



Munich Personal RePEc Archive

Nanomaterial Stochastic Investment Valuation

Garcia Fronti, Javier

Universidad de Buenos Aires

13 January 2015

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/63948/>

MPRA Paper No. 63948, posted 07 May 2015 13:59 UTC

Modelo estocástico para la valuación de una inversión nanomédica.

Javier García Fronti

Este trabajo elabora un modelo de valuación de proyectos de inversión nanomédico que contempla su dinámica científica, su dinámica industrial y su regulación. Primeramente se analiza críticamente la literatura sobre valuación de inversiones, argumentando que la metodología de opciones reales es la más adecuada para contemplar incertidumbre y decisiones estratégicas. Luego se construye un modelo que supera las limitaciones más importantes de las herramientas de valuación de proyectos de inversión tradicionales y refleja la complejidad de los aspectos económicos implicados en proyectos de inversión nano.

Palabras clave: Nanotecnología, opciones reales, valuación estocástica

Introducción

La real academia de ingenieros de Reino Unido define, por un lado, a la nanociencia “como el estudio de fenómenos y manipulación de materiales a escala atómica, molecular y macromolecular, donde las propiedades son significativamente diferentes a las que se presentan a gran escala” y, por el otro, a la nanotecnología como “el diseño, producción y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas mediante el control del tamaño y forma, a escala nanométrica” (The Royal Society & The Royal Academy of Engineering, 2004 p.5). La nanociencia y la nanotecnología se integran en el trabajo diario dentro de los laboratorios, dando lugar a una práctica conjunta denominada Nanotecnociencia (Nordmann, 2006). Esta práctica está en pleno proceso formación, y se co-constituye con su correspondiente mercado, entendiendo este último como un mecanismo de coordinación en el cual los agentes¹ maximizan sus intereses mediante cálculos económicos y donde se resuelven conflictos mediante la fijación de precios (Callon, 1999).

En este mercado se realizan inversiones que requieren ser valuadas. Estas tienen tres características que no permiten utilizar técnicas tradicionales de valuación. En primer lugar, las inversiones son, en su mayoría irreversibles (total o parcialmente),

¹ Estos agentes forman una red de relaciones y conexiones sociales que para cierta literatura son dadas (Granovetter, 1985).

y sus costos de capital, hundidos. En segundo lugar, existe incertidumbre sobre el futuro retorno de la inversión; los precios futuros de los activos son impredecibles, por lo que los flujos de beneficio futuros son inciertos. En tercer lugar, los inversores tienen, muchas veces, la opción de esperar para obtener una mejor información sobre los precios futuros (Dixit y Pindyck, 1994).

Este trabajo elabora un modelo de valuación de proyectos de inversión nanotecnológicos que contempla su dinámica científica, su dinámica industrial y su regulación. Primeramente se analiza críticamente la literatura sobre valuación de inversiones, argumentando que la metodología de opciones reales es la más adecuada para contemplar incertidumbre y decisiones estratégicas. Luego se construye un modelo que supera las limitaciones más importantes de las herramientas de valuación de proyectos de inversión tradicionales² y refleja la complejidad de los aspectos económicos implicados en proyectos de inversión nano.

1 La problemática de la valuación de proyectos tecnológicos

Sabiendo que las inversiones tienen una gran importancia en la promoción del crecimiento económico, la correcta valoración de los proyectos de inversión es primordial para cualquier sociedad.

Las metodologías tradicionales de valuación estiman, primeramente, los flujos de caja futuros generados por el proyecto; luego, se elige una tasa de descuento adecuada para calcular su valor presente, y, por último, se estima el costo inicial. Estos métodos son ampliamente utilizados en la práctica y ocupan un lugar central en las finanzas corporativas. Los más conocidos son el valor actual neto, la tasa interna de retorno y el período de repago. Sin embargo, estas metodologías tienen la desventaja de no reflejar la complejidad de los fenómenos sociales y económicos implicados en muchos proyectos de inversión. En particular, las técnicas tradicionales no contemplan en su cálculo contextos inciertos ni cuantifican las flexibilidades que muchas veces aparecen en proyectos de inversión.

Dixit y Pindyck (1994) sostienen que la mayoría de las decisiones de inversión tienen tres características que claramente no permiten utilizar los métodos tradicionales mencionados. Por lo que proponen la utilización de la metodología de opciones reales. En primer lugar, las inversiones son, en su mayoría irreversibles (total o parcialmente), y sus costos de capital, hundidos. En segundo lugar, existe incertidumbre sobre el futuro retorno de la inversión; los precios futuros de los activos son impredecibles, por lo que los flujos de beneficio futuros son inciertos. En tercer lugar, los inversores tienen, muchas veces, la opción de esperar para obtener una mejor información sobre los precios futuros.

En particular, este trabajo se interesa por las inversiones en investigación y desarrollo nanotecnológico. En las mismas es fundamental contemplar la irreversibilidad de la inversión, la incertidumbre de los precios y costos, y

² Los más conocidos son el valor actual neto, la tasa interna de retorno y el período de repago.

contemplar el pensamiento estratégico de los inversores. Por lo que este trabajo propone utilizar la metodología de opciones reales para permitir realizar una valoración efectiva de estos proyectos.³

A los fines de la valuación, muchos autores han asimilado las opciones reales con las financieras. Desde los años 70 gran parte del trabajo en la teoría de valoración de opciones financieras se ha caracterizado por soluciones analíticas, que ofrecen una rápida solución a problemas de valuación simplificada. Un primer caso a destacar es el modelo de Black y Scholes, el cual supone un modelo continuo donde el precio del activo subyacente sigue una distribución logarítmica normal. Si bien sigue siendo el más utilizado por los profesionales, no puede adaptarse adecuadamente a las inversiones en la economía real por no contemplar eventos extremos, por no permitir ejercicio anticipado de la opción y por ser un modelo analítico en tiempo continuo.

En las industrias relacionadas con este trabajo, la información estratégica llega a intervalos discretos en el tiempo, por lo que los enfoques analíticos no son adecuados para la valuación. Por lo que es necesario extender las fórmulas analíticas, y recurrir a diversas técnicas numéricas para contemplar la complejidad del problema.

Si bien la estrategia corporativa es fundamental para evaluar la conveniencia de una inversión, los métodos tradicionales no la tienen en cuenta, aunque, de forma notoria, son ampliamente utilizados en la práctica y ocupan un lugar central en las finanzas corporativas. Estos procesos de valuación, habitualmente, 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. Estas metodologías son fáciles de aplicar, pero tienen la desventaja de no reflejar la complejidad de los fenómenos sociales y económicos implicados en muchos proyectos de inversión. En otras palabras, como se adelantó en la introducción del capítulo, las opciones reales permiten realizar una valoración efectiva de las opciones de inversión en contextos donde hay irreversibilidad, incertidumbre, y las decisiones son estratégicas, permitiendo reconocer flexibilidades y los procesos de aprendizaje. Este valor agregado se puede conceptualizar como “valor actual neto activo”, el cual se define como la suma del valor actual neto y el valor de la opción real asociada.

1.1 La metodología de Opciones reales

Las técnicas tradicionales de valuación son fáciles de utilizar y permiten, en contextos sencillos y de certidumbre, tomar decisiones eficientes de inversión. Ahora bien, si la decisión de inversión es estratégica o se realiza en contexto incierto, o sus costos son irreversibles, estas técnicas no pueden ser utilizadas debido a sus limitaciones. En particular, una de las técnicas más utilizadas es la

³ Una Opción Real es “un derecho, pero no una obligación, de ejecutar una acción a un determinado costo por un período predeterminado” (Copeland y Antikarov, 2001:5). Es decir, al igual que con las Opciones Financieras, una Opción Real otorga un derecho futuro de adquirir algo por un costo que ya está predeterminado.

metodología del valor actual neto⁴ (VAN). Visiblemente, su mecánica de valuación ignora las flexibilidades de la inversión, subvalorando la inversión. Por su parte, en el criterio de la tasa interna de retorno⁵ (TIR), existe una expectativa diferente en el alza o la baja de la TIR, según sea el caso, es decir, si se está tomando prestado o si se está prestando, por lo que pueden existir múltiples TIR para un mismo proyecto, y puede confundir cuando son proyectos mutuamente excluyentes. Si bien las limitaciones expuestas no invalidan las metodologías tradicionales, es necesario tener en cuenta que en situaciones complejas e inciertas, las mismas dejan de ser válidas.

