ANÁLISIS CRÍTICO DE LAS METODOLOGÍAS DE VALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE SEMILLAS

Francisco Nasi
Javier García Fronti

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se estudiará la problemática de evaluar proyectos de investigación y desarrollo (I+D) de semillas utilizando la metodología de opciones reales. En particular se discute la relevancia del modelo propuesto por Jason Hsu y Eduardo Schwartz para el ámbito farmacéutico.

El interés por este tema surge luego de observar que los proyectos en el sector de innovación agropecuaria son analizados como flujos de fondos ciertos, sin tener en cuenta la probabilidad de llegar al resultado esperado o no, y en qué momento se llega a este resultado o se decide desechar la investigación. El resultado de este punto de vista es la selección de proyectos con alta rentabilidad pero muy riesgosos, por sobre otros con probabilidades de éxito superiores.Este tipo de inversiones tiene tres características que no permiten utilizar técnicas tradicionales de valuación. En primer lugar, las inversiones son en su mayoría irreversibles y sus costos de capital hundidos. En segundo lugar, existe incertidumbre sobre el futuro retorno de la inversión (ya que los precios futuros son impredecibles). En último lugar, los inversores muchas veces tienen la opción de esperar para obtener una mejor información sobre el precio futuro. Por otro lado, estos proyectos requieren varios años para producir el bien comercializable, siendo necesario contar con etapas de desarrollo, testeo y registración en entes de regulación. Adicionalmente, los costos son sumamente altos, siendo aproximadamente el 25% exclusivo de la etapa de registración y aprobación en entes públicos[1]. El desarrollo de un solo evento de semilla (por ejemplo tolerancia a un determinado agroquímico o insectos) se extiende en promedio 13 años (ya que varias de estas etapas se realizan en simultáneo) y tiene un costo de USD 136.000.000.

Este trabajo consta de tres secciones. En la primera se plantean los métodos tradicionales de valuación y se introduce la valuación por opciones reales. En la segunda sección se realiza una introducción y explicación de los elementos claves del modelo propuesto por Hsu y Schwartz. Por último se resumen los resultados obtenidos y se concluye.

[1] Un informe realizado por Phillps McDougall sobre las seis empresas más grandes de investigación de eventos para semillas (estas son BASF, Bayer, Dow, DuPont, Monsanto, Syngenta) recopila y detalla esta información.

1. VALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

1.1 Valuación tradicional de proyectos

Esta subsección analiza las distintas formas tradicionales de valuación de proyectos de inversión.Muchos de estos métodos son utilizados (incorrectamente) en proyectos con inversiones irreversibles, incertidumbre, beneficios futuros volátiles, etc, por ejemplo en el caso presente, para el análisis de proyectos de R&D de semillas y agroquímicos.

Estos métodos de valuación constan de tres etapas: 1) la estimación de flujos de caja futuros generados por el proyecto; 2) la búsqueda de una tasa de descuento adecuada para cada flujo de caja; 3) la estimación del costo inicial de la inversión. Pero aunque estas metodologías son fáciles de aplicar, tienen la desventaja de no reflejar la complejidad de los fenómenos sociales y económicos implicados en muchos proyectos de inversión.

A continuación se resumen las principales características de los métodos tradicionales utilizados en el sector.

1.1.1 Valor actual neto

El Valor Actual Neto de un proyecto se define como la suma de los valores presentes de erogaciones (costos) e ingresos de caja (ganancias) de los sucesivos periodos del proyecto. Para lograr el valor presente de estos movimientos de caja, los montos son descontados a una tasa de descuento. Esta tasa puede representar el costo de oportunidad de utilizar el dinero, o la tasa que hubiese representado otro proyecto (a veces libre de riesgo, como las letras del tesoro de EEUU), o el interés por tomar prestado dinero para iniciar el proyecto. Claro está que la interpretación del resultado obtenido dependerá de la tasa aplicada.

$$VAN = \sum_{y=0}^{n} \frac{C_i}{(1+i)^y} \quad (2.1)$$

Donde i es la tasa de descuento, y es el periodo, C es el monto de erogación (como valor negativo) o ingreso (como valor positivo) de ese periodo, y n es el número de periodos del proyecto.

El análisis básico del resultado implica descartar los proyectos con VAN negativo y aceptar los positivos, ya que implican que en valores presentes el proyecto agrega valor.

Sin embargo, se debe analizar cuidadosamente la tasa de descuento a aplicar, ya que se puede incurrir en errores como la subestimación de un proyecto por aplicar una tasa muy alta, o aceptación de un proyecto que finalizará en pérdida por aplicar una tasa muy baja.

Comúnmente se utiliza la tasa del costo del capital utilizado para el proyecto, que puede ser la tasa a la cual se ha tomado un préstamo o la tasa que los accionistas pretenden por su contribución a la sociedad. Esta tasa se puede aumentar con un ajuste por riesgo u otros factores.

También se pueden usar tasas de interés variables, dependiendo de qué periodo se trata. Para lograr esto se pueden utilizar las tasas implícitas de bonos con distintos plazos.

1.1.2 Tasa interna de retorno

Sin embargo, este tipo de análisis no es útil para comprar proyectos de distintas magnitudes de inversión inicial, ya que tan solo reporta un monto de ganancias en moneda corriente. Para salvar este problema, surge la Tasa Interna de Retorno, que se calcula como la tasa de descuento i que hace que el VAN sea igual a cero. Por lo tanto, se debe despejar TIR, tal que:

$$VAN = \sum_{y=0}^{n} \frac{C_t}{(1+TIR)^y} = 0 \quad (2.2)$$

Lo que este indicador muestra es la tasa hasta la cual el proyecto sigue ofreciendo ganancias. Es decir que cualquier tasa de financiación por debajo de la TIR, hará que la inversión en el proyecto aumente la riqueza del inversor.

Este método nos ofrece un indicador relativopara la comparación de proyectos de inversión, ya que no tiene en cuenta el costo del proyecto, siendo el que posea la TIR más alta el que otorga mayor rendimiento. Es decir que ambos métodos están ligados, siendo siempre mejor el proyecto con mayores VAN y TIR (siempre teniendo en consideración que de ser positivos los VAN de ambos proyectos, y de tener dinero suficiente, se deberían realizar ambos, ya que ofrecen ganancias). Pero ya se verá que esto no siempre se cumple.

1.1.3 Tasa interna de retorno modificada

Con la intención de solucionar los dos problemas más importantes del método de Tasa Interna de Retorno, es decir a) reinversión de los flujos de caja a la misma TIR, y b) múltiples valores de TIR para proyectos con alternación de flujos positivos y negativos, surge el método de la Tasa Interna de Retorno Modificada.

El método de TIRM explícitamente reinvierte los flujos positivos de caja a una tasa de reinversión, superando el primer problema de la TIR, y su resultado siempre es único, superando el segundo problema.

