X Congreso de Ingeniería de Organización
Valencia, 7 y 8 de septiembre de 2006

Valoración de patentes y proyectos de I+D por Opciones Reales

Felipe Ruiz[1]

[1] Dpto. de Organización, Administración de Empresas y Estadística. ETSI Industriales, Universidad Politécnica de Madrid. C/ José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid

Resumen

La valoración de proyectos de I+D por métodos clásicos presenta dificultades derivadas de las características propias de éstos proyectos: incertidumbres importantes en torno a los costes de desarrollo, posibilidades de abandono por razones técnicas o económicas, incertidumbres ligadas a las ventas y flujos de caja generados, etc.

La teoría de Opciones Reales es la herramienta que la Teoría Financiera proporciona para la valoración de proyectos de este tipo, donde una fuente importante de valor, que no puede ser capturada por el valor actual neto clásico, viene dada por las incertidumbres y la flexibilidad para la toma de decisiones que tienen los gestores.

El enfoque seguido es tratar el proyecto de I+D o patente como una opción compleja de las variables subyacentes, que en ese caso son los costes pendientes de incurrir y los flujos de caja estimados. La incertidumbre se incorpora al modelo permitiendo que éstas variables evolucionen en el tiempo de manera estocástica.

Palabras clave: Valoración, Opciones Reales, Patentes

1. Introducción

En el campo de la investigación y desarrollo de nuevos productos, existe un compromiso entre la promoción de la innovación y la consecución de mercados competitivos. Los beneficios de monopolio durante los periodos de vigencia de las patentes compensan a los innovadores por sus inversiones arriesgadas, mientras que la apertura a la competencia desde la fecha de expiración de la patente limita los costes sociales derivados del régimen de monopolio.

En muchas ocasiones las decisiones de inversión se toman de manera secuencial y en un determinado orden. Por ejemplo, una inversión en un nuevo medicamento por parte de una farmacéutica empieza con investigaciones para la obtención de un nuevo principio activo y continúa con una serie de pruebas hasta que las autoridades sanitarias lo aprueban, finalizando con la construcción de una planta de producción y la comercialización del producto.

La característica fundamental de esta clase de proyectos es la posibilidad de detener temporal o definitivamente la inversión si el valor del proyecto completo cae, o si el coste estimado pendiente de realizar sube. En este sentido, son semejantes a una opción compuesta: cada euro invertido da a la firma la opción de invertir el siguiente.

El objeto de este trabajo es presentar un marco amplio y robusto que permita valorar virtualmente cualquier proyecto de I+D, patente (en cualquiera de sus estadíos de desarrollo) o incluso empresa cuya cartera de productos esté compuesta esencialmente por proyectos de investigación y patentes desarrolladas o en curso.

El modelo parte de trabajos previos llevados a cabo fundamentalmente en el campo de la biotecnología y farmacéutica (Scwartz, 2004).

El principio básico en el que se basará el modelo establecido para la valoración de patentes y proyectos de I+D se presenta a continuación.

Supongamos una oportunidad de inversión que supone, a cambio de una inversión I en el momento $t=0$, recibir una serie de retornos cuyo valor actual también en $t=0$ es V_0. Evidentemente:

si V_0>I la inversión se acometerá y su valor será $V_0 -I$
si V_0<I la inversión no se acometerá y su valor será 0

Supongamos que la decisión de invertir se puede postponer al instante $t=1$. La decisión en $t=0$ será entre invertir ya o esperar a $t=1$ (suponemos que a partir de ese instante la situación en lo relativo a flujos producidos por la inversión no cambia, de manera que limitamos el análisis a dos periodos).

