

Valoración de Proyectos de Inversión en Plantas Químicas mediante el uso de Opciones Reales “switch”. Aplicación a una Integración Vertical en una Unidad de Producción de Ácido Sulfúrico

Antonio Salamero Salas, Joan Tarradellas Espuny, Carme Martínez Costa

¹ Dpto. de Organización de empresas. ETSEIB. Universitat Politècnica de Catalunya. Avda. Diagonal 647, p7, 08028 Barcelona. antonio.salamero@upc.edu, jtarradellas@yahoo.es, mcarme.martinez@upc.edu

Resumen

Las operaciones industriales que requieren la compra de materias primas con una importante volatilidad de precios, plantean frecuentemente la alternativa de una producción autónoma de alguna de esas materias primas a un coste menor que el precio de compra. El uso de opciones reales se nos presenta como una alternativa conveniente a la clásica valoración por descuento de flujos de caja futuros, expresados éstos como los ahorros en cada periodo debido a la diferencia entre precio de compra y coste de producción.

En efecto, la volatilidad del precio de algunas materias primas, hace muy poco fiable la estimación de los ahorros en el futuro a fin de evaluar la rentabilidad de la inversión en una planta de autoabastecimiento. En la práctica industrial, además, en los periodos en que el precio del mercado vuelve a caer, se dejará la planta parada para abastecer la materia prima desde el mercado, de modo que el uso de opciones reales tiene pleno sentido.

Palabras clave: Opciones Reales; Análisis de Inversiones; Proyectos de Plantas de Química Industrial.

1. Introducción

El estudio muestra la aplicación de opciones reales a un caso completo de análisis de inversiones industriales en una planta química que produce ácido fosfórico a partir de la combinación de ácido sulfúrico y roca fosfórica (fosfato cálcico). La empresa química compra el sulfúrico en el mercado libre. Los cambiantes niveles de precio de esta materia prima ponen en cuestión la rentabilidad de la planta. Por ello se plantea la posibilidad de invertir en una planta propia de producción de sulfúrico a partir de azufre para obtener esta materia prima a un coste menor.

En la figura 1 se muestra un esquema con la tecnología existente, denominada “Tecnología X” y la alternativa, es decir, la posibilidad de producir el propio sulfúrico como materia prima, que se denomina “Tecnología Y”

La existencia de una nueva planta de sulfúrico nos proporcionaría la posibilidad de producir esa materia prima si su precio en el mercado es mayor o “suficientemente mayor” que el coste de producción autónoma. Alternativamente, la dejaremos en stand-by en aquellos momentos en que baje suficientemente el precio de mercado del sulfúrico. La valoración de la inversión necesaria en la tecnología Y puede acometerse mediante la técnica de valoración de opciones reales, para la que se tendrá en cuenta los diferentes cash flow que nos proporciona el uso alternativo de la tecnología X y de la tecnología Y. Este esquema sería aplicable a cualquier operación industrial en la que alguna de las materias primas esté sometida a fuertes variaciones de precio y muestre un comportamiento de quasi-commodity.