Lo que propone el método es valuar los flujos negativos a una tasa de costo de capital al momento de inicio, y los flujos positivos con una tasa de reinversión al momento final del proyecto, para luego calcular la tasa que haría que los dos momentos sean iguales. Es decir:

$$(1 + TIRM)^n \cdot \sum_{j=0}^{n} C_j^{(-)}(1 + i_{CC})^{-j} = \sum_{y=0}^{n} C_y^{(+)}(1 + i_r)^y \; (2.3)$$

Entonces:

$$TIRM = \sqrt[n]{\frac{\sum_{y=0}^{n} C_y^{(+)}(1 + i_r)^y}{\sum_{j=0}^{n} C_j^{(-)}(1 + i_{CC})^{-j}}} - 1 \qquad (2.4)$$

Donde n es la cantidad de períodos, $C^{(+)}$ son los flujos de fondo positivos, i_r es la tasa de reinversión, $C^{(-)}$ son los flujos de fondo negativos, y i_{CC}es la tasa de costo de capital.

El criterio para aceptar un proyecto de inversión será que la Tasa Interna de Retorno Modificada sea mayor a la tasa de costo de capital.

1.1.4 Período de repago

El período de repago, también llamado período de recupero o payback, se define como la cantidad de períodos necesarios para que la inversión inicial realizada en un proyecto sea compensada por sus flujos de caja. Es decir que buscamos n tal que:

$$\sum_{t=1}^{n} C_t = I_0 (2.5)$$

Donde C_t son los flujos de caja; n es el total de periodos; I_0 es la inversión inicial.

Al medir la velocidad de recuperación de la inversión, se entiende que cuanto más breve sea el lapso necesario, mayor será el atractivo del proyecto. La premisa subyacente es que a mayor velocidad de repago, mayor es la rentabilidad que puede esperarse del proyecto. Sin embargo, un punto débil de esta métrica es que no toma en cuenta los flujos de los períodos siguientes a la recuperación del capital inicial.

El criterio de decisión para aprobar un proyecto será comparar el n obtenido, con un parámetro de referencia preestablecido. Si n es menor, el proyecto es aprobado, de lo contrario se desecha. Otra flaqueza del método, es la subjetividad en la selección del parámetro de selección, el cual le quita rigor técnico a la evaluación.

Aunque la ventaja principal de este método es la simplicidad de su cómputo y comprensión, a las desventajas ya anunciadas se debe agregar que el método de Período de Repago no toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo, dado que los flujos de fondos se suman sin actualizar. Para solucionar este último problema, se utiliza el Período de Repago Descontado, el cual es igual al método anterior pero con la salvedad de descontar los flujos.

Debido a las fuertes contras que posee esta métrica, es que no se usa como un método único o decisivo en la toma de decisiones, sino como información adicional para el análisis.

1.1.5 Análisis de costo/beneficio

Este método es usualmente utilizado para analizar Políticas Públicas, por lo cual incorpora en su análisis, no solo los beneficios de la firma (en este caso el estado), sino también el de los individuos no participantes en el proyecto, al igual que los efectos en el medio ambiente, en la sociedad, etc.

Para realizar este análisis, se debe:

- Listar los proyectos alternativos
- Listar los individuos afectados por las decisiones (directa o indirectamente).
- Medir y estimar los costos y beneficios, según los pasos anteriores.
- Actualizar los valores monetarios, para tener en cuenta el valor temporal del dinero.
- Medir la tasa de Beneficio/Costo de cada alternativa.

En un proyecto de inversión, se analiza tanto el resultado como el beneficio por cada unidad monetaria invertida, seleccionado el que tenga la mejor relación. Sin embargo, se debe tener en cuenta elementos difíciles de medir, como el esfuerzo para lograr el proyecto, la responsabilidad legal, la seguridad, etc.

Con respecto a los proyectos de Política Pública, una de las críticas hechas a este método, es la subjetividad al ponerle un valor a elementos sociales o ambientales difícilmente mensurables, como la polución, o incluso una vida humana.

1.2 Valuación de proyectos con el método de opciones reales

Aunque estas metodologías presentadas en la subsección anterior son efectivas para la selección de proyectos de inversión simples (como los bonos), en contextos de certidumbre, si la decisión de inversión es estratégica o se realiza en un contexto incierto o con costos irreversibles, estas técnicas no pueden ser utilizadas debido a sus limitaciones.

Es por esta razón que para proyectos tan complejos como el del caso estudiado, es necesario evolucionar hacia el uso de metodologías más complejas, que tengan en cuenta costos irreversibles y que admitan un cálculo de riesgo e incertidumbre. Para satisfacer estas necesidades surge el método de cálculo con opciones reales, el cual es analizado en esta subsección.

La mayoría de las decisiones de inversión tienen las 3 características ya descritas:

- Costos hundidos o irreversibles (total o parcialmente)
- Incertidumbre sobre el futuro retorno de la inversión, ya que los precios futuros de los activos son impredecibles.
- Los inversores muchas veces tienen la opción de esperar para obtener una mejor información sobre los precios futuros.

Desde el punto de vista formal, una oportunidad de inversión irreversible es muy similar a una opción de compra financiera. Ésta última otorga al tenedor el derecho (no la obligación) de comprar un activo a un precio de ejercicio durante un tiempo futuro determinado. En el contexto económico, una empresa con una oportunidad de inversión tiene la opción de gastar el dinero ahora o en el futuro, a cambio de un activo de algún valor (el proyecto). Al igual que ocurre en el mercado de derivados, la opción de la empresa para invertir es valiosa, en parte porque el valor futuro del activo que la empresa obtiene mediante la inversión, es incierto. Si aumenta el valor del activo, la rentabilidad de la inversión se eleva. Si cae el valor, la empresa no necesita invertir, y sólo se pierde lo que pagó para obtener la oportunidad de inversión al momento inicial (costo hundido).

Cuando una empresa realiza un proyecto irreversible, "ejerce" su opción de invertir. Esto ocasiona una pérdida que debe ser incluída como parte del costo de la inversión. Este costo de oportunidad puede ser grande, y las metodologías de valuación de proyectos que lo ignoran, comenten un error importante al hacerlo.

El método de opciones reales tiene en cuenta la flexibilidad disponible para el administrador del proyecto, la cual es ignorada por los métodos tradicionales, los cuales asumen que el administrador es pasivo una vez realizada la inversión.

El método de opciones reales tiene en cuenta "todos" los futuros posibles y las respuestas del administrador. Este hecho hace que la posibilidad de grandes resultados negativos se reduzca.

1.2.1 Tipos de opciones

Los elementos fundamentales de una opción son:

- Fecha de Ejercicio o Expiration Date, que es la fecha en la cual se puede ejercer la opción.

- Strike o Precio de Ejercicio, es el precio al cual se fija la compra o venta de la acción, en la fecha de ejercicio.

- Las opciones tienen un *Precio,* que se debe pagar por adelantado.

Para las operaciones más simples de un proyecto, se utilizan opciones put o call, tanto americanas como europeas.

Veamos una breve explicación de cada una y su fórmula de valuación.