Si la empresa no invierte en $t=0$, sino que espera, en $t=1$ se tendrá el valor actualizado de flujos V_1 que supone un payoff (o valor de continuación):

$$F_1 = máx[V_1 - I, 0] \tag{1}$$

Desde el punto de vista del instante inicial t=0, los valores V_1 y F_1 son variables aleatorias, por lo que tienen sentido hablar de la esperanza de dichas variables. Volviendo al instante $t=0$, la firma tiene dos opciones:

- invertir y obtener $V_0 -I$
- no invertir, esperar y obtener, en t=0:

$$\frac{1}{1+\rho}\varepsilon_0[F_1] \tag{2}$$

Por tanto, la decisión óptima será aquella que se apropie del mayor de estos dos valores, es decir:

$$F_0 = máx\left\{V_0 - I, \frac{1}{1+\rho}\varepsilon_0[F_1]\right\} \tag{3}$$

Esta expresión captura la esencia de la programación dinámica. La cadena de decisiones se fracciona en dos partes: la decisión inmediata y las sucesivas restantes, cuyos efectos se resumen en el valor de continuación.

La generalización a varios periodos es sencilla. Si se definen para cada instante *t* las siguientes variables y magnitudes:

- variable de estado x_t que representa el estado actual de la compañía (en cuanto a sus operaciones y oportunidades de expansión)
- variable de control u_t que representa las diferentes elecciones disponibles para la compañía
- $\pi_t(x_t,u_t)$ el flujo de beneficios obtenido en el instante *t* cuando la variable de estado es x_t y la compañía elige la variable de control u_t (podemos denominarlo beneficio inmediato)

La compañía tratará de escoger la variable de control u_t tal que maximice la suma del beneficio inmediato π_t y el valor actual del valor de continuación, de manera que se tiene que

$$F_t(x_t) = \underset{u_t}{máx}\left\{\pi_t(x_t,u_t) + \frac{1}{1+\rho}\varepsilon_t\left[F_{t+1}(x_{t+1})\right]\right\} \tag{4}$$

La idea que subyace tras esta descomposición se formula formalmente en el Principio de Optimalidad de Bellman: una política óptima tiene la propiedad de que, independientemente de la acción inicial, las elecciones sucesivas constituyen una política óptima respecto al subproblema que surge en el estado resultante de las acciones iniciales. La optimalidad de las restantes elecciones u_{t+1}, u_{t+2},... está contemplada en el valor de continuación de manera que sólo se necesita escoger adecuadamente la variable de control inmediata u_t.

Para un horizonte temporal *T* finito, empezaríamos por el final evaluando la función de pago conocida $\Omega_T(x_T)=F_T(x_T)$ de manera que en el periodo anterior *T-1*

$$F_{T-1}(x_{T-1}) = \underset{u_{T-1}}{máx}\left\{\pi(x_{T-1},u_{T-1}) + \frac{1}{1+\rho}\varepsilon_{T-1}\left[\Omega_T(x_T)\right]\right\} \tag{5}$$

y así sucesivamente se iría trabajando hacia atrás.

En el método de programación dinámica, la fórmula puede expresarse en continuo como

$$F(x,t) = \varepsilon_t\left[\int_t^T e^{-\rho(\tau-t)}\pi(x_\tau,\tau)d\tau + e^{-\rho(T-t)}\Omega(x_T,T)\right] \tag{6}$$

expresión que es la solución de la EDP

$$\frac{1}{2}\sigma^2 x^2 F_{xx}(x,t) + \alpha x F_x(x,t) + F_t(x,t) - \rho F(x,t) + \pi(x,t) = 0 \tag{7}$$

con la condición de contorno

$$F(x,T) = \Omega(x,T) \text{ para todo } x \tag{8}$$

Esto es un caso particular de un resultado más general conocido como fórmula de Feynman-**Kac.**

Por analogía (Dixit, 1996) podemos escribir, sustituyendo la tasa de descuento ρ por la tasa libre de riesgo r y el drift del movimiento browniano x por r-δ (siendo δ el dividendo del activo x):

$$F(x,t) = \varepsilon'_t \left[\int_t^T e^{-r(\tau - t)} \pi(x'_\tau, \tau) d\tau + e^{-r(T-t)} \Omega(x'_T, T) \right] \quad (9)$$

donde *x’* es una variable artificial que sigue el siguiente movimiento browniano

$$dx' = \alpha' x' dt + \sigma x' dz = (r - \delta) x' dt + \sigma x` dz \quad (10)$$

Estas fórmulas constituyen el enfoque **equivalente riesgo-neutral**.