Por su parte, las opciones reales permiten realizar una valuación de las opciones de inversión en todo tipo de mercados, ya sea con información completa o incompleta. El uso de las opciones reales en comparación con el VAN, permite reconocer la flexibilidad del mercado y el aprendizaje que se realiza al pasar por diferentes etapas de desarrollo. Muchas investigaciones sugieren la integración de las opciones reales con el VAN. Ha sido Trigeorgis (1993), el que ha cuantificado este enfoque, diciendo que el VAN de la inversión en activos es igual a realizar la suma del VAN de los flujos efectivo estimado y de las opciones reales que existieran. Es más, muchas veces la adopción de opciones reales en proyectos de I&D estimula la inversión en el largo plazo (Kumaraswamy, 1996).

En su trabajo original, Black y Scholes (1973) proporcionan un marco para la valuación de opciones europeas. Luego de unos años, es Myers (1977) quien propone analizar inversiones en activos reales, utilizando el concepto de opción. De forma que se define una opción real, como el derecho para llevar a cabo alguna decisión de negocios (por lo general, una opción para hacer una inversión de capital en un proyecto). Una vez establecido el paralelismo, se pueden utilizar técnicas estándares de las finanzas para su valuación.

Dixit y Pindyck (1994) sostienen que la mayoría de las decisiones de inversión tienen tres características que hacen imprescindible utilizar la metodología de opciones reales. En primer lugar, las inversiones son, en su mayoría irreversibles (total o parcialmente), y sus costos de capital, hundidos. En segundo lugar, existe incertidumbre sobre el futuro retorno de la inversión; los precios futuros de los activos son impredecibles, por lo que los flujos de beneficio futuros son inciertos. En tercer lugar, los inversores tienen, muchas veces, la opción de esperar para obtener una mejor información sobre los precios futuros. La literatura en estos temas es vasta, pero varios artículos aparecen como referencia ineludible en este campo. Los trabajos seminales de McDonald y Siegel (1986), Pindyck (1991), Trigeorgis (1993) presentan los fundamentos de este método, utilizando programación dinámica y técnicas de arbitraje. Por otro lado, en la teoría clásica

⁴El valor actual neto es una metodología que las empresas han utilizado por largo tiempo para evaluar proyectos de inversión. El mismo se calcula sustrayéndole al valor actual del flujo futuro de beneficios, la inversión inicial requerida. El criterio propuesto por esta metodología es aceptar proyectos que tengan VAN positivo.

⁵ Esta herramienta también es conocida como la tasa de rentabilidad del flujo de caja descontado (FCD). La misma se obtiene como la tasa de descuento que hace al VAN igual a cero. El criterio de esta herramienta es aceptar un proyecto de inversión cuando el costo de oportunidad del capital sea menor a la TIR.

de las opciones reales, Brennan y Schwartz (1985) se refieren a la valoración de la oportunidad de inversión como un conjunto integrado de opciones reales.

En otras palabras, la flexibilidad de una inversión es la que genera el valor de las opciones reales, incrementando la valuación de un proyecto. Habitualmente, este valor agregado se puede conceptualizar como “valor actual neto activo”, el cual se define como la suma del valor actual neto y el valor de la opción real asociada.

1.2 El impacto de la irreversibilidad de la inversión

La literatura sobre valuación de proyectos de inversión de los años noventa del siglo pasado ha remarcado dos de sus características más importantes. En primer lugar, en su mayoría, requieren inversiones irreversibles, por lo que son un costo hundido. En segundo lugar, muchas veces, es posible esperar nueva información sobre precios, costos y otras condiciones del mercado antes de comprometer los recursos⁶. Es más, el carácter irreversible de una inversión, profundiza la exposición a diferentes riesgos: con respecto a los flujos de beneficios futuros, a las tasas de interés involucradas en el cálculo y al costo final de la inversión (Pindyck, 1991).

La irreversibilidad surge debido a que el capital involucrado en el proyecto no puede ser utilizado de manera productiva en otra inversión. Una planta petroquímica, por ejemplo, es específica para ser utilizada en la industria correspondiente, y sólo puede ser usada para producir artículos petroquímicos, por lo que si la demanda de productos del sector cae, el valor de mercado de la planta disminuye. Claramente, la inversión en la planta mencionada debe ser vista como un costo hundido, al menos parcialmente (se puede tomar como reversible el valor del terreno por ejemplo). Otra fuente de irreversibilidad parcial son los bienes de uso. Notoriamente, al invertir en amueblamiento de oficinas, computadoras o automóviles se sabe que el precio de reventa baja un instante luego de comprarlo; si bien no son específicos de la industria, tienen valor de reventa muy por debajo de su precio de compra (Pindyck, 1991). El concepto de irreversibilidad replantea el fundamento teórico de los modelos estándar de inversión neoclásicos, a la vez que invalida la regla del valor presente neto. Hace que la inversión sea especialmente sensible a la incertidumbre sobre precios de los productos futuros y sobre los costos (y duración) de la operación⁷.

Desde el punto de vista formal, una oportunidad de inversión irreversible es muy similar a una opción de compra financiera. Esta 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 de la economía real, una empresa con una

⁶ Ben Bernanke (1983) ha desarrollado un modelo en donde las empresas tienen un incentivo para posponer inversiones irreversibles, para que puedan esperar información futura. Sin embargo, el autor asume que esta información reduce la incertidumbre futura, mientras que el presente trabajo se centra en las situaciones en que nueva información va llegando, pero el futuro es siempre incierto.

⁷ Desde la perspectiva de la política macroeconómica, esto significa que si el objetivo es estimular la inversión, reducir la incertidumbre institucional puede ser mucho más importante que los incentivos fiscales directos.

oportunidad de inversión tiene la opción de gastar el dinero (el "precio de ejercicio") ahora o en el futuro, a cambio de un activo (por ejemplo, un proyecto) de algún valor. 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 el activo aumenta en el valor, la rentabilidad de la inversión se eleva. Si cae en el valor, la empresa no necesita invertir, y sólo se pierde lo que pagó para obtener la oportunidad de inversión al momento inicial. Muchas veces estas oportunidades de inversión no se compran, sino que surgen de la gestión de la empresa (conocimiento tecnológico, reputación, porción del mercado). Estas opciones para invertir son valiosas, siendo una parte sustancial del valor de mercado de muchas empresas⁸.

Ahora bien, cuando una empresa realiza un proyecto irreversible, "ejerce" su opción de invertir. Esto ocasiona una pérdida que debe ser incluida como parte del costo de la inversión. Estudios recientes han demostrado que este costo de oportunidad puede ser grande, y las metodologías de valuación de proyectos que lo ignoran, comenten un error importante al hacerlo⁹. Además, este costo de oportunidad es muy sensible a la incertidumbre sobre el valor futuro del proyecto, de modo que el cambio de las condiciones económicas que afectan al riesgo percibido de los flujos de efectivo futuros, puede tener un gran impacto en el gasto de inversión, pudiendo ser mayor que un cambio en las tasas de interés.

1.3 La valuación de activos tecnológicos.

En la literatura académica, así como en las prácticas corporativas, un activo intangible tecnológico se define como un recurso que no tiene una forma de realización física, y cuya explotación industrial y económica otorga un beneficio futuro a su propietario (Lev, 2001). La presente sección se centra en analizar la valuación de activos intangibles separables e identificables (Guatri, 1989). En particular, activos basados en la tecnología, tales como patentes, procesos y conocimientos técnicos. Estos activos basados en la tecnología pueden generar ingresos (y, por lo tanto, valor) a la compañía que los posee. En la literatura, hay varios artículos dedicados a la importancia de estos activos tecnológicos y el problema de su valorización. La valoración de este tipo de activos es fundamental para los accionistas de la compañía.

Los proyectos tecnológicos tienen como objetivo el registro de una patente, para luego, bajo su protección, comenzar la producción y comercialización de productos protegidos por la misma. Ahora bien, aquella es un derecho, no una obligación de hacer uso exclusivo de una invención a un precio predeterminado, por un período predeterminado de tiempo. Por consiguiente, la valuación de dichos proyectos tecnológicos, los cuales incluyen derechos de propiedad intelectual, es un desafío para los profesionales. Si bien, tradicionalmente, los enfoques se ha basado en flujos de caja descontados, en los últimos años se ha puesto especial interés en la metodología de opciones reales (Serenó, 2006). La justificación inmediata es que

⁸ La importancia de las opciones reales de crecimiento como fuente de valor para la empresa está detallado en Myers (1977) y en Kester (1984).