A. Opción de compra ~ Call

El Call le da al tenedorel derecho de adquirir una acción, pero no la obligación. Si a la Fecha de Ejercicio, el Precio de Ejercicio es menor que el precio de la acción, al tenedor le convendrá ejercer la opción. En el caso contrario, el precio será menor que el estipulado en la opción, por lo cual le es más rentable adquirirlo en el mercado. Dado que el Call tiene un Precio, el tenedor habrá tenido una rentabilidad positiva por poseer la opción, cuando la acción tenga un valor mayor al Precio de Ejercicio, de al menos el precio pagado por la opción.

La rentabilidad mínima (o pérdida) obtenida por el tomador de una opción de compra será el precio pagado por la opción, mientras que la máxima será *(Precio de la acción en el mercado –Strike- Precio de la opción).*

Por el lado del emisor de la acción, la ganancia máxima será el precio obtenido por la acción, mientras que la pérdida máxima es *(Precio de la acción en el mercado –Strike- Precio de la opción)*

B. Opción de venta ~ Put

El Put le da al tenedor el derecho de vender una acción, pero no la obligación. Si a la Fecha de Ejercicio, el Precio de Ejercicio es mayor que el precio de la acción, al tenedor le convendrá ejercer la opción. De lo contrario le convendrá vender la acción en el mercado. Para haber obtenido una ganancia, el precio de la acción debe ser inferior al Strike, por al menos el Precio pagado por la opción.

En este caso la pérdida máxima para el tomador de la opción también será el precio de la opción, mientras que la rentabilidad máxima es (*Strike –Precio de la acción en el mercado- Precio de la opción*).

El emisor, nuevamente, tendrá sus resultados opuestos al tomador.

C. Opción europea vs. Opción Americana

Las opciones de compra y de venta pueden ser Europeas o Americanas. La única diferencia entre estos dos tipos, es el momento de ejercicio de la opción. Mientras que en una opción europea, el tomador debe esperar hasta la fecha de ejercicio para ejercer la opción, en la opción americana el tomador tiene el derecho a ejercer la opción en cualquier momento, hasta la fecha de ejercicio.

Esta diferencia es sumamente importante para modelar distintos tipos de maniobras dentro de una inversión.

1.2.1 Valuación de opciones

Hay dos métodos tradicionales para la valuación de opciones, uno es el de Arboles Binomiales, y el otro es el Método de Black & Scholes. Haremos una breve descripción de ambos, haciendo énfasis en el método de cálculo.[2]

1.2.1.1 Árboles Binomiales

Los Arboles Binomiales son diagramas que representan diferentes caminos posibles que pueden ser tomados por el precio de una acción, durante la vida de una opción. La hipótesis es que el precio de la acción sigue un random walk. En cada encrucijada, el precio de la acción puede subir o bajar en un cierto porcentaje. A medida que los pasos son en períodos más cortos, este modelo lleva a asumir que el precio de la acción tiene una distribución lognormal, hipótesis del modelo de Black and Scholes.

Árbol de Decisión Binomial

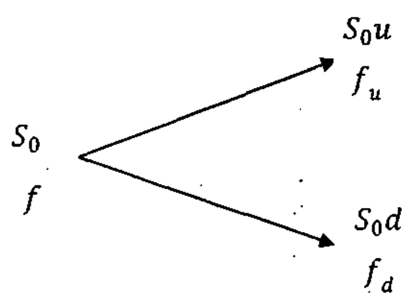


Figura 1

Definimos S_0 como el valor de la acción en el momento0; f como el valor de la opción en el momento0; S_0u como el valor de la acción cuando sube; f_u como el valor de la opción si la acción subió; S_0d como el valor de la acción cuando baja; f_d como el valor de la opción si la acción baja; Tcomo el período.

[2] Para observer la derivacion matemática de los modelos, ver Hull, J. Options, Futures & other derivatives. 6th Ed.", Capítulos 11, 12, 13, 16, 19, 26, 27.

Para valuar la opción, se hace el supuesto de que no existen posibilidades de arbitraje. Si se analiza un porfolio tal que en las dos posibilidades, es decir que suba o baje el precio de la acción, el resultado sea el mismo, entonces se podrá descontar los flujos a la tasa libre de riesgo.

Si suponemos un porfolio de Δ acciones y posición corto en una opción de compra, tal que los dos resultados sean iguales, entonces:

$$S_0 u\Delta - f_u = S_0 d\Delta - f_d (2.6)$$

Entonces:

$$\Delta = \frac{f_u - f_d}{S_0 u - S_0 d} (2.7)$$

Como el valor actual es el valor futuro descontado a la tasa libre de riesgo:

$$S_0 - f = (S_0 u\Delta - f_u)e^{-rT} (2.8)$$

Si reemplazamos Δ por (2.2), y despejamos f:

$$f = e^{-rT}[pf_u + (1-p)f_d] (2.9)$$

Donde

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

Se puede interpretar a p como la probabilidad de que suba el valor de la acción y a $(1-p)$ como la probabilidad de que baje, siendo (2.4) el valor actual del pago esperado de la opción.

Para valuar opciones en más de un paso, se debe realizar la valuación de la opción en cada nodo, desde el final de la vida de la opción hacia el principio.

La fórmula generalizada de n pasos, para opciones europeas con aumentos y disminuciones en el valor de la acción constante, es:

$$f = \left[\sum_{i=o}^{n} \binom{n}{i} f_{[u(n-i)\,;\,di]} p^{n-i}(1-p)^i\right] e^{-rT} (2.10)$$

En el caso de valuar opciones americanas, en cada nodo, se debe tomar el valor de la opción como el valor mayor entre la f calculada, y el valor de ejercer la opción en ese momento. Es por esto que no existen métodos analíticos para valuar una opción americana.

De la misma manera, se pueden valuar opciones en caminos donde la acción aumente en distintos porcentajes a medida que pasan los períodos.

1.2.1.2 Método de Black & Scholes

El método parte de la suposición de que los cambios porcentuales en el precio de una acción, en un corto período de tiempo, se distribuyen normalmente. A partir de esta hipótesis, se deriva que S_T (es decir el valor de la acción en el momento T) se distribuye como una variable Log Normal.

Siguiendo un argumento similar al de Árboles Binomiales sobre la no posibilidad de arbitraje, se integra un porfolio tal que el resultado sea cierto, por lo que su rentabilidad debe ser la tasa libre de riesgo. Sin embargo, en este caso el porfolio es libre de riesgo sólo por un corto período de tiempo. Para permanecer libre de riesgo, se debe ajustar la posición (o rebalancear) frecuentemente.

Si μ es el retorno esperado por la acción, y σ es la volatilidad del precio de la acción, dado que el precio de una acción sigue un proceso de Wiener:

$$dS = \mu S dt + \sigma S dz (2.11)$$

Si f es el precio de un derivado sobre la acción, aplicando el Lema de Itô, entonces:

$$df = \left(\frac{\partial f}{\partial S}\mu S + \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial S^2}\sigma^2 S^2\right)dt + \frac{\partial t}{\partial S}\sigma S dz (2.12)$$

Si se crea un porfolio libre de riesgo con los dos elementos, se puede derivar que:

$$rf = \frac{\partial f}{\partial t} + rS\frac{\partial f}{\partial S} + \frac{1}{2}\sigma^2 S^2\frac{\partial^2 f}{\partial S^2} (2.13)$$

Donde r es la tasa libre de riesgo.

