

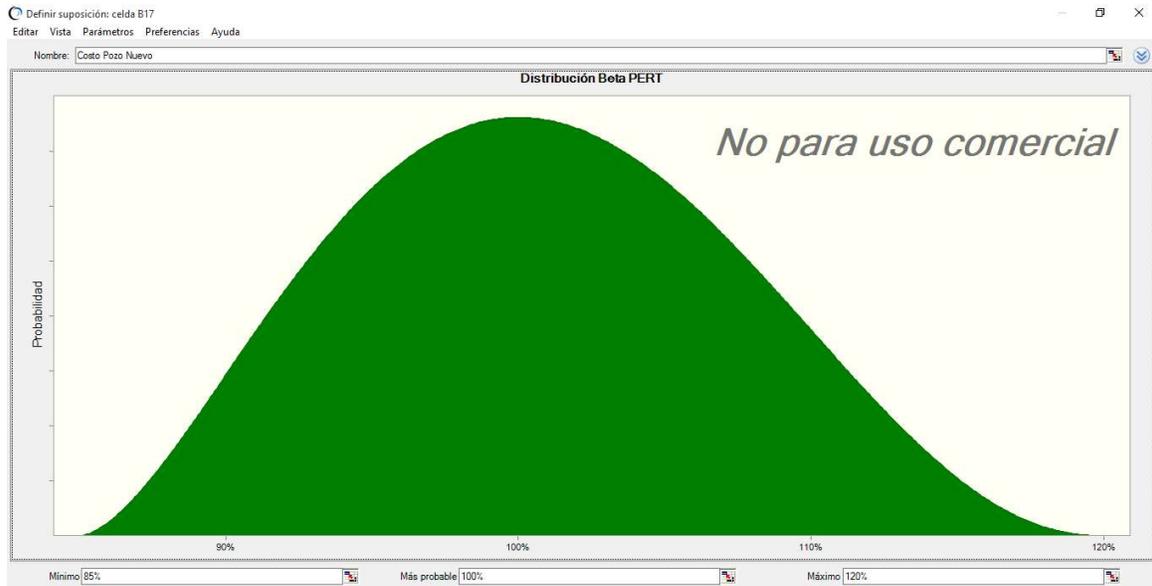


Ilustración 26 Distribución crudo pozo nuevo



Ilustración 27 Distribución crudo mantenimiento pozos



Ilustración 28 Distribución facilidades sistemas de proceso



Ilustración 29 Distribución facilidades producción líneas transporte de fluido

4.1.3 Análisis distribución de probabilidad costos Operativos

Para el análisis de la distribución de probabilidad de las variaciones de los costos operativos, se analizan las causas de las mismas. Estas causas por lo general están determinadas por cambios en las concentraciones de química, utilización adicional de equipos o materiales

durante la operación y mantenimiento, y a las variaciones en consumo de energía eléctrica. El mayor consumidor de energía eléctrica es el sistema de agua debido a las bombas que se utilizan. En el libro Evaluación Económica de proyectos Petroleros se determina que los costos variables de agua y crudo pueden estar en un -10% / +50% (Moix Muntó, 2014).



Ilustración 30 Distribución costo variable crudo



Ilustración 31 Distribución costo variable agua

4.1.4 Análisis distribución probabilidad WACC – Intereses – Amortización

Para realizar un análisis de sensibilidad de acuerdo a las variables Prima Riesgo País, Porcentaje de la deuda que compone el capital de la empresa, intereses y amortización se utilizaron distribuciones con forma triangular.



Ilustración 32 Distribución prima riesgo país



Ilustración 33 Distribución porcentaje de la deuda que compone el capital de la empresa



Ilustración 34 Distribución intereses



Ilustración 35 Distribución porcentaje de amortización a capital

4.1.5 Análisis distribución probabilidad precios crudo

4.1.5.1 Ajustar distribución de datos precio crudo

De acuerdo con los factores que intervienen en precio del Crudo, este tiene una alta volatilidad. Para poder cuantificarla, teniendo como base la proyección del banco Mundial, se procede a analizar los datos históricos y hallar su distribución de probabilidad. Una vez se tienen las distribuciones propuestas será necesario realizar pruebas de bondad de ajuste para validarlas.

Fecha	Valor	Variacion
Apr 2016	40,75	8,74%
may-16	45,98	12,08%
jun-16	47,69	3,65%
jul-16	44,22	-7,55%
Aug 2016	44,84	1,39%
sep-16	45,06	0,49%
oct-16	49,29	8,97%
nov-16	45,28	-8,49%
Dec 2016	52,61	15,00%
Jan 2017	53,63	1,92%
feb-17	54,36	1,35%
mar-17	50,91	-6,56%
Apr 2017	52,23	2,56%

Ilustración 36 Datos variación crudo (Ejemplo un año)

Para análisis se tomaron de igual forma que en el ejemplo datos mensuales de los últimos 10 años.

4.1.5.2 Pruebas Bondad de Ajuste

4.1.5.2.1 Marco Teórico

En su libro *Econometría*, los autores Damodar Gujarati y Dawn Porter, explican el concepto de bondad de ajuste de una línea de regresión a un conjunto de datos como que tan bien se ajusta esta línea a los datos. (Gujarati & Porter, 2010). De esta misma forma debemos determinar la curva que mejor describiría la distribución de probabilidad de la volatilidad del crudo. Para esto tomamos los valores históricos mensuales de los últimos 10 años y hallamos sus variaciones porcentuales $\ln \frac{t}{t-1}$. A estas variaciones les hallamos la distribución de probabilidad mediante pruebas de bondad de ajuste. Revisamos las pruebas Chi cuadrado, Anderson Darling y Kormogrov Smirnov. Vale resaltar lo expresado por Gujarati y Porter en cuanto a que si todas las observaciones cayesen en la línea de regresión, obtendríamos un ajuste perfecto, pero rara vez se presenta este caso. Por lo general hay \hat{u}_i positivas y algunas \hat{u}_i negativas. (Gujarati & Porter, 2010)

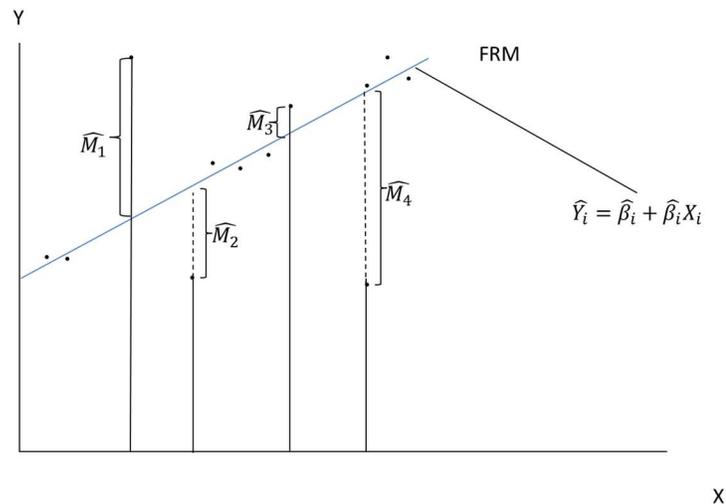


Figura ajuste regresión (Gujarati & Porter, 2010)

Revisando los procedimientos propios de la industria de Oil & Gas, tenemos el libro de Confiabilidad integral Sinergia de disciplinas, donde se expone los pasos que debemos realizar en este caso.

Paso 1: Plantear las hipótesis de las distribuciones paramétricas que podrían hacer un buen ajuste con los datos.

Paso 2: Calcular los parámetros de cada una de las distribuciones hipótesis con los datos de la muestra.

Paso 3: Realizar alguna de las pruebas de bondad de ajuste.

Paso 4: Seleccionar entre las distribuciones hipotéticas no rechazadas, aquella que tenga el valor del test más bajo. (Yañez, Gomez de la vega, Seneco, Nucette, & Medina, 2007)

Para el paso 1 utilizamos como hipótesis las distribuciones preestablecidas de Montecarlo: Weibull, Extremo mínimo, Beta, Logística, T de Student, Normal, Gamma, Logarítmico, Beta PERT, Triangular, Extremo máximo, Uniforme, Pareto y Exponencial. Los pasos 2 y 3 se realizan directamente el software de Montecarlo con los valores ya obtenidos de variación mensual en el precio del crudo.

Antes de seleccionar la distribución que mejor describa, revisamos los conceptos de las diferentes pruebas y P-Value.

4.1.5.2.2 Chi Cuadrado

La prueba de Chi – Cuadrado es una de las pruebas de bondad de ajuste más comúnmente utilizada.

El valor del test de Chi – Cuadrado viene dado por la aplicación de la siguiente ecuación:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(frec_i - p_i)^2}{p_i}$$

Dónde: m = Número de clase

$frec_i$ = Valor de la frecuencia o probabilidad observada para una clase del histograma

p_i = probabilidad teórica de observar X_i calculada con la distribución de densidad de probabilidad hipotética $f(x)$

Se determina que en el cálculo del valor crítico para la prueba de Chi–Cuadrado se busca conseguir el valor correspondiente al percentil $1 - \alpha$ de una distribución Chi–Cuadrado con $N - 1$ grado de libertad (N es el número de intervalos o clases). Una vez que se hace el análisis estadístico de Chi – Cuadrado se compara el valor obtenido con el valor crítico de la tabla. Si dicho valor es mayor que el valor crítico la hipótesis debe ser rechazada, es decir, la distribución no hace buen ajuste. (Yañez, Gomez de la vega, Seneco, Nucette, & Medina, 2007)

df	Porcentaje									
	0,5	1	2,5	5	10	90	95	97,5	99	99,5
1	0,000039	0,00016	0,000098	0,0039	0,0158	2,71	3,84	5,02	5,63	7,88
2	0,0100	0,0201	0,056	0,1026	0,2107	4,61	5,99	7,38	9,21	10,60
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	0,584	6,25	7,81	9,35	11,34	12,84
4	0,207	0,297	0,484	0,711	1,064	7,78	9,49	11,14	13,28	14,86
5	0,412	0,554	0,831	1,15	1,61	9,24	11,07	12,83	15,09	16,75
6	0,676	0,872	1,24	1,64	2,2	10,64	12,59	14,45	16,81	18,55
7	0,989	1,24	1,69	2,17	2,83	12,02	14,07	16,01	18,48	20,28
8	1,34	1,65	2,18	2,73	3,49	13,36	15,51	17,53	20,09	21,96
9	1,73	2,09	2,70	3,33	4,17	14,68	16,92	19,02	21,67	23,59
10	2,16	2,56	3,25	3,94	4,87	15,99	18,31	20,48	23,21	25,19
11	2,60	3,05	3,82	4,57	5,58	17,26	19,68	21,92	24,73	26,76
12	3,07	3,57	4,40	5,23	6,3	18,55	21,03	23,34	26,22	28,30
13	3,57	4,11	5,01	5,89	7,04	19,81	22,36	24,74	27,69	29,82
14	4,07	4,66	5,63	6,57	7,79	21,06	23,68	26,12	29,14	31,32
15	4,60	5,23	6,26	7,26	8,55	22,31	25,00	27,49	30,58	32,80
16	5,14	5,81	6,91	7,96	9,31	23,54	26,30	28,85	32,00	34,27
18	6,26	7,01	8,23	9,39	10,06	25,99	28,87	31,53	34,81	37,16
20	7,43	8,26	9,59	10,85	12,44	28,41	31,41	34,17	37,57	40,00
24	9,89	10,86	12,40	13,85	15,66	33,2	36,42	39,36	42,98	45,56
30	13,79	14,95	16,79	18,49	20,6	40,26	43,77	46,98	50,89	53,67
40	20,71	22,16	26,43	26,51	29,05	51,81	55,76	59,34	63,69	66,77
60	35,53	7,48	40,48	43,19	46,46	74,4	79,08	83,3	88,38	91,95
120	83,85	6,92	91,58	95,70	100,62	140,23	146,57	152,21	158,95	163,64

Ilustración 37 Tabla Chi Cuadrado

4.1.5.2.3 Kolmogorov Smirnov

A diferencia de la prueba Chi – Cuadrado, la de Kolmogorov – Smirnov no agrupa los datos en intervalos o clases. En su lugar, para la prueba se utiliza la función de probabilidad acumulada hipotética seleccionada, la cual es comparada con la función de probabilidad acumulada empírica proveniente de los datos. El hecho de que dicha prueba no dependa del número de intervalos la hace más poderosa que la prueba de Chi – Cuadrado. Sin embargo, es importante señalar que la prueba de Kolmogorov – Smirnov no detecta consistentemente las discrepancias que se pudieran presentar a nivel de las colas de la distribución. La

estadística para la prueba de Kolmogorov – Smirnov de uso más común es la presentada por Law y Kelton (1982): (Yañez, Gomez de la vega, Seneco, Nucette, & Medina, 2007)

$$K - S_{VALUE} = \text{máximo}(|F(X_i) - \hat{F}(X_i)|; |F(X_i) - \hat{F}(X_{i-1})|)$$