⁹ Véase, por ejemplo, McDonald y Siegel (1986b) Majd y Pindyck (1987).

las herramientas tradicionales no tienen en cuenta los riesgos y la flexibilidad implícita en las oportunidades de inversión.

La utilización de la metodología de opciones reales analizada en la sección anterior del presente trabajo permite superar algunas limitaciones de los métodos de valuación tradicionales. Es importante destacar dos características fundamentales de las inversiones en tecnología. Por un lado, el carácter estratégico de sus decisiones y, por otro, la necesidad de gestión de la incertidumbre. Ambas problemáticas se pueden abordar desde un enfoque de opciones reales.

En particular, los proyectos tecnológicos conllevan innovaciones, cuya introducción puede implicar grandes inversiones, generalmente, como costos hundidos. Asimismo, existe una gran incertidumbre sobre los beneficios futuros que evolucionan estocásticamente siguiendo al mercado. Otra idea importante de los proyectos tecnológicos es que durante el mismo existen decisiones estratégicas de invertir en la siguiente etapa o no; a las cuales el inversor responde en función de la realización de eventos favorables o no, durante el proceso del proyecto.

Además, otro tema importante es el momento en que se realiza la inversión. En la mayoría de los casos, la inversión puede ser pospuesta a la espera de nueva información. Por ejemplo, contar con una patente tecnológica crea una oportunidad de inversión irreversible que puede o no realizarse. En otras palabras, es una opción de compra americana (derecho, pero no la obligación de gastar el dinero ahora o en el futuro, a cambio de un activo). Dado que su valor futuro es incierto, hay un costo de oportunidad de invertir en la actualidad, lo cual se describe como una opción de esperar.

Dentro los proyectos tecnológicos, este trabajo se focaliza en analizar aquellos que involucren gran cantidad de recursos en actividades de investigación y desarrollo (I+D); por consiguiente, altamente estratégicos. El enfoque de opciones reales es el más adecuado pues permite modelizar explícitamente la actividad estratégica y la incertidumbre involucrada. Se extiende, entonces, la visión estática tradicional mediante un proceso dinámico y multi-período. Asimismo, se incorpora la idea de que las empresas gestionan activamente sus oportunidades de inversión, adaptando sus estrategias de inversión en la medida que la incertidumbre se resuelve con el paso del tiempo. Los proyectos de I+D son proyectos largos, que contienen varias etapas y en los que el costo de la inversión es, al menos parcialmente, irreversible; todas características presentes, por ejemplo, en el modelo de Pindyck de opciones reales, anteriormente expuesto. En el mismo se representa la inversión en I + D como un flujo de costos, que, de tener éxito, culminaría en la creación de un activo que podrá comercializarse en el mercado.

Desde el punto de vista metodológico, los proyectos de inversión que involucran investigación y desarrollo representan un desafío para la valuación financiera, pues incluyen múltiples fuentes de incertidumbre. Debido a que se requiere un proceso de aprendizaje, el costo total de la inversión es incierto. El tiempo necesario para desarrollar el producto en cuestión también es aleatorio. Se está aprendiendo, al mismo tiempo que se invierte. Por otra parte, cada etapa del desarrollo está sujeta a factores exógenos, tales como catástrofes técnicas, económicas o políticas, poniendo, visiblemente, en riesgo la terminación del proyecto en cuestión.

En otras palabras, el beneficio se obtiene luego de culminar el proceso de I + D. La posibilidad de éxito, claramente, se relaciona con la incertidumbre del proyecto durante su desarrollo. Primeramente, los precios de las materias primas necesarias para el proceso fluctúan con el mercado. En segundo lugar, cada etapa tiene una probabilidad de fracaso significativa, que está asociada a problemas tecnocientíficos. Por último, durante el desarrollo, el proceso de precios del producto final (o de su competencia) fluctúa estocásticamente. En conclusión, la incertidumbre, impide conocer la duración y la posibilidad de éxito con certeza.

Inicialmente, se utilizaron para valuar estos proyectos, modelos analíticos que provienen de los derivados financieros, siendo la fórmula de Black y Scholes el ejemplo paradigmático. Ahora bien, independientemente de la enorme importancia de estas fórmulas analíticas para la valoración de oportunidades reales, su falta de flexibilidad en la descripción de una amplia gama de decisiones de inversión en contextos complejos, dio lugar al desarrollo de modelos de valuación numéricos. Un ejemplo, en el contexto de valuación de proyectos farmacéuticos, es el modelo de (Schwartz, 2004), donde el autor desarrolla un modelo numérico para la valuación de proyectos de I+D protegidos por patentes.

1.4 Modelo de Schwartz para la industria farmacéutica

La innovación en la industria farmacéutica propone un debate sobre las políticas públicas referido a la financiación de sus costos de investigación, sobre la determinación del nivel de precios y sobre el grado socialmente óptimo del uso de las patentes en cuestión. En particular, el desarrollo de un fármaco puede acarrear alrededor de diez años, siendo fundamental tener en cuenta las incertidumbres en los costos y en los futuros ingresos. Además, debe considerarse que, una vez aprobado el proyecto, plantea una incertidumbre sobre las ventas y los flujos efectivos que éste podría generar.

Esta sección desarrollará brevemente algunos aspectos del modelo de valuación de proyectos farmacéuticos propuesto por Schwartz (2004), el mismo es un enfoque discreto de simulación para determinar el valor de un proyecto en I+D, utilizando la metodología de opciones reales. Se asume un contexto incierto donde variables claves de la valuación son estocásticas: el costo para finalizar cada etapa, los flujos de efectivo futuros y la posibilidad de eventos adversos (técnico, económico, legal o político) que obliguen a abandonar el proyecto. Asimismo, se contempla la decisión estratégica de abandono cuando los costos sean mayores a los esperados o cuando el flujo de efectivo estimado sea menor al esperado.

Formalmente, se propone valuar proyectos de I+D mediante una simulación basada en un enfoque de opciones reales discreta que contempla la incertidumbre en los costos de finalización del proyecto, la incertidumbre de los flujos efectivos del proyecto, y la posibilidad de eventos catastróficos que pudieran amenazar la finalización del proyecto. Asimismo, se permite abandonar el proyecto en caso de que los costos superen a los costos esperados o en el caso de que los flujos efectivos estimados resulten ser menor del esperado (Schwartz, 2004).

Considerando que la inversión se realiza en el tiempo, se asume que existe una tasa máxima a la que se puede invertir (I_m) y que en la medida que ingresan fondos al

proyecto, el costo remanente (C) para completarlo se reduce. Este costo se considera una variable aleatoria. Por otra parte muchas veces el proyecto puede fallar y no llegar a completarse, por lo que se asume una probabilidad de *Poisson* de que en el proyecto falle, llevando el valor del mismo a cero. A nivel estratégico, el inversor cuenta con la opción de abandono, para utilizar cuando los costos resultan ser superiores a los esperados o cuando el flujo de efectivo resulta ser menor al esperado. Por último, al finalizar el proyecto, el propietario comienza a recibir los beneficios de la inversión que viene representado por una tasa de flujo efectivo neto B (modelizado como un proceso estocástico).

Con respecto a la incertidumbre en los costos de inversión, el autor sigue el modelo de aprendizaje propuesto por Pindyck (detallado en el capítulo anterior), de forma que los costos remanentes siguen una dinámica descrita por un proceso de difusión de la forma:

$$dC = -I dt + \sigma(IC)^{1/2} dz \quad (1.1)$$

El primer término del proceso hace referencia al control del proceso de difusión. En la medida que la inversión avanza, el costo remanente estimado para completar el desarrollo del proyecto decrece. El segundo término corresponde a lo que Pindyck denomina incertidumbre técnica, y se encuentra relacionado con la dificultad física que conlleva completar el proyecto, siendo dz un incremento de un proceso browniano.

