

Opciones Reales

Quizás el concepto económico más ampliamente usado en la industria del petróleo sea el del Valor Presente Neto, que nos brinda un criterio sencillo para evaluar la bondad de un proyecto de inversión.

Una limitación importante de este criterio es que no permite medir el valor de la flexibilidad en el desarrollo de un proyecto. La evaluación de inversiones a través de Opciones Reales —una extensión de las herramientas desarrolladas para valorar opciones financieras— apunta a cubrir esta limitación.

El presente artículo pretende mostrar un rápido ordenamiento de un tema que se encuentra en desarrollo y eventualmente ser una guía bibliográfica para un estudio más profundo.



Daniel Rigou es Gerente de Planeamiento y Control de Gestión Repsol-Gas y Jefe de Trabajos Prácticos de Investigación Operativa en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires.

Probablemente el concepto económico más ampliamente usado en la industria del petróleo sea el del Valor Presente Neto (VPN), que nos brinda un criterio sencillo para evaluar la bondad de un proyecto de inversión. Se construye este indicador descontando a una tasa adecuada la expectativa futura de ingresos y egresos de caja. Si este valor resulta positivo el proyecto es aceptado, y es rechazado en caso contrario.

También se desarrollaron, y son muy utilizadas, algunas técnicas complementarias que tratan de medir el

mayor o menor grado de riesgo de un proyecto, como la Simulación de Montecarlo, y los Árboles de Decisión. Sin embargo, siempre se reconoció que el criterio del VPN no recoge la posibilidad que tienen quienes llevan adelante un proyecto de inversión, de modificar las decisiones a medida que se van presentando eventos novedosos o que factores que resultaban inciertos se van aclarando.

El criterio del VPN asume que todas las decisiones se toman antes de iniciar el proyecto y que no hay flexibilidad o capacidad de adaptación en el futuro; no nos permite responder preguntas del tipo: ¿cómo valorar la posibilidad de expandir la capacidad de un proyecto en el futuro si las condiciones de mercado mejoran?; ¿cómo valorar la posibilidad de abandonar un proyecto antes de que esté completamente realizada la inversión si las condiciones empeoran?; ¿cómo valorar la posibilidad de utilizar indistintamente el más barato de dos combustibles alternativos (por ej.: gas y *fuel*

oil)?; ¿cómo valorar el programa de investigación y desarrollo de un producto, cuyos resultados son inciertos?

Durante los últimos 10 o 15 años se han desarrollado dentro del ámbito académico algunas formas de abordar estas limitaciones del criterio del VPN. Últimamente, se ha incrementado la cantidad de artículos sobre estos temas, en especial los publicados desde el ámbito de las empresas y las consultoras, lo que estaría indicando un mayor número de aplicaciones prácticas. A principios de 1999 se ha publicado un libro que aborda estos temas en forma muy conceptual (Amram-Kulatilaka, 1999).

A lo largo de este artículo me referiré a las Opciones Reales (*Real Options*), pero la denominación cambia según los autores: OPM (*Option Pricing Methods*), MAP (*Modern Asset Pricing*), son algunos de los nombres alternativos.

Las Opciones Financieras

La evaluación de inversiones a través de Opciones Reales es una extensión de las herramientas desarrolladas para valorar opciones financieras. Una opción financiera es el derecho a comprar (o vender) un determinado activo financiero a un determinado precio en el futuro. Si en el momento (*t*) en que expira una opción de compra europea el precio de la acción (S_t) es superior al precio de ejercicio (X), su tenedor recibe $S_t - X$, y recibe nada si el precio resulta inferior a X . La opción de venta es inversa, y las opciones americanas permiten el ejercicio en cualquier momento hasta la

fecha de expiración de la opción.