Dónde: n = Número total de datos: $i = 1, 2, 3 \dots \dots n$

$F(X_i)$: Distribución acumulada hipotética para el valor X_i

$$\hat{F}(X_i) = \frac{N_{xi}}{n} : \text{Distribución empírica}$$

N_{xi} = Número de datos menores que X_i

La estimación de los valores críticos para las pruebas de Kolmogorov – Smirnov y de Anderson – Darling se hace muy difícil desde el punto de vista analítico y por tal razón, los mismos son estimados utilizando la técnica de simulación de Monte Carlo según lo explicado por Stephens (1974), Stephens (1977) y Chandra (1981). A diferencia de la prueba de Chi – cuadrado, en la cual el valor crítico es el mismo para todas las distribuciones, las Pruebas de Kolmogorov – Smirnov incluye casos especiales para la Distribuciones Normal, Exponencial, Weibull y de Valor Extremo. Para las distribuciones restantes el valor crítico es estimado utilizando una prueba denominada “todos los parámetros conocidos”, la cual es más conservadora que las pruebas para distribuciones específicas. Los valores críticos para el test de Kolmogorov-Smirnov, pueden hallarse en la Tabla 2.15, que se muestra a continuación, a la cual se entra con n (tamaño de la muestra) y el nivel de significancia. (Yañez, Gomez de la vega, Seneco, Nucette, & Medina, 2007)

n	y				
	0,20	0,15	0,10	0,05	0,01
1	0,900	0,925	0,950	0,875	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,828
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,733
5	0,446	0,474	0,510	0,565	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,457	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,410	0,490
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,258	0,274	0,295	0,328	0,392
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,381
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,371
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,363
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,356
25	0,210	0,220	0,240	0,270	0,320
30	0,190	0,200	0,220	0,240	0,290
35	0,180	0,190	0,201	0,230	0,270
>= 35					

Ilustración 38 Tabla Kolmogorov – Smirnov

4.1.5.2.4 Anderson Darling

La prueba de Anderson – Darling no depende del número de intervalos o clases. Esta prueba tiene la ventaja adicional de que hace más énfasis en los valores de las colas. (Yañez, Gomez de la vega, Seneco, Nucette, & Medina, 2007) La estadística para la prueba de Anderson – Darling viene dada por:

$$A_n^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} [F_n(x) - \hat{F}(x)] \psi(x) f(x) dx$$

Dónde: $\psi = \frac{1}{\hat{F}(x)[1-\hat{F}(x)]}$

n = Número total de datos

$$F_n(x) = \frac{N_x}{n} \quad \begin{array}{l} f(x) = \text{Función de densidad de probabilidad hipotética} \\ \hat{F}(x) = \text{Función de probabilidad acumulada hipotética} \end{array}$$

$N_x = \text{Número de datos } X_i$

4.1.5.2.5 P – Value

En el libro de Probabilidad y Estadística para Ingeniería, los autores Antonio Nieves y Federico Domínguez, definen el P-Value como:

La forma tradicional de concluir una prueba de hipótesis es diciendo que la hipótesis nula se rechaza, o no, con un nivel de significancia preestablecido α . Esto, sin embargo, tiene ciertos inconvenientes para el analista que no realizó la prueba: primero, que el valor seleccionado de α fue decidido por alguien más y que en cierto modo este le está siendo impuesto; segundo, que no tiene idea de si el valor calculado del estadístico de prueba apenas llegó a la región de rechazo o se adentró bastante en ella. Para subsanar estas dificultades en la práctica, se ha adoptado ampliamente el enfoque del valor p. El valor p es la probabilidad de que el estadístico de prueba asuma un valor que es al menos tan extremo como el valor observado del estadístico cuando la hipótesis nula es verdadera. En realidad el valor p es un nivel de significancia, pero calculado en función del valor observado y no predeterminado como los valores típicos de α . (Nieves & Domínguez, 2010)

4.1.5.3 Distribución probabilidad Precio crudo

De los resultados obtenidos se tienen valores menores que los valores críticos para cualquiera de los niveles de significancia y estas distribuciones son hipótesis no rechazadas. Se selecciona como mejor ajuste la distribución que presentar el menor valor de test, y a su vez el mayor P Value.

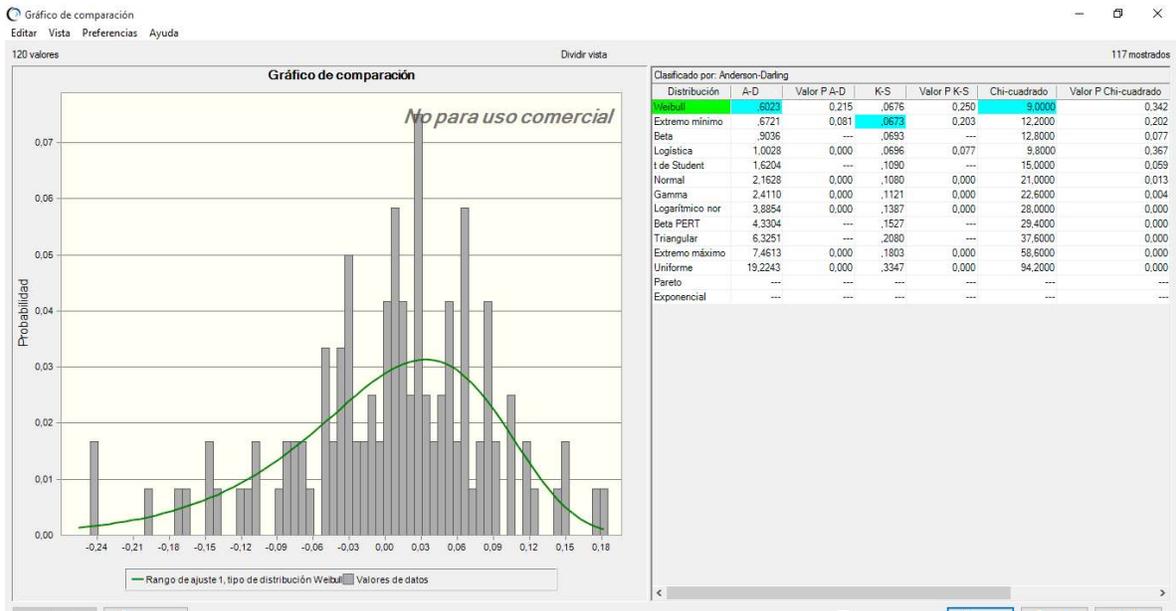


Ilustración 39 Bondad de ajuste

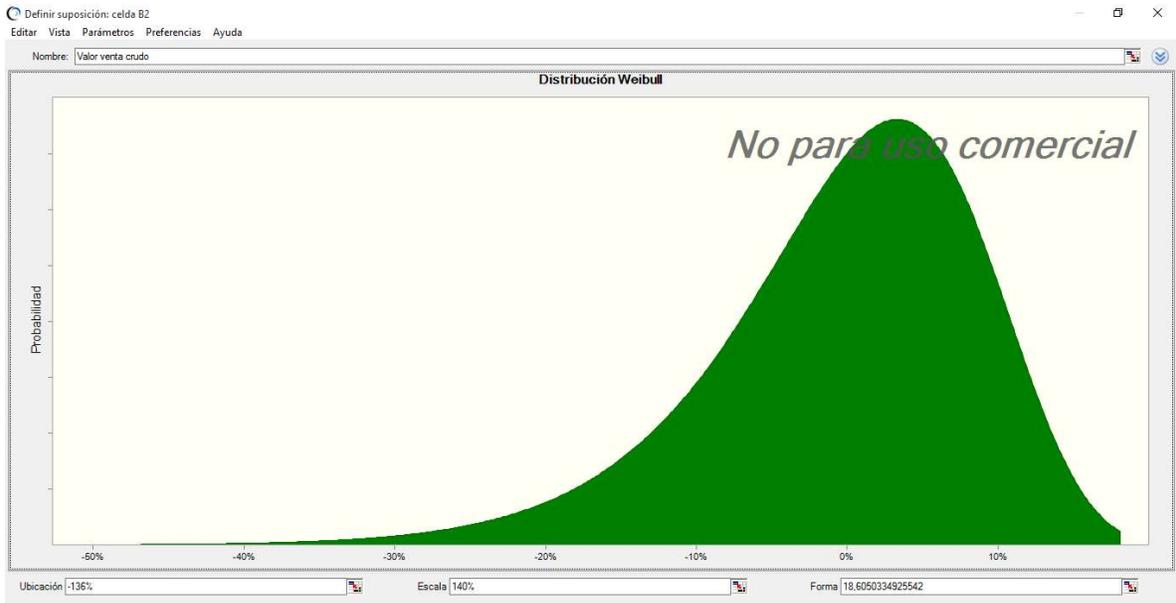


Ilustración 40 Distribución de probabilidad venta crudo

4.2 Volatilidad Proyecto

El método “Enfoque en las suposiciones de Gerencia” analizado por Johnathan Mun, en su libro *Real Option Analysis*, permite obtener un valor aproximado de volatilidad. Matemáticamente y estadísticamente puede ser medido de acuerdo al rango, desviación estándar, varianza, coeficiente de variación, y percentiles. De acuerdo con los resultados de análisis de Montecarlo en cuanto a la distribución de VPN, luego de escoger un valor determinado como Escenario optimista y su respectivo percentil (Mun, 2005).

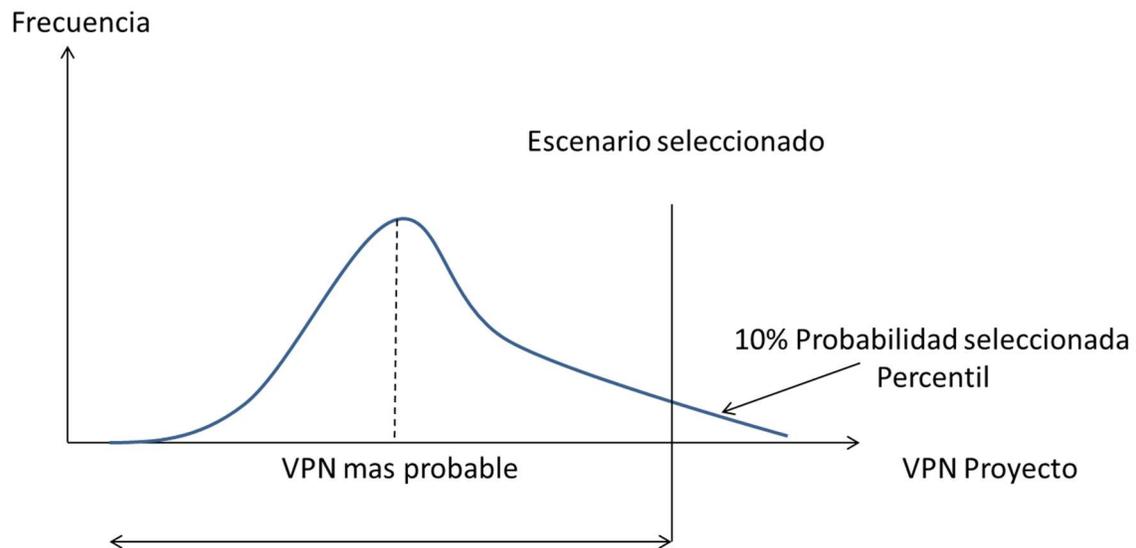


Ilustración 41 Análisis volatilidad (Mun, 2005)

$$\text{Volatilidad} = \frac{\text{Valor del VPN en el percentil} - \text{Medi}}{\text{Inverso del percentil} \times \text{Media}}$$

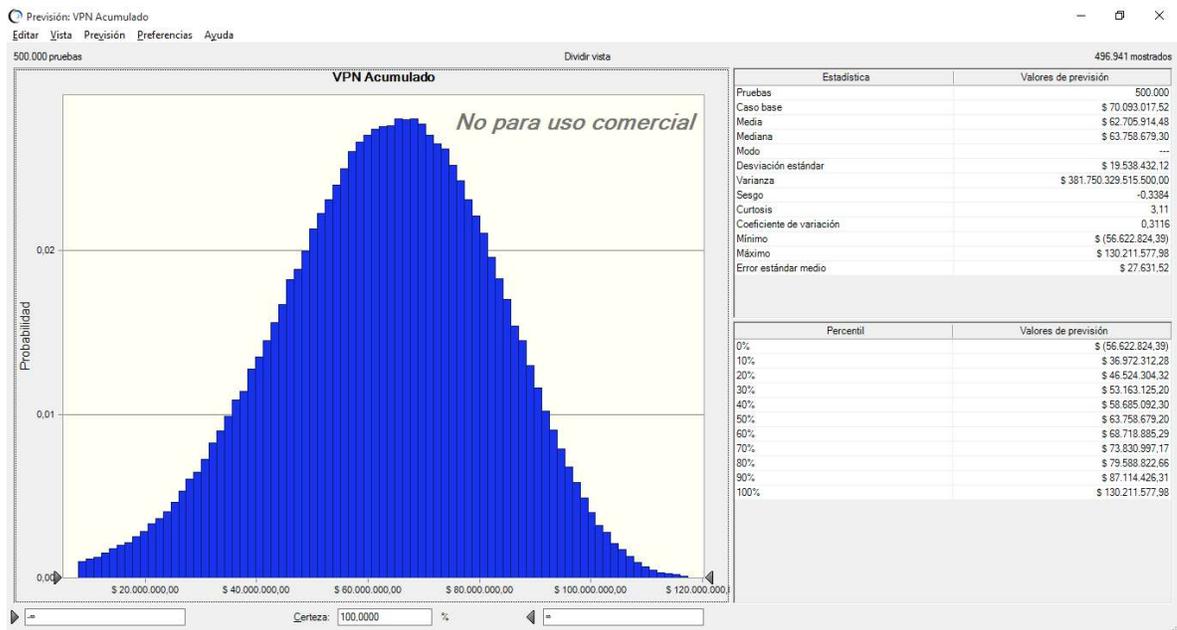


Ilustración 42 Análisis VPN - Montecarlo

Probabilidad	10%
Valor percentil	\$87.114.426,31
Inverso Percentil	1,281551566
Media	\$62.705.914,48

