

VALUACIÓN DE DECISIONES ESTRATÉGICAS MEDIANTE EL ENFOQUE DE OPCIONES REALES EN EMPRESAS DE BASE TECNOLÓGICA – SPIN-OFF

Gastón S. Milanesi
Carlos Alberto Ferreira

Universidad Nacional del Sur

SUMARIO: 1. Introducción; 2. Clasificación de spin-offs en ambitos universitarios o académicos; 3. Herramientas tradicionales de valuación de proyectos; 4. Método binomial de valoración de opciones; 5. Teoría de Opciones Reales: modelos tradicionales de opciones reales; 6. Caso de aplicación de valuación de empresa de base tecnológica en el marco de spin-off; 7. Conclusiones.

Para comentarios: milanesi@uns.edu.ar

Resumen

Las empresas de base tecnológica, start-ups, spin-off, spin-off universitarias o académicas constituyen un conjunto de empresas cuyo valor principal surge como consecuencia de las inversiones permanentes en investigación y desarrollo y la combinación o sinergia que se presenta entre el alto nivel de conocimiento y las posibilidades de desarrollo e innovación en áreas principalmente de innovación tecnológica, biotecnológica, farmacéutica, etc. La aplicación de los métodos o herramientas tradicionales de valuación de este tipo de empresas no es suficiente, debe complementarse con el enfoque de opciones reales que permitirá incorporar la flexibilidad e incertidumbre presente en el desarrollo de este tipo de proyectos.

1. Introducción

El objetivo de este trabajo es presentar las estructuras que podrían exhibir los emprendimientos de base tecnológica en estrecha relación con instituciones universitarias, y proponer un enfoque complementario a los métodos tradicionales de valuación incorporando la incertidumbre y riesgo inherente a las decisiones estratégicas.

El fenómeno de la globalización y la innovación permanente que deben desarrollar las empresas para mantenerse en un mercado altamente competitivo transforman la vinculación entre ellas la ciencia, la tecnología y la economía.

En el presente artículo el concepto de empresa (*spin-off*) estará dado considerando que las universidades son las instituciones en las cuales se genera conocimiento, a través del cual se crearán y propondrán en forma sistemática proyectos con potencial para la creación de empresas (*spin-offs*) constituyéndose dichos proyectos en una aplicación concreta de los desarrollos obtenidos a través de las actividades de investigación y desarrollo de las instituciones educativas superiores. (Beraza Garmendia & Rodríguez Castellanos, 2012).

Una vez definidos el tipo y las características específicas de la empresa bajo análisis es necesario considerar que los métodos tradicionales de evaluación de proyectos de inversión no son suficientes para tomar decisiones en contextos muy volátiles, con altos niveles de incertidumbre, con ciclos de vida de productos muy cortos, dado que no toman en cuenta los cambios que pueden presentarse en las variables bajo estudio a lo largo de la vida del proyecto. Es así que quien realiza el estudio debe anexar herramientas de análisis con procesos estocásticos de orden superior para que las conclusiones a las que se arriben sean compatibles con dichas condiciones.

El presente artículo pretende contribuir al desarrollo de una herramienta de análisis en contextos volátiles y con alto nivel de incertidumbre, analizando su aplicabilidad a empresas de base tecnológica, empresas *spin-offs* o *start-up*. Se ha organizado de la siguiente forma: en la primera sección se exponen las diferentes estructuras y características de empresas de base tecnológica (*spin-off*) sobre las cuales es posible desarrollar un proyecto de estas características. En la segunda sección: se presenta el método binomial, y se exponen los distintos modelos de valoración de opciones reales incorporando la Teoría de Opciones Reales, la valoración de la flexibilidad estratégica contenida en las decisiones de inversión. En la tercera sección se desarrolla un ejemplo a partir de una empresa de base tecnológica, en vinculación con universidades nacionales (*spin-off*) desarrollando e incorporando el concepto de flexibilidad y volatilidad aplicando la expansión de Edgeworth. En la última sección se desarrollan las conclusiones obtenidas a partir de los resultados arribados en la tercera sección.

2. Clasificación de *spin-offs* en ámbitos universitarios o académicos

La volatilidad y globalización que existe en todos los sectores de la sociedad y la economía obligan a los actores y agentes económicos a optimizar el uso y aplicación de los recursos y el conocimiento.

Como consecuencia el mundo académico, del conocimiento, investigación e innovación se constituyen en protagonistas, con las mejores oportunidades de aportar a las políticas industriales de investigación y desarrollo (I+D) todo su potencial garantizando así la participación de todos los actores públicos y privados en ciencia y tecnología: Universidades, Consejos y Centros de Investigación y empresas públicas y privadas, lográndose la sinergia necesaria que permitirá transferir e intercambiar entre los participantes el conocimiento generado.

Es importante, entonces, establecer la clasificación de *spin-offs* universitarias dado que la literatura utiliza diferente terminología para definir fenómenos similares. En el cuadro 1 se exponen los criterios aplicables para describir o definir los *spin-offs universitarios*, de acuerdo a lo afirmado por José María Beraza Garmendia.