Los primeros intentos de valorar correctamente una opción datan del 1900 (Louis Bachelier), sin embargo los métodos actualmente en uso se desarrollaron recientemente. En 1973 Fisher Black y Myron Scholes publicaron su ya famoso artículo *The Pricing of Options and Corporate Liabilities* donde desarrollaron un método para valorar las opciones financieras que hoy es utilizado diariamente por miles de *traders* e inversores en todo el mundo. Robert Merton desarrolló la misma fórmula de otra forma e hizo varias contribuciones más en publicaciones que realizó entre 1973 y 1977. Merton y Scholes recibieron el premio Nobel de Economía en 1997, Black había fallecido antes, en 1995. La gran novedad que introducen Black-Scholes y Merton es que el método de valuación no requiere la adopción de una prima por riesgo, la tasa de interés empleada en la valuación de opciones con su fórmula es la tasa libre de riesgo. El valor de una opción es inferido a partir del valor de un portafolio (de activos que cotizan) que tiene el mismo comportamiento que la opción y reproduce las fluctuaciones en el valor de la opción a través del tiempo. Si el portafolio y la opción no valieran lo mismo, aparecerían oportunidades de arbitraje. La composición de este portafolio debe modificarse permanentemente. Si bien el desarrollo matemático es complejo (requiere la resolución de una ecuación diferencial en derivadas parciales sujetas a determinadas condiciones de borde), los datos necesarios son muy pocos:

- El precio presente de la acción (S_0).

- El precio de ejercicio (X).
- La tasa de interés libre de riesgo (r).
- El tiempo en el que expira la opción (t).
- La volatilidad de la acción (σ).

La volatilidad es una medida de la dispersión de las variaciones de precios de la acción (estrictamente es el desvío *standard* de los logaritmos de las variaciones del precio de la acción).

Las hipótesis básicas del modelo de Black y Scholes son que la acción (o el activo en cuestión) sigue un camino aleatorio (proceso Wiener), que la volatilidad es constante, que la acción no distribuye dividendos, y que no hay costos de transacción.

A igualdad de todo lo demás, una opción de compra vale más cuanto mayor sea el precio presente (S_0), cuanto más largo sea el tiempo de expiración (t), cuanto menor sea el precio de ejercicio (X), cuanto mayor sea la volatilidad (σ) y cuanto mayor sea la tasa libre de riesgo (r).

Ejemplos de Opciones Reales

Las que siguen son las **Opciones Reales** que más frecuentemente se analizan en la bibliografía existente.

La opción de posponer una inversión. Si, por ejemplo, una concesión de explotación habilita a iniciar la producción en cualquier momento durante los siguientes 5 años, puede ser más conveniente esperar y observar la evolución de los precios del crudo, que realizar inversiones e iniciar la producción inmediatamente. Hacerlo inmediatamente anula la opción de esperar, lo que en el fondo es un costo de oportunidad.

En Lehman (1989) puede encon-

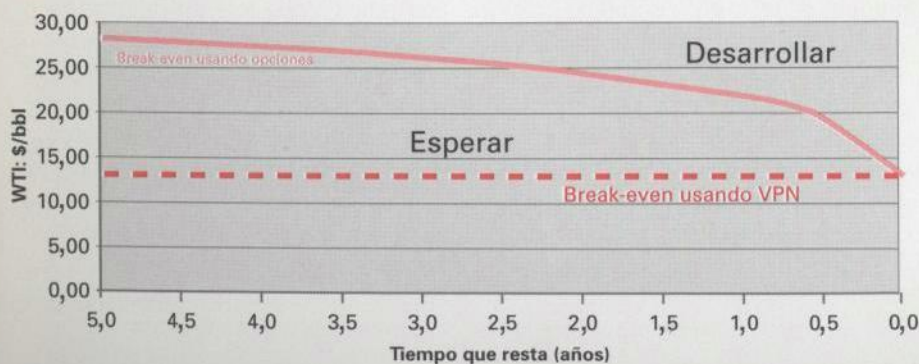
trarse un modelo (basado en los trabajos de Siegel, Smith y Paddock) para hallar el momento óptimo para iniciar el desarrollo de un yacimiento. El gráfico de la figura 1 (tomado del trabajo de Lehman) presenta en abscisas el tiempo que resta hasta que expire la posibilidad de iniciar el desarrollo, y en ordenadas los precios del crudo al momento de tomar la decisión de iniciar el desarrollo. Para puntos por encima de la línea llena es conveniente iniciar inmediatamente el desarrollo, y para puntos por debajo, es conveniente esperar. Solamente cuando no es posible continuar esperando, las decisiones derivadas del análisis tradicional coinciden con las del análisis empleando opciones.

Este tipo de opciones es habitual en industrias extractivas, y en agricultura.