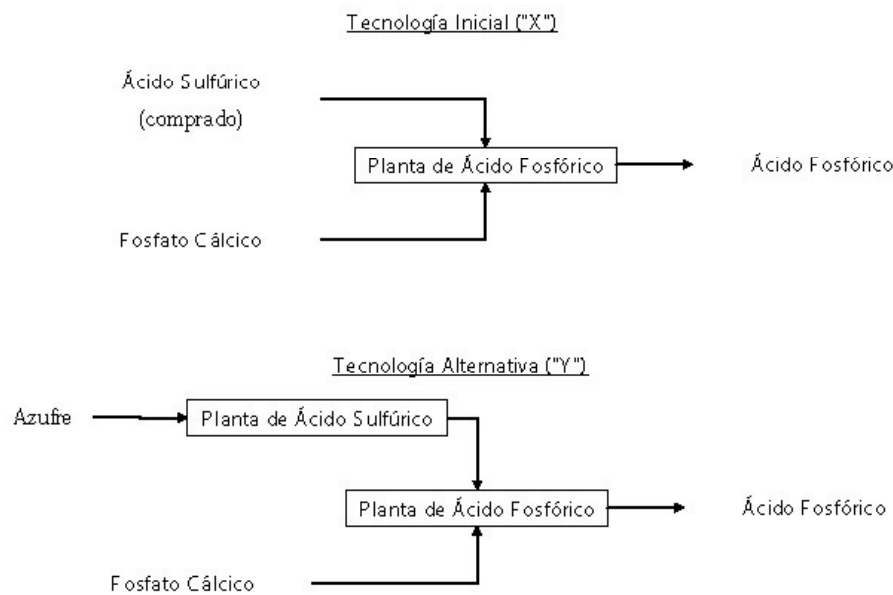


Figura 1. Esquema de tecnologías alternativas. "X" es la de compra de ácido sulfúrico. "Y" es la de autoproducción de sulfúrico a partir de azufre.

El uso de opciones reales en este caso se nos presenta como una alternativa conveniente a la clásica valoración por descuento de flujos de caja futuros, expresados estos como el ahorro en cada periodo i , debido a la diferencia entre precio de compra y el coste de producción, de los que sustraemos el coste de la inversión " I " en la planta de sulfúrico:

$$NPV = -I + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{Ahorro_i}{(1+r)^i} \quad (1)$$

La volatilidad del precio de la materia prima, en este caso el ácido sulfúrico, hace muy poco fiable la estimación de los ahorros en cada año. En la práctica industrial, además, en los periodos en que el precio del mercado vuelve a caer, se dejará la planta parada para abastecer la materia prima desde el mercado, de modo que la metodología tradicional de descuento de flujos de caja es mejorable, mediante la utilización de la técnica de opciones reales.

El ejercicio o no de la opción de utilizar la planta de producción autónoma de materia prima dependerá también de los costes de arranque, de parada y de mantenimiento en vacío.

2. Modelos existentes

En la reciente literatura sobre opciones reales se muestra a las "switch options" como una de las opciones más complejas, dado que en su valoración hay que tener en cuenta que se producirán múltiples ejercicios de la opción en momentos indeterminados del futuro. Si bien algunos autores proponen modelos genéricos para mostrar cómo deberían ser tratadas las switch options, no ha habido hasta el momento apenas ningún ejemplo de cómo la metodología se puede aplicar a un caso real, cuales son las dificultades de aplicación y cual es la robustez de la valoración obtenida. En parte, el trabajo de campo nos ha mostrado que los modelos teóricos, numéricos o analíticos, suelen mostrarse con condiciones de contorno demasiado estrictas, en muchos casos inaceptables para una empresa real que quiera realizar la valoración de una inversión con cierta fiabilidad.

En este estudio mostramos una valoración completa de un caso de integración vertical hacia

atrás en el sector de la química industrial. Para ello partimos de un modelo general propuesto por Copeland y Antikarov (2001) para la valoración de una opción de cambio entre dos tecnologías alternativas basado en árboles binomiales. Nos decantamos, por tanto, por una solución numérica para análisis y valoración de switch options siguiendo a autores como Trigerorgis (1996) y descartamos soluciones analíticas que proponen para casos simplificados, entre otros, McDonald y Siegel (1985) o Brennan y Schwarz (1985).

3. Modelo de Copeland/Antirakov

En este modelo, se construyen dos árboles binomiales, uno para cada tecnología alternativa. En nuestro caso, como se dijo arriba, la “tecnología X” corresponde a la de comprar la materia prima en el mercado libre. La “tecnología Y”, corresponde a la de producir la materia prima. Las cajas de los nodos de los árboles binomiales de la figura 2 contienen el flujo de caja en cada periodo del posible estado de la naturaleza. Debajo se muestra el valor actual del nodo:

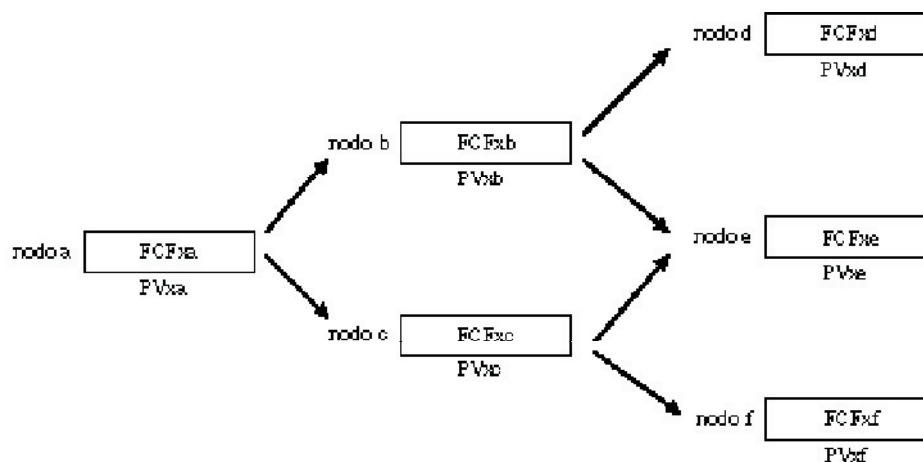


Figura 2. Arbol binomial de flujos de caja y valores actuales de la tecnología existente, X

En cada momento discreto del árbol binomial se puede calcular el valor del activo subyacente, que en este caso es el valor actual (PV, present value) de la operación química, como suma del flujo de caja del presente periodo más los posibles valores actuales de la operación en el futuro ponderados por su probabilidad objetiva de ocurrencia. En los nodos del final del árbol, “d”, “e” y “f”, el valor actual PV de cada nodo coincide con el flujo de caja de ese nodo. En los demás nodos anteriores, se calcula según el método de descuento de flujos habitual, por ejemplo, en el nodo *b*:

$$PV_{xb} = FCF_{xb} + \frac{p \times PV_{xd} + (1 - p)PV_{xe}}{(1 + k)} \quad (2)$$

donde *p* y (1 - *p*) son las probabilidades objetivas de ocurrencia de cada evolución *up/down* de los estados de naturaleza y *k* la tasa de descuento apropiada a la empresa química. El valor de la empresa hoy corresponde al valor actual en el primer nodo, *a*.

A continuación se construye otro árbol binomial similar para la tecnología Y, es decir, un árbol en la que se muestren los flujos de caja y los valores actuales que en nuestro caso consistiría en una operación combinada en la que producimos sulfúrico autónomamente en vez de comprarlo en el mercado libre. Igual que antes, obtenemos el valor actual de la empresa mediante el uso de la tecnología Y.

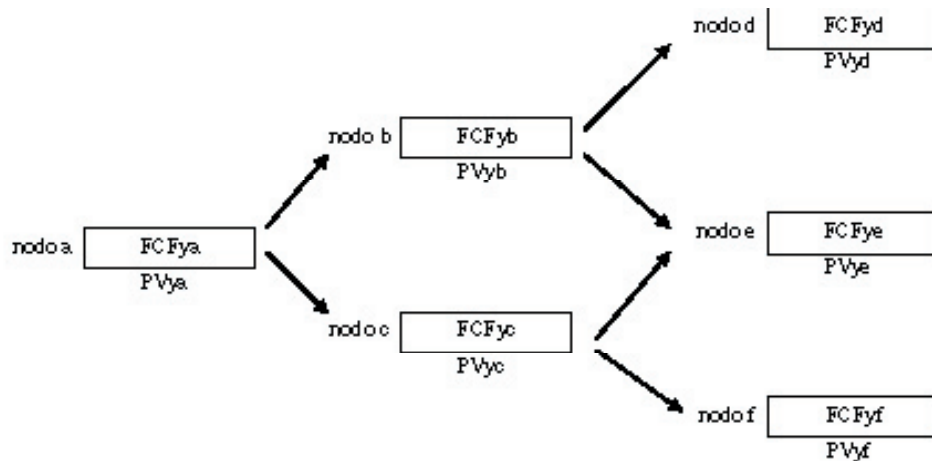


Figura 3. Arbol binomial de flujos de caja y valores actuales de la tecnología alternativa, Y

Una vez los dos árboles están definidos, se trata de maximizar el valor actual de los flujos de caja (demonizado S) de la empresa en cada nodo mediante la opción real que nos permite cambiar en cada período (“Switch”) de una tecnología a otra. La optimización se efectúa empezando por los nodos del final del árbol y moviéndose hacia atrás.