(2.8) Es la ecuación diferencial de Black & Scholes, a partir de la cual se pueden encontrar las soluciones para el precio de los distintos derivados.

Para el caso del Call y el Put, teniendo en cuenta que:

$$C = e^{-rT}E[\max(S_T - K; 0)] y P = e^{-rT}E[\max(K - S_T; 0)] (2.14)$$

La formula de Black & Scholes será:

$$C = S_0 N(d_1) - Ke^{-rT}N(d_2) (2.15)$$

$$P = Ke^{-rT}N(-d_2) - S_0 N(-d_1) (2.16)$$

Donde:

$$d_1 = \frac{\ln(S_0/K) + (r + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (2.17)$$

$$d_2 = \frac{\ln(S_0/K) + (r - \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (2.18)$$

Siendo N(x) la función de probabilidad acumulada de una distribución normal estandarizada.

De esta forma, para el Call, $N(d_2)$ será la probabilidad de que el precio de la acción al momento T sea mayor al Strike (K), es decir que se ejerza la opción y se pague el precio K. Mientras que($S_0N(d_1)e^{rT}$)es el valor esperado de una variable que tiene un valorS_T si el valor de la acción es mayor al Strike, y cero si es menor, en un mundo neutral al riesgo.

1.2.2 Utilización de opciones en proyectos de inversión

Como ya se mencionó, en cualquier proyecto de inversión el administrador tiene distintas alternativas frente a determinadas situaciones, durante la vida del mismo. Estas decisiones pueden ser valuadas con opciones reales. Cualquier valuación de proyecto que no tenga en cuenta estas opciones estará siendo subestimada. Hay dos grandes grupos de decisiones que serán valuadas con opciones:

A. Tamaño del proyecto

Cuando hay incertidumbre sobre el tamaño del proyecto, ya sea por desconfianza sobre la respuesta del mercado hacia el producto o sobre la provisión de materia prima, por ejemplo, se pueden incluir opciones de expansión y/o contracción del emprendimiento:

- Opción de expansión: ésta es la opción de realizar inversiones adicionales para incrementar la cantidad de productos, si las condiciones son favorables. Esta opción se valúa como un Call Americano sobre el valor de la capacidad adicional. El Strike de la opción es el costo de crear esta capacidad adicional, descontada al momento del ejercicio de la opción. El costo de aumentar la capacidad depende principalmente de la inversión inicial que se hizo en el proyecto, si el emprendimiento fue creado de antemano con capacidad ociosa o si se deberá invertir para lograrlo.

- Opción de contracción: esta es la opción de reducir la escala del proyecto. Se valúa como un *Put* Americano, sobre el valor de la capacidad perdida. El *Strike* es el valor presente de los gastos futuros ahorrados valuados a la fecha de ejercida la opción.

Los dos casos anteriores se pueden combinar, para valuar proyectos donde se puede aumentar y disminuir *dinámicamente la capacidad del emprendimiento* según las condiciones del mercado. Este tipo de opciones son llamadas*Switching Options*.

B. Vida del proyecto

Si se produce incertidumbre sobre el negocio en el cual se invierte, poseer flexibilidad sobre la vida del proyecto es de gran valor. Esto implica valuar la capacidad del inversor de terminar con un proyecto deficitario o alargar proyectos rentables.

- Opción de abandono: es la opción de vender o cerrar un proyecto. Es un *Put* Americano sobre el valor del proyecto. El *Strike* de la opción es el valor de liquidación (o reventa) del proyecto menos los costos de terminación. Cuando el valor de liquidación es bajo, el *Strike* puede ser negativo. Este tipo de opciones mitigan el impacto de inversiones con pobres resultados, y aumentan el valor del proyecto.
- Opción de diferir: es la opción de diferir el inicio de un proyecto, por ejemplo diferir la explotación de un recurso natural hasta que las condiciones de mercado sean favorables. Se valúa como un *Call* Americano sobre el valor del proyecto.
- Opción de extender: implica extender la vida de un proyecto que tenía una fecha de finalización cierta. Esta opción es un *Call* Europeo sobre el valor futuro del emprendimiento.

El método de valuación de proyectos de inversión por opciones reales representa un avance sustancial con respecto a las metodologías tradicionales, agregando incertidumbre y acciones frente a cambios en la evolución esperada del proyecto. El "costo" en complejidad que se le agrega al análisis de proyectos de inversión por el hecho de utilizar el método de opciones reales es menor que los beneficios en cuanto a una correcta valuación del proyecto.

Sin embargo, para el tipo de proyectos que nos compete en el actual trabajo, este método no logra modelar correctamente el complejo proceso que es la investigación de nuevas tecnologías agroquímicas. Éste es un proceso que puede durar más de 10 años, en el cual el aprendizaje que se da al superar las distintas etapas de la investigación arroja luz sobre los futuros costos y ganancias que hasta el momento se esperaban de otra manera. Por ejemplo, en la industria agroquímica, la inversión en investigación y desarrollo determina la eficacia y efectos secundarios de cierto producto, por lo tanto determina su valor.

Asimismo, el método de opciones reales no admite una evaluación discreta de la evolución del proyecto, descartando casos extremos. Por otro lado, tampoco admite una solución por el método de simulación, restándole flexibilidad y dinamismo al análisis.

Teniendo en cuenta estos problemas, en el capítulo siguiente se detallará el modelo de Hsu y Schwartz, el cual intenta resolverlos.

2. MODELO DE VALUACIÓN DE PROYECTOS DE R&D DE HSU Y SCHWARTZ

Hsu y Schwartz desarrollan su modelo de valuación de inversión en R&D a partir trabajos pre-existentes[3], pero agregándole valor, modelando el aprendizaje de la empresa a medida que se desarrolla la investigación del proyecto. De esta manera a medida que se invierte dinero en la investigación, se obtienen resultados parciales y adicionalmente ayuda a la empresa a determinar la dificultad para completar el proyecto y el costo total. Esto le permite a la empresatomar la decisión de abandonar la investigación si los costos futuros sonmayores a los ingresos esperados, al final de cada período.

Por lo tanto, el modelo de valuación se realiza a través del método de opciones reales, y tiene en cuenta costos inciertos, al igual que la posibilidad de eventos catastróficos que den por terminado el proyecto. Un agregado adicional es el modelado de la calidad del resultado final del proyecto, del cual dependerán los ingresos de la empresa, además de la estrategia de precios que utilice dada la demanda de mercado.

No es posible calcular el momento óptimo de abandono de la investigación con una fórmula cerrada, por lo que es aproximado mediante la aplicación del procedimiento de mínimos cuadrados[4].

De esta manera, se logra obtener un modelo discreto, simulado, donde todos los caminos posibles son desarrollados en simultáneo, superando considerablemente los métodos de valuación hasta ahora analizados.