La opción de abandonar un proyecto ya iniciado. En muchos proyectos reales las inversiones no se realizan de una sola vez, sino que son una serie de desembolsos que en proyectos importantes se extienden en un período más o menos largo de tiempo. Esto crea la posibilidad de abandonar el desarrollo de un proyecto mucho antes de que esté concluido si las condiciones empeoran. Cada etapa del proyecto de inversión puede ser pensada como una opción en el valor de las siguientes etapas. Al valorar un proyecto con el criterio del VPN, el valor de la opción de abandonar no es considerado. Este tipo de opciones es común en las industrias que emplean intensamente capital en Investigación y Desarrollo, como la industria farmacéutica, y en general cuando hay alta incertidumbre y largos períodos de desarrollo en industrias intensivas en capital.

La opción de expandir. Este tipo de opción se presenta cuando es posible expandir la escala de un proyecto si las condiciones se tornan favorables. Entonces puede pensarse en la oportunidad de inversión como el proyecto de escala-base más la opción de compra de un proyecto mayor. Esta opción se ejercerá sólo si las condiciones son adecuadas en el futuro.

1 Precio del crudo al que el desarrollo está justificado



2 Se requieren 17 MM\$ para establecer una nueva compañía que lanzará su producto al mercado en 2 años. El valor del negocio ya instalado se estimó en 19 MM\$ a partir de un análisis de otras compañías públicas similares que ya actúan en este mercado. Un estudio empleando VPN muestra un valor negativo para la oportunidad de inversión de -1,17 MM\$. Un enfoque diferente permite pensar que el desembolso del primer año y medio (2 MM\$), crea la posibilidad de invertir 15 MM\$ adicionales en el año 2 si las condiciones son favorables. El proyecto valuado como una opción tiene un valor presente positivo. No se valuó aquí la posibilidad de abandonar el proyecto en algún momento durante el primer año y medio, pero esta opción agregaría un valor adicional.

Tiempo (en años)	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	Total
Cálculo del valor de la inversión utilizando VPN						
(a) Inversiones	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-15,00	-17,00
Valor Presente de (a)	-0,50	-0,49	-0,48	-0,46	-13,61	-15,53
Valor Presente de (a) -etapa desarrollo-	-1,93					
(b) Valor del negocio establecido					19,00	19,00
Valor presente de (b)					14,37	14,37
Valor Presente Neto (VPN "estático")	-1,17	=	-15,53+14,37			
Tasa libre de riesgo	5,0%					
Prima por riesgo	10,0%					
Tasa de descuento con riesgo	15,0%					

Cálculo del valor de la opción utilizando Black-Scholes

Precio presente (So)	14,37	Es el valor presente del negocio establecido
Precio de ejercicio (X)	15,00	Es la inversión necesaria en el año 2 para el lanzamiento
Tiempo hasta la expiración (t)	2,0	Tiempo en el que debe ejercerse la opción
Tasa libre de riesgo (r)	5,0%	
Volatilidad	40,0%	Observada en el mercado para empresas similares
Valor de la opción	3,52	

Valuación "completa" del proyecto

Valor Presente de las inversiones -etapa desarrollo-	-1,93
Valor de la opción	3,52
Valor total del proyecto	1,59

La opción de contraer. El caso inverso a la opción de expandir, es la opción de reducir la escala de un proyecto si las condiciones se tornan peores en el futuro.

La opción de intercambiar inputs o outputs. Una planta de generación que use indistintamente dos combustibles, tiene un valor adicional: la flexibilidad de usar en el futuro el combustible más barato. Del mismo modo, la compañía que puede desarrollar varios usos para sus activos, puede adaptar sus productos a las condiciones de mercado que vaya enfrentando.

En la realidad, muchas veces en un proyecto se encuentran superpuestas varias de estas opciones. La solución matemática correcta, en general, dista mucho de la simple suma de los valores de las diferentes opciones. Este hecho conduce a modelos matemáticos bastante complejos, lo que le resta aplicabilidad práctica.

