

Siguen vigentes algunos tópicos específicos en la viabilidad de los proyectos de inversión **Tapia, Gustavo N.**

I. Los proyectos como opciones reales

Existe una variada y nutrida bibliografía sobre las limitaciones de la aplicación del criterio VAN —valor actual neto— y sobre las ventajas de las metodologías basadas en opciones reales.

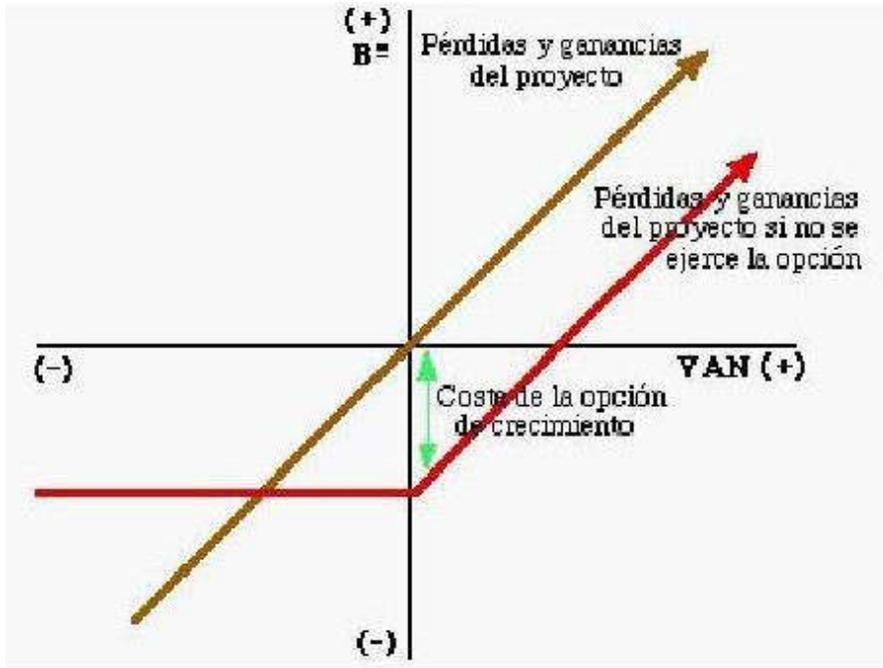
Entre las críticas más usuales del VAN se dice que:

- * No valora la flexibilidad operativa del proyecto.
- * Supone constante y conocida la tasa de descuento, lo que implica la consideración de un riesgo constante.
- * No tiene en cuenta todos los escenarios posibles.

Por lo que el VAN sería casi ideal cuando el proyecto de inversión no admite demora o flexibilidad. En tanto que el ROA —resultado operativo sobre activos—, podría ser de mayor utilidad si el proyecto está próximo a su umbral de rentabilidad y admite cierta flexibilidad, debido a que frente cierto nivel de incertidumbre habría respuesta por parte de los decisores que cuentan con nueva información durante su marcha.

Frente a la alternativa de inversión de una planta industrial de gran tamaño, que implicará un costo de producción sensiblemente menor o la inversión de varias plantas medianas con mayor costo unitario de producto, si la comparación se efectúa sin existencia de flexibilidad, la decisión más conveniente será la inversión en la planta más grande. Sin embargo, podría considerarse especialmente que las plantas medianas estén localizadas en distintas geografías y con un volumen de producción adaptado a la demanda de cada zona. En este caso la conducción directiva, podría decidir más rápidamente o más lentamente sobre la construcción de plantas más pequeñas según el comportamiento de la demanda, frente a la mayor rigidez que tendría una planta de mayor tamaño que podría sufrir un exceso de capacidad durante un tiempo prolongado. Adicionalmente, frente a la posibilidad de caída de la producción, el cierre de plantas medianas tendría un efecto menor ya que podría continuar operando el resto de plantas medianas. En el caso de una planta mayor el grado de rigidez no facilita esta decisión, aún cuando haya diferentes modalidades de producción modular.

En estos casos, el VAN total será igual al VAN básico más el Valor Actual de las opciones implícitas.



Opción exclusiva versus opción compartida

Si la competencia es mínima, en el caso de opción exclusiva, las empresas dominantes son capaces de obtener para sí todo el valor de la opción, ya que no hay peligro de que se adelante la competencia y por lo tanto habrá que retener las opciones hasta la fecha de vencimiento. Si las opciones son compartidas existe el peligro de que se anticipe la competencia, pero las empresas dominantes tienen mayores posibilidades de obtener para sí todo el valor de las opciones que ejercen. En este caso hay una tendencia a retener las opciones hasta que las ejerza un competidor más débil.

Si la competencia es máxima y la opción es exclusiva, no existirá el riesgo de apropiación por parte de los competidores, aunque posiblemente la actuación de éstos minará el valor de las opciones. La tendencia será la de ejercer pronto las opciones a fin de evitar un descenso en su valor. Si las opciones son compartidas, en este caso hay escasa probabilidad de lograr todo el valor de oportunidad de una inversión. El ejercicio rápido de las opciones puede obedecer a razones defensivas o para adelantarse a la competencia.

En la filosofía de opciones reales, el valor de las opciones se involucra en el diseño y la gestión de la construcción de inversiones estratégicas como son los proyectos de inversión. Se retroalimenta con nuevos rediseños para aprovechar el valor de las opciones.

Los derechos contingentes para aprovechar mejor el momento de ejercicio de la opción suelen resultar fundamentales en la evaluación del riesgo de los negocios y del curso de la inversión proyectada. También como contrapartida, esta nueva valoración se alinea e impacta en el mercado financiero.

Adicionalmente, existe un valor potencial en descomponer los grandes proyectos en sub-proyectos básicos cuando nos encontramos en ambientes de gran incertidumbre.