Volatilidad	30,37%
-------------	--------

Ilustración 43 Datos del modelo Análisis volatilidad

En su libro Real Options, Tom Copeland y Vladimir Antikarov, presentan un método basado en el uso de iteraciones por Montecarlo para estimar la volatilidad. La desviación estándar que se quiere usar para la construcción de los árboles binomiales es la desviación estándar del cambio porcentual en el valor del proyecto de un periodo de tiempo al siguiente (Copeland & Antikarov, 2001)

$$z = \ln \frac{PV_1 + FCF_1}{PV_0}$$

Se debe crear una celda con esta fórmula, teniendo los valores de Valor presente para los años 0 y 1, y el valor de Flujo de caja del año 1. Luego se declara esta celda como objetivo y se realiza corrida en Montecarlo, para así hallar la desviación de esta distribución la cual será la volatilidad del proyecto. Siendo esta una presentación análoga con el método “Enfoque logarítmico valor presente de los retornos” presentado por Johnathan Mun, donde resalta la importancia de simular solo el numerador, dejando el denominador sin cambio. Deja claro que este enfoque es más apropiado para uso en opciones reales donde los activos y los flujos de caja del proyecto son calculados y su volatilidad correspondiente estimada. Este método reduce la medición de riesgo de flujos de caja auto correlacionados y flujos de caja negativos; sin embargo, es el mejor método para estimar las volatilidades en la mayoría de los problemas de opciones reales. (Mun, 2005)

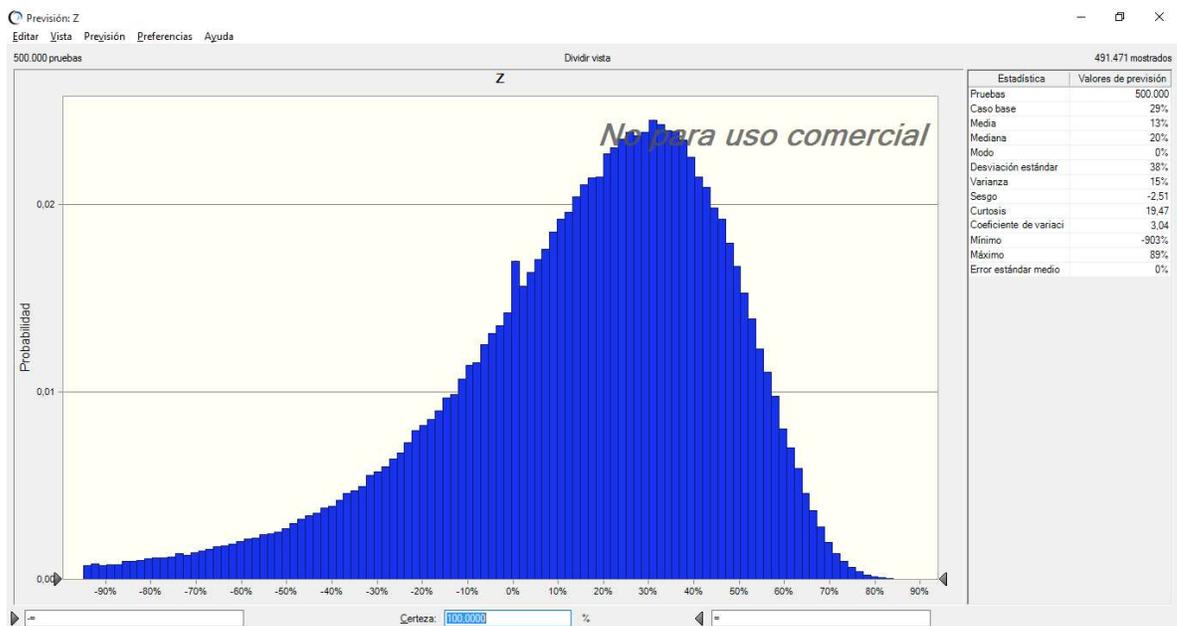


Ilustración 44 Cambio porcentual en el valor del proyecto

Determinando de manera estocástica la volatilidad del modelo, a ser utilizada en el análisis de opciones reales, de 38%.

4.3 Volatilidad Valor Presente Neto

Adicionalmente a lograr calcular la volatilidad del proyecto, se pueden hacer análisis del resultado de la distribución presentada de VPN.

Teniendo un VPN original estático de USD 70.093.017, se compara con el valor que según el Análisis de Montecarlo determina la más probable y es de USD 62.732.319. La probabilidad de lograr el VPN Original es de 37,25%.

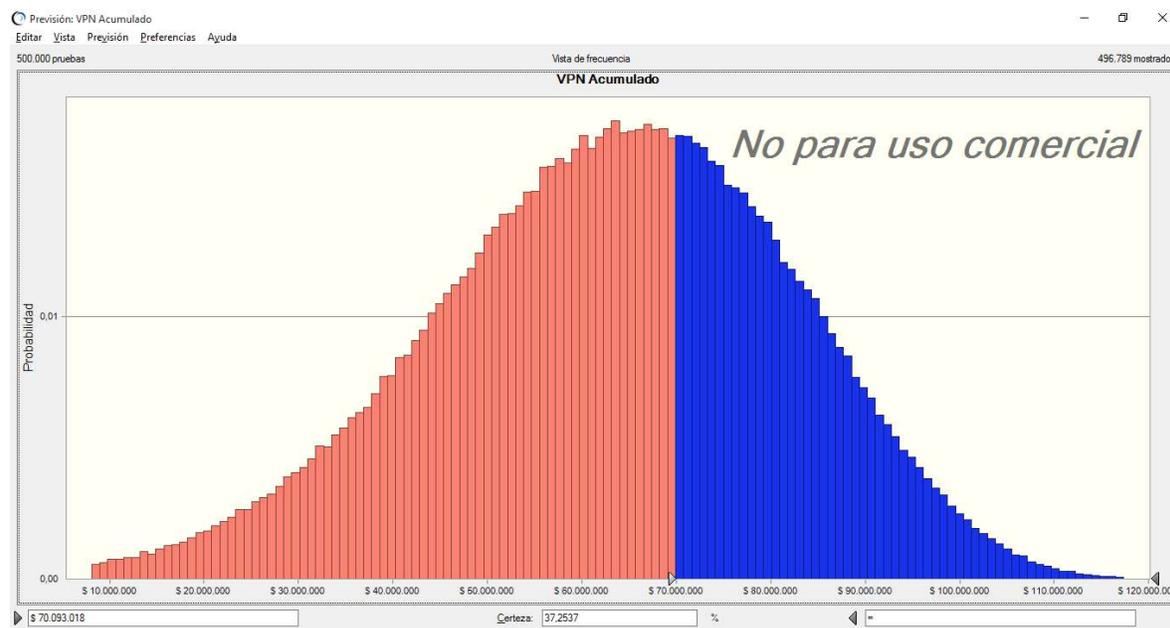


Ilustración 45 Distribución VPN

4.4 Volatilidad Variables Relevantes

Podemos determinar que las variables relevantes para la volatilidad del modelo del proyecto son el precio del crudo, el volumen real de crudo de cada pozo y los costos de nuevos pozos.

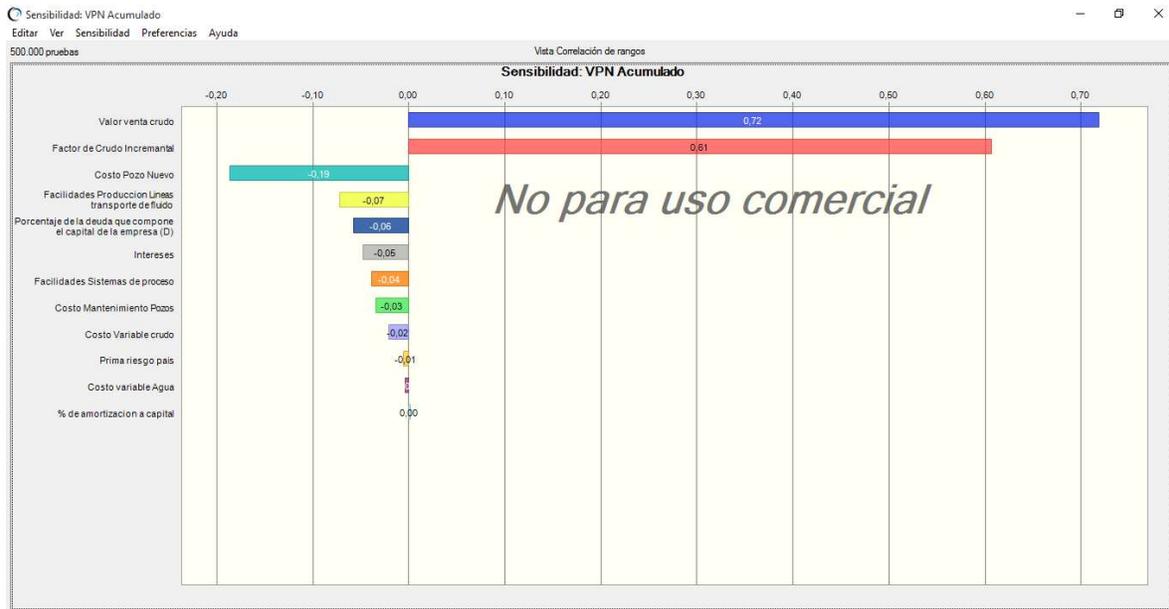


Ilustración 46 Sensibilización variables relevantes

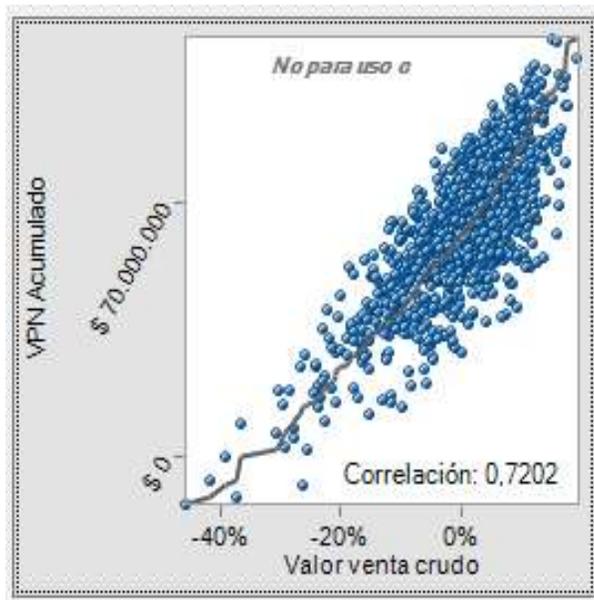


Ilustración 47 Correlación VPN – Valor Crudo

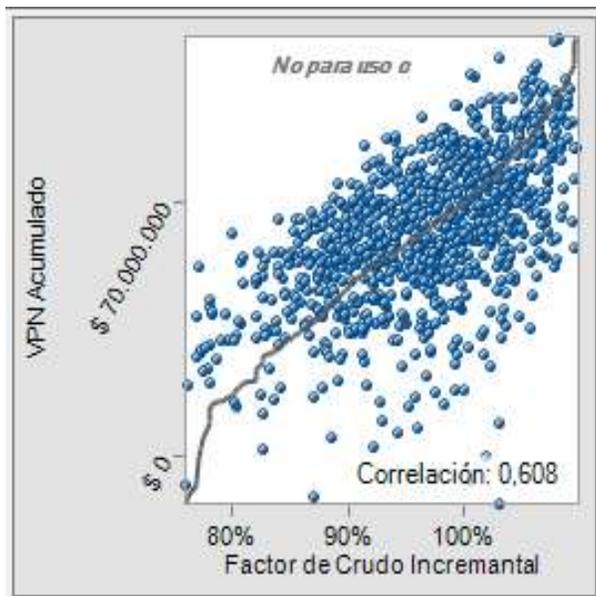


Ilustración 48 Correlación VPN – Factor Crudo Incremental

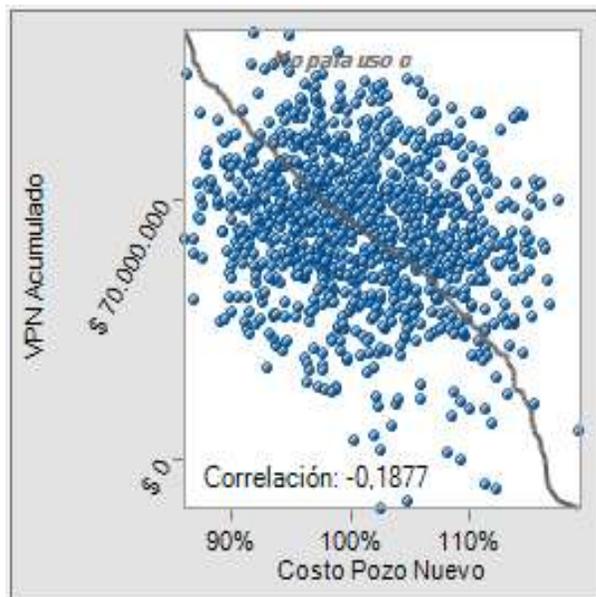


Ilustración 49 Correlación VPN - Costo Pozo Nuevo

Se presentan los valores de correlación que tienen las variables más relevantes con el VPN del proyecto. De estas tres, se tiene un mayor control de los costos de perforación que de los

niveles reales de flujo de crudo, y se tiene la volatilidad de precio de venta del crudo ya que corresponde a efectos de mercado.

Estos resultados corresponden a proyectos estáticos donde no se cuenta con flexibilidad gerencial para tomar decisiones de Abandono, Expansión o Contracción según ocurran cambios durante el desarrollo del proyecto.