La Valoración de Opciones Reales

Que el criterio del VPN no recoja adecuadamente el valor de la flexibilidad en el desarrollo, no significa que deba ser dejado de lado o sustituido por otros criterios. Igualmente sigue jugando un papel central; sin embargo, el VPN "estático" o tradicional debe ser completado para incluir además el valor de la flexibilidad en el desarrollo:

$$VPN(\text{expandido}) = VPN(\text{estático}) + \text{Plus por valor de la opción}$$

Una vez que se han identificado y definido las opciones reales presentes en un proyecto, éstas deben ser correctamente valoradas. Para ello, lo primero es establecer la representación matemática de la opción. Esto implica definir una representación adecuada para el proceso estocástico de la variable aleatoria, los pagos esperados de la opción y las reglas de decisión en términos matemáticos. Existen tres métodos generales de solución:

Adaptado de Amram-Kulatilaka

■ **Planteo y resolución de una ecuación diferencial.** Está basado en plantear el valor de la opción y su dinámica en el tiempo a través de una ecuación diferencial en derivadas parciales sujeta a determinadas condiciones de borde.

La ecuación de Black y Scholes es la solución a una ecuación de este tipo. En ella se asume que el activo sigue un proceso estocástico del tipo Wiener (o movimiento Browniano), que ajusta muy bien para predecir el comportamiento de acciones o bonos—cuando no hay *shocks* inesperados—y por eso es tan ampliamente usado en los mercados financieros (una aplicación simplificada a activos reales usando B&S se muestra en la figura 2). Los proyectos de inversión en activos reales pueden tener comportamientos diferentes. El comportamiento de los *commodities* en el mediano plazo, por ejemplo, no se ajusta a un proceso Wiener, más bien lo hace a un

3 El modelo binomial de Cox, Ross y Rubinstein permite la visualización de la evolución de la variable aleatoria y el cálculo en forma recursiva del valor de una opción -europea o americana-. Eligiendo adecuadamente los valores de u y d y ampliando la cantidad de subperíodos (en este caso sólo 6) los resultados tienden a los que se obtienen con Black y Scholes.

En este ejemplo se calcula el momento óptimo de ejercer un *put* americano.

Datos de entrada

Volatilidad mensual	13%
Tiempo en años	0,5
Cantidad de subperíodos	6
Precio actual (A)	45,00
Precio de ejercicio	50,00
Tasa libre de riesgo (r)	5,0%

Parámetros calculados

Tiempo del subperíodo (t)	0,0833
Volatilidad anual σ	45%
u	1,139
d	0,878
p	0,48356
$1-p$	0,51644
e^{-rt}	0,99584
e^{-r}	1,00418

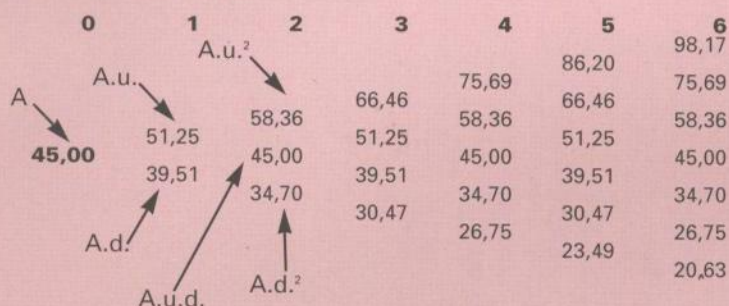
$$u = e^{\sigma \sqrt{t}}$$

$$d = 1/u$$

$$p = \frac{e^{rt} - d}{u - d}$$

p : probabilidad de alza (sin riesgo)

Proyección de la Variable aleatoria



Valor del Put Americano

							0,00
						0,00	0,00
					0,00	0,00	0,00
				0,68	1,32	2,57	5,00
			4,05	6,63	10,49	15,30	23,25
		11,06	15,30	19,53	26,51	29,37	
	19,53	23,25	26,51	29,37			
8,41	5,09	2,41	0,68	0,00	0,00	0,00	
	11,58	7,64	4,05	1,32	0,00	0,00	
		15,37	11,06	6,63	2,57	0,00	
			19,53	15,30	10,49	5,00	

$$19,53 = \max [50 - 30,47; [15,30 p + 23,25 (1 - p)] e^{-r}]$$

Decisión óptima

1: ejercicio inmediato
0: esperar

							0
						0	0
					0	0	0
				0	0	0	0
			0	0	0	1	1
		0	0	0	1	1	1
	0	0	0	1	1	1	1

Adaptado de Amram-Kulatilaka

proceso con reversión, donde cuando los precios bajan (suben), se provoca una reducción (aumento) de la oferta que aumenta la probabilidad de una suba (baja) de precios. Las probabilidades de alza o baja no son simétricas,

sino que dependen del nivel de precios. En un proceso Wiener las alzas y bajas son siempre equiprobables.