El análisis del ROA — Opciones se centra en el riesgo total del proyecto y puede llevar a recomendar decisiones diferentes a las aconsejadas por el conocimiento económico tradicional. Algunas decisiones importantes aplicando este criterio son del siguiente tipo:

- * Establecer la secuencia de etapas por las que se puede ampliar o contraer la capacidad operativa de un negocio.
- * Determinar la preferencia de adquirir un producto en lugar de fabricarlo, frente a los costos de producción totales.
- * Planificar la dotación de recursos humanos con equilibrio del personal contratado y horas de trabajo.
- * Comparar alquileres, leasing, compra, uso, con sus restricciones y limitaciones.

* Considerar cuándo detener las operaciones de un activo determinado y cuándo volver a reactivarlas y cuándo abandonar o renunciar a la propiedad de un activo, proyecto o negocio.

* Conocer la máxima inversión a realizar en un proyecto de investigación.

* Estimar el precio adecuado para adquirir o vender patentes tecnológicas u otros tipos de licencias, y de marcas.

* En el caso de gobiernos, diseñar políticas e incentivos que no causen comportamientos económicamente inadecuados de los negocios.

* Calcular el costo de la información necesaria para operar en un mercado desconocido.

Los tipos de opciones reales para emplear en los casos mencionados precedentemente podrán ser: de diferimiento, aprendizaje, de crecimiento, de desinversión y de abandono.

* Diferir / Aprender

- Opción de diferir (defer)

- Opción de aprendizaje (learn)

* Inversión / Crecimiento

- Opción de ampliar (scale up)

- Opción de intercambio (switch up)

- Opción de ampliación del alcance (scope up)

* Desinversión /Reducción

- Opción de reducir (scale down)

- Opción de intercambio (switch down)

- Opción de reducción del alcance (scope down)

* Opción de abandono

- Opción de cierre temporal

- Opción de cierre definitivo

Sintetizando, la metodología de opciones reales, en términos generales, es la aplicación de las técnicas de valuación de opciones financieras a la valuación de proyectos de inversión y estrategias de negocios cuando existe la flexibilidad de tomar, en el futuro, nuevas decisiones relacionadas con dichos proyectos y estrategias.

El concepto de opción real se discute cómo la flexibilidad en las decisiones de inversión que consolida el criterio del VAN estocástico, al introducir el VAN modificado (o aumentado) asociado a una opción real.

De igual manera que en las opciones financieras, el valor de una opción real aumenta con el tiempo de maduración y con la volatilidad subyacente. Esto implica que la flexibilidad de tomar nuevas decisiones en un futuro próximo o lejano, tiene un valor mayor cuando el horizonte de planeación aumenta o cuando hay mayor incertidumbre sobre los resultados esperados. En consecuencia, es imprescindible utilizar métodos más eficaces que permitan la flexibilidad en el manejo futuro de las inversiones. Mediante el criterio del valor actual neto un proyecto nuevo o una nueva estrategia se aceptan o se rechaza hoy si $VAN > 0$ o $VAN < 0$, respectivamente, y no existe otra posibilidad.

Una vez que un proyecto es aceptado con este criterio, rígido y estático, los planes de inversión no se modifican, es decir, la inversión es irreversible. Por otro lado, bajo el criterio del VAN no se puede valorar hoy la posibilidad (opcionalidad) de que, si el entorno de negocios y el ambiente económico son favorables dentro de un cierto número de años, un proyecto o estrategia pueda expandirse.

También en el método VAN subyace la idea de que un proyecto es factible si la empresa puede explotar una ventaja competitiva temporalmente, en ausencia de arbitraje (Lander y Pinches, 1998). De igual manera, el VAN presenta la desventaja de que algunas opciones posibles de inversión futura podrían quedar latentes, sin tomar en cuenta su valor estratégico a través del tiempo (MacDougall y Pike, 2003). Cuando se utilizan las técnicas tradicionales de valuación de proyectos antes mencionadas, estas son incapaces de administrar decisiones futuras en los planes de inversión y por ello, algunos autores consideran que el tiempo óptimo de

la adopción tecnológica puede ser representado mediante un modelo de irreversibilidad en la inversión, en donde el VAN resulta ser una solución sub-óptima (Doraszelsky, 2001).

El valor de una opción real aumenta con el tiempo de maduración y con la volatilidad subyacente. En la tabla siguiente, se presenta la correspondencia entre los parámetros de una opción financiera y los de una opción real. De esta manera, una empresa, a partir de un tiempo t , posee una oportunidad de invertir en un proyecto subyacente hasta el tiempo T , lo cual podría verse como una opción para adquirir un cierto valor presente de los flujos esperados, ST , a cambio una inversión, K , en la fecha de vencimiento. En este caso, ST tiene asociado un factor de incertidumbre, a saber, la volatilidad de los flujos de efectivo del proyecto. Por supuesto que la opción solamente será ejercida cuando $ST \geq K$, en cuyo caso el inversionista permanece en el proyecto subyacente, de lo contrario será conveniente abandonarlo. Esto lleva a inferir que mientras las opciones financieras tratan con activos financieros, las opciones reales tratan con activos reales como pueden ser: unidades de negocio, obras e infraestructura, nuevas tecnologías, etc., que son generados a través de proyectos de inversión (Venegas-Martínez, 2006).

Similitudes entre opciones financieras y reales

Parámetro	Opción real	Opción financiera
S_t	Valor presente de los flujos esperados en t	Subyacente
K	Costo de inversión en T	Precio de ejercicio
R	Tasa de interés libre de riesgo	Tasa libre de riesgo
σ	Volatilidad de los flujos de efectivo del proyecto	Volatilidad subyacente

Fuente: adaptado a partir de Venegas-Martínez, F. (2006).