Cuadro 1 Clasificación de Spin-offs universitarias

<i>Según la actitud de la Universidad</i>	<i>Spin-off espontáneas, pasivas o pull spin-offs</i> : creadas por miembros de la comunidad universitarias sin recibir apoyo por parte de la Universidad.
	<i>Spin-off planificadas, activas o push spin-off</i> : creadas en el marco de una política voluntaria de apoyo
<i>Según el estatus de las personas que han aportado la idea</i>	<i>Spin-off académicas</i> : creadas por uno o más miembros de la comunidad científica con el fin de explotar comercialmente una parte de los conocimientos desarrollados a partir de sus investigaciones: profesores, auxiliares de docencia, investigadores, alumnos de posgrados, etc.
	<i>Spin-off de estudiantes</i> : creadas por estudiantes, al finalizar sus estudios de grado, constituyen su propia empresa con el fin de aprovechar y aplicar sus conocimientos prestando servicios y/o explotando oportunidades en el mercado donde existen débiles barreras de entrada.
<i>Según si el investigador se convierte en emprendedor</i>	<i>Spin-off promovidas por el investigador (intrapreneurial spin-offs)</i> : creadas por uno o más miembros de la comunidad científica universitaria con el objetivo de realizar la explotación comercial de una parte de los conocimientos a partir de investigaciones desarrolladas en la institución académica.
	<i>Spin-off promovidas por emprendedores externos (extrapreneurial spin-offs)</i> : creadas por personas ajenas a la comunidad científica de la universitaria con el objetivo de realizar la explotación comercial de una parte de los conocimientos a partir de investigaciones desarrolladas en la institución académica.
<i>Según si se transfiere conocimiento patentado</i>	<i>Spin-off basadas en tecnología patentada (Assigned technology based spin-offs)</i> : creadas para explotar licencias de innovaciones patentadas por instituciones académicas.
	<i>Spin-off basadas en tecnología no patentada (Non-assigned technology based spin-offs)</i> : creadas para explotar desarrollos no patentados por las instituciones académicas.
<i>Según el tipo de actividad</i>	<i>Consultoría y contratos (Consultancy and R&D contracting)</i> : explotan las principales competencias de los investigadores mediante una extensión de sus actividades de extensión. Riesgo y capital necesario es mínimo.
	<i>Producto (Product oriented mode)</i> : creadas con un concepto central en el proceso o producto, aplicadas al desarrollo, producción y comercialización.
	<i>Activos Tecnológicos (Technology asset oriented mode)</i> : creadas para desarrollar tecnología que se comercializará a través de: creación de spin-off, concesión de licencias, joint-ventures u otro tipo de alianzas. El eje estratégico de la empresa está dado por la creación, desarrollo y gestión de activos tecnológicos.

3. Herramientas tradicionales de valuación de proyectos

Los métodos basados en el descuento de flujos de fondos son los más utilizados dado que cumplen con requisitos y condiciones básicos e imprescindibles cuando se valorizan empresas o proyectos de inversión. Permiten cumplir con el objetivo de creación de valor para el accionista dado que incluyen más de un período en el análisis, considera flujos de caja e incluye el riesgo.

A pesar de estas importantes consideraciones, el contexto en el que operan y toman decisiones presentan entornos competitivos, volátiles y de alto riesgo, por lo que la flexibilidad y velocidad en la toma de decisiones otorgan capacidad de reacción y respuesta ante las permanentes variaciones de contexto e incertidumbre que enfrentan las empresas. Una correcta decisión hoy permite sumar oportunidades en el futuro, acertadas postergaciones o abandonos que eviten grandes pérdidas.

En el cuadro 2 se expone y compara la presencia de estos elementos en las diferentes herramientas de decisión (Berzal, 2004):

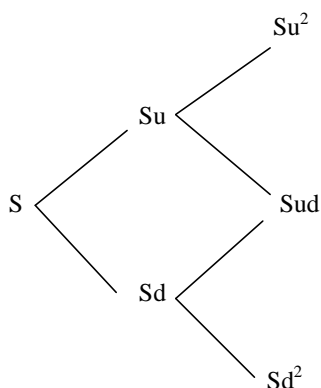
Cuadro 2 Resumen de herramientas de análisis y decisión

<i>Herramienta</i>	<i>Basados en flujos de fondos</i>	<i>Ajustados por riesgo</i>	<i>Considera varios períodos</i>	<i>Incorpora flexibilidad</i>
Opciones reales	✓	✓	✓	✓
Valor actual neto	✓	✓	✓	X
Arbol de decisiones	✓	X	✓	✓

La dirección de la empresa adopta decisiones sobre las condiciones, características y desarrollo de los proyectos que se constituyen en opciones estratégicas e implícitas que añaden valor al proyecto o empresa que colisionan con las preceptos sobre los cuales se apoya la herramienta de análisis de descuento de flujo de fondos.

4. Método binomial de valoración de opciones

El método binomial de valoración de opciones financieras (Cox, Ross, & Rubinstein, 1979) se sustenta en la formulación de los precios de las acciones, así en cualquier momento puede tener dos valores posibles:



En este esquema S, es el precio de la acción subyacente en el momento presente. Su será el precio de esa acción si sube dentro de un período con probabilidad p y Sd representará el precio

si baja dentro de un período con probabilidad $1-p$. El movimiento al alza es u y el movimiento a la baja es d .

Cox, Ross y Rubinstein (1979) presentan un modelo donde aplican el método binomial de valoración de opciones financieras estimando las probabilidades implícitas.

Parten de las siguientes premisas:

$$p = \frac{1 + r_F D}{U - D} \quad 1 - p = \frac{U - (1 + r_F)}{U - D}$$

Estos valores representan la probabilidad implícita de ascenso (p) y la de descenso ($1-p$) del valor de la acción subyacente. U y D son los coeficientes por lo que hay que multiplicar el valor actual de la acción S , para obtener el valor o precio al final de cada período. Dada esta información y teniendo en cuenta la aplicación de carteras réplica, la Δ (delta) de la opción y el préstamo necesario para replicarla se pueden calcular:

$$\Delta = \frac{C_u - C_d}{S(U - D)} \quad B = \frac{u C_d - d C_u}{(u - d)r}$$

En consecuencia puede obtenerse la fórmula que calcula el valor actual de la opción de compra según el método binomial:

$$c = \frac{p C_u + (1 - p) C_d}{r}$$

El precio teórico de la opción de compra es igual al valor actual de la media ponderada de los flujos de caja que la opción bajo análisis genera en su fecha de vencimiento.

A partir de esta introducción en la aplicación de la herramienta de valoración a instrumentos financieros se avanza en la ampliación de los mismos a la valoración de inversiones físicas aplicando en su evaluación la flexibilidad, a partir de estas definiciones podemos definir opciones reales. Entendiendo por opciones reales a las oportunidades (pero no la obligación) de invertir en un proyecto o emprendimiento, asumiendo que a lo largo de la vida de ese proyecto o empresa existirá la necesidad de tomar decisiones y generar respuestas ante modificaciones en los valores asumidos al inicio.