Existen desarrollados en la literatura varios modelos de este tipo adaptados a diferentes tipos de opciones. Algunos de ellos pueden encontrarse

en Dixit y Pindyck (1994) –parte 3– o en Trigeorgis (1996) –capítulo 6–.

No siempre una vez planteada la ecuación diferencial ésta admite una solución analítica, a veces es necesario recurrir a aproximaciones numéricas, como por ejemplo el método de diferencias finitas.

El planteo y la solución de este tipo de modelos difícilmente alcance popularidad en su uso fuera del ámbito académico. Tal vez modelos de este tipo sirvan para contrastar la precisión de otros métodos aproximados pero de más sencilla implementación.

■ **Modelos binomiales.** Están basados en buscar una representación simple de la evolución a través del tiempo del activo de referencia. A partir de un valor inicial S_0 , el activo puede moverse en intervalos discretos de tiempo aumentando a $S_0 u$ o disminuyendo a $S_0 d$, en el período siguiente los valores posibles son $S_0 u^2$, $S_0 u d$, $S_0 d^2$, y así sucesivamente. Los modelos desarrollados a partir de este reticulado o red (*lattice approach*) son muy flexibles.

Eligiendo adecuadamente los valores de u y d y aumentando la cantidad de subperíodos pueden alcanzarse los mismos resultados que a través de Black y Scholes. Este modelo fue desarrollado por Cox, Ross y Rubinstein (1979) en *Option pricing: A simplified approach*. El ejemplo de la figura 3 corresponde a este tipo.

■ **Modelos de simulación de Montecarlo.** Con modelos de simulación se reproduce la evolución del activo de referencia desde el presente hasta el momento de la toma de decisión sobre la opción, y se calcula su resultado. El valor de la opción surgirá de la ponderación de los resultados luego de una cantidad suficiente de iteraciones. Este método se adapta fácilmente a diferentes aplicaciones de proyectos reales. No es muy adecuado para manejar opciones de tipo americano que admiten el ejercicio anticipado.

Conclusiones

Estas líneas no pretenden ser originales sino solamente un rápido ordenamiento de un tema que se encuentra

www.real-options.com

En este sitio se encuentra información complementaria del libro de Amram y Kulatilaka, contiene una planilla de cálculo con algunos de los ejemplos del libro, hay artículos disponibles y referencias a otras direcciones en Internet.

<http://smgproj.bu.edu/smg/dept/fe/nalin/>

Es un sitio que corresponde a la Universidad de Boston donde se desempeña Nalin Kulatilaka. Hay varios artículos disponibles.

<http://io.rdc.puc-rio.br/marco.ind/main.html>

Es una página dedicada a Opciones Reales en la industria del petróleo. Su autor es Marco Antônio Guimarães Dias (Petrobrás). Contiene una explicación introductoria, referencias bibliográficas, aplicaciones a modelos petroleros, comentarios sobre artículos y libros y referencias a otras direcciones en Internet.

<http://www.eur.nl/few/indec/about.htm>

Es el sitio de un grupo de investigación: Real Options Management and Analysis (ROMA), con base en Rotterdam.

<http://www.geocities.com/WallStreet/9245/vba6.htm>

<http://www.geocities.com/WallStreet/9245/vba7.htm>

En estos sitios pueden encontrarse dos interesantes aplicaciones en Microsoft Visual Basic® para Microsoft Excel®, que permiten resolver Black-Scholes y Cox-Ross-Rubinstein.

en desarrollo y eventualmente ser una guía bibliográfica para un estudio más profundo. Se ha avanzado mucho en el desarrollo de métodos y modelos para resolver Opciones Reales, pero relativamente poco en el campo de las aplicaciones prácticas. Seguramente pasará bastante tiempo hasta que estos métodos sean tan ampliamente usados como lo es hoy el VPN. En algunos casos prácticos la alta complejidad de las situaciones y la falta de referencias cercanas a mercados líquidos, harán aún más improbable la aplicación de este tipo de modelos.