Conclusiones parciales del punto

- i. Representan una herramienta flexible para la toma de decisiones.
- ii. Proporcionan modelos sencillos que arrojan valores razonables en oportunidades de inversión complejas.
- iii. Administran activamente el proyecto.
- iv. Permiten utilizar probabilidades de riesgo en la inversión.
- v. Introducen asimetrías dentro de la distribución en los valores de oportunidad de la inversión.
- vi. Muestran de forma explícita los factores que afectan e intervienen en la valuación.
- vii. Arrojan resultados consistentes en condiciones reales de operación.

II. Estimación de momentos óptimos en los proyectos

Existen dos situaciones donde la sensibilización del resultado de adelantar o postergar una decisión puede mostrar cambios significativos en la rentabilidad calculada de un proyecto, pudiendo, por ello, encontrarse una solución mejor si se modifica el momento de hacerlo.

El cálculo del tamaño óptimo de un proyecto busca determinar aquella solución que maximice el valor actual neto de las opciones en el análisis de un proyecto. Dos factores son determinantes en este caso: la relación precio-volumen, por el efecto de la elasticidad de la demanda, y la relación costo-volumen, por las economías (y des economías) de escala que pueden lograrse en el proceso productivo.

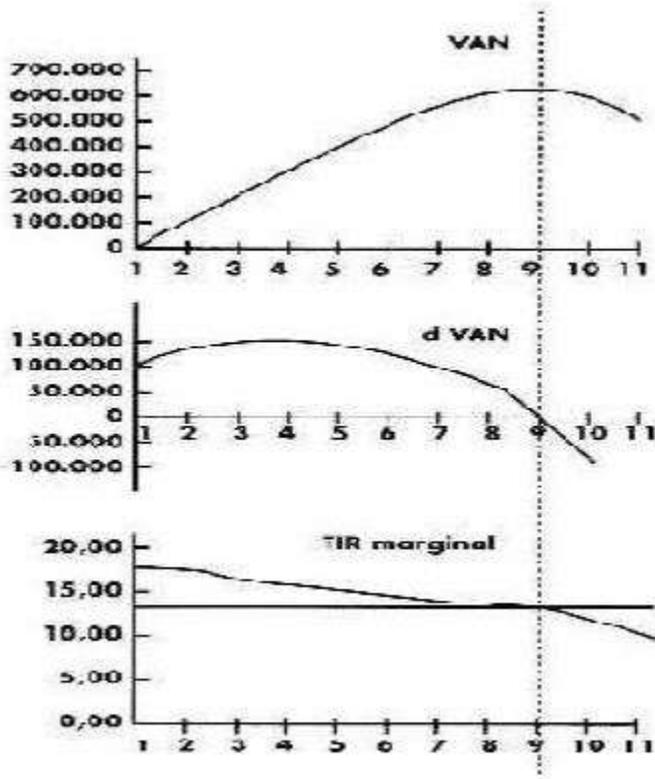
La relación entre capacidad y costos de producción afectará la selección de la tecnología y del proceso productivo. En algunos casos, por estrategias de mercado que buscan generar barreras a la entrada de nuevos competidores, se podrá optar por un diseño de planta con capacidad de producción superior a la requerida en el corto plazo. El conocimiento futuro de la demanda esperada podrá justificar económicamente una capacidad instalada ociosa inicialmente. Otra opción será realizar las inversiones por etapas, especialmente en proyectos donde se conoce el nivel de demanda actual pero son inciertos los niveles futuros, ya sea por la ágil reacción de los competidores en el mercado donde se inserta la empresa o por el continuo avance

tecnológico en el sector industrial al que pertenece.

El criterio que se emplea en este cálculo es el mismo que se sigue para evaluar el proyecto global y muy similar al empleado en la determinación de los momentos óptimos. Mediante el análisis de los flujos de caja de cada tamaño, se puede definir una tasa interna de retorno marginal del tamaño que corresponda a la tasa de descuento que hace nulo al flujo diferencial de los tamaños posibles de implementar. Mientras la tasa marginal sea superior a la tasa de costo de capital exigida para el proyecto, convendrá aumentar el tamaño. El nivel óptimo estará dado por el punto en el cual ambas tasas se igualan. Esta condición se cumple cuando el tamaño del proyecto se incrementa hasta que el beneficio marginal del último aumento sea igual a su costo marginal.

En el siguiente se pueden apreciar las relaciones entre la TIR marginal, el VAN incremental y el tamaño óptimo (T0) que maximiza al VAN. Si se determina la función de la curva, el tamaño óptimo se obtiene cuando la primera derivada es igual a cero y la segunda es menor que cero, para asegurar que el punto sea un máximo. Si se expresa el VAN en función del tamaño, VAN(T), se podría definir la siguiente igualdad:

$$VAN(T) = \sum_{t=1}^n \frac{FL(T)_t}{(1+i)^t} - I(T)$$



Para calcular el punto que hace igual a cero el VAN marginal, se deriva la función anterior de la siguiente forma:

$$\frac{dVAN(T)}{dT} = \sum_{t=1}^n \frac{\frac{dFL_t(T)}{dT}}{(1+i)^t} - \frac{dI(T)}{dT} = 0$$