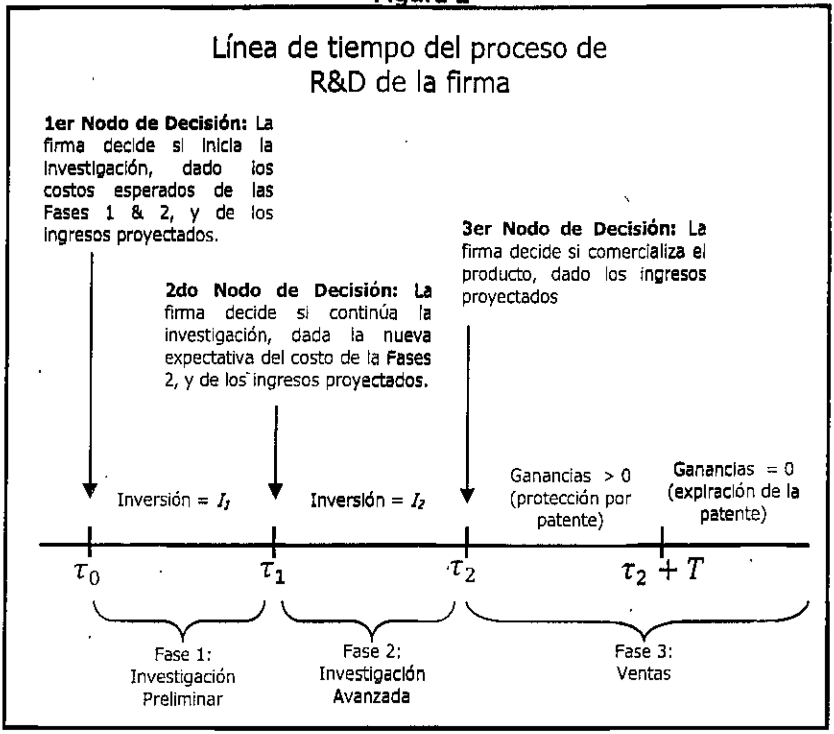
Se analizará el modelo para valuar un proyecto individual de R&D, en lugar de analizar un porfolio de proyectos.

---

[3] Tales como: Pindyck (1993) y Miltersen (2002).
[4] Este procedimiento es analizado en: Longstaff (2001) - "Valuating Americas Options by Simulation: a Least Squares Approach"

1.3 Línea de tiempo del proceso de R&D de la firma

Figura 2



Supondremos que el proyecto consta de 3 Fases. La Fase 1 y la Fase 2 representan el estado preliminario y el avanzado de la investigación, mientras que la Fase 3 es la de venta. Sin embargo, se podría generalizar el modelo para *n* Fases. Además se supone que la firma toma la decisión de abandonar o no el proyecto al principio de cada Fase, basado en la información que obtuvo de las Fases pasadas.

En el momento τ_0 la firma analiza sus expectativas de los costos necesarios para completar las Fase 1 y 2, y de la calidad final del producto. Cuando la Fase 1 es completada, la firma tiene un conocimiento parcial sobre su posibilidad de lograr desarrollar el producto. Con este conocimiento, la firma revisa sus costos esperados para completar la Fase 2, y la calidad del producto final. La decisión de continuar con la investigación depende de estas nuevas expectativas.

Al finalizar la Fase 2, la firma observa la calidad final de su producto, y estima sus ganancias por comercializar su producto durante T años protegido por la patente, y suponiendo que luego de trascurridos los T años habrá un mercado perfecto, por lo cual no tendrá más ganancias por la venta del producto.

1.4 Tasa de inversión

Para las Fases 1 y 2, se asume que la firma se compromete a una tasa de inversión constante (I_1 y I_2) para la investigación. Para simplicidad del modelo suponemos que I_1 y I_2 están determinadas exógenamente y son fijas para las dos Fases.

Dados los supuestos que se están realizando, I_1 y I_2 serán parametrizados a partir de los datos observados de montos de inversión para el tipo de investigación que se analizará a continuación es decir desarrollo de nuevos agroquímicos y semillas.

1.5 Tiempo y costo esperado para completar el proyecto

Definimos:

$\tau_1 =$ Tiempo (aleatorio) necesario para completar la Fase 1.

$\tau_2 =$ Tiempo (aleatorio) necesario para completar la Fase 2.

Entonces:

$\tau = \tau_1 + \tau_2$ Tiempo total (aleatorio) necesario para completar el proyecto.

Además definimos:

$K_1(t) =$ Costo remanente esperado, condicionado por el tiempo, necesario para completar la Fase 1.

$K_2(t) =$ Costo remanente esperado, condicionado por el tiempo, necesario para completar la Fase 2.

Entonces:

$K_1 + K_2 =$ Costo remanente esperado, condicionado por el tiempo, necesario para completar el proyecto.

Dado que supusimos que la tasa de inversión es constante, el costo y el tiempo están 100% correlacionados, por lo que es posible explicar uno a partir del otro. En el presente trabajo se modelará el proceso estocástico de las esperanzas condicionadas de K_1 y K_2.

El modelado del costo se basa en la idea de que las inversiones en la investigación son irreversibles (Pindyck, 1993). Por esta razón la dinámica de las esperanzas condicionadas de los costos remanentes para completar el proyecto se pueden modelar como:

$$dK_1(t) = -I_1 dt + \sigma_1 dW_1(t),\ \ para\ \ 0 < t < \tau_1 \quad (3.1)$$

$$dK_2(t) = \sigma_2 dW_2(t),\ \ para\ \ 0 < t < \tau_1 \quad (3.2)$$

$$dK_2(t) = -I_2 dt + \sigma_2 dW_2(t),\ \ para \tau_1 < t < \tau \quad (3.3)$$

dW_1 y dW_2 son Procesos de Movimiento Brownianos, y se asume que su correlación instantánea durante $0 < t < \tau_1$ es ρdt.

Las ecuaciones (1) y (3) implican que a medida que la firma invierte en el proyecto, el costo restante esperado para completar el proyecto decrece. Sin embargo, la firma también posee más información acerca de cuánto tiempo y costo le tomará terminar con el proyecto, por lo que shocks negativos atrasarán la Fase y la harán más costosa, mientras que shocks positivos acortarán la Fase y reducirán el costo.

Por otro lado, la ecuación (2) implica que revisiones en el costo esperado de la Fase 1 traen aparejadas revisiones en el costo esperado de la Fase 2. Si se crean retrasos inesperados en la Fase 1, sugiere que los recursos que dispuso la firma no son los adecuados, por lo que es probable que también haya retrasos en la Fase 2, aumentando su costo. Por esta razón, los costos K_1 y K_2 tienen una correlación ρdt.

Dado que supusimos que la firma toma la decisión de abandonar o continuar el proyecto al inicio de cada Fase, solo se debe caracterizar la esperanza condicional en estos puntos discretos $(0,\ \tau_1,\ \tau)$. Sin embargo, sólo se debe caracterizar $K_2(\tau_1)$, ya que $K_1(0)$ y $K_2(0)$ están especificados exógenamente y $K_1(\tau_1) = 0$ y $K_2(\tau) = 0$.