Por otro lado, la dinámica del flujo de beneficios netos futuros se modela mediante un movimiento browniano geométrico dado por:

$$dB = \alpha B dt + \sigma B dw \quad (1.2)$$

Donde dw es un incremento de un proceso de Wiener de Gauss, correlacionado con el portafolio de mercado y que puede ser correlacionado con la incertidumbre del costo esperado para completar el proyecto. La correlación entre el costo y los flujos efectivos permiten ver que costos superiores a los previstos se traducen en una reducción de los flujos efectivos esperados (es por esto que puede suponerse que existe entre estos una correlación negativa). Algo a tener en cuenta es que estos flujos comienzan a ser percibidos una vez que se ha completado la inversión, por lo que los flujos varían a medida que se disminuye la incertidumbre durante la inversión. Asimismo, y para observar los efectos de valoración ante un riesgo neutral, el autor utiliza la siguiente expresión de flujo ajustada por riesgo:

$$dB = (\alpha - e) B dt + \sigma B dw = \alpha^* B dt + \sigma B dw$$

donde e es la prima de riesgo asociada con el proceso.

Por último, cuando la inversión en el proyecto ha sido completada, el valor del proyecto dependerá de los flujos efectivos que generará el proyecto. Sea $V(B, t)$ el valor del proyecto en el momento “ t ”, con los flujos efectivos “ B ” y asumiendo que la patente del proyecto caduca en el momento “ T ”. También existe un valor residual del proyecto que está representado por el dinero en efectivo de los posibles flujos generados después de que expire la patente: $M \times B$. En este caso los argumentos estándares implican que el valor del proyecto debe cumplir con:

$$\frac{1}{2}\sigma^2 B^2 V_{BB} + \alpha^* B V_B + V_t - rV + B = 0 \quad (1.3)$$

s.a.

$$V(B, T) = M \cdot B$$

Antes de que la inversión se complete, el valor del proyecto de I+D, $F(B, C, t)$, depende tanto de la tasa del flujo de caja proyectado (el cual se hace efectivo sólo si se completa el proyecto), del costo remanente y del tiempo. Asimismo, este valor debe satisfacer la siguiente expresión:

$$\frac{1}{2}\varphi^2 B^2 F_{BB} + \frac{1}{2}\sigma^2 I C F_{CC} + \varphi\sigma\rho B\sqrt{I C} F_{BC} + \alpha^* B F_B - I F_C + F_t - (r - \lambda)T - I = 0 \quad (1.4)$$

s.a.

$$F(C, 0, te) = V(C, te)$$

La dificultad de la condición de frontera es que la fecha de realización de la inversión (te) es una variable aleatoria. El valor del proyecto de I+D al completarse depende no solo de los flujos de cajas de ese momento sino también de la duración de la inversión (básicamente porque la duración de los flujos de caja se limita a la expiración de la patente).

El modelo básico expuesto puede ser extendido para dar cuenta de las características que se presenten en el mercado de la industria farmacéutica, donde el proyecto se realiza en dos etapas. Una primera donde el objetivo es encontrar el compuesto químico que logre generar el efecto deseado y una segunda donde debe asegurarse que el compuesto encontrado es efectivo y seguro al administrarse en los seres humanos.

El proceso de desarrollo de las drogas es un proceso secuencial, por este motivo se deberá detallar en qué momento se puede abandonar el proyecto. Esta decisión dependerá de diferentes factores, tales como: los potenciales beneficios terapéuticos, la frecuencia esperada y la severidad de las reacciones adversas, el desarrollo adicional proyectado, el marketing, la distribución y los costos de producción y estimaciones de los ingresos futuros. De esta manera una vez que el compuesto sea candidato firme este deberá ser presentado a la FDA.

Treinta días después de esta presentación deberá comenzarse con las pruebas de fase clínicas en humanos. Estas pruebas se producen durante tres fases diferentes: en la fase I la prueba se realiza en un pequeño grupo de gente en general totalmente sana, básicamente para obtener el grado de toxicidad y seguridad de dosis en seres humanos. En la fase II es administrado a un grupo mayor de personas a los cuales se los considera como aquellos que necesitan la droga para una posterior recuperación. Esto se hace para ver el grado de eficacia y la información adicional en cuanto a seguridad de la misma. En la etapa III la administración es masiva, por el hecho de encontrar un grado de eficacia definitivo y las posibles reacciones adversas. Una vez que se ha completado la fase clínica y se puede llegar a considerar que la droga puede ser aprobada, se presenta ante la FDA para su posterior aprobación, de manera que la revisión que realiza la FDA para la

aprobación de la droga puede considerarse como una cuarta fase del ciclo del proyecto.

El enfoque de simulación del modelo propuesto por (Schwartz, 2004) puede adaptarse a diferentes fases de inversión “ i ”. Por lo que la dinámica de los costos esperados para la finalización del proyecto viene dado por:

$$dC_i = -I_i dt + \vartheta_i \sqrt{I_i C_i} dZ_i$$

2 Modelo de valuación de proyectos nanomédicos

Como se ha mencionado previamente, el objetivo del presente trabajo es elaborar un modelo de valuación de proyectos en el mercado de nanotecnológico que contemple su dinámica científica, su dinámica industrial y su regulación. Esta sección desarrolla un modelo de valuación de proyectos en el mercado nanotecnológico de inversiones que contemple las distintas etapas de investigación y desarrollo, la incertidumbre del mercado debido a la tecnología y a la política de regulación, y las regulaciones e incentivos gubernamentales.

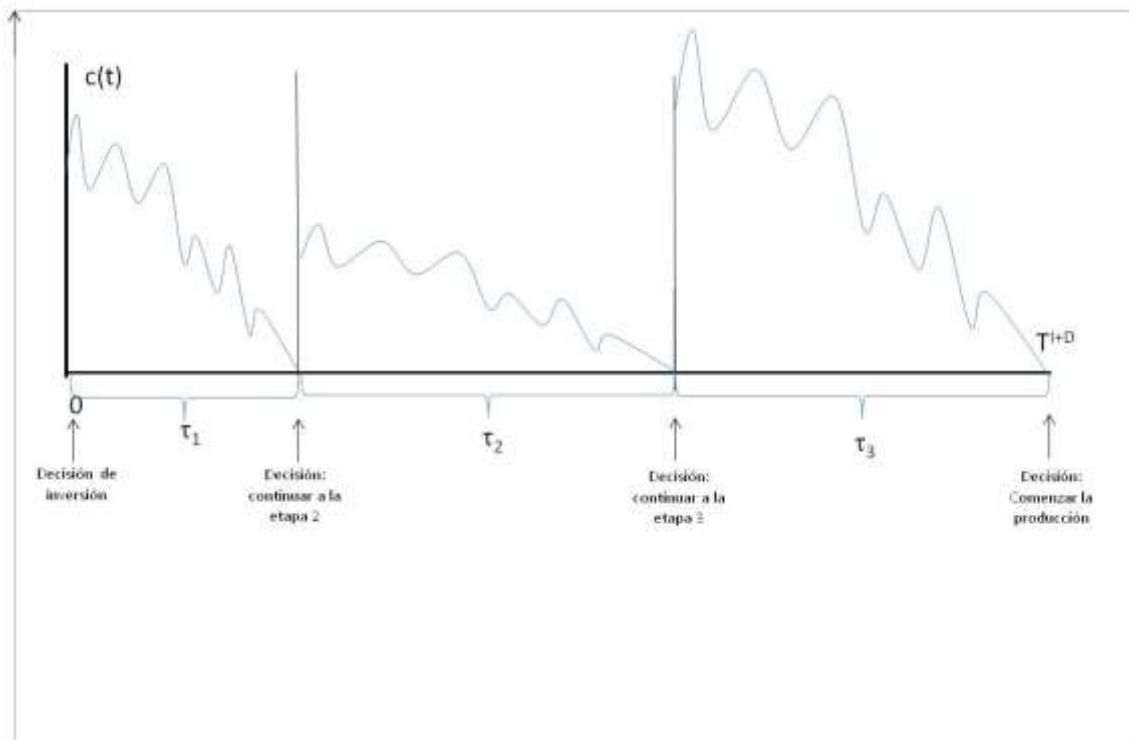
Primeramente se modeliza el costo remanente de inversión en cada etapa, explicitando las fuentes de incertidumbre. Luego presenta el proceso estocástico durante la etapa de instalación para la producción a escala comercial, dando lugar al análisis del ciclo de vida del producto en cuestión. A continuación se presenta el procedimiento de solución numérica del modelo propuesto. Por último se analizan los impactos de las diferentes políticas gubernamentales en la valuación presentada.