Nassir Sapag Chaín, que ha estudiado con profundidad el tema ha preparado el siguiente ejemplo: "En una planta de áridos se desconoce la capacidad que debe instalarse para maximizar los beneficios, dado que a mayor cantidad procesada se obtienen mayores beneficios, pero un mayor costo de producción e inversión. Según el tamaño, la función de beneficios presentes netos se expresa según la siguiente ecuación, donde por cada metro cúbico adicional se debe invertir \$ 1:

$$VAN(T) = -20,714 \cdot T^2 + 2,733,3 \cdot T + 20,321$$

Donde T_i son las distintas capacidades. Derivando respecto el tamaño y su implicancia en la inversión, se obtiene:

$$\frac{dVAN(T)}{dT} = 2 \cdot -20,714 \cdot T + 2,733,3 = 0$$

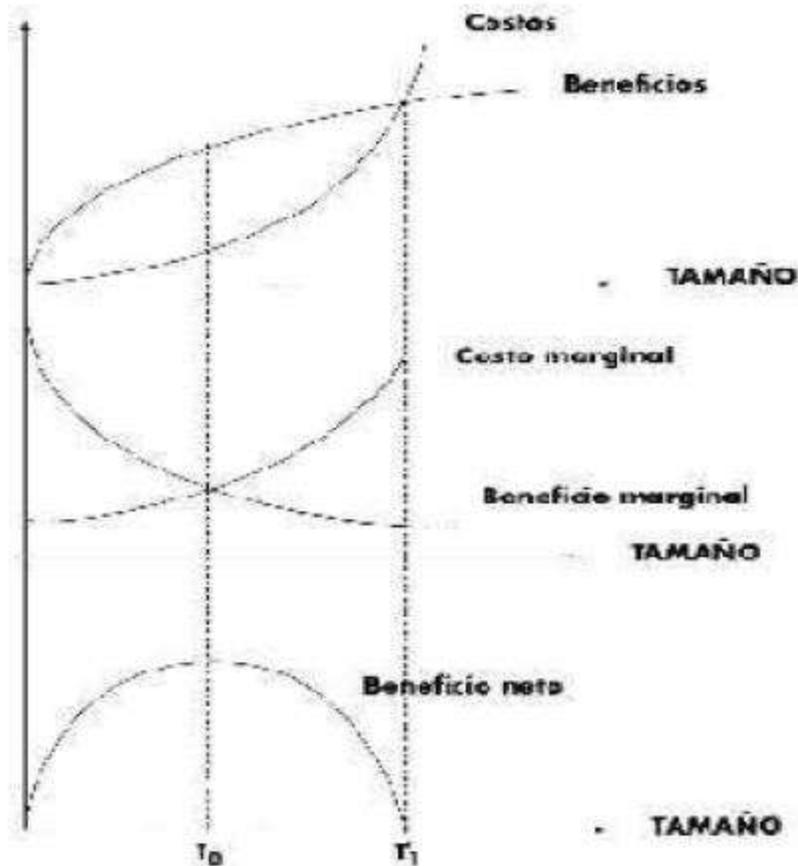
Despejando T se obtiene que el máximo beneficio neto se logre al invertir \$65,98, es decir se debe tener un tamaño para procesar 65,98 metros cúbicos de material, y así maximizar los beneficios del proyecto.

El mismo resultado se obtiene si se analiza el incremento de VAN que se logra con aumentos de tamaño. En T_0 el VAN se hace máximo, el VAN incremental es cero (el costo marginal es igual al ingreso marginal) y la TIR marginal es igual a la tasa de descuento exigida al proyecto. Aunque lo anterior puede facilitar la comprensión de algunas relaciones de variables y clarifica hacia dónde se debe tender en la búsqueda del tamaño óptimo, en la práctica este procedimiento pocas veces se emplea, ya que como el número de opciones posibles es limitado, resulta más simple calcular el valor actual neto de cada una de ellas y elegir el tamaño que tenga el mayor valor actual neto asociado. En los casos donde se encuentren variaciones continuas en el tamaño, como por ejemplo en un oleoducto, se pueden expresar tanto la inversión como los beneficios netos en función del tamaño y derivar la función.

En proyectos donde los costos vinculados al tamaño aumentan a tasas crecientes pero los beneficios lo hacen a tasas decrecientes, el tamaño óptimo está dado por el punto donde los costos marginales de crecer se igualan con sus beneficios marginales.

Como se observa, en T_0 se maximiza la diferencia entre beneficios y costos o, lo que es lo mismo, se obtiene el máximo beneficio neto. El hecho de que los beneficios crezcan a tasas marginalmente decrecientes, mientras que los costos se incrementan a tasas marginalmente crecientes, determina que en algún punto los beneficios se incrementen menos que los costos.

Desde el tamaño T_0 hacia T_1 , siempre los beneficios son mayores que los costos, haciéndose cero la diferencia en T_1 . Esto indica que hasta ese punto es posible obtener utilidades, pero siempre menores que las posibles de obtener en un tamaño T_0 . De esto se concluye que el tamaño óptimo del proyecto, desde una perspectiva exclusivamente económica, se logra donde los costos marginales se igualan con los beneficios marginales y, por otra parte, que es posible optar por un tamaño superior al del punto óptimo, basado en consideraciones estratégicas de negocio, por ejemplo, y obtener utilidades, aunque inferiores a las del tamaño T_0 , siempre que sea inferior al de T_1 .



Las relaciones expuestas se observan claramente, donde se muestran las relaciones entre costos, beneficios, costo marginal, beneficio marginal y beneficio neto. Este último toma el valor cero cuando los costos totales son iguales a los beneficios totales.

Determinación del tamaño óptimo en un proyecto con demanda creciente

Al analizar las variables determinantes del tamaño del proyecto, el comportamiento futuro de la cantidad demandada tiene un fuerte influjo en la solución óptima, tanto por su incidencia en la magnitud de los costos de operación e ingresos de venta del producto como por el impacto de posibles economías (o des economías) de escala insertas en una situación dinámica en el tiempo.