5. Teoría de Opciones Reales: modelos tradicionales de opciones reales

El enfoque de opciones reales aporta una herramienta fundamental aplicable cuando se evalúan decisiones de inversión. Se parte del valor actual neto (VAN) para poder a continuación capturar la flexibilidad estratégica. Una vez tomada la decisión se presentan alternativas durante el desarrollo del proyecto que obligan a tomar decisiones estratégicas, estas situaciones pueden implicar el diferimiento, abandono, expansión, o intercambio de tipo tecnológico. Este proceso de toma de decisiones puede ser presentado y expuesto a través de un modelo que incorpore la incertidumbre, volatilidad y flexibilidad presente. A efectos de completar la exposición se presenta un resumen de las opciones en la toma de decisiones empresariales con los sectores industriales a los cuales pueden ser aplicados y los nombres de quienes los desarrollaron (Milanesi, 2011):

A partir de lo desarrollado es necesario presentar un enfoque diferente que, conservando la esencia de la herramienta del método binomial: simplicidad, claridad y calidad de información, habilite considerar alternativas al supuesto de distribución lognormal en los procesos estocásticos incorporando así momentos de orden superior.

Bajo estas premisas, quien debe tomar las decisiones estratégicas elabora el conjunto de escenarios que considera factibles, construyendo el proceso estocástico tomando en cuenta no sólo los dos primeros momentos (media μ y varianza σ^2) sino también la *asimetría* y *curtosis*. Así,

Cuadro 3 Resumen de opciones reales por categoría, industrias típicas e investigadores

<i>Categoría</i>	<i>Descripción</i>	<i>Sectores típicos</i>	<i>Investigadores</i>
Opción de diferir (opción simple)	La gerencia posee un arrendamiento (u opción de comprar) tierras para emprendimiento. Puede ver si el precio del producto evoluciona para construir la planta.	Extracción de recursos naturales, inmobiliarias, industrias farmacológicas, etc.	Tourinho, 1979 Titman, 1985 Mc Donald & Siegel 1986 Paddock, Siegel & Smith, 1998 Ingersoll & Ross 1992
Opción de crecimiento (opción compuesta)	Un proyecto inicial en I+D o una inversión estratégica es un requisito inicial para una cadena de proyectos interrelacionados, oportunidades futuras de crecimiento.	Todas las industrias que involucren procesos secuenciales (electrónicas, químicas, hidrocarburos).	Myers 1977 Kester 1984, 1993 Trigeorgis 1998 Pindyck 1988 Chung & Charoenwong 1991 Smit 1996
Opción de abandono	Si las condiciones de mercado desmejoran notablemente la gerencia puede decidir abandonar el proyecto y desprenderse del capital y el resto de los activos existentes.	Industrias con inversión intensiva en capital físico (transporte aéreo, terrestre o introducción de nuevos productos en el mercado).	Myers & Majd 1990 Kemma 1988
Opción de expandir, contraer o extender la vida del proyecto.	Si las condiciones de mercado son mejores a las esperadas se presenta la alternativa de extender el ciclo de vida del proyecto, expandir la capacidad. De lo contrario se puede contraer o reducir.	Industrias cíclicas, comerciales e inmobiliarias.	McDonald & Siegel 1985 Trigeorgis & Mason 1987 Pindyck 1988 Kemma 1988
Opción de cierre temporal del proceso	Si mantener operativo el proyecto es desfavorable la gerencia puede cerrar temporariamente las operaciones.	Recursos naturales (Industria minera)	Brennan & Schwartz 1985

Cuadro 3 Resumen de opciones reales por categoría, industrias típicas e investigadores (cont)

<i>Categoría</i>	<i>Descripción</i>	<i>Sectores típicos</i>	<i>Investigadores</i>
Opciones de intercambio	Si los precios de mercado cambian la gerencia puede cambiar la mezcla de productos ofrecida. Si los precios de los insumos se modifican, puede alterarse la tecnología o los insumos aplicados.	Industrias en procesos diversificados u oferta de mezcla de productos.	Margrabe 1978 Kensinger 1987 Kulatilaka 1988, 1995 Aggarwal 1991 Kamrad & Ernst 1995 Kamrad & Ernst 1995 Kogut & Kulatilaka 1994
Opción de default	Si las ganancias no son las esperadas o necesarias para sostener el proyecto y el valor del mismo (los flujos de fondos) disminuyen por debajo de la deuda exigible se ingresa en estado de cesación de pagos.	Todas las firmas apalancadas (con deuda)	Black & Scholes 1973 Mason & Merton 1985
Financiamiento escalonado	Si la firma genera beneficios por debajo de lo esperado, el inversor de riesgo (venture capital) tiene la opción de salida.	Emprendimientos de riesgo. Proyectos de crecimiento en mercados emergentes.	Trigeorgis 1993 Sahlman 1988 Willner 1995

la proyección obtenida será más realista, dado que estará incorporando las imperfecciones existentes en el mercado de activos y en el acceso a la información disponible con la que se tomarán las decisiones. Como ya se expuso, se incorporará la asimetría y curtosis en el análisis del comportamiento de las variables bajo estudio y de sus escenarios futuros, para ello se adoptará el enfoque de rejillas binomiales implícitas (Rubinstein, 1994). Dado que ya se ha justificado la necesidad de ajustar los modelos que consideran escenarios lognormales, con funciones binomiales de probabilidad, se incorpora la asimetría y curtosis empleando la *expansión de Edgeworth* (Rubinstein, 1998).

A través de la *expansión de Edgeworth* se transforma la densidad binomial estandarizada $b(x)$ en $f(x)$, la transformación opera multiplicando la densidad $b(x)$ por:

$$W(x) = 1 + 1/6 E (x^3 - 3x) + (1/24) (K - 3) (x^4 - 6x^2 + 3) + (1/72) E^2 (x^6 - 15x^4 + 45x^2 - 15)$$

Ec 1

Es importante mencionar a partir del análisis de la fórmula (1) que:

- a) si la asimetría es igual a cero, $E = 0$
- b) si la kurtosis es igual a tres, $K = 3$

entonces la fórmula es igual a 1 y $f(x)$ es igual a $b(x)$.