Como $K_1(\tau_1) = 0$, entonces τ_1 es la primera vez queK_1 llega a 0, y dado que es un proceso Browniano Aritmético con tendencia $-I_1$ y volatilidad σ_1, es posible determinar que la función de distribución para el momento $K_1(\tau_1) = 0$ es:[5]

$$\phi_1(\tau_1) = \frac{K_1(0)}{\sigma_1 (2\pi)^{1/2} \tau_1^{3/2}} e^{-\frac{[K_1(0) - I_1 \tau_1]^2}{2\sigma_1^2 \tau_1}} \quad (3.4)$$

[5]Para detalles sobre procesos Borwnianos Aritméticos ver Karatzas & Shreve, 1991.

Y que la función de densidad acumulada para el momento $K_1(\tau_1) = 0$ es:

$$\Phi_1(\tau_1) = 1 - N\left(\frac{K_1(0) + I_1\tau_1}{\sigma_1\tau_1^{1/2}}\right) + e^{\frac{-2I_1K_1(0)}{\sigma_1^2}} \quad (3.5)$$

Fórmulas similares se puede desarrollar para K_2 en el momento τ_2, tal que:

$$\phi_2(\tau_2) = \frac{K_2(\tau_1)}{\sigma_2(2\pi)^{1/2}\tau_2^{3/2}} e^{-\frac{[K_2(\tau_1)-I_2\tau_2]^2}{2\sigma_2^2\tau_2}} \quad (3.6)$$

$$\Phi_2(\tau_2) = 1 - N\left(\frac{K_2(\tau_1) + I_2\tau_2}{\sigma_2\tau_2^{1/2}}\right) + e^{\frac{-2I_2K_2(\tau_1)}{\sigma_2^2}} N\left(\frac{-K_2(\tau_1) + I_2\tau_2}{\sigma_2\tau_2^{1/2}}\right) \quad (3.7)$$

Como la firma invierte a una tasa constante, los costos inesperados de la Fase 1 se pueden definir como:

$$X_1 = K_1(0) - I_1\tau_1 = \int_0^{\tau_1} \sigma_1 dW_1 \quad (3.8)$$

También podemos definir al costo esperado revisado de la Fase dos como:

$$X_2 = K_2(0) - K_2(\tau_1) = \int_0^{\tau_1} \sigma_2 dW_2 \quad (3.9)$$

Como dW_1 y dW_2están correlacionados, se puede descomponer dW_2 como dos procesos de movimiento browniano ortogonal, reescribiendo (9) como:

$$X_2 = \sigma_2 \int_0^{\tau_1} \left(\rho dW_1 + \sqrt{1-\rho^2} dZ_2\right) = \rho\frac{\sigma_2}{\sigma_1}X_1 + \sqrt{1-\rho^2}\sigma_2 Z_2(\tau_1) \quad (3.10)$$

Donde dW_1y dZ_2 son ortogonales, y $Z_2(\tau_1)$ es una variable aleatoria normal con esperanza cero y varianza τ_1. Reorganizando (9) y sustituyendo (8) y (10) obtenemos:

$$K_2(\tau_1) = K_2(0) - \rho\frac{\sigma_2}{\sigma_1}[K_1(0) - I_1\tau_1] - \sqrt{1-\rho^2}\sigma_2 Z_2(\tau_1) \quad (3.11)$$

Por lo que $K_2(\tau_1)$ es normal con:

$$E[K_2(\tau_1)] = K_2(0) - \rho\frac{\sigma_2}{\sigma_1}[K_1(0) - I_1\tau_1] \quad (3.12)$$

$$V[K_2(\tau_1)] = (1-\rho^2)\sigma_2^2\tau_1 \quad (3.13)$$

1.6 Calidad del resultado del proyecto

Definimos:

$Q(\tau)$ =Calidad del producto final luego de completar el proyecto de R&D

Y

$Q(t) = E_t[Q(\tau)]$ = Esperanza condicional en el tiempo t de la calidad del producto final.

Sólo es necesario caracterizar $Q(t)$ en los momentos (0, τ_1, τ), pero en lugar de modelar el proceso estocástico de $Q(t)$, se modeliza $Q(t)$ como una distribución Beta, que posee rango $[0;1]$. Dónde 0 implica que el producto final está lejos de cumplir las expectativas del proyecto, y 1 cuando el producto final cumple 100% las expectativas.

Entonces, la distribución de probabilidad de la calidad del producto será:

$$(Q) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} Q^{a-1}(1-Q)^{b-1} \tag{3.14}$$

Con $0 < Q < 1$; $0 < a$; $0 < b$

Tal que su media y varianza será:

$$\mu_Q = \frac{a}{a+b} \tag{3.15}$$

$$\sigma_Q^2 = \frac{ab}{(a+b)^2(a+b+1)} \tag{3.16}$$

Si expresamos a y b en términos de la varianza y la esperanza de la distribución, encontramos las restricciones de los parámetros:

$$a = \frac{\mu_Q\left[\mu_Q\left(1-\mu_Q\right)-\sigma_Q^2\right]}{\sigma_Q^2} \tag{3.17}$$

$$b = \frac{\left(1-\mu_Q\right)\left[\mu_Q\left(1-\mu_Q\right)-\sigma_Q^2\right]}{\sigma_Q^2} \tag{3.18}$$

Por lo cual la restricción es: $\left[\mu_Q\left(1-\mu_Q\right)-\sigma_Q^2\right] > 0$

Para que la distribución de probabilidad de la calidad del producto final dependa del costo afrontado, o del tiempo transcurrido, se debe parametrizar la media y la varianza para que sean función del tiempo restante para completar la Fase. La parametrización de la media, según Hsu y Schwartz, es:

$$\mu_Q(\tau_i) = 1 - e^{\log[1-Q(\tau_{i-1})]\left(\frac{\tau_i}{E_{\tau_{i-1}}(\tau_i)}\right)^{\eta_{\mu;\sigma}}} \tag{3.19}$$

Donde $Q(\tau_{i-1})$ es la calidad esperada del producto final antes del inicio de la Fase i, y $\eta_{\mu;\sigma}$ es el parámetro de respuesta al retraso inesperado en el tiempo de investigación. Además $E_{\tau_{i-1}}[\tau_i]$ es el tiempo esperado para completar la Fase i al inicio, siendo luego τ_i el tiempo real utilizado para completar la Fase i.

La parametrización de la varianza de la calidad esperada es:

$$\sigma_Q^2(\tau_i) = \mu_Q(\tau_i)[1 - \mu_Q(\tau_i)]\left(1 - e^{\log[1-s(\tau_{i-1})]\left(\frac{\tau_i}{E[\tau_i]}\right)^{\eta_{\mu;\sigma}}}\right) \quad (3.20)$$

Donde $\mu_Q(\tau_i)[1 - \mu_Q(\tau_i)]$ es la varianza máxima admisible para la variable condiciones de calidad esperada. Si no hay un retraso inesperado, $\eta_{\mu;\sigma}$, la varianza de la variable calidad será $\mu_Q(\tau_i)[1 - \mu_Q(\tau_i)]s(\tau_{i-1})$.

Siguiendo con las nociones preliminares, de aumentar el tiempo disponible de investigación, mayor será la varianza de la distribución $Q(\tau_i)$, por lo que $\sigma_Q^2(\tau_i)$ se incrementa cuando aumenta τ_i.