Al estar en presencia de un mercado creciente, las economías de escala toman más importancia, ya que se deberá optar por definir un tamaño inicial lo suficientemente grande para que pueda responder a futuro a ese crecimiento del mercado u otro más pequeño, pero que se vaya ampliando de acuerdo con las posibilidades de las escalas de producción. El primer caso obliga a trabajar con capacidad ociosa programada, lo que puede ser una opción atractiva para la empresa frente a la segunda, que hace necesario que, además de evaluar la conveniencia de implementar el proyecto por etapas, se deba definir cuándo se debe hacer la ampliación.

Generalmente, la cantidad demandada del producto que elabora la empresa crece a tasas diferentes de las posibles de implementar para enfrentar el aumento en las capacidades de planta, lo que obliga a elegir entre dos estrategias opcionales: satisfacer la demanda con excedentes o hacerlo deficitariamente. En el primer caso se estará optando por trabajar en niveles de producción inferiores a los permitidos por la capacidad de planta, mientras que, en el segundo, por dejar de percibir beneficios que ocasionaría la opción de satisfacer toda la demanda.

El siguiente ejemplo expone el procedimiento de análisis de las diferentes opciones de tamaño frente a una demanda creciente en el tiempo.

Suponga que la demanda esperada para cada uno de los próximos cinco años crece como se exhibe a continuación:

Año	1	2	3	4	5
Demanda	10.000	11.000	12.700	15.200	18.000

Para enfrentar la producción existen tres opciones tecnológicas, con los siguientes valores de adquisición y costos de fabricación:

Opción tecnológica	Capacidad producción	Costo fijo anual	Costo variable	Inversión
A	12.000 u/año	\$ 32.000	\$ 3,00	\$140.000
B	14.500 u/año	38.000	2,60	160.000
C	18.000 u/año	46.000	2,30	190.000

El precio de venta unitario es de \$ 10 para cualquier volumen de ventas y la vida útil de todas las plantas se estima en cinco años. No se ha supuesto la posibilidad de valores de rescate al término de su vida útil.

Si se opta por la alternativa tecnológica A, se deduce, de la información anterior, el flujo de beneficios netos de cada año que se muestra a continuación:

Flujo anual de la opción tecnológica A

Año	Producción	Ingresos	Costos fijos	Costos variables	Costo total	Flujo anual
1	10.000	100.000	32.000	30.000	62.000	38.000
2	11.000	110.000	32.000	33.000	65.000	45.000
3	12.000	120.000	32.000	36.000	68.000	52.000
4	12.000	120.000	32.000	36.000	68.000	52.000
5	12.000	120.000	32.000	36.000	68.000	52.000

Si se calcula el valor actual neto de este flujo a una tasa de actualización de un 10% anual, resulta \$38.608,52.

Optar por la tecnología B generaría el flujo de caja neto resultante de la proyección con lo cual se obtendría un valor actual neto de \$ 41.016,32.

Flujo anual de la opción tecnológica B

Año	Producción	Ingresos	Costos fijos	Costos variables	Costo total	Flujo anual
1	10.000	100.000	38.000	26.000	64.000	36.000
2	11.000	110.000	38.000	28.600	66.600	43.400
3	12.700	127.000	38.000	33.020	71.020	55.980
4	14.500	145.000	38.000	37.700	75.700	69.300
5	14.500	145.000	38.000	37.700	75.700	69.300

En el caso de la opción tecnológica C, con capacidad de producción de 18.000 unidades anuales, el flujo anual de caja resultante es:

Año	Producción	Ingresos	Costos fijos	Costos variables	Costo total	Flujo anual
1	10.000	100.000	46.000	23.000	69.000	31.000
2	11.000	110.000	46.000	25.300	71.300	38.700
3	12.700	127.000	46.000	29.210	75.210	51.790
4	15.200	152.000	46.000	34.960	79.960	71.040
5	18.000	180.000	46.000	41.400	87.400	92.600

El valor actual neto que se obtiene de este flujo de caja anual, con una inversión inicial de \$190.000 es, a

la misma tasa de actualización, de \$15.094,47.

De acuerdo exclusivamente con consideraciones de tipo económico como las empleadas en el cálculo anterior, la opción tecnológica más conveniente es la B, por tener el mayor valor actual neto comparativo.

Conclusiones parciales del punto

i. Estos procedimientos proporcionan, a quienes deban tomar la decisión, una base de información que debe ser complementada con otros antecedentes de carácter no económico como, por ejemplo, la estrategia de negocios de largo plazo de la empresa o el plan de desarrollo integrado de todas sus divisiones.

ii. Una posibilidad más para buscar el tamaño óptimo de un proyecto es optar por invertir en dos tecnologías: una pequeña para enfrentar el volumen de operación de los primeros años y otra mayor, que sustituiría a la primera, para adecuarse a los niveles de operación de los años futuros. Con una estrategia como ésta, la empresa minimiza las capacidades ociosas, aunque agrega el costo propio de un reemplazo que se hace necesario para adecuarse a nuevos niveles de producción, más que para enfrentar la obsolescencia de los equipos. Sin embargo, proporciona la oportunidad de que si el proyecto no muestra resultados satisfactorios, el abandono sea menos costoso que si se debiera hacer con una tecnología mayor.

III. Nuevas tecnologías

La valuación financiera de proyectos de inversión que involucran nuevas tecnologías requiere de cierto grado de flexibilidad en la implementación de estrategias futuras de negocio como son la expansión, contracción, posposición y abandono del proyecto; asimismo, incorporar la creciente incertidumbre que presentan las nuevas tecnologías a través de tasas de descuento que tengan una dinámica estocástica y que pueden ser simuladas con diversos modelos de tasas de interés que permiten hacer escenarios alternos para evaluar un proyecto de inversión.