Esto implica que en la función binomial $b(x)$ los valores que corresponden a los cuatro momentos estocásticos (media, varianza, asimetría y curtosis) son:

$$E(x) = 0; E(x^2) = 1; E(x^3) = 0 \text{ y } E(x^4) = 3$$

Teniendo en cuenta que se parte de una distribución normal debemos tener presente que para determinar y proyectar el proceso estocástico del activo subyacente se emplea la función de probabilidad binomial $b(x)$. Así tendremos $n+1$ nodos finales y $j=0, 1, 2, 3, \dots, n-1, n$ las posiciones de la variable que ocupa cada nodo. Los puntos finales de la rejilla binomial estarán dados considerando que el número de puntos finales será igual al número de períodos (por ej, un proyecto con $n=4$ sus puntos finales ascenderán a 5 ya que se comienza a contar la cantidad de períodos desde 0 al ser considerado un período más).

Como ya se expuso, el problema de valuación se resolverá aplicando rejillas binomiales, entonces bajo un esquema binomial, el valor del subyacente estará dado por una sucesión de estados positivos o de ascenso (u) y negativos o de descenso (d) considerando su valor inicial (S_0). En un proyecto donde se desarrollen más de dos períodos se presentarán estados intermedios con más de una alternativa, más de una trayectoria, para arribar a los estados intermedios (estados recombinantes). A partir de esta situación se presenta una herramienta matemática que facilita la solución: el triángulo de Pascal. En el desarrollo del mismo debe tenerse en cuenta que: a) Los valores extremos son iguales a 1 y b) Los valores intermedios en cada columna se definen como la suma de los valores extremos de la columna precedente.

Los números del triángulo de Pascal coinciden con los números combinatorios. El número combinatorio C_m^n se encuentra en el triángulo de Pascal en la fila $n+1$, en el lugar $m+1$. A la fórmula de los números combinatorios, cantidad de recorridos posibles, se la define como:

$$C_m^n = \binom{n}{m} = \frac{n!}{m!(n-m)!} \tag{Ec 2}$$

En consecuencia el Triángulo de Pascal es:

Períodos	0	1	2	3	4	5
						1
					1	
				1	4	5
		1	3	6	10	
Rejilla Binomial	1	2	6	10		
		1	3	10		
			1	4	5	
				1		
						1
Estados finales		2	3	4	5	6
Estados recombinantes		2	4	8	16	32

A partir de esta herramienta se desarrollará el planteo del ejemplo considerando los estados de una rejilla binomial para incorporar en el proceso estocástico los momentos de de orden superior: asimetría y curtosis.

En cada posición el valor de la variable aleatoria x es:

$$\frac{2m - n}{\sqrt{n}} \tag{Ec 3}$$

La fórmula general correspondiente a cada elemento de la rejilla del triángulo de Pascal, relacionada con la función de probabilidad binomial $b(x)$ en cada nodo está representada por la siguiente expresión:

$$C_m^n = \frac{n!}{m!(n-m)!} [q^m (1-q)^{n-m}] \quad \text{Ec 4}$$

A partir del proceso de transformación aplicando la expansión de Edgeworth (ecuación 1), se obtiene para cada nodo del triángulo la nueva función $f(x) = W(x) b(x)$. Pero el resultado obtenido presenta una aproximación dado que la sumatoria de los mismos no arroja como resultado 1, $\sum f(x) \neq 1$, lo que requiere escalar las probabilidades para que sumen 1,

reemplazando $f(x)$ con el cociente $\frac{f(x)}{\sum f(x)}$.

A continuación se estiman los primeros momentos estocásticos, la media y varianza, incorporando a los mismos los momentos de orden superior.

Es necesario entonces establecer el Valor Esperado del subyacente, (V_j) , proyectando en cada nodo su valor teniendo en cuenta la tasa de crecimiento (μ) , las probabilidades obtenidas con la función corregida $f(x)$ y su desvío estándar (σ) . Las variables a tener en cuenta para proyectar el valor del proyecto (determinada aquí como la variable aleatoria) son: V = valor del proyecto al inicio, r_F = tasa libre de riesgo, d = rendimiento que genera el activo, μ = incremento esperado y σ = volatilidad.

Se deben entonces, obtener las probabilidades derivadas implícitas a ser aplicadas en las rejillas binomiales, estas se determinan por aplicación del método recursivo expuesto por Rubinstein (Rubinstein, 1994).

En la sección siguiente se desarrollara un ejemplo completo de valuación aplicando la herramienta propuesta, considerando probabilidades implícitas neutrales al riesgo y de acuerdo a lo formulado ajustando el desarrollo por los momentos estocásticos de orden superior.

6. Caso de aplicación de valuación de empresa de base tecnológica en el marco de spin-off

A partir del estudio de una empresa de base tecnológica (*spin-off*) compuesta por un grupo de profesionales-investigadores universitarios en conjunto con capital de riesgo privado, bajo las siguientes características, considerando la tipificación de *spin-off* del presente artículo: *Spin-off*, *Planificada*, *Académica*, *Intrapreneurial*, *Asigned Technology Based* y *Technology Asset Oriented Mode*.

El emprendimiento bajo análisis tiene por objeto desarrollar equipamiento de última generación para la elaboración de medicamentos en pequeña y mediana escala con estándares y normas de calidad internacional.

Las condiciones del emprendimiento presentan las siguientes características:

- a) Existen barreras de ingreso al negocio dado que existe un desarrollo muy específico del equipamiento a desarrollar y aplicar en el proceso productivo, actualmente el desarrollo se encuentra únicamente en poder del equipo público-privado que se encuentra desarrollando el proyecto. Dadas las condiciones particulares de este equipamiento presenta dificultades para ser duplicado en el corto plazo.
- b) Existen barreras de salida, dada la complejidad del proceso productivo y la magnitud de la inversión necesaria.

- c) No existe un mercado desarrollado que permita acceder a información imprescindible para constituir una cartera de inversiones replicante del riesgo del proyecto que permita efectuar la valuación de la inversión.

De acuerdo con los estudios de mercado realizados el equipamiento a desarrollar tendrá una vida útil de 3 años. Si el equipo de trabajo continua investigando e incorpora mejoras técnicas previstas en el programa de desarrollo podría ampliarse por otros 4 años más, lo que demandaría inversiones incrementales en el proceso productivo.