Se trata por tanto de hallar, para los nodos del último periodo, cual es el estado de tecnología que produce mayor flujo de caja. Es importante remarcar aquí que en las empresas reales pueden ser muy significativos los costes de parada y arrancada, es decir, los costes de pasar de la tecnología X a Y, los de pasar de la tecnología Y a la X, que denominaremos respectivamente C_{xy} y C_{yx} . Por ello hay que tener en cuenta siempre cual es la tecnología de la que partíamos en el nodo anterior a fin de calcular cual es la estrategia óptima: si seguir en la tecnología en la que estábamos en el periodo anterior o bien cambiar a la nueva tecnología asumiendo el coste adicional del cambio. En nuestro ejemplo, el coste de pasar de comprar sulfúrico a producirlo incluye, entre otros, el coste de arrancada de la planta de ácido, la eventual contratación de mano de obra, los contratos de compra de azufre, etc. De modo similar, en el caso de apagar la planta de sulfúrico para volver a comprarlo en el mercado libre debemos considerar los costes de parada de fábrica, despidos de operarios, etc.

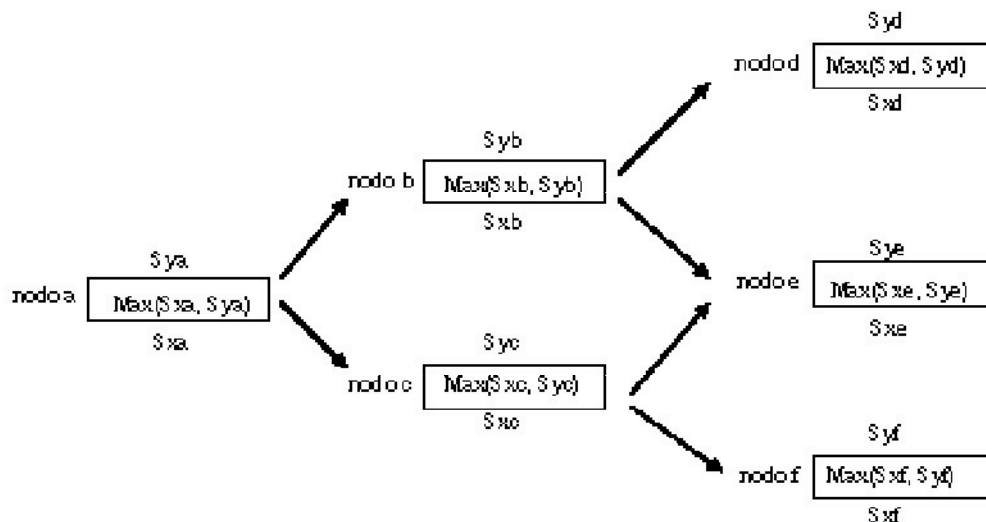


Figura 4. Arbol binomial bidimensional en el que se maximiza en cada nodo los valores actuales S dependiendo de la tecnología de partida en el periodo anterior

Como muestra la figura 4, en cada nodo obtendremos dos valores S, uno si partíamos de la tecnología X en el periodo anterior, S_x , y otro si partíamos de la tecnología Y en el periodo anterior, S_y . En cada nodo elegiremos el mayor de los dos.

Como ilustración, en el caso del nodo d , habrá que calcular los valores actuales si partimos del nodo anterior de la tecnología X, S_{xd} y si partimos del nodo anterior de la tecnología Y, S_{yd} :

$$S_{xd} = \text{MAX}(PV_{xd}, PV_{yd} - C_{xy}) \quad (3)$$

$$S_{yd} = \text{MAX}(PV_{yd}, PV_{xd} - C_{yx}) \quad (4)$$

El valor máximo de estos dos resultados nos determinará la estrategia a seguir en el nodo d . De ese modo, se va calculando hacia atrás en el tiempo el valor máximo en cada periodo, que nos proporcionará al final el valor actual de los cash flow asociados a la inversión que nos dé la opción de cambiar de una tecnología a otra dependiendo del estado de la naturaleza.