2. El modelo

El proceso se modeliza como sigue:

- Existe una etapa de inversión previa, de carácter determinista, al final de la cual (por comodidad se considerará este momento t=0) se obtiene una patente que protegerá la propiedad industrial durante sus *T* años de vida. Esta etapa se caracteriza por una tasa máxima de inversión *Im* y un coste total K conocido, por lo que su duración es conocida.

- Una vez adquirida la patente, comienza una segunda etapa, de inversión en desarrollo de la misma, caracterizada por una tasa máxima I_m a la que el propietario del proyecto puede invertir y un coste total pendiente de incurrir es una variable aleatoria con valor esperado *K*.

- Cuando la etapa de inversión en desarrollo de la patente se completa, comienza una tercera etapa en la que el propietario recibe en exclusividad los beneficios de la misma, representados por la tasa *C* de flujos netos de caja, que sigue un proceso estocástico. Al finalizar la vida de la patente, un producto exitoso se verá sometido a una fuerte competencia que hará que los flujos de caja disminuyan sustancialmente. En este marco, **tanto el tiempo hasta que se concluye el proyecto de desarrollo de la patente como la duración de los flujos de caja son variables aleatorias**.

- Para reflejar el hecho de que muchos proyectos de I+D fracasan, debido a lo que podemos llamar **eventos catastróficos** (otra compañía de la competencia se adelanta, o el medicamento tiene terribles efectos secundarios...) se asume que durante los periodos de inversión hay una probabilidad λ por unidad de tiempo de que el proyecto fracase y su valor se anule.

- Otra posible razón de abandono de proyecto se da cuando los costes se disparan por encima de lo esperado y/o los flujos de caja resultan ser más bajos de lo anticipado. Esta **opción de abandono** puede suponer una parte sustancial del valor del proyecto.

- Asimismo, durante la etapa de cosechado de flujos de caja, se considera la **opción de abandono por venta de la patente**. El valor de venta en el momento de la concesión de la patente es un parámetro del modelo. Se supone que disminuye hasta anularse al final de la vida de la misma.

2.1. Cálculo de los flujos de caja

Los flujos de caja anuales representan la estimación de los beneficios que el propietario comienza a recibir una vez finalizada la inversión.

Estos flujos de caja se representan mediante el movimiento geométrico browniano:

$$dC = \alpha C dt + \phi C dw \qquad (11)$$

Donde α representa la deriva de los flujos de caja y ϕ la incertidumbre de los mismos. El enfoque en la programación será el de la valoración riesgo neutro, por lo que los parámetros habrán de ajustarse a dicha medida. Las simulaciones, por tanto, se harán para el proceso corregido

$$dC = \alpha^{*} C dt + \phi C dw \qquad (12)$$

La incertidumbre es la media de las volatilidades implícitas con las que se negocien opciones de compra de distintas compañías del sector.

En el modelo se ha supuesto que el valor residual del proyecto en el instante de expiración de la patente es un múltiplo M de los flujos de caja en ese instante, tratando de reflejar que a partir de ese momento los beneficios caen por la entrada de nuevos competidores (pérdida de beneficios de monopolio).

2.2. Volatilidad y simulación de los valores del proyecto

El subyacente sobre el que valorar las opciones es, precisamente, el valor del proyecto sin flexibilidad, esto es, el que nos ofrecería la teoría del Valor Actualizado Neto. Por tanto, debe calcularse su parámetro de volatilidad.

Esta volatilidad se calcula siguiendo los siguientes pasos:

a) Se toma los datos reales (no ajustados riesgo neutro) de costes y flujos de caja, dotándoles de variabilidad en sus tramos provisionales.
b) Se simula el VAN (sin tomar la esperanza en el numerador del mismo, por lo que es una variable aleatoria)
c) Se calcula la varianza del VAN asumiendo una distribución del mismo logarítmico-normal (debe contrastarse esta hipótesis en cualquier simulación).