La participación inicial en el mercado se estima en un 15%. Si la demanda se sostiene en niveles constantes la proyección de ventas es de 266 equipos considerando un nivel anual de ventas de 38 equipos.

El precio de venta unitario es de \$ 18.750,00, los costos variables representan el 45% del precio de venta y los costos fijos para la primera etapa del proyecto, esto es los primeros 3 (tres) años representan el 11% del total del ingresos por ventas.

Tasa aplicable correspondiente al impuesto a las ganancias 35%.

De acuerdo a las condiciones del proyecto, es un spin-off universitario, se pactan derechos en beneficio de la institución universitaria del 15% de las ventas a partir de la segunda etapa, cuando se consolide el proyecto.

Los integrantes del proyecto deciden no endeudarse, no existe una estructura de capital apalancada, recibiendo financiamiento a través de programas específicos de incentivo al desarrollo de tecnología, microtecnología y biotecnología.

El flujo de fondos libres de la primera etapa del proyecto (esto es los 3 primeros años) asciende a \$ 135.375,00.

Se supone una volatilidad (σ) del 18% anual, establecida mediante herramientas estadísticas de simulación.

A efectos de determinar el comportamiento y herramientas a aplicar se define que los flujos de fondos no exponen a lo largo de la vida del proyecto una distribución normal.

Transcurridos los primeros 3 años el equipo enfrenta las siguientes decisiones estratégicas:

- a) Continuar con el proyecto, lo que requerirá inversiones adicionales que optimicen el equipo de producción de medicamentos, la inversión adicional requerida de acuerdo a la proyección previa es: \$ 164.587,50.
- b) La alternativa es evitar la inversión adicional establecida en el punto a), y vender los derechos de producción como licencia por un valor de \$ 430.000,00

Ante estos escenarios es posible establecer una relación directa entre los mismos y opciones reales dado que:

- 1°) La inversión adicional en Activos Fijos es equivalente a una opción de compra (*call option*).
- 2°) La venta es equivalente a una opción de venta (*put option*).
- 3°) La combinación de ambas situaciones se conoce como *straddle*.

El tipo de interés libre de riesgo r_F es: 4,50%. El rendimiento de mercado es r_M : 10%

Dado que estamos analizando un proyecto para el que no existen títulos equivalentes en el mercado de capitales que permitan establecer e identificar un riesgo similar o equivalente, ni activos a través de los cuales pueda replicar las condiciones identificadas en el proyecto bajo estudio, debemos estimar la tasa de actualización con un procedimiento específico, a partir de lo expuesto y suponiendo condiciones de no diversificación, la tasa sería (Pratt y Grabowski, 2008):

$$k = r_M + r_M \sigma$$

Y el valor actual del proyecto es:

PERIODO	0	1	2	3	
Flujo de Fondos Proyectado	\$ 135.375,00	\$ 135.375,00	\$ 135.375,00	\$ 135.375,00	
Tasa Ajustada por Riesgo	11,80%				
VAN Valor Proyectado	\$ 461.643,65	5	6	7	8
Valor Terminal T=4	\$ -89.103,61	\$ -29.212,50	\$ -29.212,50	\$ -29.212,50	\$ -29.212,50
VAN Valor Terminal	\$ -63.763,17				
VAN Proyectado + VAN Continuidad	\$ 397.880,48				
Valor Actual Costos Incrementales	\$ 239.058,47	\$ 78.375,00	\$ 78.375,00	\$ 78.375,00	\$ 78.375,00

El valor actual es \$ 397.880,48, y se compone de un valor actual proyectado de \$ 461.643,65 y un valor terminal actual de - \$ 63.763,17. Dada esta información y considerando que la alternativa de la licencia aportaría un valor de \$ 500.000,00 se desprende el beneficio de negociar la licencia del proyecto y no comprometer fondos adicionales en el proyecto.

El valor total del proyecto se ha estimado considerando que equivale a la suma del valor actual proyectado (primera etapa correspondiente a la inversión inicial) más el valor terminal (correspondiente a la segunda etapa sobre la cual es necesario ampliar el análisis para poder tomar una decisión estratégica). A efectos del estudio del proyecto la participación en el mercado se considera constante.

Este criterio de análisis no incorpora flexibilidad estratégica ante los escenarios alternativos que podrían presentarse en el futuro.

El proyecto se analizará aplicando el método binomial en opciones reales, incorporando a la ecuación los momentos de orden superior, esto es, a asimetría y curtosis, exponiendo en forma comparativa su impacto. Los valores de los momentos de orden superior con proceso estocástico normal son asimetría $E = 0$ y curtosis $K = 3$, a efectos de desarrollar el ejemplo se establece una asimetría de (E) de -0,29 y curtosis (K) de 3,6.

Esquema 1 Nodos intermedios y posiciones de las variables

Nodos Intermedios				
0	1	2	3	4
				1
			1	
		1		4
	1		3	
1		2		6
	1		3	
		1		4
			1	
				1

Posiciones variables x_j				
0	1	2	3	4
				0
			0	
		0		1
	0		1	
0		1		2
	1		2	
		2		3
			3	
				4

En el esquema 2, se asigna el valor de la variable x_j en cada nodo aplicando la siguiente fórmula: $\frac{2m - n}{\sqrt{n}}$, asignando una probabilidad de éxito (q) igual a 0,5 y se presentarán las probabilidades correspondientes a cada nodo empleando la función de densidad binomial $b(x)$.

Esquema 2 Valor de variable aleatoria x_j y Probabilidad Asociada a cada nodo

Variable Aleatoria x_j					Probabilidad Asociada $b(x)$				
0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
				-2					0,0625
			-1,732050808					0,125	
		-1,414213562		-1			0,25		0,25
	-1		-0,577350269		0	0,5		0,375	
		0		0			0,5		0,375
	1		0,577350269			0,5		0,375	
		1,414213562		1			0,25		0,25
			1,732050808					0,125	
				2					0,0625

La probabilidad asociada a cada nodo se obtiene aplicando la ecuación 4:

$$C_m^n = \frac{n!}{m!(n - m)!} [q^m (1 - q)^{n-m}]$$

A partir de esta parte del desarrollo se expondrán los resultados comparativamente de la expansión con y sin momentos de orden superior, incluyendo asimetría de $E = -0,29$ y curtosis de $K = 3,6$. Estos resultados se exponen en el esquema 4.