2.1 Etapas de Investigación y desarrollo

Cualquier proyecto de I+D, y en particular uno de nanomedicina, es un proceso de inversiones secuenciales. Esto permite a la inversora abandonar en cualquier momento que se requiera un nuevo aporte. La regla de decisión es: se realiza la inversión subsiguiente si el valor presente del proyecto esperado es mayor que el aporte necesario para costear la etapa.

Formalmente dividimos la duración del proyecto que va desde el comienzo hasta tener el producto terminado, en etapas. Cada una de ellas involucra tareas a realizar que en forma agregada generan un costo total de la etapa esperado (C_i^e). Asimismo cada etapa tiene una tasa de inversión máxima que se puede realizar. En la medida que se invierte, se reduce el costo remanente para concluir $c_i(t)$, que se modeliza como un proceso estocástico con valor inicial igual al costo total esperado ($c_i(0) = C_i^e$).

Cuando el costo llega a cero, la etapa se considera terminada, siendo entonces la duración de la etapa una variable aleatoria (τ_i), que comienza en $t^{i-1} = \sum_{j=1}^i \tau_j$ y termina en $t^i = \sum_{j=1}^i \tau_j$.



4.7. Línea de tiempo para 3 etapas.

2.1.1 Proceso estocástico del costo remanente en la etapa "i"

El costo remanente de la etapa "i" evoluciona a partir de un valor inicial $C_i^e = c_i(0)$ siguiendo un proceso descrito por (Pindyck, 1993):

$$dc_i(t) = -A dt + \sigma_i \sqrt{Ac_i(t)} dz_i + \gamma c_i(t) dy \quad (2.1)$$

$$\text{donde } A = \begin{cases} 0 & t < t^{i-1} \\ I_i & t^{i-1} \leq t \leq t^i \end{cases}$$

El primer y segundo términos del proceso son cero fuera de la etapa. Dentro de la misma, el primero muestra como el costo remanente decrece con el tiempo debido a la inversión realizada y el segundo término corresponde a lo que Pindyck (1993) denomina incertidumbre técnica. Por otro lado, el último término corresponde a la incertidumbre sobre los precios de las materias primas y la mano de obra, que se asume igual para todas las etapas. Una vez que llega a cero el proceso se detiene dando por finalizada la etapa en cuestión.

El producto se encuentra terminado cuando todas las etapas han sido concluidas. De forma que $t^n = \sum_{i=1}^n \tau_i$ es la variable aleatoria que representa el tiempo necesario de investigación y desarrollo para terminar el producto.

Asimismo, en cada etapa existe la posibilidad de fracaso técnico que se modeliza utilizando una distribución de *Poisson* de parámetro λ_i . Siguiendo lo planteado por Schwartz (2004), se descuenta a la tasa $(r - \lambda_i)$ porque cada etapa tiene una probabilidad de evento extremo que puede hacer fracasar el proyecto.

2.1.2 Decisión de abandono

Los momentos de decisión en los cuales se puede abandonar el proyecto son los comienzos de cada etapa. En esos momentos se compara el valor esperado del proyecto (en base al futuro) con el costo total esperado de la etapa.

2.1.3 Resumen de variables involucradas

C_i^e	Costo total de la etapa esperado
$c_i(t)$	Costo remanente de la etapa "i"
I_i	Tasa de inversión etapa "i"
σ_i	Volatilidad costo remanente etapa "i"
dz_i	Proceso browniano etapa "i"
τ_i	Duración etapa "i"
λ_i	Parámetro de poisson asociado a la posibilidad de fracaso de la etapa
t^n	tiempo necesario total esperado para terminar la "n" etapas de I+D $t^n = \sum_{i=1}^n \tau_i$
r	Tasa libre de riesgo

2.2 Instalación para la producción a escala comercial

Luego de terminar el desarrollo del producto, se requiere invertir en una instalación que permita la producción a escala comercial.

2.2.1 Proceso de costo remanente de instalación

El costo remanente evoluciona a partir de un valor inicial C_{n+1}^e (en $t = t^n$) y siguiendo un proceso similar al de las etapas de desarrollo, donde $i = n + 1$.

$$dc_{n+1}(t) = -Adt + \sigma_{n+1}\sqrt{A c_{n+1}(t)} dz_{n+1} + \gamma c_{n+1}(t) dy_c \quad (2.2)$$

$$\text{donde } A = \begin{cases} 0 & t < t^n \\ I_{n+1} & t^n \leq t \leq t^{n+1} \end{cases}$$

El primer y segundo términos del proceso son cero fuera de la etapa de instalación. Dentro de la misma, el primero muestra como el costo remanente decrece con el tiempo debido a la inversión realizada y el segundo término corresponde a lo que Pindyck (1993) denomina incertidumbre técnica. El último término corresponde a

la incertidumbre sobre los precios de las materias primas y la mano de obra vinculados a la construcción de la fábrica de producción a escala comercial.

2.2.2 Regla de decisión

Antes de comenzar la instalación se evalúa si es conveniente continuar o abandonar el proyecto de inversión. Se compara el valor esperado del proyecto (en base al futuro de ventas) con el costo total esperado de instalación.

2.2.3 Resumen de variables involucradas

C_{n+1}^e	Costo total de la instalación esperada
$c_{n+1}(t)$	Costo remanente para terminar la instalación
I_{n+1}	Tasa de inversión
σ_{n+1}	Volatilidad costo remanente
dz_{n+1}	Proceso browniano asociado a la etapa de instalación
τ_{n+1}	Duración de la instalación
λ_{n+1}	Parámetro de Poisson asociado a la posibilidad de fracaso de la instalación de la fábrica
T	tiempo total esperado para vender el producto $T = \sum_{i=1}^n \tau_i + \tau_{n+1}$
r	Tasa libre de riesgo

2.3 Comercialización: Ciclo de vida del producto

Una vez desarrollado el producto e instalada la fábrica para su producción masiva, se inicia la etapa de comercialización del mismo. Claramente, durante el proceso de desarrollo, la inversión está expuesta a incertidumbre sobre la demanda y sobre la oferta (mercado monopolístico, duopolio o competencia perfecta). Todo esto en un contexto donde se tiene una fecha de vencimiento establecida de la patente, por consiguiente se sabe cuándo la empresa entrará en competencia perfecta.

2.3.1 Interacciones competitivas en el mercado I+D

La posibilidad de que aparezcan productos de la competencia que apunten al mismo mercado debe ser tenida en cuenta en la toma de decisiones durante la fase

de desarrollo. Las interacciones competitivas en la fase de desarrollo pueden llevar a algunas empresas a abandonar su proyecto antes de completar su desarrollo.

El aspecto de la competencia ya fue considerado por Schaubroeck and Williams (1993). Los autores analizan el impacto de la competencia sobre la opción de invertir, concluyendo que una perfecta coordinación entre los inversores en competencia llega a un equilibrio (por lo que requiere cooperación para ser alcanzado). Por su parte Huisman y Kort (1999) analizan el problema de coordinar el comportamiento de la inversión en un contexto no-cooperativo.

Miltersen y Schwartz (2004) presentan un modelo que permite analizar proyectos de I+D protegidos por patentes combinando elementos de la teoría de opciones reales con los conceptos de equilibrio de la teoría de juegos. En el modelo de Miltersen y Schwartz, las decisiones de inversión de un jugador dependen fundamentalmente de las decisiones de los otros jugadores tanto en la fase de desarrollo como durante la comercialización. La posibilidad de un mercado monopólico (o en competencia) a futuro afecta a las decisiones adoptadas por los jugadores en la fase de desarrollo. Técnicamente, en la situación de monopolio el inversor puede suponer que la distribución de probabilidad del subyacente es exógena, mientras que en la situación de oligopolio las decisiones de los jugadores afectan la distribución referida, siendo por consiguiente una variable endógena y tenida en cuenta para el cálculo del equilibrio de mercado.