Probablemente, los métodos analíticos para resolver Opciones Reales no hayan todavía pasado del mundo académico al de las aplicaciones prácticas. La restricción más importante no se encuentra, sin embargo, en las dificultades analíticas, sino en la forma en que pensamos los proyectos de inversión; éstas están fuertemente influenciadas por los métodos de flujo de fondos descontados que normalmente empleamos. Los análisis a través de Opciones Reales nos sirven para reconocer más claramente que al plantear proyectos de inversión, la flexibilidad en el desarrollo y el dejar abiertas opciones que permitan adaptarse a eventos aleatorios que ocurrirán en el futuro pueden tener un valor importante si son adecuadamente manejadas. En otras palabras, el próximo paso no es perfeccionar los métodos matemáticos sino pensar los proyectos de inversión como un conjunto de opciones.

Bibliografía

AMRAM, Martha and KULATILAKA, Nalin (1999). *Real Options: Managing Strategic Investment in an Uncertain World*, (Harvard Business School Press - Financial Management Association Survey and Synthesis Series).

AMRAM, Martha and KULATILAKA, Nalin (1999). "Disciplined Decisions: Aligning Strategy with Financial Markets". *Harvard Business Review* January, 1999.

BAKER, Malcom P.; MYFIELD, E. Scott and PARSONS, John E. (1998). "Alternative Models of Uncertain

Commodity Prices for use with Modern Asset Pricing Methods". *The Energy Journal* Vol 19 No 1.

BRADLEY, Paul G (1998). "On the use of Modern Asset Pricing for Comparing Alternative Royalty Systems for Petroleum Development Projects". *The Energy Journal* Vol 19 No 1.

BURNS, J; LEWIS, I. & SICK, G. (1992). *Valuing Petroleum Investments Using Discrete Option Pricing Theory*. SPE paper 24475.

COPELAND, Thomas E.; KEENAN, Philip T. (1998). "How much is flexibility worth?". *The Mc Kinsey Quarterly*, 1998 No 2, pp. 38-49.

COPELAND, Thomas E.; KEENAN, Philip T. (1998). "Making real options real". *The Mc Kinsey Quarterly*, 1998 No 3, pp 128-141.

DIXIT, A. & PINDYCK, R.S. (1994). *Investment Under Uncertainty*. Princeton University Press.

LAUGHTON, David (1998). "The Management of Flexibility in the Upstream Petroleum Industry". *The Energy Journal* Vol 19 No 1.

LEHMAN, J. (1989). *Valuing Oilfield Investments Using Option Pricing Theory*. SPE Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium. Proceeding pp. 125-136. SPE (Society of Petroleum Engineers) paper 18923.

LESLIE, Keith J.; MICHAELS, Max P. (1997). "The real power of real options". *The Mc Kinsey Quarterly*, 1997 number 3, pp. 04-22.

MARKLAND, J.T. (1994). *Long-Life Production and Corporate Survival*. SPE Oil & Gas Economics, Finance

and Management Conference, London, June 1994. Proceeding pp. 85-96. SPE (Society of Petroleum Engineers) paper 28205.

MARKLAND, J.T. (1992). *Options Theory: A new way forward for Exploration and Engineering Economics?*. SPE Oil & Gas Economics, Finance and Management Conference, London, April 1992. Proceeding pp. 51-67. SPE (Society of Petroleum Engineers) paper 24232.

MEHRDAD BAGHAI; Stephen C. COLEY and David WHITE with Charles CONN and Robert MC. LEAN (1996). *Staircases to growth*. *The Mc Kinsey Quarterly*, 1996 No 4, pp 38-61.

OVERDAHL, James A. and MATTHEWS, H. Lee (1988). "The use of NYMEX options to forecast crude oil prices". *The Energy Journal* Vol 9 No 4.

SALAHOR, Gordon (1998). "Implications of Output Price Risk and Operating Leverage for the Evaluation of Petroleum Development Projects". *The Energy Journal* Vol 19 No 1.

SIEGEL, D., SMITH, and PADDOCK. (1987). "Valuing offshore oil properties with option pricing models". *Midland Corporate Finance Journal* 5, no 1:22-30.

STIBOLT, R.D.; LEHMAN, J. (1993). *The Value of a Seismic Option*. SPE Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium. Proceeding pp. 25-32. Dallas, 29-30 March 1993. SPE (Society of Petroleum Engineers) paper 25821.

TRIGEORGIS, L. (1996). *Real Options*. Cambridge MA: MIT Press.