Al aplicar en la expansión una asimetría $E=0$ y una curtosis $K=3$ la transformación arroja resultados iguales a 1, esto implica que es neutral, en consecuencia $f(x) = b(x)$. Cuando los valores de la asimetría y curtosis son diferentes a 0 y 3 respectivamente los resultados obtenidos no son neutrales, ajustando los mismos a los momentos de orden superior.

A partir de los resultados obtenidos y expuestos en el esquema 4, se calculará la nueva función obtenida como resultado de la función de densidad normal $b(x)$ y la expansión de Edgeworth $W(x)$ (ecuación 1), $f(x) = b(x) \cdot W(x)$, estos resultados se resumen en el esquema 5.

Al observar los resultados de la función obtenida con asimetría $-0,29$ y curtosis $3,6$ se observa que las sumatorias de dichas probabilidades son diferentes a 1, por lo que deben ser ajustadas por un factor de ponderación que permita escalar las probabilidades de cada nodo permitiendo sumarizar las mismas en el valor 1. Esto se logra aplicando la fórmula $\frac{f(x)}{\sum f(x)}$; los

resultados se incluyen en el esquema 6.

A partir de estos resultados deben obtenerse los parametros para estandarizar y corregir la media, varianza y desvío. Los resultados se exponen en el esquema 7 y las fórmulas a aplicar para dichos parámetros son:

- a) media, $M = \sum f(x_m) x_m$
- b) varianza, $\sigma^2 = \sum f(x_m) (x_m - M)^2$

Esquema 4 Desarrollo de la expansión con E=0 y K=3 y Expansión con E=-0,29 y K=3,60

CUADRO: EXPANSION W(x) CON E=0; K=3

E= 0
k= 3

Expansión de Edgeworth W(x) con E=0 y K=3				
0	1	2	3	4
				1
			1	
		1		1
	1		1	
1		1		1
	1		1	
		1		1
			1	
				1

CUADRO: EXPANSION W(x) CON E= -0,29; K=3,6

E= -0,29
k = 3,6

Expansión de Edgeworth W(x) con E= -0,29 y K=3,6				
0	1	2	3	4
				1,057
			1,057	
		1,057		1,065
	1,057		1,065	
1,057		1,065		0,765
	1,065		0,765	
		0,765		0,768
			0,768	
				3,684

Esquema 5 Producto entre función binomial b(x) y transformación de Edgeworth W(x)

Expansión de Edgeworth W(x) con E=0 y K=3				
0	1	2	3	4
				0,0625
			0,125	
		0,25		0,25
	0,5		0,375	
0		0,5		0,375
	0,5		0,375	
		0,25		0,25
			0,125	
				0,0625
Σ	1	1	1	1

Expansión de Edgeworth W(x) con E= -0,29 y K=3,6				
0	1	2	3	4
				0,066092448
			0,1321849	
		0,26436979		0,266338889
	0,52873958		0,39950833	
0		0,53267778		0,287056771
	0,53267778		0,28705677	
		0,19137118		0,191966667
			0,09598333	
				0,230260503
Σ	1,06141736	0,98841875	0,91473333	1,041715278

Esquema 6 Probabilidades corregidas a efectos de obtener sumatorias iguales a 1

Expansión de Edgeworth W(x) con E=0 y K=3				
0	1	2	3	4
				0,0625
			0,125	
		0,25	0,25	
	0,5		0,375	
0		0,5		0,375
	0,5		0,375	
		0,25	0,25	
			0,125	
				0,0625
Σ	1	1	1	1

Expansión de Edgeworth W(x) con E= -0,29 y K=3,6				
0	1	2	3	4
				0,063445789
			0,14450648	
		0,2674674		0,255673402
	0,49814484		0,43674841	
0		0,53891914		0,27556164
	0,50185516		0,3138147	
		0,19361347		0,1842794
			0,1049304	
				0,221039768
Σ	1	1	1	1

Esquema 7 Parámetros para la estandarización de la media, varianza y desvío.

Media = S jf(xj) * xj				
0	1	2	3	4
				0
			0	
		0		
	0			
Varianza				
0	1	2	3	4
				1
			1	
		1		
	1			
Desvío = Raíz de la Varianza				
0	1	2	3	4
				1
			1	
		1		
	1			

Media = S jf(xj) * xj				
0	1	2	3	4
				0,243793956
			-0,1395236	
		-0,10444523		
	0,00371032			
Varianza				
0	1	2	3	4
				1,518459538
			0,97903151	
		0,91125292		
	0,99998623			
Desvío = Raíz de la Varianza				
0	1	2	3	4
				1,232257903
			0,98946021	
		0,95459569		
	0,99999			

Una vez obtenidos los parámetros se aplica la siguiente ecuación para estandarizar las variables y reemplazar las variables aleatorias x_m , los resultados se exponen en el esquema 8:

$$x_j = \frac{x_m - M}{V}$$

Ec 5

Esquema 8 Variables estandarizadas

Variable xj estandarizada				
0	1	2	3	4
				-2
			-1,732050808	
		-1,414213562		-1
	-1		-0,577350269	
		0		0
	1		0,577350269	
		1,414213562		1
			1,732050808	
				2

Variable xj estandarizada E= -0,29, K=3,6				
0	1	2	3	4
				-1,82088015
			-1,6094909	
		-1,37206605		-1,00936172
	-1,0037241		-0,44249043	
		0,10941306		-0,19784329
	0,9963034		0,72451005	
		1,59089216		0,613675142
			1,89151052	
				1,425193574

A efectos de proyectar el valor del proyecto de inversión bajo análisis es necesario estimar el comportamiento de su proceso estocástico como activo subyacente, lo cual implica estimar la tasa de crecimiento (μ) lo que permitirá establecer los valores de cada nodo ajustados por dicha tasa. La tasa de crecimiento se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$\mu = \log [r / d] - \log \left[\sum_j P_j e^{\sigma \sqrt{t} x_j} \right] / t \tag{Ec 6}$$