5. Opciones Reales

5.1 Marco teórico

Luego de revisar el concepto y premisas asociadas al estudio de VPN, podemos usar la información encontrada en el libro de Francisco Venegas donde explica que el resultado del análisis de VPN no determina una frontera absoluta entre la aceptación o no de una inversión. Aun cuando un VPN sea menor a cero el proyecto puede ser viable de acuerdo a la flexibilidad y posibilidad de adaptarse según las condiciones futuras. Afirma que para estos casos es importante reconocer el VPN modificado, que no es más que el $VPN + \Delta$, donde Δ corresponde al valor presente de tomar una opción en el futuro. (Venegas Martinez, 2008). Podemos entonces entender que los métodos tradicionales de evaluación de proyectos, como el flujo de caja descontado, tienen un único esquema de variables de entrada y un desempeño fijo sin considerar opción de cambio. Por esta razón se utilizan modelos que permitan maniobrabilidad en la gerencia

Los aspectos más importantes son: el momento óptimo de la inversión y la flexibilidad que se debe tener, está enmarcada en atrasar, adelantar, abandonar o expandir el proyecto. Una compañía que posee una opción real, tiene el derecho, mas no la obligación, de aceptar una inversión que potencialmente genere valor. Esto de igual manera que existe con las opciones

financieras, teniendo la salvedad que las opciones reales consideran elementos tangibles y las financieras se basan principalmente en acciones, bonos y divisas (García Ruíz & Romero Romero).

El objetivo es incorporar un componente adicional a la evaluación de proyectos, que no es considerado por métodos financieros tradicionales. La definición de VPN ampliado es la suma de VPN tradicional más opción real. “Las opciones reales resaltan que todas las empresas tienen un conjunto de opciones que pueden llegar a incrementar valor de la misma. Estas opciones son el reflejo del potencial de la empresa” (Gallardo Gomez & Andalaft Chacur)

Basado en lo expresado por Dixit & Pindyck en los proyectos de inversión, la posibilidad de esperar mayor información para tomar la decisión puede compararse con una opción financiera tipo Call donde se tiene la opción, más no la obligación de compra de un activo financiero. Precisan que cuando se realiza la inversión irreversible, se puede determinar fue la opción fue ejecutada. De esta manera se podría replantear la idea que la inversión en un proyecto se realiza solo cuando el valor de los ingresos sea mayor que la suma de su inversión y sus costos operativos. Se añadiría que la inversión se realiza cuando el valor de los ingresos supera la suma de su inversión y sus costos operativos en un monto igual al precio de haber tenido viva la opción. Resaltan que en el momento de realizar una inversión se pueden tener dos ventanas de tiempo, ejercer la opción de una inversión inmediata o dilatarla por un tiempo determinado. Es necesario tener presente que en la opción de dilatar, está solo se materializará de acuerdo a las condiciones favorables que se tengan en el tiempo predeterminado. Enfatizan que dado que la opción no se ejecutará en caso que las condiciones no sean favorables, esta flexibilidad sirvió para evitar una pérdida si se hubiera invertido

desde un comienzo. Exponen que el valor generado por la flexibilidad, el cual es cuantificado por la opción, se debe comparar con la evaluación de VPN que se habría realizado sin tener en cuenta el valor aportado por la flexibilidad. Particularizan que el valor de una opción de dilatar aumenta de acuerdo con el costo hundido que se tiene una vez se ejecute la opción y con el nivel de incertidumbre sobre los valores futuros. (Dixit & Pindyck, 1994)

Para proyectos de desarrollo energético Álvarez, López y Venegas nos explican que la valoración mediante opciones reales abarca de manera significativa la volatilidad de las entradas de los modelos y las fases que cada proyecto requiere para llegar a su debido fin. Manifiestan que esta estrategia de trabajar por fases crea la posibilidad que cada fase previa valide o justifique el paso a una posterior. Sostienen que de acuerdo a esta forma de evaluar cada paso, se puede trabajar de la mano con la flexibilidad propia de cada ejecución creando así opciones de desarrollo que evolucionen a medida que surjan cambios internos o externos al proyecto. Precisan que la técnica de valoración por medio de opciones reales utiliza las herramientas de valoración de opciones financieras a la evaluación de proyectos de inversión o negocios siempre y cuando estos tengan la flexibilidad de reorientar su rumbo según sean las condiciones. De igual manera con las opciones financieras, el valor de las opciones reales aumenta con el tiempo en el cual se van a ejecutar y con la volatilidad que se tenga, dado que a mayor tiempo y mayor volatilidad existe la posibilidad que los resultados sean mejores. La valoración tradicional mediante VPN toma una fotografía instantánea de las condiciones de un proyecto y las evalúa, de forma estática da la viabilidad solo si este número es superior a cero, mas no contempla que durante su ejecución puedan darse cambios que permitan por ejemplo su expansión o cierre. En esta misma dirección, realzan en su libro que el análisis de

VPN determina que una vez se tomó la decisión de invertir, el monto de la inversión queda completamente hundido sin posibilidad de reversión, adicionalmente puede descartar inversiones sin tener en cuenta su real valor estratégico.

Dentro de las posibles opciones que se tiene en un proyecto energético, ellos describen las siguientes:

- Opción real de Expansión: de acuerdo a los resultados proyectados se puede determinar la viabilidad de realizar una inversión adicional la cual en un tiempo determinado podrá aumentar la capacidad de generación.
- Opción real de contracción: Para este tipo de opciones se puede contar con una estrategia de dos fases, de esta forma en la segunda etapa puede darse la necesidad de reducir la inversión inicialmente presupuestada (Alvarez Echeverria, Lopez Sarabia, & Venegas Martinez, Mayo 2012)

El profesor Francisco Venegas, en su libro Riesgos financieros y económicos, considera a las opciones reales como una herramienta fundamental en el caso de la toma de decisiones que involucren la inversión en proyectos o estrategias de negocios cuando estos pueden tener la opción de ser flexibles en cuanto a decisiones futuras, estas podrían ser: extender, contraer, posponer o abandonar proyecto. (Venegas Martinez, 2008). Este concepto es ampliado al considerar que hay que tener presente que algunas veces se menosprecia una inversión con bajo retorno inicial proyectado; sin embargo, esto puede deberse a un error de forecast al asumir una tasa de retorno tanto constante como igual para todos los flujos “Las tres metodologías utilizadas para manejo matemático de validación de opciones reales son: ecuaciones diferenciales (ecuación Black-Scholes), simulaciones (Montecarlo) y árboles de decisión.” (García Ruíz & Romero Romero)

Para poder entender el uso que se puede dar a las Opciones reales en la evaluación de proyectos de inversión energética, es importante conocer la clasificación de estas opciones reales. Existen varios criterios para clasificar los tipos de opciones reales que se pueden utilizar en evaluación de proyectos, de acuerdo a Hernán Contreras y Guillermo Muñoz, en su libro de Opciones Reales: Enfoque para las decisiones de inversión bajo alta incertidumbre, se tienen las siguientes opciones reales:

Cuadro analogías entre tipos de Opciones reales y financieras

Opción Real	Opción Financiera
Opción de diferir	Opción de compra (Call)
Opción de crecimiento	Opción de compra Call)
Opción de Reducción	Opción de venta (Put)
Opción de Abandono	Opción de venta (Put)

Ilustración 50 comparativo Opciones(Contreras Andreoli & Muñoz Rojas, 2013)

Es necesario tener claros los conceptos explicados a continuación según Contreras y Muñoz para entender las tablas comparativas

Activo subyacente: Es el bien o activo financiero objeto del contrato de la opción.

Volatilidad: Constituye el rango de variaciones del precio del subyacente y estadísticamente es medida por la varianza o desviación estándar del rendimiento del activo subyacente.

Precio ejercicio: Corresponde al precio sobre el cual el comprador puede ejercer su derecho a comprar o vender el activo subyacente.

Tasa de interés libre de riesgo: Se considera la tasa que pagan a similar horizonte de tiempo los bonos del gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica, al subir hace crecer el precio de la opción tipo Call, al disminuir el valor presente del precio de ejercicio y hace bajar la prima de las opciones Put.

Fecha de expiración: Mientras mayor sea el tiempo, mayor será el valor de la opción, sea Call o Put. Esto se debe a que hay mayor tiempo para que el precio subyacente varíe en forma favorable (Contreras Andreoli & Muñoz Rojas, 2013).

Variables que componen el precio de una acción

Opción financiera Call o Put	Variable	Proyecto de Inversión
Prima o precio de la acción	Call / Put	Valor de la prima o del proyecto considerando la opción estudiada
Precio de ejercicio	E	Valor presente de la inversión requerida para el desarrollo del proyecto
Precio del mercado del activo subyacente	S	Valor presente de los flujos de caja operativos del proyecto
Tiempo hasta la expiración	T	Tiempo que se puede demorar la inversión
Varianza de los rendimientos del subyacente (Volatilidad)	σ^2	Riesgo del activo real subyacente
Tasa de interés libre de riesgo	r_f	Tasa libre de riesgo

Dividendo	D	Pago o pérdida de valor en los ingresos durante la vida del proyecto
-----------	---	--

Ilustración 51 Definiciones opciones (Contreras Andreoli & Muñoz Rojas, 2013)

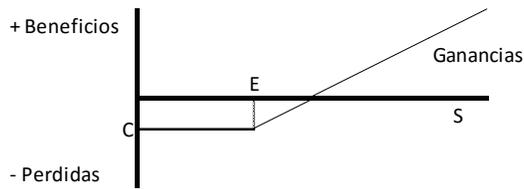
Para continuar con el tema de manejo de opciones reales para la evaluación de proyectos, es necesario primero trabajar el concepto asociado a una Opción, esto lo trabajamos según Contreras y Muñoz donde nos indica que el precio de una opción se descompone en dos elementos principales, valor intrínseco y extrínseco. El primero corresponde al delta entre el precio de mercado y el precio de ejercicio, el segundo corresponde al tiempo, asociado a la probabilidad de mejores beneficios. Si tenemos “S” como el precio del mercado y “E” como precio de ejercicio, las razones matemáticas serían:

Valor intrínseco Call = $S - E > 0$ In the money (Presenta ganancia)

Valor intrínseco Put = $E - S > 0$ In the money (Presenta ganancia)

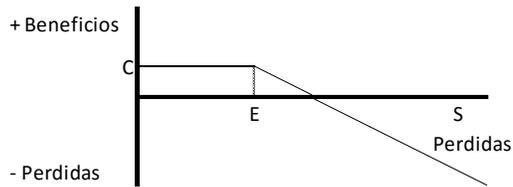
(Contreras Andreoli & Muñoz Rojas, 2013)

Compra Opcion Call -> Larga Call



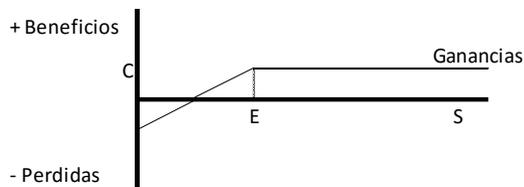
Ganancias ilimitadas $S - (C + E)$
 Perdidas Limitadas $-C$

Venta Opcion Call -> Corta Call



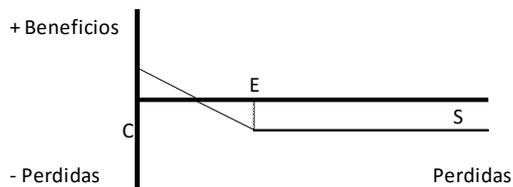
Ganancias limitadas C
 Perdidas Ilimitadas $(C + E) - S$

Venta Opcion Put -> Corta Put



Ganancias Limitadas C
 Perdidas Ilimitadas $S - (E - C)$

Compra Opcion Put -> Larga Put



Ganancias ilimitadas $(E - C) - S$
 Perdidas Limitadas C

Ilustración 52 Tipos Opciones (Contreras Andreoli & Muñoz Rojas, 2013)

Podemos entender que el uso de Opciones reales en la evaluación de proyectos tiene las bondades de incluir la incertidumbre en nuestro análisis, considerando a la volatilidad y al tiempo como agentes creadores de valor y presentando la flexibilidad como una herramienta gerencial. De Copeland y Antikarov podemos definir que una opción real es el derecho, más no la obligación de tomar acción (diferir, expandir, contraer, abandonar) al llegar a un costo

llamado costo de ejercicio, por un periodo de tiempo predeterminado – la vida de la opción. Existen básicamente 5 variables en que las opciones reales dependen: el valor del bien en riesgo, el precio del ejercicio, el tiempo de vencimiento de la opción, la desviación estándar del valor del bien en riesgo, la tasa de interés sin riesgo sobre la vida de la opción (Copeland & Antikarov, 2001). Esta definición presenta el concepto macro de lo que significa trabajar con opciones reales, es muy importante conocer las entradas, el proceso y las limitantes del mismo.

El modelo matemático debe manejar tanto fuentes de manera independiente como un conjunto de escenarios donde cada una participe de forma ponderada. Entradas: Ingresos, egresos, gastos, impuestos, periodos, inversiones, capital propio, máxima deuda permisible, monto máximo préstamo y monto mínimo préstamo. Variables: Flujo caja, capital propio, préstamo, intereses, amortizaciones y valor libro activos. Restricciones: Capital propio, deuda permisible, inversiones, flujos de caja e impuestos (Muñoz Valdez & Ramírez Monardez).

La principal ganancia de utilizar esta herramienta consiste en estimar el valor real de un proyecto usando las herramientas clásicas financieras de evaluación, pero agregando otros elementos que usualmente no son tenidos en cuenta, como se ha mencionado antes, volatilidad y tiempo. Los métodos financieros tradicionales utilizados en evaluación de proyectos no logran captar todo el conjunto de variables y las volatilidades de las mismas. Es por esto que usualmente no logran resultados óptimos en escenarios de alta incertidumbre.

Opción de crecimiento:

Esta opción hace alusión a la posibilidad que se tiene de ir creciendo a medida que las condiciones mejoran durante la vida del proyecto. Se puede trabajar partiendo el proyecto en fases que permitan dividirlo en paquetes de inversión.