En particular, se consideran dos empresas que están desarrollando dos medicamentos diferentes que curan la misma enfermedad, por lo que si ambas tienen éxito, tendrán que compartir el mercado en duopolio. Esto implica que durante la fase de desarrollo, cada empresa tendrá en cuenta no sólo su propia situación, sino también la situación de su competidor. En el modelo, el costo necesario para finalizar el producto sigue un proceso estocástico propio de cada empresa donde se incorporan dos fuentes de incertidumbre: problemas técnicos, que son propios de cada empresa, y la incertidumbre de los costos de los insumos, que son comunes a ambas. Además, como en el caso monopólico de Schwartz (2004), durante la fase de desarrollo hay una probabilidad de eventos catastróficos modelizada por una distribución de *Poisson*.

En el contexto planteado, la firma que primero desarrolle el producto empieza a recibir los beneficios del monopolio en la venta de la droga hasta que la otra empresa entra en el mercado. El modelo asume que la demanda de la droga también es estocástica¹⁰. Las estrategias de inversión de equilibrio y de producción de ambas empresas se calculan entonces en un contexto de mercado *Cournot-Nash*. Dado que no existe una solución analítica, los autores resuelven el problema mediante métodos numéricos de simulación aplicando una versión extendida del método propuesto por Longstaff y Schwartz (2001).

Miltersen y Schwartz (2004) exponen resultados que tienen implicancias políticas importantes. Por un lado concluyen que el valor del proyecto para el monopolista es mayor que el valor total de los proyectos de ambos duopolistas. Sin embargo, la cantidad producida es en promedio más alta en el caso del duopolio. Por lo tanto, si el objetivo de los reguladores es promover la producción de la mayor cantidad

¹⁰ Las perturbaciones sobre la demanda siguen un movimiento browniano geométrico.

posible de medicamentos al menor precio posible en el menor periodo de tiempo, es necesaria la competencia.

2.3.2 Proceso de difusión del volumen de ventas

Estudios econométricos en la industria de la salud muestran que los productos tienen un ciclo de vida, a los fines de formalizar el proceso de difusión de las ventas, el presente modelo se inspira en el trabajo de Frank Bass (2004).

Los productos nanomédicos tienen un ciclo de vida que es especialmente sensible a la duración de la patente. Al comenzar el ciclo, las ventas empiezan a subir desde un valor inicial con beneficios netos anuales bajos. Si bien la competencia es baja (o nula) en el comienzo, el mercado se empieza a construir a partir de campañas de marketing y de algunos clientes iniciales. Luego, el beneficio neto anual crece relativamente rápido en un contexto protegido por una patente hasta que llega a un máximo durante la etapa de madurez. Por último, comienza a bajar debido a un contexto de creciente competencia.

Desde su introducción a la comercialización en la década de 1960 (Robertson, 1967), la teoría de difusión de la innovación ha contribuido enormemente para entender el comportamiento del consumidor y poder desarrollar una eficiente gestión de marketing. Diversos autores han contribuido al desarrollo de modelos analíticos que describen la difusión de una innovación en un mercado. El impulso principal que subyace a estas contribuciones es un modelo de producto nuevo crecimiento propuesto por Bass (1969). El mismo se ha utilizado para la previsión de difusión de la innovación en diferentes mercados (entre los cuales se encuentra el farmacéutico) (Dodds, 1973).

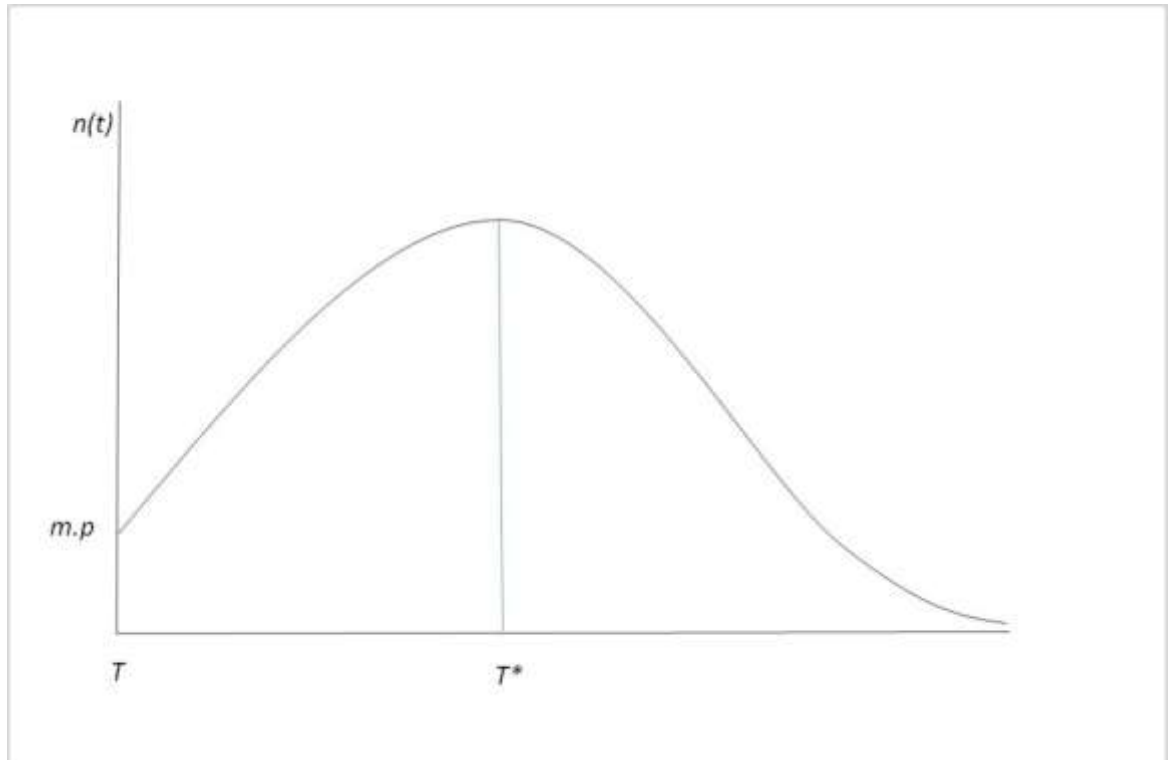
El modelo de Bass asume que los compradores de un producto innovador se ven influidos tanto por los medios masivos como por la comunicación boca a boca. Formalmente, se asume que los compradores constituyen dos grupos claramente diferentes: los innovadores y los imitadores. El modelo conceptual asume que los innovadores están presentes en cualquier etapa del proceso de difusión. La distribución supone una compra inicial fija y desde ahí crece hasta un punto máximo desde donde desciende.

Siguiendo a Bass, el volumen de ventas (n) inicial es igual al total esperado (m) por un coeficiente que representa la tasa de adopción independiente (p). Luego crece debido a la adopción por imitación hasta llegar a un máximo en el momento del fin de la patente T^* , a partir de ahí decrece. Para calcular el parámetro (q) del modelo de Bass se utiliza la expresión que vincula el vencimiento de la patente con los parámetros del mismo:

$$T^* - T = -\frac{1}{p + q} \ln\left(\frac{p}{q}\right) \quad (2.3)$$

Por lo que, a partir de los valores de m , p y T^* se obtiene q y se puede escribir entonces el proceso del volumen de ventas como:

$$n(t) = m \left[\frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)(t-T)}}{(p+q e^{-(p+q)(t-T)})^2} \right] \quad (2.4)$$



4.8. Ciclo de vida

Estrategia de precios

Siguiendo a Shlomo Kalish (1983), se asume que el productor utiliza la estrategia de precios *market-skimming*. El precio decrece con el tiempo. Durante la vigencia de la patente se coloca un precio alto debido al poder monopólico que contempla la demanda. Frente a la caducidad de la patente, el mercado es en competencia, por lo que el productor se ve forzado a reducir su precio.