4. Modificación y optimización del esquema de Copeland/Antirakov para aplicación a una inversión real

Uno de los problemas de los modelos teóricos existentes es que con frecuencia dejan indefinidos algunos parámetros claves que hacen muy difícil su aplicación a ejercicios reales de valoración de inversiones. En el caso que nos ocupa hemos identificado y resuelto, entre otros, dos especialmente relevantes. El primero es el de la determinación de la probabilidad objetiva de los movimientos up/down de los árboles binomiales. El segundo de los problemas es el de que en un caso de autoproducción de una materia prima, los movimientos up/down de los árboles binomiales de las dos tecnologías alternativas no tienen necesariamente que moverse arriba y abajo en paralelo para cualquier periodo, tal como puede comprobarse en una simulación de Montecarlo.

Respecto al primer problema, el esquema de Copeland/Antirakov prescinde de la determinación de la probabilidad objetiva de subida y bajada de los nodos en cada árbol alternativo, dejándolo en un supuesto $p=0.5$ para la subida o la bajada del cash flow en cada periodo. En nuestro estudio mostramos que, a fin de hacer la valoración de la opción de forma aplicable, es necesario determinar adecuadamente las probabilidades objetivas de subida y bajada de los valores de los nodos de los árboles binomiales (movimientos up/down), de acuerdo con los datos reales de la inversión a analizar y valorar. Estos valores, los flujos de caja en cada periodo, se asimilan al precio de un activo financiero. En el caso de un activo financiero con un precio que se asuma que sigue un movimiento browniano geométrico, tenemos que la esperanza del precio en un momento t , P_t se expresa como:

$$E[P_t] = P_{t-1} e^{\mu \Delta t} = p P_{t-1} u + (1-p) P_{t-1} d \quad (5)$$

Se resuelve que:

$$p = \frac{e^{\mu \Delta t} - d}{u - d} \quad (6)$$

siendo:

$$\mu_t = \text{Ln} \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right) \quad (7)$$

$$u = e^{\sigma \sqrt{t}} \quad (8 \text{ y } 9)$$

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

En cuanto al segundo problema, los esquemas teóricos utilizan dos árboles binomiales en dos dimensiones, tal como se han mostrado arriba, de modo que en cada periodo se comparan los nodos simétricos en cada árbol y se obtiene el valor máximo dependiendo de la tecnología utilizada en el periodo anterior. Sin embargo, la simulación de Montecarlo de nuestro ejemplo industrial muestra que esta simplificación, es decir, la comparación de dos árboles binomiales en paralelo, nodo a nodo, no puede ser aplicada más que en casos particulares muy restringidos, dado que los movimientos up/down no tienen por qué seguir necesariamente el mismo camino en una y otra tecnología. Para verlo intuitivamente, basta pensar en el escenario (o estado de la naturaleza) en que en un periodo caen fuertemente los precios de venta de producto acabado, lo cual impacta negativamente en los cash flows de las dos tecnologías X e Y. En el mismo periodo, casualmente, cae también mucho el precio de compra del azufre lo cual impacta positivamente el cash flow pero únicamente en la tecnología Y, hasta el punto de que puede compensar el primer efecto. El resultado sería que el cash flow sube en la tecnología Y, mientras que baja en la tecnología X en el mismo periodo para el mismo estado de la naturaleza.

Ello nos lleva a determinar mediante simulación de Montecarlo la probabilidad condicional de que las tecnologías X e Y muestren sus movimientos up y down en paralelo. Si la probabilidad de subida up de la tecnología X condicional a una subida en la tecnología Y fuera siempre 1, entonces el modelo de Copeland sería adecuado y suficiente. Nuestro análisis, sin embargo, nos lleva a no rechazar la hipótesis de que esa probabilidad es menor que 1, de modo que nos vemos obligados a construir un árbol cuadrinomial en 3 dimensiones para capturar el cierto grado de independencia de las dos tecnologías en cuanto a su reacción a cambios en el estado de la naturaleza. En la figura 5 se muestra esquemáticamente el árbol donde verticalmente se representaría el árbol de la tecnología X y horizontalmente el de la tecnología Y.