Los resultados de los valores de cada nodo ajustados se exponen en el esquema 9: en el presente esquema se expone la tasa de crecimiento con comportamiento normal y con asimetría y curtosis

Esquema 9

u Crecimiento con Comportamiento Normal				
0	1	2	3	4
				0,012118387
			0,012118387	
		0,012118387		
	0,012118387			
0,0000				

u Crecimiento con Asimetría y Curtosis				
0	1	2	3	4
				0,01213627
			0,01197856	
		0,01205845		
	0,01212138			
0,0000				

A continuación se está en condiciones de presentar el proceso estocástico del valor del proyecto, en el esquema 10 se presentan con asimetría igual a cero y curtosis igual a tres que equivale a una distribución normal y con asimetría igual a E= - 0,29 y curtosis K= 3,60. Para desarrollar el mencionado proceso estocástico se aplicará la siguiente ecuación:

$$V_m = V e^{\mu t + \sigma \sqrt{t} x_m} \tag{Ec 7}$$

Esquema 10

Valor del Proyecto en cada nodo E= 0, K=3				
0	1	2	3	4
				235.866,70
			278.982,32	
		329.979,34		338.074,68
	390.298,43		399.873,57	
\$ 461.643,65		472.969,09		484.572,38
	559.426,22		573.150,55	
		677.920,51		694.551,85
			821.513,55	
				995.521,59

Valor del Proyecto en cada nodo E=-0,29, K=3,6				
0	1	2	3	4
				251.595,21
			289.727,07	
		333.498,77		336.961,31
	390.038,05		416.869,85	
\$ 461.643,65		486.269,10		451.292,08
	559.055,78		599.807,52	
		709.021,03		604.415,21
			863.024,91	
				809.492,92

A partir de estos cálculos se deben valorar las opciones estratégicas contenidas en el proyecto, como se ha planteado el proyecto se presenta en el período 3 la necesidad de decidir entre efectivizar las inversiones incrementales que requiere o vender la licencia.

Para calcular el valor de la primera decisión, permanecer en el mercado realizando las inversiones adicionales, debe considerarse el valor de los costos incrementales (CI) en el momento de la decisión. El valor de estos costos es \$ 239.058,47 y el valor de la licencia (L) es \$ 500.000,00.

El valor terminal de la opción se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$V_m = \max [V_m - VA(CI); L] \quad \text{Ec 8}$$

A efectos de obtener la mencionada valuación se deben calcular las probabilidades implícitas aplicando la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{Q'_m}{m!(n-m)!} \quad \text{Ec 9}$$

La aplicación de la mencionada ecuación se presenta en el esquema 11, para asimetría=0 y curtosis=3 y esquema 12 para asimetría= -0,29 y curtosis= 3,60:

Esquema 11 Probabilidades implícitas (Q_m) para una distribución con E=0 y K=3

0	1	2	3	4	nodos
1,000000000	0,500000000	0,250000000	0,125000000	0,062500000	0
	0,500000000	0,250000000	0,125000000	0,062500000	1
		0,250000000	0,125000000	0,062500000	2
			0,125000000	0,062500000	3
				0,062500000	4

Esquema 12 Probabilidades implícitas (Q_m) para una distribución con $E=-0,29$ y $K=3,60$

0	1	2	3	4	nodos
1,000000000	0,439051511	0,237209430	0,127364140	0,063445789	0
	0,560948489	0,201842081	0,109845291	0,06391835	1
		0,359106408	0,09199679	0,04592694	2
			0,267109618	0,046069850	3
				0,221039768	4

Con las probabilidades implícitas obtenidas, deben calcularse los coeficientes equivalentes ciertos: p y $(1-p)$, manteniendo el criterio comparativo, esto es, considerando y sin considerar los momentos superiores.

$$p = \frac{Q_t^+}{Q_{t-1}} \quad p = \frac{Q_t^-}{Q_{t-1}}$$

En el esquema 13 se presentan los coeficientes equivalentes ciertos para $E=0$ y $K=3$, y en el esquema 14 se presentan los coeficientes equivalentes ciertos para $E=-0,29$ y $K=3,60$

Esquema 13

0	1	2	3	4	nodos
	0,5	0,5	0,5	0,5	0
	0,5	0,5	0,5	0,5	0
		0,5	0,5	0,5	1
		0,5	0,5	0,5	1
			0,5	0,5	2
			0,5	0,5	2
				0,5	3
				0,5	3

Esquema 14

0	1	2	3	4	nodos
	0,439051511	0,540276993	0,536926966	0,498144842	0
	0,560948489	0,459723007	0,463073034	0,501855158	0
		0,359822844	0,544214022	0,581894318	1
		0,640177156	0,455785978	0,418105682	1
			0,256182535	0,499223288	2
			0,743817465	0,500776712	2
				0,172475444	3
				0,827524556	3

A continuación se está en condiciones de establecer los valores terminales y definir estratégicamente las decisiones a adoptar de acuerdo a los escenarios que puedan presentarse. Se obtendrán los valores esperados y de la correspondiente opción real según las probabilidades implícitas y los coeficientes equivalentes ciertos obtenidos.

Valoración de la opción $E=0$ y $K=3$

0	1	2	3	4	nodos	QE	VE	Disc	Escenarios
463.671,75	449.546,15	456.965,59	477.998,74	500.000,00	0	6,25%	31.250,00	4,50%	vender
	520.480,99	483.510,00	477.998,74	500.000,00	1	25,00%	125.000,00	Ve x disc	vender
		605.365,23	533.531,13	500.000,00	2	37,50%	187.500,00	463.671,75	vender
			732.926,67	616.176,85	3	25,00%	154.044,21		invertir
				917.146,59	4	6,25%	57.321,66		invertir
VOR	\$65.791,28					100,00%	555.115,87		

Valoración de la opción $E=-0,29$ y $K=3,60$

0	1	2	3	4	nodos	Q (E)	VE	Disc	Escenarios
464.314,12	439.245,31	456.965,59	477.998,74	500.000,00	0	6,34%	31.722,89	4,50%	vender
	522.034,01	462.397,63	477.998,74	500.000,00	1	25,57%	127.836,70	Ve x disc	vender
		593.087,22	490.465,26	500.000,00	2	27,56%	137.780,82	464.314,12	vender
			665.132,43	526.040,21	3	18,43%	96.938,37		invertir
				731.117,92	4	22,10%	161.606,14		invertir
VOR	\$ 66.433,64					100,00%	555.884,93		

La ecuación 8 se aplica en $t=4$ para obtener el valor al final del período bajo análisis.