Si en el futuro se producen circunstancias de mercado que hacen atractivo el evaluar el crecimiento de la escala del proyecto en un $w\%$ incurriendo en una inversión adicional de. Esta situación es equivalente a tener una opción de compra (Call) sobre un adicional del proyecto con un precio de ejercicio de I_a (Contreras Andreoli & Muñoz Rojas, 2013, pág. 32)

$$\text{Valor de la Opcion de Crecimiento} = VP_1 + \text{Max}[wVP_1 - I_a; 0]$$

$VP_1 = \text{Valor del proyecto sin la ampliacion}$

$W\% = \text{Factor de crecimiento}$

$I_a = \text{Valor de la inversion para implementar la ampliacion}$

Opción de reducción:

Esta opción sería la opuesta a la opción de crecimiento, de esta manera significa tener la capacidad de reducir la inversión en caso que el comportamiento del mercado no sea favorable. En este caso se puede realizar inversiones en infraestructura por módulos, de tal forma que al no pasar al siguiente no perjudique lo existente.

Si las condiciones del mercado resultan ser peores que las esperadas, la compañía podría operar con una menor capacidad productiva e incluso podría optar por reducirla en un $c\%$, lo que le permitiría ahorrar parte de los desembolsos iniciales previstos (A_1). Esta flexibilidad para reducir las pérdidas se puede contemplar como una opción de venta (Put) sobre parte del proyecto (un $c\%$ del proyecto inicialmente previsto), con un precio de ejercicio igual al ahorro de los costos potenciales (A_1) (Contreras Andreoli & Muñoz Rojas, 2013).

$$\text{Valor Opcion Reduccion} = \text{Max}[A_1 - cVA_1; 0]$$

$A_1 = \text{Inversion inicial desembolsada}$

$c\% = \text{Factor de reduccion}$

$VA_1 = \text{Valor del proyecto sin reduccion}$

Opción de abandono:

Esta opción significa tener la capacidad de abandonar una inversión en caso que el comportamiento del mercado no sea favorable.

Valoriza la posibilidad de cerrar definitivamente una determinada actividad y de retirarse de un negocio, pasando las barreras de salida. Esto significa la opción para abandonar el proyecto a cambio de VR su valor residual (esta puede ser su valor de liquidación, la venta de la compañía, etc.). Dicha opción de venta sobre el valor actual del proyecto (VI) es de tipo americana. Su precio de ejercicio es el valor residual o el de la mejor alternativa posible (VR). (Contreras Andreoli & Muñoz Rojas, 2013, pág. 34)

$$\text{Valor Opcion Reduccion} = VI + \text{Max}[VR - VI; 0] = \text{Max}[VR; VI]$$

VI = Valor actual proyecto

VR = Valor residual

Se quiere capturar el valor adicional generado por la flexibilidad y la volatilidad.

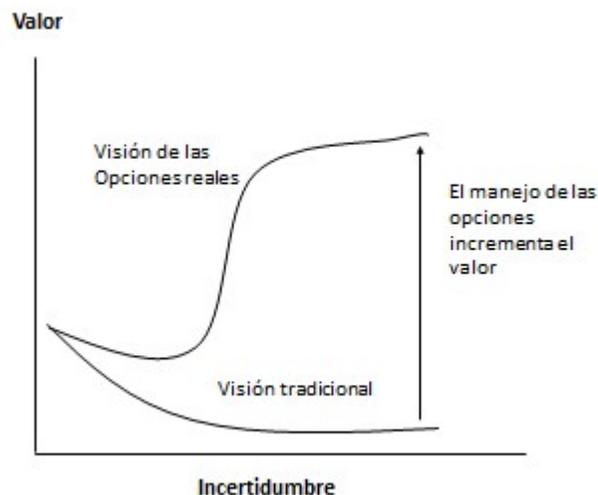


Ilustración 53 Valor ganado por Opciones Reales (Calle & Tamayo, 2009)

Este cuadro nos presenta de una manera gráfica la conclusión de como el análisis tradicional de VPN, asociado a una tasa de descuento, contempla la incertidumbre y el tiempo como un destructor de valor para el inversionista. Por otro lado, al manejar opciones reales podemos maximizar el valor de una evaluación al saber que la incertidumbre y el tiempo me aportan

valor a los proyectos de inversión puesto que existe la posibilidad que estos agentes me aumentan el valor de las variables representativas.

5.2 Árboles Binomiales

De los métodos de evaluación de opciones reales que existen, se debe escoger uno para realizar la valoración de la opción asociado al incremento de valor generado por la flexibilidad e incertidumbre. Es muy importante poder cuantificar como cada posibilidad aporta un nuevo valor al proyecto, así se puede cuantificar para fines posteriores. En su libro de Valoración de Proyectos usando Opciones Reales, Kodulika y Papudesu resaltan las ventajas de la utilización de árboles binomiales cuando se quiere hacer una investigación a detalle del proceso. Establecen las desventajas que presenta el modelo de Black-Scholes para un modelo abierto al estudio y no solo visto como una caja negra debido a su complejidad matemática asociada a ecuaciones diferenciales. Adicionalmente el modelo Black-Scholes fue principalmente diseñado para opciones europeas con una fecha determinada, las opciones reales funcionan de manera análoga a las americanas en cuanto a que no hay fecha fija de ejercicio. Trabajar con el método binomial tiene la ventaja que permite observar el impacto que tienen las variaciones tanto de precio de ejercicio y volatilidad. El método binomial permite una fácil explicación a los inversionistas o en el momento de sustentar un trabajo ya que se ve el proceso abierto. Aun siendo una aproximación al método de Black Scholes, el método binomial aumenta su precisión respecto a la cantidad de incrementos de tiempo (Koduluka & Papudesu, 2006). Los lapsos de tiempo de tiempo explicados anteriormente

concuerdan con la necesidad de trabajar con lapsos largos de tiempo para en análisis de campos petroleros, los cuales son de más de 5 años.

5.2.1 Modelo matemático Árboles

De acuerdo con las particularidades técnicas y operacionales de un proyecto de desarrollo de Campos petroleros, se determina que las opciones que se pueden contemplar son:

- Abandonar: en caso que el nivel de producción no sea el esperado o el valor de venta de crudo no sea el mínimo adecuado. Se debe verificar los costos asociados al abandono como lo son la preservación de equipos, trabajos ambientales para restablecimiento de áreas, limpieza de equipos con hidrocarburos.
- Expandir: Se puede determinar una prueba de tecnología como proyecto piloto para luego ser masificada. Se debe tener en cuenta el sobrecosto asociado a construir una infraestructura por fases donde cada una debe ser operativa. En este tipo de inversiones tenemos los proyectos realizados por fases o etapas de acuerdo con la maduración misma del proyecto. De igual forma entran los pilotos que una vez logran resultados se convierten en proyectos de mayor escala.
- Contraer: Posibilidad de trabajar por módulos que se puedan retirar en caso que la producción baje, pero aun sea rentable. Se debe verificar el sobrecosto de trabajar con equipos rentados en los módulos que se puedan retirar o el precio de salir a vender. Es posible en el desarrollo de campos petroleros trabajar con módulos que se puedan eliminar en caso que la capacidad deba disminuir. La opción de reducción se asemeja a una opción financiera de venta (Put) sobre parte del proyecto

Se formulan árboles de decisión para cada una de las opciones reales descritas. Luego de haber definido el proyecto, y de haberlo enmarcado se deben determinar los valores de VPN, valor de la opción y volatilidad para evaluar matemáticamente el resultado de estos árboles. Se evalúa el VPN resultante de cada una de las Opciones Reales y se compara versus el VPN original para conocer la valoración generada por la flexibilidad e incertidumbre.

De acuerdo al libro del Dr Kodukula y Papudesu, Project Valuation using real options, el análisis de árboles binomiales debe hacerse en 6 pasos: enmarcar el proyecto para esta aplicación, identificar los parámetros de entrada, calcular los parámetros de la opción. Construir un árbol binomial y calcular el valor en cada nodo, Calcular los valores de opción en cada nodo del árbol por inducción hacia atrás, analizar(Koduluka & Papudesu, 2006)

5.2.1.1 Definición de parámetros de evaluación

Al trabajar con árboles binomiales tenemos el siguiente esquema

$S_0 =$ Valor presente neto del proyecto

$X =$ Precio de ejercicio de la Opcion

$T =$ Años

$r =$ Tasa libre de riesgo

$\sigma =$ Volatilidad

$\delta t =$ Periodo de tiempo

El valor de la tasa libre de riesgo se toma como el bono de los estados unidos a 10 años, valorada a principios de 2016.

Se continua con la construcción del árbol, teniendo una distribución:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\delta t}}$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\delta t}}$$

Los valores de las volatilidades positivas (hacia arriba del árbol) y negativas (hacia abajo del árbol).

Y una probabilidad de:

$$p = \frac{e^{r\delta t} - d}{u - d}$$

VPN Original	So	\$ 70.093.017,52
Costo expansion	X	\$ 6.615.400
Porcentaje Produccion de un pozo nuevo		9,58%
Factor expansion		1,096
Años	T	10
Volatilidad	Sigma	38%
Bono Tesoro	r	2,24%
Base tiempo evaluacion	t	1

u	1,5
d	0,7
p	0,4

Ilustración 54 Ejemplo Parámetros – Expansión

Se construye el árbol primero evaluando las volatilidades (izquierda derecha), para luego realizar el análisis de cada nodo en forma inversa. Este análisis se realiza comparando el mayor beneficio entre mantener la opción abierta y ejecutarla.

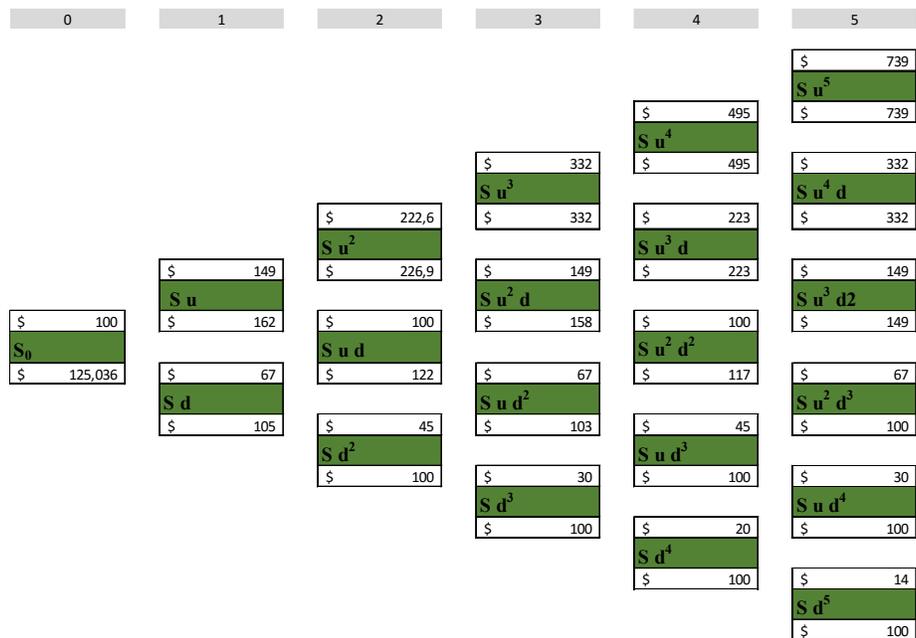


Ilustración 55 Ejemplo Árbol binomial

Luego de la construcción del árbol binomial y los respectivos valores de VPN de acuerdo a los parámetros Positivos y negativos (u y d) se debe evaluar cada Valor de opción. Se procede a calcular por separado el valor de ejercicio de la opción y el valor de mantenerla abierta, para luego utilizar el máximo entre los dos.

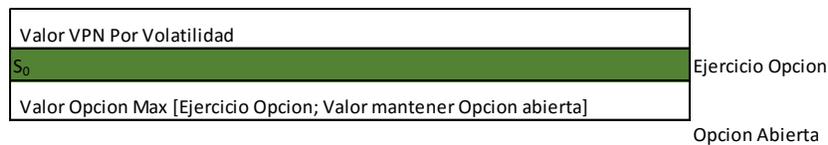


Ilustración 56 Cálculo Nodo

La fórmula para cuantificación del valor de mantener la opción abierta se da así:

$$\text{Valor Opcion Abierta} = [\text{Valor nodo superior} + (1 - p) \text{valor Nodo inferior}] * e^{-r\delta t}$$

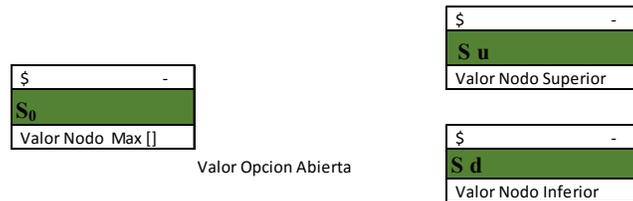


Ilustración 57 Valoración opción abierta

5.2.2 Evaluación Opción abandonar

5.2.2.1 Análisis Valor Abandonar

El valor de abandono de un proyecto petrolero tiene varias posibilidades. Primero es importante definir si se está abandonando un campo o un proyecto.

Para el abandono de un campo es necesario revisar el contrato que se tiene con el estado para así cumplir todas las acciones necesarias para cierre del mismo. Para un campo como en el que está ubicado el proyecto de estudio, se tendrían unos costos aproximados de 180 mil USD por abandono de cada pozo, por trabajos de cierre y confinamiento de pozo, y costos aproximados de 12 millones USD por cierre de facilidades, retiro de todos los equipos y todo el trabajo de recuperación ambiental necesario

Los efectos de una operación 24/7, en condiciones extremas hacen que los equipos se deterioren rápidamente. Adicionalmente los equipos son en su mayoría diseñados y construidos específicamente para un proceso de acuerdo a los tipos de fluidos y filosofías de cada campo y compañía. A eso se le suma los costos logísticos, manejos de seguridad física y permisos requeridos para la movilización de los equipos en lugares remotos de la geografía.