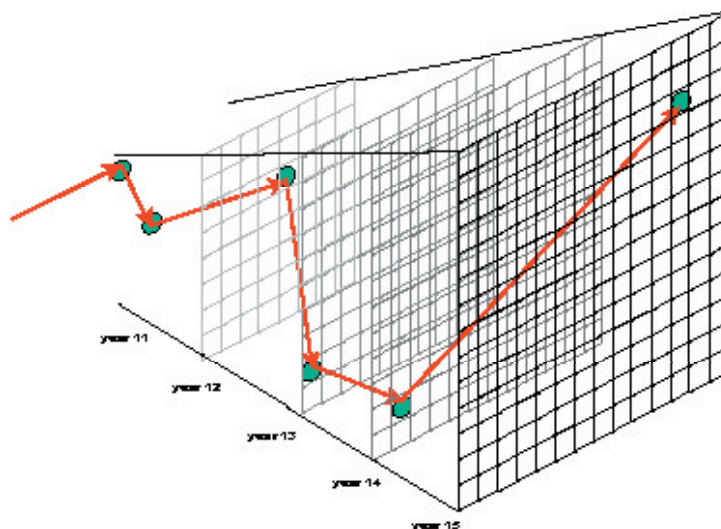


Figura 5. Arbol cuadrinomial en que se muestran las posibles combinaciones de estados finales de la naturaleza dependiendo del camino up and down (en color rojo)

En ese árbol repetimos el proceso de maximización de valor actual en cada nodo que hemos mostrado para el ejemplo simplificado en dos dimensiones.

5. Obtención de datos de campo y desarrollo del modelo

5.1. Obtención de los datos reales

Los datos reales del trabajo de campo incluyen costes de producción, precios de compra de materias primas, precios de venta de producto acabado, etc y se han obtenido de diversas fuentes como consultores del sector, bases de datos especializadas y de varios productores químicos de Europa, tanto occidental como de países del Este, así como de fabricantes de ácido fosfórico de América Latina, Estados Unidos y Oriente Medio,

5.2. Construcción de las cuentas de resultados para 15 ejercicios contables de las tecnologías alternativas X e Y

Con los datos recogidos y mediante entrevistas con productores de ácido fosfórico se han elaborado cuentas de resultados detalladas para las dos tecnologías o alternativas de fabricación, es decir, mediante compra de ácido sulfúrico (X) y mediante autofabricación de ácido sulfúrico (Y). El objetivo final es la obtención del cash flow en cada ejercicio.

5.3. Simulación de Montecarlo

La simulación se ha elaborado con el máximo detalle posible, tratando de capturar la evolución de costes, precios e inversiones en una planta química real. En el caso de precios de mercado, se han utilizado series anuales para obtener la volatilidad del precio que, posteriormente, se ha usado en la simulación.

Algunos de los parámetros, como el coste de mano de obra, las inversiones de mantenimiento o los volúmenes de producción han requerido la aplicación de procesos de reversión a la media (mean reverting) a fin de hacer la simulación lo más ajustada a la realidad que sea posible.

5.4. Obtención de parámetros para el árbol cuadrinomial

En los nodos de los árboles mostrados en la figura 5, como se ha dicho, el flujo de caja en cada periodo se asimila a lo que sería el precio del activo subyacente si tratáramos con una opción financiera. La simulación de Montecarlo nos proporcionó las medias y las volatilidades de las subidas y bajadas de cash flow de periodo a periodo, necesarias para el cálculo de los valores u y d , up/down del árbol cuadrinomial.

Las medias obtenidas por simulación, junto con los valores de u y d , tal como se ha mostrado anteriormente, también permitió la determinación de las probabilidades objetivas p y $(1-p)$ de los movimientos up and down.

Finalmente, la simulación también proporcionó las probabilidades condicionales de movimientos en paralelo de subidas y bajadas de cash flow de un periodo a otro entre ambas tecnologías necesarias para definir las probabilidades de cada camino de evolución de flujos de caja a lo largo de los nodos del árbol cuadrinomial.