1.7 Ganancias por la venta del producto

Las ganancias por la venta del producto dependerán de la demanda del mercado dado la calidad del producto y de la estrategia de precios de la firma. La firma, que posee el monopolio del nuevo producto sobre el mercado, dado la protección de la patente, asignará el precio monopólico dependiendo de la demanda del mercado. Se supone que la firma es dueña de la patente por un periodo T, después del cual la patente expira y se produce una competencia perfecta sobre el producto, por lo cual las ganancias caen a cero.

El presente modelo puede acomodar cualquier tipo de función de precio, por lo cual se tomará $P(Q;q)$ como una función genérica, donde q es la cantidad que se provee por unidad de tiempo y Q es la calidad del producto. Además se asume una función de costo del producto de $c(Q,q)$. Dado que la firma maximizará su beneficio, se debe dar la condición:

$$\frac{\partial[(P - c)q]}{\partial q} = 0 \quad (3.21)$$

Con estos datos es posible determinar la tasa de ganancia como $(P_M - c)q_M$.

Donde P_M es el precio de monopolio y q_M la cantidad.

1.8 Evento catastrófico

Se introduce la posibilidad de un evento catastrófico durante la vida del producto, el cual implicaría dejar de investigar el producto o de retirarlo del mercado. Algunos eventos que podrían darse son: a) quiebra de la firma, que implicaría abandonar la investigación; b) la renuncia del investigador; c) la introducción en el mercado de un producto similar o mejor por parte de la competencia; d) que el producto no sea autorizado por la autoridad de control.

Estos eventos se modelan a través del proceso de Poisson con diferentes intensidades $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_m$, en las diferentes Fases. Sin embargo, como estos procesos son independientes entre sí, ingresan al análisis simplemente aumentando la tasa de descuento del flujo de fondos, dada una "tasa de peligro".[6]

1.9 Tasa de descuento

Para simplificar se asumirá una tasa libre de riesgo r constante. Se ha supuesto que *los gastos de la investigación en R&D, y el proceso de calidad del* producto no están correlacionados con el porfolio de mercado, por lo cual no hay primas de riesgo asociadas a ellos y no se deberán realizar ajustes por riesgo.

1.10 Valuación y abandono en el momento $\tau = \tau_1 + \tau_2$

Empezaremos analizando el nodo de decisión τ, al final de la Fase 2, en el cual la firma calcula sus ganancias esperadas descontadas, $v(\tau)$, por introducir su producto en el mercado.

Las variables para calcular $v(\tau)$ son la vida de la patente y la tasa de ganancia esperada por tener el monopolio del producto, la cual depende de la función $P(Q,q)$ y de $c(Q,q)$. Pero como se supone que la función de demanda del mercado y la función de costo por unidad son exógenas, $v(\tau)$ depende solamente del parámetro de calidad $Q(\tau)$, y puede calcularse como:

$$v(\tau) = \int_0^T (P_M - c) \cdot q_M \cdot e^{-(r+\lambda_m)t} dt \quad (3.22)$$

Donde el sufijo M indica la solución de precio y cantidad de monopolio, que surgen de resolver (21).

En este caso la decisión de la firma es simple, venderá el producto en el mercado cuando $v(\tau)$ es mayor que cero, y abandonará el producto cuando sea menor. Entonces el valor presente del proyecto de inversión, $V(\tau)$ será igual a $v(\tau)$ si éste es mayor que cero, y valdrá cero si $v(\tau)$ es menor que cero.

1.11 Valuación y abandono en el momento τ_1

Al final de la Fase 1 (en el momento τ_1) la firma debe decidir si comienza la Fase 2 o abandona el proyecto. Basado en el progreso que hizo la firma durante la

[6] Para más sobre este tema, ver Brennan & Schwartz, 1985

Fase 1, ahora tiene una nueva expectativa sobre la calidad del producto final $Q(\tau_1)$, y por ende una nueva expectativa de las ganancias que obtendrá de su venta. La firma también tiene una nueva expectativa de los costos que tendrá durante el segundo período $K_2(\tau_1)$. Entonces la firma tomará la decisión de continuar la investigación si las ganancias descontadas menos los costos de la Fase 2 son positivas, y abandonará el proyecto en caso contrario. Computamos este cálculo como:

$$v(\tau_1) = E\left[V(\tau) \cdot e^{-(r+\lambda_2)\tau_2} - \int_0^{\tau_2} I_2 \cdot e^{-(r+\lambda_2)\tau} dt \,\middle|\, Q(\tau_1), K_2(\tau_1)\right] \quad (3.23)$$

Entonces el valor presente del proyecto de inversión, $V(\tau_1)$ será igual a $v(\tau_1)$ si éste es mayor que cero, y valdrá cero si $v(\tau_1)$ es menor que cero.

Sin embargo, a diferencia de $v(\tau)$, no se puede calcular $v(\tau_1)$ como una fórmula cerrada. Por esta razón se utilizará la técnica numérica de mínimos cuadrados de Longstaff y Schwartz. Esta técnica permite modelar la función de demanda de mercado, la función de costo, la distribución de la variable de calidad del producto, y el proceso estocástico de la variable de costo. Este tema de desarrollará en la sección *Proceso de Solución*.

1.12 Valuación y abandono en el momento 0

En el momento 0, la firma decidirá si inicia su investigación basada en la calidad que espera del producto final $Q(0)$, y de los costos de investigación $K_1(0)$ y $K_2(0)$. Las ganancias descontadas se calculan como:

$$v(0) = E\left[V(\tau_1) \cdot e^{-(r+\lambda_1)\tau_1} - \int_0^{\tau_1} I_1 \cdot e^{-(r+\lambda_1)\tau} dt \,\middle|\, Q(0), K_1(0), K_2(0)\right] \quad (3.24)$$

El valor del proyecto de inversión será $v(0)$ si es mayor que 0, y en caso contrario valdrá 0.

1.13 Proceso de solución con mínimos cuadrados

Para estimar la función esperanza condicional descrita en la fórmula (23) se utiliza la técnica de mínimos cuadrados, desarrollada por Longstaff y Schwartz (Longstaff & Schwartz, 2011).

Para lograrlo, se simularán N veces la evolución de las variables del modelo, para luego calcular una función que se aproxime a los valore sobtenidos. Cada simulación j tendrá tres nodos dependiendo del momento, es decir $0, \tau_1^j$ y τ^j, asociados a los vectores $\{Q(0), K_1(0), K_2(0)\}$, $\{Q^j(\tau_1^j), K_2^j(\tau_1^j), \tau_1^j\}$, $\{Q^j(\tau^j), \tau^j\}$7.

Los distintos parámetros se podrán simular utilizando las distribuciones definidas anteriormente, es decir τ_1^j con (5), τ^j con (7), $K_2^j(\tau_1^j)$ con (11), y $Q^j(\tau_1^j)$ y $Q^j(\tau^j)$ con (19) y (20). Una vez que se obtienen los valores de las variables, primero se computa el valor actual del proyecto de inversión en el momento τ^j para las N simulaciones, mediante la fórmula (22).