La raíz cuadrada de dicha varianza se toma como la volatilidad del proyecto considerado.

Sea *V(C,t)* el valor del proyecto en el instante t para unos flujos de caja C . Suponiendo que el valor residual del proyecto en el instante T de expiración de la patente es un múltiplo M de los flujos de caja en ese instante, el valor del proyecto debe cumplir la siguiente ecuación en derivadas parciales

$$\frac{1}{2}\phi^2 C^2 V_{CC} + \alpha^* C V_C + V_t - r_f V + C = 0 \qquad (13)$$

con la condición de contorno

$$V(C_{t=T}, T) = M \cdot C_{t=T} \qquad (14)$$

con $\alpha^* = r_f - \eta$ (drift ajustado riesgo-neutral). La solución es

$$V(C,t) = \frac{C}{r_f - \alpha^*}\left[1 - e^{-(r_f - \alpha^*)(T-t)}\right] + M \cdot C \cdot e^{-(r_f - \alpha^*)(T-t)} \qquad (15)$$

Aplicando el lema de Itô y después de alguna manipulación algebraica, se tiene que:

$$\frac{dV}{V} = (r_f + \eta)dt + \phi dw + Cdt \qquad (16)$$

esto es, la prima de riesgo η y la volatilidad ϕ del proyecto total *V* son las mismas que las de los flujos de caja *C*.

2.3. Costes de desarrollo

Se toma una etapa acotada en el tiempo inicial, en la que la única opción existente es la de abandono del proyecto. Si no se ha ejercido la opción de abandono, al final de dicha etapa la investigación se patenta.

A ésta etapa le sigue una segunda de desarrollo de la patente, definida por unos procesos de coste con inversión máxima anual y un tiempo de finalización incierto (“tiempo de parada”).

En algunos problemas de inversión (tal como el presente) resultan más inciertos los costes de la inversión que los retornos. Esta incertidumbre puede tener dos orígenes:

- Técnica: se refiere a la dificultad física de completar el proyecto, es decir, asumiendo conocidos los precios de los inputs, ¿cuánto tiempo, esfuerzo, materiales, etc...se requiere para completar el proyecto?. Esta incertidumbre sólo se despeja a medida que se ejecuta el proyecto.

- De coste de los inputs: se debe a factores externos no controlables por la compañía (cambios en los precios, marco regulatorio,...) y es mayor cuanto más alejado sea el horizonte temporal.

Al igual que la incertidumbre con respecto a los retornos, la incertidumbre en los costes también aumenta el valor del proyecto, aunque cada uno de sus componentes actúa en un sentido:

- La incertidumbre técnica hace la inversión más atractiva, puesto que el proceso de inversión va revelando una información que se traduce en aprendizaje.

- La incertidumbre en el coste de los inputs hace menos atractiva la inversión inmediata, puesto que resulta mejor esperar la información procedente de la evolución de los precios de los inputs.

El siguiente modelo (Dixit, 1993) permite capturar ambos efectos:

$$dK = -Idt + \upsilon(IK)^{1/2}\,dz + \gamma Kdw \tag{17}$$

donde

K	es el coste pendiente de incurrir esperado
I	es la tasa de inversión (ritmo al que se va invirtiendo)
dz, dw	son procesos de Wiener incorrelados

El término $\upsilon(IK)^{1/2}dz$ representa la incertidumbre técnica. En ausencia de incertidumbre de coste de los inputs, la varianza de *K* tiende a cero cuando *K* tiende a cero y el coste pendiente sólo varía si se está invirtiendo. El proceso *dz* es completamente diversificable (la incertidumbre técnica poco tiene que ver con el estado global de la economía).

El término γKdw representa la incertidumbre en el coste de los inputs. En ausencia de incertidumbre técnica, la varianza instantánea de *dK/K* es constante e independiente de *I*. Ahora *K* fluctúa incluso si no se invierte. El proceso *dw* pudiera estar correlado con el global de la economía.