Los autores Stewart Myers y Saman Majd, en *Calculating Abandonment Value Using Options Pricing Theory*, parten explicando que para calcular un valor de salvamento de un

activo este debe tener un activo idéntico que este siendo usado en algún lado y sea negociable dado que el valor de salvamento es un valor de mercado (Myers & Majd). Esto en combinación con las particularidades propias de los desarrollos de infraestructura para los campos de Oil & Gas refuerza la intención de buscar negociar el valor de los equipos en operación en sitio. Adicionalmente el mayor valor de un campo petrolero es sus reservas, las cuales solo pueden ser negociadas en conjunto con la infraestructura operativa como modelo de negocio. Por estas razones no se manejan valores de salvamento de los equipos o reservas fuera de su ubicación original.

Nos apoyamos en los postulados presentados por Michael Barnett en *An Attention Based View of Real options Reasoning*

Los encargados de tomar decisiones no sólo deben ejercer efectivamente las opciones dentro de la ventana apropiada de oportunidad, sino también deben abandonar rápidamente las opciones que caen fuera de rentabilidad, para que las pérdidas totales de los proyectos fallidos no pesen sobre las ganancias totales de proyectos rentables. El abandono ocurre cuando la alta gerencia decide no asignar más recursos al mantenimiento o ejercicio de una posición de opción y así permitir que expire sin ejecutarse (Barnett, 2008)⁷

Existe la alternativa de valorar el valor de salvamento de abandono como la valoración del proyecto en el momento mismo de la ejecución de la opción. El autor Lenos Trigeorgis en su *Paper Real Options and interaction with financial flexibility* establece la posibilidad de cuantificar el valor de salvamento. Si los precios del petróleo sufren una disminución considerable o la operación no funciona bien por alguna otra razón, la administración no tiene que seguir incurriendo en los costos fijos. En cambio, la administración puede tener una

⁷ Traducción del autor, a continuación texto original.” Decision makers not only must effectively exercise options within the appropriate window of opportunity but also must quickly abandon options that fall out of the money, lest total losses from escalating commitments to failed projects outweigh total gains from profitable projects. Abandonment occurs when upper managers choose not to allocate further resources to the maintenance or exercise of an option position and so allow it to expire unexercised”

opción valiosa a cambio de su valor de salvamento (Trigeorgis, Real Options and interaction with financial flexibility, 1993) donde en el caso del proyecto sería el valor de este mismo.

John Kensinger en Project Abandonment As a Put Option expone

Un modelo simple de un proyecto de inversión con una opción de abandono puede ser creado suponiendo un proyecto cuya vida abarca dos períodos: el primer período es el tiempo antes de la expiración de la opción de abandono mientras que el segundo período es la vida restante del proyecto después de la expiración de la opción de abandono. El valor del proyecto en cualquier momento es igual al valor actual esperado del flujo de ganancias futuras netas, más el valor de la opción de abandono. El enfoque basado en opciones es capaz de capturar dimensiones importantes del proyecto de inversión de capital que hasta ahora se han tratado como intangibles: flexibilidad y durabilidad de los activos utilizados, así como la capacidad de innovación de la utilización de los activos en los proyectos. (Kensinger)⁸

Con las anteriores consideraciones, revisión de marco teórico y validación de los practitioners que en la práctica valoran las opciones de abandono, se determina un valor de salvamento igual al VPN esperado del proyecto en el momento de evaluación. Esta métrica se determina por las propiedades del negocio de Oil & Gas.

5.2.2.1.1 Contratos Petroleros

Teniendo presente que el proyecto podría abandonarse, para que un tercero lo ejecutara luego de pagar el valor del mismo en el momento de ejercer, es importante revisar algunas modalidades que existen. Es importante resaltar que el objeto de este análisis es el de Abandono del proyecto asociado a una producción establecida como incremental a la base de producción del campo, no el abandono del campo.

⁸ Traducción del autor, a continuación texto original “ A simple model of an investment Project with an abandonment option can be created by conjecturing a Project whose life spans two periods: the first period being the time prior to expiration of the abandonment option while the second period is the remaining life of the Project after expiration of the abandonment option. The value of the project at any time is equal to the expected present value of the stream of net future earnings, plus the value of the abandonment option. The option approach was shown to be able to capture important dimensions of the capital investment project which have heretofore been treated as intangibles: flexibility and durability of the assets used, as well as the innovativeness of the use to which the assets are being put in the project

5.2.2.1.1.1 Contrato de producción Incremental:

Luis Enrique Cuervo, en su libro introducción al derecho y política de petróleos, define este modelo de contratación como: El objeto del contrato es el de obtener producción y reservas incrementales de hidrocarburos. El socio se obliga a aplicar nuevos métodos de extracción con el fin de aumentar la producción de los campos que forman parte del contrato. Las partes definen una curva de producción básica y el socio se compromete a aplicar la tecnología de su conocimiento con el fin de incrementar ese nivel de producción básica. El socio se compromete a invertir una suma específica como programa inicial de trabajo para mejorar la producción de los pozos productores. Se determina que la producción básica obtenida es de propiedad del dueño del campo y las partes se distribuyen entre sí lo que se denomina como producción incremental (Cuervo, 2001). Este modelo determinaría que la empresa que compra el proyecto solo tendría ganancia logrando producción por encima de la curva del proyecto. Este modelo funcionaría solo si se hace de acuerdo a la línea base antes del proyecto, y este solo fuera un estimado de producción incremental.

5.2.2.1.1.2 Contrato de producción compartida

La Facultad de Ciencias Jurídicas y la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la Pontificia Universidad Javeriana, en su libro Petróleo: Política de contratación y competitividad, explican este contrato aclarando que como norma la totalidad de la inversión de riesgo la efectúa el socio. La primera porción del crudo se denomina “Petróleo de Costo” y se destina para que el socio recupere los costos de su inversión, como norma los fracasos los pierde el socio inversionista. La segunda porción de crudo se denomina “Petróleo de

beneficio” y es la fuente de utilidad para el socio y de renta para el dueño del campo (Facultad de Ciencias Economicas & Facultad de Ciencias Juridicas, 2005). Este modelo de contrato acogería perfectamente la posibilidad de operar un proyecto de aumento de producción en un campo operativo con una curva base.

5.2.2.2 Evaluación Opción Abandonar

El valor de ejercicio se determina como el valor de VPN de acuerdo a cada año, esta bondad se puede analizar gracias a la utilización de árboles binomiales. Esta opción se considera “Changing Strikes” o cambio de Valores de ejecución de la opción.

Año	Valor Strike Abandono
2016	\$ 70.093.018
2017	\$ 83.295.512
2018	\$ 84.100.570
2019	\$ 71.212.395
2020	\$ 40.264.681
2021	\$ 22.733.550
2022	\$ 12.664.747
2023	\$ 6.933.640
2024	\$ 4.261.494
2025	\$ 2.152.812

Ilustración 58 Valores Opción Abandono

Analizando los resultados de la evaluación de la Opción de Abandono, se obtiene un aumento de USD 24.981.308 en la valoración del proyecto. Comenzando con un valor proyectado de VPN de USD 70.093.018 y logrando mediante el uso de la opción abandonar, con valor de ejercicio el VPN del Proyecto un valor de USD 95.074.326.

5.2.3 Opción Expansión

5.2.3.1 Análisis Valor Expansión

Se considera la facultad del proyecto de poder aumentar un pozo Nuevo. Se realiza un cálculo del aumento esperado de producción por este pozo y del costo adicional que significaría su ejecución.

Costo expansion	X	\$	6.615.400
Porcentaje Produccion de un pozo nuevo			9,58%
Factor expansion			1,0958

Ilustración 60 Datos análisis Opción Expansión

El valor de ejecutar la acción está dado por

$$Valor\ ejecutar\ expansion = (VPN\ Nodo * 1.0958) - 6.615.400$$

Los resultados de este análisis se presentan:

VPN	\$	70.093.018
VPN Estatico con expansion año 0	\$	70.193.316
Valor Opcion Real	\$	3.315.838
Valor VPN + Opcion Real	\$	73.509.154

Ilustración 62 Resultados Opción Expansión

La valoración del proyecto, contemplando las bondades de poder tomar la opción de expandir un pozo cuando las condiciones operacionales o de mercado lo permitan, es un incremento de valor de USD 3.315.838.

5.2.4 Opción Contracción

5.2.4.1 Análisis Valor Contracción

Se considera la facultad del proyecto de poder reducir un pozo Nuevo. Se realiza un cálculo de la disminución esperada de producción por este pozo y del menor costo que significaría no realizar esta inversión.

Ahorro	X	\$	6.115.000
Porcentaje Produccion de un pozo nuevo			9,58%
Factor contraccion			0,904

Ilustración 63 Datos análisis Opción Expansión

El valor de ejecutar la acción está dado por

$$\text{Valor ejecutar expansion} = (\text{VPN Nodo} * 0.904) + 6.115.000$$

Los resultados de este análisis se presentan:

VPN	\$ 70.093.018
VPN Estatico con contraccion año 0	\$ 69.492.319
Valor Opcion Real	\$ 2.573.724
Valor VPN + Opcion Real	\$ 72.066.043

Ilustración 65 Resultados Opción Contracción

La valoración del proyecto, contemplando las bondades de poder tomar la opción de reducir en un pozo el proyecto, cuando las condiciones operacionales o de mercado lo determinen, es un incremento de valor de USD 2.573.724.

5.2.5 Opción Chooser

Teniendo la salvedad que en el proyecto en estudio pudiese ejecutarse cualquiera de las opciones de abandono, Expansión o Contracción, puede generarse una opción que escoja la que maximice el valor de acuerdo a las bondades de cada una de estas. Una vez se han realizado las valoraciones de cada una de las diferentes opciones, se puede construir la opción Chooser “Escoger” donde para cada nodo se determinaría la alternativa que maximice el valor. Esto se haría buscando en cada nodo el máximo entre: Mantener opción abierta, Abandonar, Contraer o Expandir.