Por simplicidad se asume al precio de monopolio como un valor fijo durante la vigencia de la patente (P^M) que impactará negativamente sobre el total de ventas durante el ciclo de vida $m(P^M)$. De forma que:

$$m'(P^M) < 0$$

Una vez vencido el plazo de vigencia de la patente, el mercado entra lentamente en competencia y el precio comienza a descender tendiendo asintóticamente a cero:

$$P(t) = \begin{cases} P^M & T < t \leq T^* \\ P^M(1 - e^{\xi(T^*-t)}) & t > T^* \end{cases}$$

Donde $\xi > 0$ es la velocidad con que el precio se acerca a cero, pues:

$$\frac{dP(t)}{dt} = -\xi P^M e^{\xi(T^*-t)} \quad t > T^*$$

Asimismo se asume que el total de ventas depende inversamente del precio durante el monopolio. De forma que el volumen de ventas al momento t está ahora descrito por:

$$n(t, P^M) = m(P^M) \left[\frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)(t-T)}}{(p+q e^{-(p+q)(t-T)})^2} \right]$$

Con estas fórmulas, se puede deducir que el beneficio neto por unidad de tiempo viene dado por:

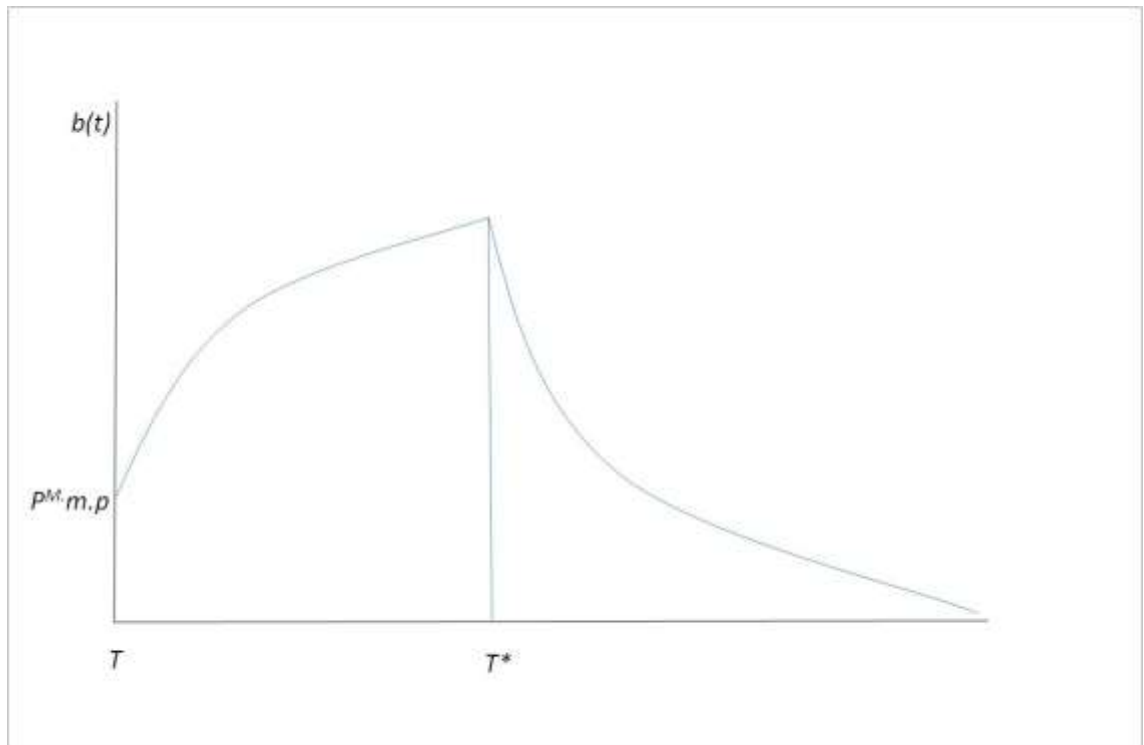
$$b(t, P^M) = (P(t) - c_V) * n(t, P^M) - C_F \quad t > T \quad (2.5)$$

donde

c_V : Costo unitario variable por unidad producida

C_F : Costo fijo de producción por unidad de tiempo

Condición final: $\lim_{t \rightarrow \infty} b(t, P^M) = 0$



4.9. Beneficio neto en función del tiempo

El valor presente del beneficio neto futuro al momento T es:

$$VPB(T) = \int_T^{\infty} b(t, P^M) \cdot e^{-rt} dt \quad (2.6)$$

2.4 Precio de monopolio esperado

Si bien el beneficio comenzará a ser percibido una vez finalizado el desarrollo, la necesidad de una valuación al momento inicial obliga a estimar el precio que

podrán imponer en monopolio durante la vigencia de la patente. Este precio es tal que maximiza el valor presente del flujo neto futuro proveniente de un ciclo de vida del producto en cuestión, sujeto a condiciones de mercado (especialmente oferta y regulación) en un contexto monopólico.

El proceso de precios mencionado evoluciona durante el desarrollo del producto, a medida que la inversión avanza y aparece nueva información del mercado futuro. Se asume que sigue un movimiento browniano geométrico (Schwartz, 2004):

$$dP^M(t) = \alpha_p P^M(t)dt + \sigma_p P^M(t)dw_p \quad (0 \leq t < T)$$

El primer término representa la tendencia del proceso y el segundo su incertidumbre. En particular, dw_p representa un incremento de un proceso browniano estándar correlacionado con el portafolio de mercado y con la incertidumbre del costo esperado para completar el proyecto. Para observar los efectos de valoración ante un riesgo neutral se utilizará el concepto de prima de riesgo, por lo que el proceso neutral al riesgo del precio del producto es (Schwartz, 2004):

$$dP^M(t) = \alpha_p^* P^M(t)dt + \sigma_p P^M(t)dw_p \quad (0 \leq t < T)$$

donde $\alpha_p^* = \alpha_p - u$

2.5 Algoritmo iterativo de solución del modelo¹¹

El procedimiento utiliza inducción retrospectiva y se realiza por simulación siguiendo los lineamientos del trabajo de Longstaff y Schwartz (2001) presentado en el capítulo anterior de este trabajo.

2.5.1 Caminos de simulación y las variables de estado

Primeramente se simulan M caminos independientes de las variables de estado: $j = 1 \dots M$. Cada uno de estos caminos tiene $n+1$ nodos: $i = 0 \dots n$, uno por cada etapa del proyecto. El nodo $i = 0$, corresponde a la decisión inicial de invertir en el proyecto; los $i: 0 < i < n$ corresponden a momentos de decisión previos a las correspondientes etapas y por último, $i = n + 1$ denota la decisión de invertir en llevar a escala comercial el producto terminado.

Partiendo de los valores iniciales de los costos remanentes $c_i(0)$ y simulando los procesos correspondientes, se obtiene para cada camino “ j ” los siguientes valores:

t_j^i	instancia de la variable aleatoria “momento en que se termina la etapa “ i ” simulada en el camino “ j ”
$c_j^i(t_j^{i-1})$	Costo remanente al comienzo de la etapa “ i ” simulado en el camino “ j ”

¹¹ Basado en (Longstaff y Schwartz (2001) y Hsu y Schwartz (2008).

2.5.2 Decisión de abandono en t^i

Siguiendo a Hsu y Schwartz (2008), $v(t)$ es el valor presente del proyecto previo a la decisión de abandono y $V(t)$ es el valor con la opción incluida.

$$v(t^{i-1}) = E \left[V(t^i) e^{-(r+\lambda_i)\tau_i} - \int_0^{\tau_i} I_i e^{-(r+\lambda_i)t} dt \mid c_i(t^{i-1}) \right] \quad (2.7)$$

Es una esperanza condicional en función del costo total esperado al principio de la etapa.

2.5.3 Inducción retrospectiva

Al momento de salir a vender el valor del proyecto viene dado por:

$$V(t^{n+1}) = VPB(T)$$

Para un nodo arbitrario “i” de un camino “j” se calcula un punto de la esperanza condicional previamente mencionada:

$$\tilde{v}(t_j^{i-1}) = E \left[V(t_j^i) e^{-(r+\lambda_i)(t_j^i - t_j^{i-1})} - \int_0^{(t_j^i - t_j^{i-1})} I_i e^{-(r+\lambda_i)t} dt \right] \quad (2.8)$$

Para construir una función que estime $v(t^{i-1})$, se realiza una regresión del conjunto de valores $\tilde{v}(t_j^{i-1})$ sobre un conjunto de funciones elementales de la variable de estado $c_j^i(t_j^{i-1})$

Mediante la regresión se obtienen los parámetros y podemos entonces contar con la función estimada $\hat{v}(c_j^i(t_j^{i-1}))$ que permite calcular para cada camino el valor del proyecto sabiendo el costo remanente al comienzo de la etapa.