El proceso está sujeto a

$0 \le I(t) \le k$ es decir, la existencia de una tasa máxima de inversión k

$K(\overline{T}) = 0$ es decir, el coste pendiente de incurrir es cero en el instante $t = \overline{T}$ de finalización del proyecto, siendo $\overline{T}$ una variable aleatoria (el "tiempo de parada").

3. El proceso de cálculo

Las ecuaciones anteriores se han simulado por el método de Monte Carlo, usando el siguiente esquema:

a) Introducción de los datos de flujos de caja realizados y/o provisionales en una hoja de cálculo para calcular la volatilidad del proyecto.
b) Simulación Monte Carlo de los vaores del VAN y obtención de la varianza del mismo
c) Introducción de datos relevantes para la simulación riesgo neutro: tipo de interés libre de riesgo, prima al riesgo del sector analizado, dividendos esperados durante la vida de la patente (o proyecto, o empresa valorados), probabilidad de fracaso del proyecto, tasa máxima anual de inversión.

d) Simulación Monte Carlo (con salto de tiempo trimestral) de todas las variables estocásticas, con posibilidad de establecer correlación entre costes y flujos de caja en el periodo de explotación de la patente
e) Obtención, de atrás hacia delante y siguiendo el esquema de optimalidad de Bellman, del valor del proyecto y las diferentes opciones que se plantean en cada instante de tiempo para cada camino aleatorio, sustituyendo en cada uno de esos pares el valor del proyecto por el máximo de los valores encontrados.
f) Obtención del valor actual del proyecto, patente ó empresa, en cualquiera de los estadíos en los que se encuentre.

Las opciones analizadas y calculadas han sido las siguientes;

a) Abandono, en las etapas de desarrollo (tanto investigación inicial como desarrollo de la patente), por un valor de ejercicio nulo.
b) Venta, en las etapas de desarrollo de la patente y explotación de la misma. La función de venta se supone que es creciente durante la etapa de desarrollo hasta la culminación del mismo, en el que toma valor máximo e igual al dado por el VAN (valor tomado como razonable, pero desde luego no impuesto teóricamente de forma ninguna). A partir de ese momento, decae hasta cero al finalizar la patente (en un tiempo futuro establecido de antemano).

Un compromiso razonable entre el tiempo de computación y la precisión en el cálculo se obtiene con 100.000 simulaciones. Se han usado variables antitéticas para reducir la varianza en la estimación.

4. Resultados

Los modelos se han aplicado a la valoración de la patente en los EE.UU., propiedad de una empresa nacional, cuyo nombre no se indica por razones de confidencialidad y que, en lo que sigue, se referirá a ella como empresa A. La empresa A es una firma asesora en los procesos de innovación que, en determinados casos como el presente, invierte directamente en la obtención de patentes y en su desarrollo y explotación posterior.

Se ha valorado la citada patente en los EE.UU., propiedad de la empresa A, a partir de los datos de flujos de caja históricos ofrecidos por la propia empresa.

A tal efecto, se ha realizado lo siguiente:

a. Análisis y modelización predictiva de los flujos de caja, ajustando el valor esperado a una curva de saturación de mercado con las correspondientes bandas de volatilidad.
b. Simulación de los estados de flujos de caja binomiales, y cálculo del Valor Actual Neto del proyecto en todos los nodos del árbol binomial.
c. Cálculo de la volatilidad del proyecto.
d. Construcción del árbol riesgo-neutro con los valores del VAN (subyacente).
e. Cálculo del valor de las opciones sobre el árbol riesgo neutro del VAN, siguiendo los criterios de optimalidad de Bellman.