5.5. Cálculo del valor de la opción

El árbol cuadrinomial se ha construido mediante una hoja de cálculo Excel con multihojas de

trabajo. En ella se realiza el cálculo de maximización del cash flow empezando en el periodo 15 y yendo hacia atrás, hasta que se obtiene el valor de la opción.

El esquema nos ha permitido asimismo realizar diversos tests de robustez del modelo ante variaciones de todos los parámetros de partida del ejemplo real, como por ejemplo la tasa k de descuento, las volatilidades de las variaciones del cash flow, precios de materias primas, costes de producción, etc.

6. Resultados

Los resultados obtenidos son, por un lado, el valor de la opción switch, en millones de Euros, y por otro, el análisis de la robustez del modelo ante variaciones en los diversos parámetros claves del trabajo.

Especialmente significativo es observar que el modelo es razonablemente robusto tanto a variaciones moderadas de volatilidad como a errores de estimación de otros parámetros, como la tasa de descuento o la correlación de movimientos de subida y bajada de las dos tecnologías. La figura 6, por ejemplo, muestra la evolución del precio de la opción frente a variaciones en la tasa de descuento de los flujos de caja.

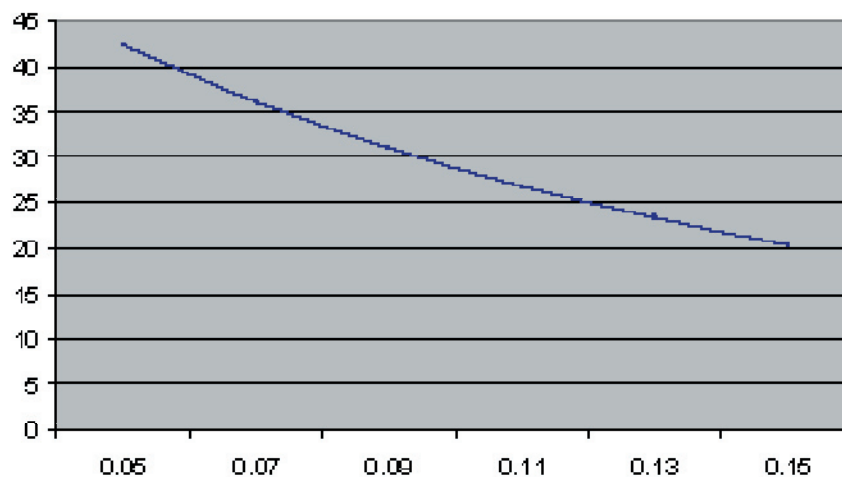


Figura 6. Valor de la opción, en millones de Euros, en función de la tasa de descuento utilizada.

Uno de los resultados más interesantes es la robustez del modelo ante muchos otros parámetros de difícil determinación, como los costes de cambio de tecnología en el futuro (costes de parada o arrancada de la fábrica de ácido sulfúrico), los volúmenes de producción debido a oscilaciones en la demanda de producto acabado o a la aparición de nueva capacidad de producción en el sector, cambios en el coste de la mano de obra etc.

En cuanto a la aplicabilidad de la metodología propuesta en este trabajo, hay que mencionar que hemos comprobado en un primer sondeo que el modelo puede ser aplicado y comprendido con relativa facilidad por los decisores de la industria consultados.

Por último, el mismo modelo de valoración de la opción para llevar a cabo la inversión inicial sirve después de herramienta para que el fabricante decida en cada periodo del futuro cual es la acción óptima (arrancar la fábrica o pararla) en función del precio en el mercado del ácido sulfúrico y de los otros parámetros claves.

En este sentido creemos que nuestro modelo constituye en buen ejemplo de aplicabilidad efectiva de la teoría de opciones reales en general y de las switch options en particular.

Referencias

Brennan, M.; Schwartz E. (1985). Evaluating Natural Resource Investments. *Journal of Business* vol.58:2. pp.135-157.

Copeland, T.; Antikarov V. (2001). *Real Options: A Practitioner's Guide*. TEXERE Publishing Limited. New York.

McDonald, R.; Siegel, D. (1985). Investment and the Valuation of Firms when There Is an Option to Shut Down. *International Economic Review*, vol.26:2, pp.334-349.

Trigeorgis, L. (1996). *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.