0	1	2	3	4	5																																																																																																													
<table border="1"> <tr> <td>\$ 70.093.018</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S_0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 106.840.826</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 70.093.018						S_0						\$ 106.840.826						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S_u</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 132.578.967</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						S_u						\$ 132.578.967						<table border="1"> <tr> <td>\$ 149.878.233</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S_{u^2}</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 179.322.489</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 149.878.233						S_{u^2}						\$ 179.322.489						<table border="1"> <tr> <td>\$ 219.164.630</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S_{u^3}</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 259.542.606</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 219.164.630						S_{u^3}						\$ 259.542.606						<table border="1"> <tr> <td>\$ 320.481.061</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S_{u^4}</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 376.007.491</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 320.481.061						S_{u^4}						\$ 376.007.491						<table border="1"> <tr> <td>\$ 468.634.516</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S_{u^5}</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 544.555.972</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 468.634.516						S_{u^5}						\$ 544.555.972						
\$ 70.093.018																																																																																																																		
S_0																																																																																																																		
\$ 106.840.826																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
S_u																																																																																																																		
\$ 132.578.967																																																																																																																		
\$ 149.878.233																																																																																																																		
S_{u^2}																																																																																																																		
\$ 179.322.489																																																																																																																		
\$ 219.164.630																																																																																																																		
S_{u^3}																																																																																																																		
\$ 259.542.606																																																																																																																		
\$ 320.481.061																																																																																																																		
S_{u^4}																																																																																																																		
\$ 376.007.491																																																																																																																		
\$ 468.634.516																																																																																																																		
S_{u^5}																																																																																																																		
\$ 544.555.972																																																																																																																		
	<table border="1"> <tr> <td>\$ 47.933.910</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S_d</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 88.977.300</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 47.933.910						S_d						\$ 88.977.300						<table border="1"> <tr> <td>\$ 70.093.018</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 98.744.521</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 70.093.018						$S_{u d}$						\$ 98.744.521						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^2 d}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 120.164.611</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^2 d}$						\$ 120.164.611						<table border="1"> <tr> <td>\$ 149.878.233</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 173.638.087</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 149.878.233						$S_{u^3 d}$						\$ 173.638.087						<table border="1"> <tr> <td>\$ 219.164.630</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^4 d}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 251.695.081</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 219.164.630						$S_{u^4 d}$						\$ 251.695.081						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^2}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 116.056.161</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^3 d^2}$						\$ 116.056.161					
\$ 47.933.910																																																																																																																		
S_d																																																																																																																		
\$ 88.977.300																																																																																																																		
\$ 70.093.018																																																																																																																		
$S_{u d}$																																																																																																																		
\$ 98.744.521																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^2 d}$																																																																																																																		
\$ 120.164.611																																																																																																																		
\$ 149.878.233																																																																																																																		
$S_{u^3 d}$																																																																																																																		
\$ 173.638.087																																																																																																																		
\$ 219.164.630																																																																																																																		
$S_{u^4 d}$																																																																																																																		
\$ 251.695.081																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^3 d^2}$																																																																																																																		
\$ 116.056.161																																																																																																																		
	<table border="1"> <tr> <td>\$ 47.933.910</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^2}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 84.100.570</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 47.933.910						$S_{u d^2}$						\$ 84.100.570						<table border="1"> <tr> <td>\$ 70.093.018</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^2 d^2}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 80.745.189</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 70.093.018						$S_{u^2 d^2}$						\$ 80.745.189						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^2 d}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 120.164.611</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^2 d}$						\$ 120.164.611						<table border="1"> <tr> <td>\$ 149.878.233</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^2}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 173.638.087</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 149.878.233						$S_{u^3 d^2}$						\$ 173.638.087						<table border="1"> <tr> <td>\$ 219.164.630</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^4 d^2}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 251.695.081</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 219.164.630						$S_{u^4 d^2}$						\$ 251.695.081						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^3}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 116.056.161</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^3 d^3}$						\$ 116.056.161					
\$ 47.933.910																																																																																																																		
$S_{u d^2}$																																																																																																																		
\$ 84.100.570																																																																																																																		
\$ 70.093.018																																																																																																																		
$S_{u^2 d^2}$																																																																																																																		
\$ 80.745.189																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^2 d}$																																																																																																																		
\$ 120.164.611																																																																																																																		
\$ 149.878.233																																																																																																																		
$S_{u^3 d^2}$																																																																																																																		
\$ 173.638.087																																																																																																																		
\$ 219.164.630																																																																																																																		
$S_{u^4 d^2}$																																																																																																																		
\$ 251.695.081																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^3 d^3}$																																																																																																																		
\$ 116.056.161																																																																																																																		
	<table border="1"> <tr> <td>\$ 88.977.300</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^3}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 84.100.570</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 88.977.300						$S_{u d^3}$						\$ 84.100.570						<table border="1"> <tr> <td>\$ 32.780.151</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^2}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 83.295.512</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 32.780.151						$S_{u d^2}$						\$ 83.295.512						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^2 d^2}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 120.164.611</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^2 d^2}$						\$ 120.164.611						<table border="1"> <tr> <td>\$ 149.878.233</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^2}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 173.638.087</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 149.878.233						$S_{u^3 d^2}$						\$ 173.638.087						<table border="1"> <tr> <td>\$ 219.164.630</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^4 d^2}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 251.695.081</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 219.164.630						$S_{u^4 d^2}$						\$ 251.695.081						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^3}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 116.056.161</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^3 d^3}$						\$ 116.056.161					
\$ 88.977.300																																																																																																																		
$S_{u d^3}$																																																																																																																		
\$ 84.100.570																																																																																																																		
\$ 32.780.151																																																																																																																		
$S_{u d^2}$																																																																																																																		
\$ 83.295.512																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^2 d^2}$																																																																																																																		
\$ 120.164.611																																																																																																																		
\$ 149.878.233																																																																																																																		
$S_{u^3 d^2}$																																																																																																																		
\$ 173.638.087																																																																																																																		
\$ 219.164.630																																																																																																																		
$S_{u^4 d^2}$																																																																																																																		
\$ 251.695.081																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^3 d^3}$																																																																																																																		
\$ 116.056.161																																																																																																																		
	<table border="1"> <tr> <td>\$ 47.933.910</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^4}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 84.100.570</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 47.933.910						$S_{u d^4}$						\$ 84.100.570						<table border="1"> <tr> <td>\$ 32.780.151</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^3}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 71.212.395</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 32.780.151						$S_{u d^3}$						\$ 71.212.395						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^2 d^3}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 120.164.611</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^2 d^3}$						\$ 120.164.611						<table border="1"> <tr> <td>\$ 149.878.233</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^3}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 173.638.087</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 149.878.233						$S_{u^3 d^3}$						\$ 173.638.087						<table border="1"> <tr> <td>\$ 219.164.630</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^4 d^3}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 251.695.081</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 219.164.630						$S_{u^4 d^3}$						\$ 251.695.081						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^4}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 116.056.161</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^3 d^4}$						\$ 116.056.161					
\$ 47.933.910																																																																																																																		
$S_{u d^4}$																																																																																																																		
\$ 84.100.570																																																																																																																		
\$ 32.780.151																																																																																																																		
$S_{u d^3}$																																																																																																																		
\$ 71.212.395																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^2 d^3}$																																																																																																																		
\$ 120.164.611																																																																																																																		
\$ 149.878.233																																																																																																																		
$S_{u^3 d^3}$																																																																																																																		
\$ 173.638.087																																																																																																																		
\$ 219.164.630																																																																																																																		
$S_{u^4 d^3}$																																																																																																																		
\$ 251.695.081																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^3 d^4}$																																																																																																																		
\$ 116.056.161																																																																																																																		
	<table border="1"> <tr> <td>\$ 88.977.300</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^5}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 84.100.570</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 88.977.300						$S_{u d^5}$						\$ 84.100.570						<table border="1"> <tr> <td>\$ 32.780.151</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^4}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 71.212.395</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 32.780.151						$S_{u d^4}$						\$ 71.212.395						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^2 d^4}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 120.164.611</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^2 d^4}$						\$ 120.164.611						<table border="1"> <tr> <td>\$ 149.878.233</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^4}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 173.638.087</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 149.878.233						$S_{u^3 d^4}$						\$ 173.638.087						<table border="1"> <tr> <td>\$ 219.164.630</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^4 d^4}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 251.695.081</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 219.164.630						$S_{u^4 d^4}$						\$ 251.695.081						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^5}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 116.056.161</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^3 d^5}$						\$ 116.056.161					
\$ 88.977.300																																																																																																																		
$S_{u d^5}$																																																																																																																		
\$ 84.100.570																																																																																																																		
\$ 32.780.151																																																																																																																		
$S_{u d^4}$																																																																																																																		
\$ 71.212.395																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^2 d^4}$																																																																																																																		
\$ 120.164.611																																																																																																																		
\$ 149.878.233																																																																																																																		
$S_{u^3 d^4}$																																																																																																																		
\$ 173.638.087																																																																																																																		
\$ 219.164.630																																																																																																																		
$S_{u^4 d^4}$																																																																																																																		
\$ 251.695.081																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^3 d^5}$																																																																																																																		
\$ 116.056.161																																																																																																																		
	<table border="1"> <tr> <td>\$ 47.933.910</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^6}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 84.100.570</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 47.933.910						$S_{u d^6}$						\$ 84.100.570						<table border="1"> <tr> <td>\$ 32.780.151</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^5}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 71.212.395</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 32.780.151						$S_{u d^5}$						\$ 71.212.395						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^2 d^5}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 120.164.611</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^2 d^5}$						\$ 120.164.611						<table border="1"> <tr> <td>\$ 149.878.233</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^5}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 173.638.087</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 149.878.233						$S_{u^3 d^5}$						\$ 173.638.087						<table border="1"> <tr> <td>\$ 219.164.630</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^4 d^5}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 251.695.081</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 219.164.630						$S_{u^4 d^5}$						\$ 251.695.081						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^6}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 116.056.161</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^3 d^6}$						\$ 116.056.161					
\$ 47.933.910																																																																																																																		
$S_{u d^6}$																																																																																																																		
\$ 84.100.570																																																																																																																		
\$ 32.780.151																																																																																																																		
$S_{u d^5}$																																																																																																																		
\$ 71.212.395																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^2 d^5}$																																																																																																																		
\$ 120.164.611																																																																																																																		
\$ 149.878.233																																																																																																																		
$S_{u^3 d^5}$																																																																																																																		
\$ 173.638.087																																																																																																																		
\$ 219.164.630																																																																																																																		
$S_{u^4 d^5}$																																																																																																																		
\$ 251.695.081																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^3 d^6}$																																																																																																																		
\$ 116.056.161																																																																																																																		
	<table border="1"> <tr> <td>\$ 88.977.300</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^7}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 84.100.570</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 88.977.300						$S_{u d^7}$						\$ 84.100.570						<table border="1"> <tr> <td>\$ 32.780.151</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^6}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 71.212.395</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 32.780.151						$S_{u d^6}$						\$ 71.212.395						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^2 d^6}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 120.164.611</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^2 d^6}$						\$ 120.164.611						<table border="1"> <tr> <td>\$ 149.878.233</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^6}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 173.638.087</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 149.878.233						$S_{u^3 d^6}$						\$ 173.638.087						<table border="1"> <tr> <td>\$ 219.164.630</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^4 d^6}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 251.695.081</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 219.164.630						$S_{u^4 d^6}$						\$ 251.695.081						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^7}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 116.056.161</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^3 d^7}$						\$ 116.056.161					
\$ 88.977.300																																																																																																																		
$S_{u d^7}$																																																																																																																		
\$ 84.100.570																																																																																																																		
\$ 32.780.151																																																																																																																		
$S_{u d^6}$																																																																																																																		
\$ 71.212.395																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^2 d^6}$																																																																																																																		
\$ 120.164.611																																																																																																																		
\$ 149.878.233																																																																																																																		
$S_{u^3 d^6}$																																																																																																																		
\$ 173.638.087																																																																																																																		
\$ 219.164.630																																																																																																																		
$S_{u^4 d^6}$																																																																																																																		
\$ 251.695.081																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^3 d^7}$																																																																																																																		
\$ 116.056.161																																																																																																																		
	<table border="1"> <tr> <td>\$ 47.933.910</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^8}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 84.100.570</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 47.933.910						$S_{u d^8}$						\$ 84.100.570						<table border="1"> <tr> <td>\$ 32.780.151</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^7}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 71.212.395</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 32.780.151						$S_{u d^7}$						\$ 71.212.395						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^2 d^7}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 120.164.611</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^2 d^7}$						\$ 120.164.611						<table border="1"> <tr> <td>\$ 149.878.233</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^7}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 173.638.087</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 149.878.233						$S_{u^3 d^7}$						\$ 173.638.087						<table border="1"> <tr> <td>\$ 219.164.630</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^4 d^7}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 251.695.081</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 219.164.630						$S_{u^4 d^7}$						\$ 251.695.081						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^8}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 116.056.161</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^3 d^8}$						\$ 116.056.161					
\$ 47.933.910																																																																																																																		
$S_{u d^8}$																																																																																																																		
\$ 84.100.570																																																																																																																		
\$ 32.780.151																																																																																																																		
$S_{u d^7}$																																																																																																																		
\$ 71.212.395																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^2 d^7}$																																																																																																																		
\$ 120.164.611																																																																																																																		
\$ 149.878.233																																																																																																																		
$S_{u^3 d^7}$																																																																																																																		
\$ 173.638.087																																																																																																																		
\$ 219.164.630																																																																																																																		
$S_{u^4 d^7}$																																																																																																																		
\$ 251.695.081																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^3 d^8}$																																																																																																																		
\$ 116.056.161																																																																																																																		
	<table border="1"> <tr> <td>\$ 88.977.300</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^9}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 84.100.570</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 88.977.300						$S_{u d^9}$						\$ 84.100.570						<table border="1"> <tr> <td>\$ 32.780.151</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^8}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 71.212.395</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 32.780.151						$S_{u d^8}$						\$ 71.212.395						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^2 d^8}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 120.164.611</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^2 d^8}$						\$ 120.164.611						<table border="1"> <tr> <td>\$ 149.878.233</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^8}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 173.638.087</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 149.878.233						$S_{u^3 d^8}$						\$ 173.638.087						<table border="1"> <tr> <td>\$ 219.164.630</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^4 d^8}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 251.695.081</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 219.164.630						$S_{u^4 d^8}$						\$ 251.695.081						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^9}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 116.056.161</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^3 d^9}$						\$ 116.056.161					
\$ 88.977.300																																																																																																																		
$S_{u d^9}$																																																																																																																		
\$ 84.100.570																																																																																																																		
\$ 32.780.151																																																																																																																		
$S_{u d^8}$																																																																																																																		
\$ 71.212.395																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^2 d^8}$																																																																																																																		
\$ 120.164.611																																																																																																																		
\$ 149.878.233																																																																																																																		
$S_{u^3 d^8}$																																																																																																																		
\$ 173.638.087																																																																																																																		
\$ 219.164.630																																																																																																																		
$S_{u^4 d^8}$																																																																																																																		
\$ 251.695.081																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^3 d^9}$																																																																																																																		
\$ 116.056.161																																																																																																																		
	<table border="1"> <tr> <td>\$ 47.933.910</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^{10}}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 84.100.570</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 47.933.910						$S_{u d^{10}}$						\$ 84.100.570						<table border="1"> <tr> <td>\$ 32.780.151</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^9}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 71.212.395</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 32.780.151						$S_{u d^9}$						\$ 71.212.395						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^2 d^9}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 120.164.611</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^2 d^9}$						\$ 120.164.611						<table border="1"> <tr> <td>\$ 149.878.233</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^9}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 173.638.087</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 149.878.233						$S_{u^3 d^9}$						\$ 173.638.087						<table border="1"> <tr> <td>\$ 219.164.630</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^4 d^9}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 251.695.081</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 219.164.630						$S_{u^4 d^9}$						\$ 251.695.081						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^{10}}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 116.056.161</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^3 d^{10}}$						\$ 116.056.161					
\$ 47.933.910																																																																																																																		
$S_{u d^{10}}$																																																																																																																		
\$ 84.100.570																																																																																																																		
\$ 32.780.151																																																																																																																		
$S_{u d^9}$																																																																																																																		
\$ 71.212.395																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^2 d^9}$																																																																																																																		
\$ 120.164.611																																																																																																																		
\$ 149.878.233																																																																																																																		
$S_{u^3 d^9}$																																																																																																																		
\$ 173.638.087																																																																																																																		
\$ 219.164.630																																																																																																																		
$S_{u^4 d^9}$																																																																																																																		
\$ 251.695.081																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^3 d^{10}}$																																																																																																																		
\$ 116.056.161																																																																																																																		
	<table border="1"> <tr> <td>\$ 88.977.300</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^{11}}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 84.100.570</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 88.977.300						$S_{u d^{11}}$						\$ 84.100.570						<table border="1"> <tr> <td>\$ 32.780.151</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^{10}}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 71.212.395</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 32.780.151						$S_{u d^{10}}$						\$ 71.212.395						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^2 d^{10}}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 120.164.611</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^2 d^{10}}$						\$ 120.164.611						<table border="1"> <tr> <td>\$ 149.878.233</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^{10}}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 173.638.087</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 149.878.233						$S_{u^3 d^{10}}$						\$ 173.638.087						<table border="1"> <tr> <td>\$ 219.164.630</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^4 d^{10}}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 251.695.081</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 219.164.630						$S_{u^4 d^{10}}$						\$ 251.695.081						<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.495.939</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u^3 d^{11}}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 116.056.161</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 102.495.939						$S_{u^3 d^{11}}$						\$ 116.056.161					
\$ 88.977.300																																																																																																																		
$S_{u d^{11}}$																																																																																																																		
\$ 84.100.570																																																																																																																		
\$ 32.780.151																																																																																																																		
$S_{u d^{10}}$																																																																																																																		
\$ 71.212.395																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^2 d^{10}}$																																																																																																																		
\$ 120.164.611																																																																																																																		
\$ 149.878.233																																																																																																																		
$S_{u^3 d^{10}}$																																																																																																																		
\$ 173.638.087																																																																																																																		
\$ 219.164.630																																																																																																																		
$S_{u^4 d^{10}}$																																																																																																																		
\$ 251.695.081																																																																																																																		
\$ 102.495.939																																																																																																																		
$S_{u^3 d^{11}}$																																																																																																																		
\$ 116.056.161																																																																																																																		
	<table border="1"> <tr> <td>\$ 47.933.910</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^{12}}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 84.100.570</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	\$ 47.933.910						$S_{u d^{12}}$						\$ 84.100.570						<table border="1"> <tr> <td>\$ 32.780.151</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_{u d^{11}}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>\$ 71.212.395</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr></table>	\$ 32.780.151						$S_{u d^{11}}$						\$ 71.212.395																																																																																	
\$ 47.933.910																																																																																																																		
$S_{u d^{12}}$																																																																																																																		
\$ 84.100.570																																																																																																																		
\$ 32.780.151																																																																																																																		
$S_{u d^{11}}$																																																																																																																		
\$ 71.212.395																																																																																																																		