Luego, para aplicar el procedimiento recursivo y valorizar el proyecto bajo análisis (activo subyacente) se aplica:

$$C_{m-1 t-1} = [p_{mt} c_{mt}^+ + (1 - p_{mt}) c_{mt}^-] e^{-r/t} \quad \text{Ec 10}$$

Estos últimos dos cuadros demuestran el proceso completo de valuación, en ambos casos se obtiene el valor esperado (VE) de cada nodo, que genera mediante el producto del valor terminal de cada nodo en el período 4 y su probabilidad de ocurrencia $Q(E)$ esperada. En este ejemplo la sumatoria $VE \times Q(E)$ es para cada caso: \$ 555.115,87 y \$ 555.884,93. A partir de estos valores, descontando por la tasa libre del riesgo del 4,5% y el coeficiente de actualización se obtienen los correspondientes Valores Esperados Descontados.

El valor de la opción real (VOR) se obtiene restando el valor actual del proyecto con opciones y el valor actual del proyecto sin opciones, esto es, considerando y sin considerar la flexibilidad estratégica en el proceso de toma de decisiones.

Finalmente aplicando la teoría de opciones reales y considerando adicionalmente normalidad el valor total es \$ 463.671,75 y la flexibilidad mencionada es \$ 65.791,28. Incorporando asimetría y curtosis se obtiene un valor de \$ 464.314,12 y la flexibilidad con los momentos estocásticos de orden superior arroja un valor de \$ 66.433,64.

7. Conclusiones

Se ha desarrollado el análisis de un proyecto de inversión relacionado con equipamiento para la elaboración de medicamentos en pequeña y mediana escala. El emprendimiento bajo estudio es una empresa de base tecnológica (EBT), *spin-off*, con las condiciones de participación público-privadas que caracterizan este tipo de desarrollos, en los cuales se pueden presentar escenarios favorables que permitirán un compromiso mayor en lo económico y personal o escenarios desfavorables que obligarán a considerar el abandono del proyecto, y el cambio en la condiciones de continuidad, decisión que evitará o minimizará posibles pérdidas.

Se trata de inversiones en proyectos que requieren el desarrollo de nuevas tecnologías, con productos de alta rotación. Es importante destacar que estamos frente a emprendimientos en los cuales debe considerarse la existencia de flexibilidad a lo largo de la vida de todo el proyecto. Se adopta el modelo binomial por sus características ya que permite anexar la flexibilidad estratégica que aporta el método de opciones reales.

El trabajo expone la valoración mediante opciones reales. Se ajusta la distribución binomial por aplicación de la transformación de Edgeworth, lo que permite incorporar los momentos estocásticos de orden superior: asimetría y curtosis, adicionándose así la flexibilidad estratégica.

La innovación es el factor impulsor de estos emprendimientos y se identifica como su principal valor el conocimiento que poseen y aplican sus participantes, activo intangible, que genera fuertes restricciones para su valuación con herramientas o métodos tradicionales.

Para valuar proyectos bajo las condiciones expuestas debería tenerse en cuenta: a) Aplicar el enfoque MAD (*Marketed Asset Disclaimer*) para estimar la volatilidad del valor teórico del proyecto calculado mediante el enfoque de descuento de flujos de fondos. A partir de la estimación debe tenerse en cuenta que es necesario corregir la función binomial $b(x)$ incorporando la transformación de Edgeworth $W(x)$. A través de esta transformación se incorporan los momentos estocásticos de orden superior. Y c) se obtienen las probabilidades implícitas y los coeficientes equivalentes ciertos en cada uno de los nodos, que permitirá emplear el método de valoración de opciones reales con flexibilidad estratégica.

Esta herramienta complementa los métodos tradicionales de valuación (mediante flujos de fondos descontados), en el caso de proyectos de innovación, donde el analista carece de referencias de datos históricos, precios de mercado de activos comparables por riesgo y condiciones y el valor principal del mismo es intangible (se trata de *spin-off*, donde la presencia de instituciones universitarias aportan conocimiento).

REFERENCIAS

- Beraza Garmendia, J. M., & Rodríguez Castellanos, A. (2012). Tipología de las spin-offs en un contexto universitario: una propuesta proposal. *Cuadernos de Gestión - Volumen 12 - N° 1*, 39-57.
- Berzal, C. M. (2004). Valoración de empresas tecnológicas mediante opciones reales. *IE Working paper*, 38.
- Black, F., & Myron, S. (May-Jun 1973). The Pricing of Options Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, 637-654.
- Black, F., & Scholes, M. (1973). The pricing of option and corporate liabilities. *Journal of Political Economy* - 81, 637-654.
- Cox, J. c., Ross, S. A., & Rubinstein, M. (1979). Option Pricing: A simplified Approach. *Journal of Financial Economics* 7, 229-263.
- Cox, J. C., Ross, S. A., & Rubinstein, M. (1979). Option pricing: A simplified approach. *Journal of Financial Economics* - 7, 229-263.

- Cox, J., & Ross, R. S. (1976). The valuation of options for alternative stochastic processes. *Journal of Financial Economics*, 145-166.
- Leslie, K. J., & Michaels, M. (1997). The Real Power of Real Options. *Mckinsey Quarterly* , Numero 3; 4-22.
- Lopez Dumrauf, G. (2006). *Cálculo financiero aplicado (Un enfoque profesional)*. Buenos Aires: La Ley.
- Milanesi, G. (2011). *Opciones Reales Teoría y Casos Prácticos*. Bahía Blanca: Induvio Editora.
- Pratt y Grabowski, S. R. (2008). *Cost of Capital: Applications and Examples*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Rubinstein, M. (1998). Edgeworth Binomial Trees. *Journal of Derivatives* , 1-13.
- Rubinstein, M. (1994). Implied Binomial Trees. *Journal of Finance* , 771-818.