La regla de decisión es entonces: Continuar (realizar la inversión requerida en la siguiente etapa “i” si: $\hat{v}(c_j^i(t_j^{i-1})) > 0$, en caso contrario abandonar el proyecto. Esto se realiza en todas las etapas en forma retrospectiva.

2.5.4 Valor del proyecto en $t = 0$

Una vez definidas las reglas de decisión (continuar o abandonar) para cada nodo, es posible evaluar el valor del proyecto de I + D.

Cada camino es un flujo de ingresos y egresos futuros que deberá ser descontado hasta llegar al momento cero. Se recorre desde la decisión de abandono (o desde el nodo final), descontando hasta llegar al inicio el valor del proyecto y se le resta las inversiones realizadas para llegar al nodo en cuestión. De forma que se cuenta con

n instancias del valor inicial del proyecto, conformando una distribución discreta del mismo.

Conclusión

Este trabajo ha destacado dos características fundamentales de las inversiones en tecnología: su carácter estratégico e incierto. Además, se ha analizado como abordar estas problemáticas desde una metodología de opciones reales. En particular se ha mostrado como una patente tecnológica crea una oportunidad de inversión irreversible, que puede o no realizarse y puede ser interpretada como una opción de compra americana.

Ahora bien, para el desarrollo de una patente tecnológica es necesario realizar previamente tareas de investigación y desarrollo. Se ha presentado la valuación de estos proyectos dando cuenta de múltiples fuentes de incertidumbre y del proceso de aprendizaje involucrado. Cada etapa del desarrollo se ha modelizado sujeta a factores exógenos, tales como catástrofes técnicas, económicas o políticas que ponen en riesgo la terminación del proyecto en cuestión.

En línea con el objetivo del presente trabajo, luego se ha analizado la valuación de proyectos en la industria farmacéutica que se constituyen en el modelo base para construir un modelo de valuación de proyectos en nanomedicina. El modelo propuesto se divide en etapas y da cuenta de las incertidumbres en los costos y en los futuros ingresos. Asimismo, se ha presentado un enfoque discreto de simulación para determinar el valor de un proyecto en I+D, utilizando la metodología de opciones reales. Se asume un contexto incierto donde variables claves de la valuación son estocásticas y se contempla la decisión estratégica de abandono cuando los costos sean mayores a los esperados o cuando el flujo de efectivo estimado sea menor al esperado.

A continuación, se ha desarrollado un modelo que analiza la interacción comercial entre una empresa especializada en desarrollo de patentes nano y una farmacéutica con llegada al mercado global de medicamentos. La primera empresa desarrolla la investigación base y realiza los testeos *In vitro/in vivo* para lograr el patentamiento y la segunda tiene la capacidad de producir en forma global el producto a comercializar. Esta interacción se modeliza utilizando teoría de juegos, y la valuación del proyecto conjunto se realiza mediante opciones reales.

El análisis concluye que, mientras el proyecto conjunto sea rentable, la empresa Nanotecnológica se comprometerá. Para que esto ocurra, la participación debe ser mayor que un determinado valor, en particular ($\alpha \geq \alpha^d$). La empresa farmacéutica lo hará si $\alpha \leq \alpha^u$; por lo que la inversión será exitosa si $\alpha \in [\alpha^d, \alpha^u]$. Asumiendo que la farmacéutica tiene mayor poder de negociación, podría imponer un $\alpha = \alpha^d$ y maximizar su rentabilidad. Ahora bien, si presiona en exceso forzando un $\alpha < \alpha^d$, la inversión no tendrá lugar (Nanotech se retira al no satisfacer su restricción).

En la parte final del capítulo se articula todo lo expuesto en un modelo de valuación. Los proyectos de inversión en nanomedicina son procesos de inversión secuenciales en donde se permite abandonar en cualquier momento que se requiera

una nueva inversión. La regla de decisión es: realiza la inversión subsiguiente si el valor presente del proyecto esperado es mayor que la inversión necesaria en la etapa.

Existen diferentes líneas de investigación y trabajo futura posibles. En primer término, es importante realizar estudios cualitativos de casos para entender cómo se constituyen las empresas en el sector y como es su negocio. En segundo término, es significativo analizar en detalle los riesgos nanotecnológicos y el rol de las compañías de seguro. En tercer lugar, resulta fundamental examinar las políticas públicas de diferentes países para aprender a la hora de proponer un nuevo marco. En cuarto lugar, y desde un punto de vista técnico, es relevante incorporar al modelo la posibilidad de valorar empresas que cuenten con más de un producto en proceso. En quinto lugar, y desde un punto de vista práctico, sería útil contar con un aplicativo informático que permita que el modelo propuesto pueda ser utilizado por los agentes del mercado y por el gobierno.

Referencias

- Bass, F. M. (2004), 'Comments on" A New Product Growth for Model Consumer Durables": The Bass Model', *Management Science*, vol. 50, no. 12, pp. 1833-40.
- Black, F. y Scholes, M. (1973), 'The pricing of options and corporate liabilities', *Journal of political economy*, vol. 81, no. 3.
- Brennan, M. J. y Schwartz, E. S. (1985), 'Evaluating natural resource investments', *The Journal of Business*, vol. 58, no. 2, pp. 135-57.
- Callon, M. (1999), 'Actor-Network Theory: The Market Test', en J Law y J Hassard (eds), *Actor Network Theory and After*, pp. 181-95.
- Dixit, A. K. y Pindyck, R. S. (1994), *Investment under uncertainty*, vol. 15, Princeton University Press Princeton, NJ.
- Dodds, W. (1973), 'An application of the Bass model in long-term new product forecasting', *Journal of Marketing Research*, vol. 10, no. 3, pp. 308-11.
- Granovetter, M. (1985), 'Economic Action and Social Structure: The Problem of Embeddedness', *American journal of sociology*, vol. 91, no. 3, p. 481.
- Guatri, L. (1989), 'Il differenziale fantasma: i beni immateriali nella determinazione del reddito e nella valutazione delle imprese', *Finanza, Marketing e Produzione*.
- Hsu, J. C. y Schwartz, E. S. (2008), 'A model of R&D valuation and the design of research incentives', *Insurance: mathematics and Economics*, vol. 43, no. 3, pp. 350-67.
- Huisman, K. J. M., Kort, P. M. y Center for Economic Research at, A. (1999), *Effects of strategic interactions on the option value of waiting*, Center for Economic Research, Tilburg University.

- Kumaraswamy, A. (1996), 'A real options perspective of firms' R&D investments', *Unpublished doctoral dissertation, New York University*.
- Lev, B. (2001), *Intangibles: Management, measurement, and reporting*, Brookings Inst Pr.
- Longstaff, F. y Schwartz, E. (2001), 'Valuing American options by simulation: A simple least-squares approach', *Review of Financial Studies*, vol. 14, no. 1, p. 113.
- McDonald, R. y Siegel, D. (1986), 'The value of waiting to invest', *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 101, no. 4, p. 707.
- Miltersen, K. R. y Schwart, E. S. (2004), 'R&D investments with competitive interactions', *Review of Finance*, vol. 8, no. 3, p. 355.
- Myers, S. C. (1977), 'Determinants of corporate borrowing* 1', *Journal of Financial Economics*, vol. 5, no. 2, pp. 147-75.
- Nordmann, A. (2006), 'Theories of nanotechnoscience', *Ethical and Social Implications of the Nano-Bio-Info-Cogno Convergence*, vol. December 2006. Disponible en <http://ica.stanford.edu/france/conferences/workingpapersseries/ethics>.
- Pindyck, R. S. (1991), 'Irreversibility, uncertainty, and investment', *Journal of Economic Literature*, vol. 29, no. 3, pp. 1110-48.
- Robertson, T. S. (1967), 'The process of innovation and the diffusion of innovation', *The Journal of Marketing*, vol. 31, no. 1, pp. 14-9.
- Schwartz, E. S. (2004), 'Patents and R&D as real options', *Economic Notes*, vol. 33, no. 1, pp. 23-54.
- Sereno, L. (2006), *Valuing R&D Investments with a Jump-diffusion Process*, Università degli Studie, Dipartimento di Scienze Economiche.
- The Royal Society & The Royal Academy of Engineering (2004), *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, The Royal Society & The Royal Academy of Engineering, Plymouth, UK.
- Trigeorgis, L. (1993), 'Real options and interactions with financial flexibility', *Financial Management*, vol. 22, no. 3, pp. 202-24.