Luego de computar $V(\tau^j)$ para cada simulación, se calcula:

$$\tilde{v}(Q(\tau^j), \tau_2^j) = V(\tau^j) \cdot e^{-(r+\lambda_2)\tau_2^j} - \int_0^{\tau_2^j} I_2 \cdot e^{-(r+\lambda_2)\tau} dt \quad (3.25)$$

Que es una estimación puntual de la esperanza condicionada de $v(\tau_1^j)$ definida en la ecuación (23).

Los resultados obtenidos serán utilizados para construir una función aproximada de la esperanza condicionada para $v(\tau_1^j)$.

Para calcular la función en el momento 0, primero se debe obtener la estimación puntual para $v(0)$:

$$\tilde{v}(Q(\tau_1^j), K_2(\tau_1^j), \tau_1^j) = \hat{V}(\tau^j) \cdot e^{-(r+\lambda_1)\tau_1^j} - \int_0^{\tau_1^j} I_1 \cdot e^{-(r+\lambda_1)\tau} dt \quad (3.26)$$

Dado que este es el momento 0, los valores de las variables son idénticas para las N simulaciones, por lo cual el valor presente esperado al momento 0 es la media de las $N \tilde{v}(Q(\tau_1^j), K_2(\tau_1^j), \tau_1^j)$:

$$\tilde{v}(Q(0), K_1(0), K_2(0)) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} \tilde{v}(Q(\tau_1^j), K_2(\tau_1^j), \tau_1^j) \quad (3.27)$$

CONCLUSIONES

Las modificaciones realizadas por Hsu y Schwartz al modelo de opciones reales agregan mayor flexibilidad al método, logrando de esta manera reflejar la complejidad de los fenómenos sociales y económicos implicados en este tipo de inversiones. Esta teoría permite realizar una valoración efectiva de las opciones de inversión en contextos donde hay irreversibilidad, incertidumbre, y las decisiones son estratégicas, permitiendo además reconocer el proceso de aprendizaje. Este último hecho es fundamental para valuar proyectos de R&D, ya que al realizar erogaciones de dinero se logra aprender y bajar la incertidumbre. Como la

[7]Para todas las simulaciones, el primer nodo será idéntico, ya que no transcurrió tiempo.

inversión es secuencial, en cada etapa se obtiene información que reduce la incertidumbre del valor del proyecto terminado. La erogación realizada en las primeras etapas permite recopilar información, añadiendo valor, pues aumenta la información al momento de decidir la continuación en una etapa futura. De forma que, aunque a priori el valor actual neto de todo el proyecto sea negativo, puede ser conveniente invertir en las primeras etapas para bajar la incertidumbre y lograr un proyecto rentable.

Un elemento crucial del modelo es la estimación de la calidad del resultado final de la investigación, ya que las ganancias de la venta del producto no dependerán sólo de la estrategia de precios de la firma.

Adicionalmente, al ser un modelo de valuación simulado, permite agregar cualquier tipo de complejidad del proceso de investigación.

Todos estos elementos determinan que éste sea el modelo más completo para la valuación de proyectos tan complejos como el de R&D de eventos de semillas.

La utilidad del método es más amplia que el mero hecho de comparar proyectos. Calibrando correctamente las variables, se pueden modelar escenarios de distintas formas de incentivar (económicamente) al investigador, el efecto de detener la investigación por un período de tiempo, de aumentar los impuestos, las ganancias, acelerar la investigación (aumentando los recursos), etc.

El método también es de utilidad para el análisis de sensibilidad de distintos proyectos ante cambios de distintas variables fundamentales, pudiendo de esta manera lograr un análisis de riesgo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arnold, G. (2007). *Essentials of corporate financial management.*New Jersey: Pearson Education Limited.

Baker, S. L. (2000). *Perils of the Internal Rate of Return.* Recuperado de: http://sambaker.com/econ/invest/invest.html

Boardman, N. E., Grennberg, D., Vining, A., & Weimer, D. (2006). *Cost-benefit analysis, concepts and practice.* England: Prentice Hall.

Brealey, R. A., Myers, S. C. & Allen, F. (1999).*Principles of Corporate Finance.*Boston: McGraw Hill Higher Education.

Brennan, M. J.,& Schwartz, E. S. (1985). Evaluating natural resource investment. *Journal of business,* vol. 58, No2.

Hartman, J. C., & Schafrick, I. C. (2004). The relevant internal rate of return. *The Engineering Economist,* No49, p.p. 139–158.

Hazen, G. B. (2003). A new perspective on multiple internal rates of return. *The Engineering Economist,*No48, p.p. 31–51.

Hsu, J. C.,&Schwartz E. S. (2003). A model of R&D valuation and the design of research incentives. *National Bureau of economic research.* Working paper 10041, October 2003.

Hull, J. (2005). *Options, Futures & other derivatives. 6th Ed.* New Jersey: Pearson Education Limited

Karatzas, I.,& Shreve, S. E. (1991). *Brownian Motion and Stochastic Calculus.*New York: Springer Science+Bussiness Media, Inc.

Khan, M.Y. (1993). *Theory & Problems in Financial Management.* Boston: McGraw Hill Higher Education.

Lin, S. A. Y. (1976). The modified internal rate of return and investment criterion.The Engineering Economist,No 21(4), p.p. 237-247.

Longstaff, F. A.,& Schwartz, E. S. (2001). Valuating American options by simulation: a Least Squares approach.Review of financial studies, vol 14, No 1, p.p. 113 – 147.

Luehrman, T. (1998).Investment Opportunities as Real Options: Getting Started on the Numbers. Harvard Business Review, Vol 76, No 4, p.p. 51-67.

Luehrman, T. (1998). Strategy as a Portfolio of Real Options. Harvard Business Review, Vol 76, No 5, p.p. 87-99.

MacCormack, J. J. (2004). Internal Rate of Return: a Cautonary tale.The McKinsey Qaurterly, Issue from October 20, 2004.

Majd, D. & Pindyk, R. S. (1987). Time to build, option value, and investment decisions. Journal of Financial Economics, Vol 18, No. 1, p.p. 7-27.

Mas, A. G. (2008). Títulos Publicos y Obligaciones Negociables en el Mercado de Capitales Argentino. Buenos Aires: Ediciones Técnicas.

McDonald R., & Siegel, D. (1986). The value of waiting to invest.The Quarterly Journal of Economics, Vol 101, No 4, p.p. 707.

McDougall, P. (2011). Agri Futura.The newsletter of Phillips McDougall, No. 144.

McDougall, P. (2011). Getting a Biotech Crop to Market. CropLife International, Issue November 2011.

Miltersen, K. R. (2002). R&D investments with competitive interactions. UCLA working paper.

Moon, M. (2002). Evaluating research and development investments.Oxford Press, 2002, 85-106.

Pindyck, R. S. (1993). Investment of uncertain cost.Journal of financial economics, Vol 34, p.p. 53-76.

Schwartz, E. S. (2004). Patents and R&D as Real Options. Economic Notes by*Monte dei Paschi di Siena SpA.*Vol 33,No 1-2004,p.p.23-54.