En este trabajo se desarrolla y aplica la metodología de opciones reales para la adopción de una tecnología del tipo Wi-Fi; para ello se considera una opción real de expansión con el objeto de estimar los flujos de efectivo esperados, así como la rentabilidad del proyecto dentro de un intervalo de tiempo determinado en comparación con la técnica tradicional del valor actual neto (VAN). Los resultados de la valuación reflejan que desde el tercer periodo los flujos de efectivo con opciones reales son positivos, mientras que el VPN lo hace hasta el séptimo periodo, situación que incrementa la probabilidad de tener un VAN negativo que rechace el proyecto, a pesar de que éste tiene viabilidad financiera, si incorporamos el valor de la flexibilidad en el proyecto, el cual no es cuantificado por las técnicas tradicional como el VAN; por lo tanto, se debe complementar el análisis incluyendo una opción real.

El ciclo de vida de las nuevas tecnologías es un proceso recursivo que tiende a la mejora continua e innovación de manera permanente, por lo que resulta difícil su exacta ubicación en el tiempo—espacio. Predecir en qué etapa del ciclo surge o desaparece una tecnología en cuestión resulta extremadamente difícil, ya que cada vez los ciclos tecnológicos tienden a acortarse debido a diversos factores como los rendimientos, la integración de nuevos competidores, entre otros. Por lo anterior, en la actualidad es indispensable contar con una proyección efectiva del capital de trabajo para la sobrevivencia de las corporaciones que dependen del desarrollo tecnológico. La adopción de una nueva tecnología requiere de una adecuada planeación en su fase de implementación, así como de proyecciones confiables de los posibles beneficios —tangibles e intangibles— que se puedan generar, así como de su viabilidad financiera.

Los métodos tradicionales de presupuesto de capital y evaluación de proyectos tienen por objeto determinar la viabilidad financiera de un proyecto al determinar la riqueza adicional que genera el proyecto o su rentabilidad, así como el tiempo de recuperación de la inversión. Sin embargo, la flexibilidad que pueden tener las nuevas tecnologías y los altos costos de entrada no necesariamente se ven reflejados en las técnicas tradicionales, por lo que pueden resultar inoperantes dentro del campo de la investigación y el desarrollo porque dichos métodos sólo pueden ser utilizados para la evaluación de proyectos de corto plazo en mercados con una relativa certidumbre en el largo plazo y que, además, no presente posibilidades de abandono, expansión parcial y cambios en el proyecto que lo hacen más riesgoso para determinar los flujos de efectivo que se tendrán a lo largo del tiempo, así como la tasa de interés más adecuada para descontar dichos flujos de efectivo.

La cuantificación del riesgo involucrado en la adopción de una nueva tecnología se expresa, generalmente, en una función de la probabilidad, la cual se encuentra inmersa dentro del campo de las expectativas financieras y de negocios. Moenart y Souder (1990) mencionan que dentro de la innovación tecnológica es posible distinguir cuatro fuentes de incertidumbre, a saber:

- * Incertidumbre de los consumidores: se refiere a los requerimientos no identificados de los usuarios.
- * Incertidumbre tecnológica: se refiere a la falta de conocimientos acerca de soluciones tecnológicas.
- * Incertidumbre competitiva: es la ausencia de información acerca de los competidores.
- * Incertidumbre de los recursos: se relaciona con la ausencia de información necesaria para crear innovaciones.

La incertidumbre involucrada en los proyectos de nuevas tecnologías generalmente es mayor en la fase inicial, cuando los costos son relativamente bajos, la cual a su vez presenta un nivel de riesgo asociado con cierto nivel de madurez de la tecnología y, consecuentemente, con el proceso de selección de ésta. Para una evaluación correcta y adecuada del riesgo en la adopción tecnológica, entre diversas alternativas, se deben identificar los siguientes factores:

- Las áreas de incertidumbre asociadas con dicha tecnología.
- El nivel de incertidumbre en cada alternativa.
- El número de enfoques potenciales para el manejo de la incertidumbre (a mayor número menor será el riesgo).
- El riesgo de aplicación de dicha tecnología en cuanto al tiempo de asimilación.
- Los riesgos posventa generados -en cuestión a la capacidad de servicio tecnológico-.
- El riesgo de abandono -incapacidad de resolver problemas de manera adecuada-.

En consecuencia, en el campo de la investigación y el desarrollo resulta imprescindible utilizar métodos de proyección que permitan cierta flexibilidad en el manejo futuro de las inversiones. Es por ello que en la valuación de proyectos con nuevas tecnologías es insuficiente considerar simplemente el descuento de los flujos de efectivo, pues se debe tener en cuenta las diferentes políticas estratégicas de inversión, así como el desarrollo de futuras oportunidades como la expansión de la inversión, la contracción de la producción, el abandono del proyecto, entre otras, las cuales a final de cuentas resultan ser meramente opciones dentro de la estrategia corporativa. La solución para incorporar dicha incertidumbre y flexibilidad en el proyecto de inversión se encuentra en el uso de las opciones reales, técnica que incorpora los conceptos de las opciones financieras para darle a las técnicas tradicionales la posibilidad de captar los elementos especiales que tienen los proyectos tecnológicos, mineros y petroleros que es donde más se han utilizado. Así, las opciones reales pueden ser complementarias a las técnicas tradicionales de evaluación de proyectos.

En el caso de nuevas tecnologías, la diferencia principal es que el activo que se está valuando es un activo real y no un activo financiero. Una de las características que debe presentar un proyecto de inversión para que se pueda aplicar esta teoría es que el proyecto se pueda realizar en cualquier momento del tiempo. Por lo tanto, la pregunta que se hace la empresa no sólo es si debe realizar la inversión o no, sino también cuándo realizarla y en qué escala. La regla de decisión que surge a partir de esta teoría es que la empresa debe invertir si el valor actual neto de la inversión es lo suficientemente grande como para compensar el valor de la opción. Las opciones financieras pueden usarse libre e independientemente, mientras que las opciones reales se utilizan para tomar decisiones estratégicas dentro de la empresa, donde la decisión de tomar una opción debe considerar a la empresa como un todo sistémico (Bachini 2007).