Es valioso tener presente la afirmación de Johnathan Mun, donde se declara que si se analiza la suma de las valoraciones de las diferentes opciones se puede llegar a resultados erróneos. La opción Chooser no se puede determinar sumando las opciones que la componen, esto dado que las opciones son mutuamente excluyentes y la naturaleza independiente de cada una. (Mun, 2005).

Con el análisis de la Opción Chooser, se determina que la valoración del proyecto tiene un incremento de \$ 36.747.808 al tener la posibilidad de ejecutar las opciones de Expandir, Contraer o Abandonar cuando las condiciones del mercado o de la operación lo validen como la opción que maximiza el VPN.

6. Conclusiones

Para la construcción del modelo de negocio de un proyecto de incremento de producción de un campo petrolero es muy importante conocer los factores que afectan su resultado. Una vez se determinó tanto la estructura de cada una de las variables, como sus distribuciones de probabilidad, se realizó un análisis de sensibilidad con el cual se pudo determinar las variables relevantes que tienen mayor impacto sobre el modelo: Precio de Venta, Niveles de producción de Crudo y el costo de inversión en pozos nuevos. Estas variables se deben conocer y así poder generar los planes de diseño, control y gestión que garanticen mantenerse dentro de las métricas de tiempo y costos, se debe tener presente la importancia de las regalías y depreciación propias de esta industria.

Los costos de los planes de inversión tienen un impacto mediano, pero su gran impacto corresponde a los tiempos de inicio de producción que estos significan. Se analiza la importancia de las inversiones que se realizan en cuanto a obtención de datos de subsuelo y como estos ayudan a acotar y disminuir la incertidumbre de la producción esperada

Mediante análisis de bondad de ajuste, y utilizando datos históricos de las variaciones del crudo, se pudo determinar de manera estocástica la volatilidad de esta variable sobre la cual no se tiene control por ser parte del mercado internacional de commodities y elemento esencial en el modelo de valoración de la opción real.

Dando inicio al proceso de evaluación de flujos descontados se analizó de manera estocástica el WACC para así tener referente de tasa de descuento. Con el análisis de volatilidad del modelo del proyecto se logró determinar el nivel de certeza de tener un VPN igual al original

estimado sin volatilidad. Como resultado se determina que la probabilidad de dicho valor es inferior al 50%, lo cual debe ser tenido en cuenta para el análisis de riesgos de inversiones de gran escala. El resultado obtenido, a través de diferentes análisis estocásticos, de la volatilidad del modelo arroja un valor considerablemente alto, validando la utilización de Opciones Reales para evaluación de proyectos de inversión petrolera, dada la flexibilidad que ofrece dicha volatilidad dentro del modelo de valoración.

Para el cálculo del ejercicio de la Opción de Abandono, fue necesario traspasar el marco teórico clásico de valor de salvamento, debido a la esencia misma de los proyectos de campos petroleros fue necesario abordar de acuerdo a los practitioners que en la práctica valoran la opción de abandono como venta del proyecto.

De acuerdo a los valores obtenidos de los análisis individuales de las Opciones Abandonar, Expandir y Contraer, se determinó que gracias a su volatilidad existe un aumento en la valoración de un proyecto de inversión en campos petroleros si este contempla las bondades de poder hacer ejercicio de estas opciones. Adicionalmente se determina estocásticamente el aumento de valoración si para el proyecto es posible hacer ejercicio de cualquiera de las tres opciones mencionadas, conociendo los requisitos propios de exclusividad y maximización, es por esto que la Opción Chooser presenta un valor diferente a la suma de las opciones ejecutadas de manera independiente.

La utilización de Opciones Reales es una herramienta que maximiza el valor de un proyecto en todas sus etapas. Aumenta la valoración inicial al integrar su flexibilidad y volatilidad ante posibles cambios. Dando la posibilidad de revisión y control continuo tanto de estado como

de alcance del proyecto permite ir tomando las decisiones que puedan direccionar el rumbo del proyecto hacia la maximización de su rentabilidad. De esta forma el producto final a entregar cumplirá, y en caso superará, con la oferta de valor realizada a los inversionistas. Al no contar con análisis de flexibilidad se puede terminar un proyecto que no genere el valor o uso esperado, entrando así en pérdidas de valor o detrimento de uso de los recursos.

Para futuras investigaciones se proponen nuevos métodos para calibrar la volatilidad tanto de un commodity como de los flujos de un proyecto. Adicionalmente se propone desarrollar una investigación más a fondo de metodologías de cálculo de strikes de abandono en el sector energético.

7. Bibliografía

- Alvarez Echeverria, F., Lopez Sarabia, P., & Venegas Martinez, F. (Mayo 2012).
Valuación económica de proyectos energéticos mediante opciones reales: el caso de energía nuclear en México. *Ensayos revista de economia*, 75-98.
- Barnett, M. (2008). An Attention-Based View of Real Options Reasoning. *The Academy of Management Review*.
- Brealey, R., Myers, S., & Marcus, A. (2012). *Fundamentals of Corporate Finance*. McGraw Hill.
- Calle, A. M., & Tamayo, V. M. (2009). Decisiones De Inversion a traves de Opciones Reales. *estud.gerenc. vol.25 no.111 Cali Apr./June 2009*.
- Carroll, L. (1865). *Alice's Adventures in Wonderland*.
- Charnes, J. (2012). *Financial Modeling with Crystal Ball and Excel*. Wiley Finance.
- Conthe, M. (2004). Inversiones en Infraestructura y Riesgo regulatorio. *Universia Business Review*, 124-135.
- Contreras Andreoli, H., & Muñoz Rojas, G. (2013). *Opciones Reales Enfoque para decisiones de inversion bajo alta incertidumbre*. Bogota: Ediciones de la U.
- Copeland, T., & Antikarov, V. (2001). *Real Options a practitioners guide*. New York: Texere.
- Correa, J., & Murillo, O. (2014). *Escritura e investigacion academica: una guia para la elaboracion del trabajo de grado*. Bogota: Editorial CESA.
- Cuervo, L. E. (2001). *Introduccion al derecho y politica de petroleos*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Damodaran, A. (2006). *Damodaran on Valuation - Security Analysis for Investment and Corporate Finance*. New York: Wiley Finance.
- Dixit, A., & Pindyck, R. (1994). *Investmment under uncertainty*. Princeton.
- Djenderedjian, J. (2011). *Optimizacion recursos escasos en un area de frontera. La opcion por la mano de obra esclava en grandes estancias entrerrianas de tiampos coloniales*. Argentina.

- El riesgo y el sistema financiero. (1991). Cuadernos de investigacion Nueva Epoca.
- Essenfeld, M. (1979). *Fundamentos de Ingeniería de yacimientos*. Caracas: Ediciones Fonvides.
- Facultad de Ciencias Economicas, & Facultad de Ciencias Juridicas. (2005). *Petróleo: Política de contratación y competitividad*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Finnerty, J. D. (2013). *Project Financing: Asset - Based financial engineering*. New Jersey: Wiley Finance Series.
- Fuenzalida, D., & Mongrut, S. (2007). *Evaluacion de proyectos en mercados de capitales incompletos*. Lima.
- Gallardo Gomez, M., & Andalaft Chacur, A. (s.f.). Analisis de la incorporacion de la flexibilidad en la evaluacion de proyectos de inversion utilizando opciones reales y descuento de flujos dinamico. *Horizontes Empresariales Universidad de Bio Bio*, 41-56.
- García Ruíz, F. A., & Romero Romero, R. E. (s.f.). caracterizacion y analisis de modelos de evaluacion economica de proyectos de inversion bajo incertidumbre. *Revista Ingenieria Industrial Universidad Bio Bio*, 35-50.
- Girsky, S. (2014). Many Stakeholders, One Story. *Harvard Business Review*, 36.
- Gujarati, D., & Porter, D. (2010). *Econometria*. Mc Graw Hill.
- Huchzermeier, A., & Loch, C. (1999). *Project Management Under Risk*.
- International Energy Agency. (s.f.). *World Energy Outlook*. Obtenido de <http://www.iea.org/newsroom/news/2016/november/world-energy-outlook-2016.html>
- Kemma, A. (1993). Case Studies on Real Options. *Financial Management*.
- Kensinger, J. (s.f.). Project Abandonment as a put Option: Dealing With The Capital Investment decision and Operating Risk Using Option pricing Theory. 1980.
- Koduluka, P., & Papudesu, C. (2006). *Project Valuation Using Real Options*. Fort Lauderdale: J Ross Publishing.
- Manotas Duque, D. F., Estrada Bedon, A., & Uribe Rodríguez, J. (2011). *Aplicacion dl coeficiente de Gini y la semivarianza como estimadores del riesgo en la seleccion de proyectos*. Calio.

- Moix Muntó, R. (2014). *Evaluación Económica de Proyectos Petroleros*. Bogotá: HIPERGRAPH.
- Mun, J. (2005). *Real Options Analysis: Tools and Techniques for Valuing Strategic Investment and Decisions*.
- Muñoz Valdez, F. T., & Ramírez Monardez, M. (s.f.). Optimización en las decisiones de financiamiento de proyectos. *Revista Ingeniería Industrial Universidad del Bio Bio*, 29-43.
- Murcia, J. D., Díaz, F. N., Medellín, V., Ortega, J. A., González, M. R., Oñate, G. A., & Baca, C. A. (2011). *Proyectos Formulación y Criterios de Evaluación*. Bogotá: Alfaomega.
- Myers, S., & Majd, S. (s.f.). *Abandonment Value and Project Life*. 1990.
- Navas, D. F., Lozano, C. A., & Manotas, D. F. (2012). *Uso de simulaciones para la Valoración de riesgos en mercados de electricidad*. Bogotá.
- Nieves, A., & Domínguez, F. (2010). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería*. Mc Graw Hill.
- OPEC. (s.f.). *OPEC Upstream Investment*. Obtenido de http://www.opec.org/opec_web/en/647.htm
- Paris de Ferrer, M. (2009). *Fundamentos de Ingeniería de Yacimientos*. Maracaibo: Ediciones Astro Data.
- PMBOK. (2004). Project Management Institute.
- Ross, S., Westerfield, R., & Jaffe, J. (2005). *Finanzas Corporativas*. Mexico DF: McGraw Hill.
- Serrano Rodríguez, J. (2010). *Matemáticas financieras y evaluación de proyectos*. Bogotá: Alfaomega.
- Sistema General de Regalías. (s.f.). *Sistema General de Regalías*. Obtenido de Departamento Nacional de Planeación: <https://www.sgr.gov.co/Qui%C3%A9nesSomos/SobreelSGR.aspx>
- Slim, C. (2013). Como se decide en el grupo Slim. *latin Trade*, 22.
- Synek, S. (2009). *Start With Why*. New York: Portfolio / Penguin.

- Trigeorgis, L. (1993). Real Options and interaction with financial flexibility. *Financial Management*.
- Trigeorgis, L. (1993). The Nature of Option Interactions and the Valuation of Investments with Multiple Real Options. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*.
- UMPE. (2009). *Cadena del petroleo 2009*. Bogota: Ministerio de Minas y Energia.
- UPME. (2014). *Proyeccion de Demanda de Energia Electrica en Colombia*. Bogota.
- Venegas Martinez, F. (2008). *Riesgos financieros y economicos: Productos Derivados y Decisiones Economicas Bajo Incertidumbre*. Cengage Learning Editores.
- World Bank. (s.f.). *Energy Home*. Obtenido de <http://www.worldbank.org/en/topic/energy/overview#1>
- Yañez, Gomez de la vega, Seneco, Nucette, & Medina. (2007). *Confiabilidad Integral Sinergia de disciplinas*.
- Zapata, R. (2008). Aprende a Evaluar los riesgos que rodena tu empresa. *Entrepreneur Mexico*, 22-26.
- Zitzmann Riedler, W. (2009). *Valoracion de Empresas con Excel*. Bogotá: Alfaomega.