En la Figura 1 se muestra la modelización de los flujos de caja:

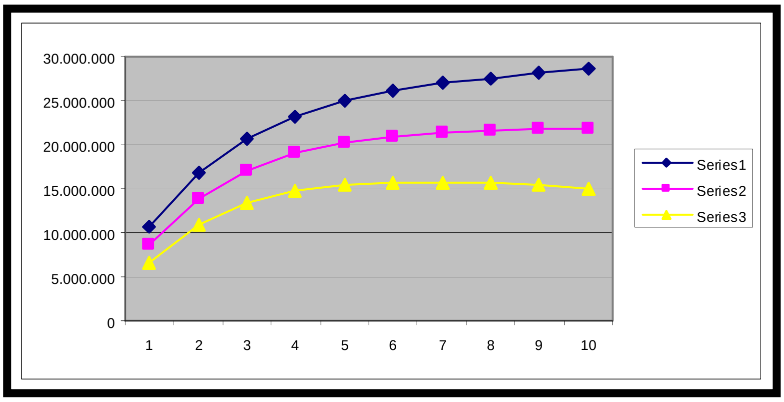

Figura 1. Modelización de los flujos de caja estudiados

El valor del VAN obtenido, para los datos de flujos de caja dados, es de 172 millones de euros.

El histograma del VAN sin flexibilidad confirma la hipótesis de lognormalidad de los mismos tal como se representa en la Figura 2:

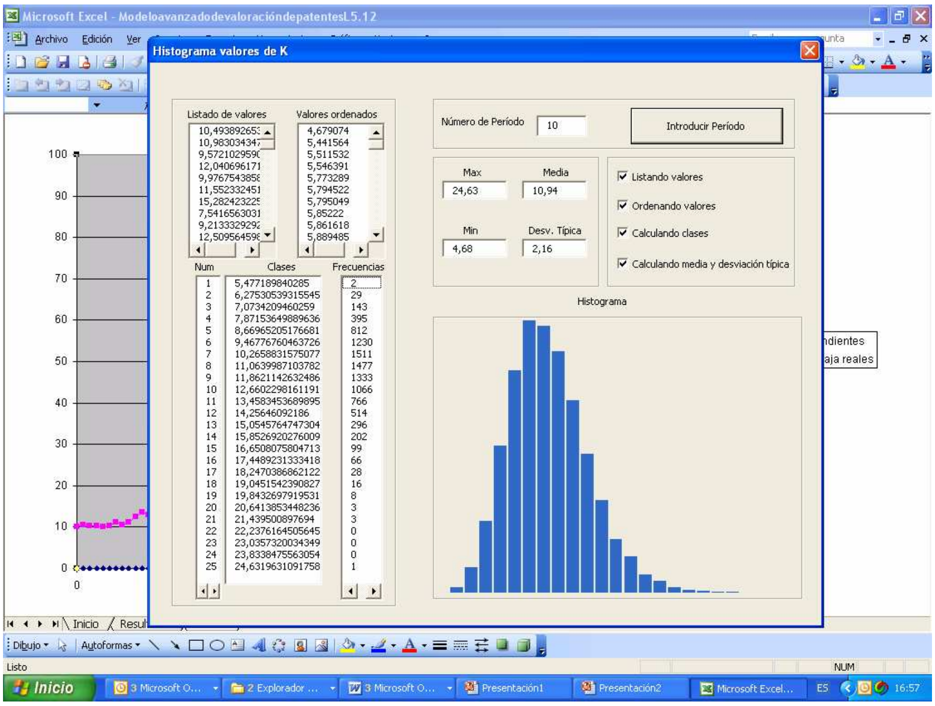

Figura 2. Lognormalidad del valor del proyecto sin flexibilidad

Se evalúa a continuación la opción de venta de la empresa, con un esquema de venta a futuro decreciente linealmente desde el momento actual, cuyo valor se iguala al VAN. El valor de dicha opción de venta es de 5,6 millones de euros.

Referencias

Schwartz, E (2004), *Patents and R&D as Real Options*, Economic Notes, Vol. 33 Issue 1.

Copeland, T; Antikarov, V (2001), Real Options: A parctitioner’s Guide, W. W. Norton & Company; 1st edition
Dixit, A; Pyndick, R.S. (1993), Investment Under Uncertainty, Princetom University Press