Las organizaciones, donde la actividad primordial es exclusivamente la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías, enfrentan problemas muy complejos dentro de la valuación de los proyectos de investigación e innovación tecnológica. Dichos proyectos de investigación y desarrollo se caracterizan por estar inmersos en horizontes de planeación de largo plazo con un alto grado de riesgo e incertidumbre, en donde el valor de la flexibilidad de valuación y factibilidad puede ser vital. Dentro de este marco, desde hace algún tiempo se han venido utilizando herramientas financieras que permiten establecer cierta flexibilidad en los planes de inversión mediante el uso de un horizonte más amplio que los métodos actuales. De esta forma,

las opciones reales permiten agregar cierto valor a la empresa a través de la amplificación de los bienes de capital o mitigando las pérdidas en los mercados de operación. Cuando se utilizan las técnicas de valuación de proyectos tecnológicos, éstas no incorporan el riesgo de mercado de la opción para su administración puesto que utiliza primordialmente una tasa libre de riesgo.

Lo anterior no sólo le permite sobrevivir a la organización, sino que también conlleva al desarrollo de ventajas competitivas —como la velocidad de desarrollo, el desarrollo de productos superiores, el desarrollo de productos sin sustitutos definidos, entre otras— debido a que la valuación de la factibilidad de implementación de la nueva tecnología permitiría saber a priori si ésta será redituable y el tiempo en que podría implementarse en un determinado mercado meta mediante la valuación de proyectos de inversión a corto, mediano y largo plazo.

La irreversibilidad y la indivisibilidad han sido el origen de muchas clases conocidas de fallas en los mercados. Las diferentes clases de irreversibilidad e indivisibilidad dentro del cambio estructural generan un proceso dinámico cuyos efectos son evidenciados solamente a través del tiempo con importantes consecuencias en términos de equilibrio y múltiples discontinuidades. La transición de las condiciones del no—equilibrio hacia el equilibrio puede ser obstaculizada o retrasada en forma indefinida debido a estos factores.

El término de irreversibilidad es familiar en la economía industrial, el cual puede ser definido como la dificultad de cambio de un comportamiento o elección dada. Lo anterior puede ser evaluado mediante el costo de oportunidad en un momento dado, $t + 1$, desde cualquier intento de compromiso de cambio de un comportamiento o elección dada en un tiempo t . Una gran variedad de fenómenos pueden ser catalogados como irreversibilidad, incluyendo los costos asociados entre los productores y los consumidores (switching costs), cuando el cambio de la mezcla de productos o factores de producción entran en juego dentro del paradigma actual, así como también la caída o hundimiento de dichos costos; es decir, la diferencia entre el valor de los activos en el mercado ex—ante y el precio de compra ex—post (Antonelli, 1999).

La indivisibilidad entre los factores de producción conlleva a una gran variedad de fenómenos dentro de las economías técnicas y pecuniarias a gran escala. La importancia de la indivisibilidad y la irreversibilidad se hace presente de una forma fehaciente cuando el análisis económico se focaliza en el rol de la información como un bien económico. La reputación, asimismo, es el resultado de la irreversibilidad y del impacto de la información.

Los costos de transacción son, de la misma manera, el resultado de una forma especial de indivisibilidad. Bajos niveles de aprendizaje pueden describir un caso especial de indivisibilidad. En alusión a lo anterior, la inapropiabilidad cobra importantes implicaciones dinámicas en términos de interdependencia entre los innovadores—usuarios—productores en los sistemas de innovación, así como en los distritos tecnológicos y zonas industriales que promueven la oportunidad de imitación y recombinación tecnológica, lo que da como resultado la obtención de eficiencias terminales mayores en términos de competitividad.

La competitividad y el estándar económico son edificados sobre estrictas asunciones acerca del alcance de las acciones económicas. Los agentes económicos son inducidos a actuar solamente cuando existen procedimientos tendientes a la optimización y a las acciones, las que en este caso resultan ser particular y estrictamente paramétricas; dichas acciones son el ajustamiento de los precios o las cantidades en función del precio. Una acción estructural, como un cambio intencional, es la incorporación de una nueva tecnología en la función de producción o de tendencia en la función de utilidad, lo cual descansa fuera del alcance de los estándares económicos actuales. Los gustos, las tendencias y la tecnología pueden cambiar estrictamente en respuesta de fuerzas endógenas y de la demanda. En estudios recientes sobre inversiones de capital se deja entrever la importancia de la irreversibilidad y las imperfecciones del mercado, y sobre todo las restricciones financieras en dichas inversiones representado éstas un punto fundamental dentro del estudio y desarrollo en el área de la valuación de activos financieros (Holt, 2003).

Por lo anteriormente expuesto, cuando el crecimiento económico es una vía o trayectoria de dependencia, la teoría utilizada en los estados estacionarios resulta ser un marco de referencia inadecuado e inoperante ante tales circunstancias. Los agentes son expuestos a cambios que afectan de manera sensible su comportamiento

y sus expectativas; el proceso dentro de las trayectorias de dependencia debería ser considerado como un proceso en el que los agentes no necesariamente tienen un total entendimiento o no poseen la claridad suficiente de la secuencia y el tiempo de duración de cada etapa a través del tiempo. El tiempo, entonces, pasa a ser una fuente de incertidumbre sobre las consecuencias de cada acción implementada o en vías de implementación. Cuando la trayectoria de dependencia es un trabajo, el tiempo resulta ser un factor irreversible: la secuencia de las etapas de crecimiento o desarrollo no pueden, por ninguna circunstancia, retroceder el tiempo y cambiar los perfiles y las intenciones de las acciones, así como tampoco el de sus respectivos efectos.

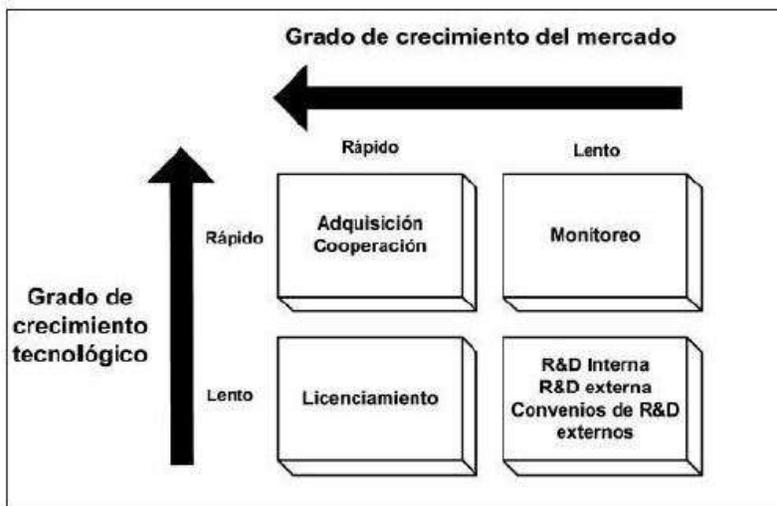
El tiempo resulta ser un asunto de vital importancia porque afecta en gran medida el proceso de selección; asimismo cabe señalar que la tendencia hacia las condiciones de equilibrio se ve dramáticamente influida por las condiciones y acciones dentro de los mercados, ya que el resultado de cualquier proceso de ajuste dentro de la dinámica de las fuerzas del mercado depende de las condiciones iniciales de éste y del comportamiento de los agentes involucrados en cualquier punto del tiempo. Cuando ocurre un crecimiento en las trayectorias de dependencia, los principios utilizados para el análisis dentro de una economía estacionaria resultan ser inoperantes dentro de un mercado que se desarrolla en un ambiente dinámico, donde actúan una gran variedad de agentes y fuerzas que propician un estado inicial de desequilibrio.

La decisión de realizar investigación y desarrollo o adquirir una nueva tecnología depende del grado del crecimiento del mercado y del progreso tecnológico. Al analizar la matriz se pueden encontrar tres situaciones distintas para la selección de alternativas:

- Progreso tecnológico lento y crecimiento del mercado lento/moderado. En esta situación la opción preferible es la I&D e innovaciones internas. La razón de ello es que si se obtienen resultados exitosos en la adopción, se obtendrá una ventaja temporal del producto o de los procesos de producción de la innovación.

- Progreso tecnológico rápido y crecimiento del mercado lento. En esta situación los esfuerzos en I &D y nuevas tecnologías resultan riesgosos debido a que pueden conducir al desarrollo de tecnologías no implementables o tecnologías para las que no existirá mercado porque no existe una necesidad a corto plazo para su adquisición tecnológica por parte de las organizaciones.

- Progreso tecnológico lento y crecimiento del mercado rápido. Para esta situación no hay tiempo suficiente para el desarrollo de I&D ni innovaciones internas. La estrategia apropiada en este caso en particular estriba en el licenciamiento de la tecnología por parte de la corporación.



Fuente: Abbetti. 1989. Criterios de selección de adquisición de tecnología.

Para el desarrollo de criterios adecuados que permitan la optimización en la selección y evaluación de alternativas dentro de la adopción de nuevas tecnologías hacia el interior de una organización se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El grado de ventaja disponible para la empresa después de la implantación, lo cual depende del grado de

autonomía con respecto a la utilización de la tecnología.

- El tiempo de retraso necesario para la incorporación de la tecnología en cuestión, como bienes de la organización.

- El costo de adquisición relativo de la tecnología.

- El riesgo relativo que representa la adquisición tecnológica en lo concerniente a su no incorporación al seno de la corporación u organización.

- Los posibles beneficios que se pudiese obtener de su implementación.

Conclusiones parciales del punto:

i. En el caso de las nuevas tecnologías la técnica de opciones reales puede (o no) reflejar flujos de efectivo positivos desde el diferentes períodos de interés para el análisis sin importar que estructura de tasas se utilice.

ii. La flexibilidad u opcionalidad de tomar en un futuro una nueva decisión de inversión posee un valor presente c ; es decir $VPN_{t+1} = VPN_t + c$, entonces, aunque el valor presente neto sea negativo $VPN_t < 0$, si $VPN_t + c > 0$, el proyecto tiene la viabilidad de extender o implementar una nueva estrategia.

Consideraciones finales

El análisis de las opciones reales es fundamental en las siguientes situaciones:

- Cuando hay decisiones de inversión contingentes. Otra clase de enfoques no pueden valorar correctamente este tipo de oportunidades.

- Cuando la incertidumbre es bastante extensa y se torna sensible para esperar más información, evitando arrepentirse de inversiones irreversibles.

- Cuando el valor parece estar capturado en posibilidades para futuras opciones de crecimiento, en vez de actuales flujos de efectivo.

- Cuando la incertidumbre es bastante extensa para tomar la flexibilidad en consideración. Sólo el enfoque de las opciones reales puede corregir el valor de las inversiones en flexibilidad.

- Cuando haya actualización de proyectos y correcciones de estrategias a medio curso.

Generalmente la oportunidad de invertir depende de más variables que el VAN o la TIR del proyecto. Kester (1984) considera que los cuatro factores más relevantes que influyen en la oportunidad de invertir son:

1. El tiempo durante el cual se puede decidir llevar a cabo un proyecto de inversión.

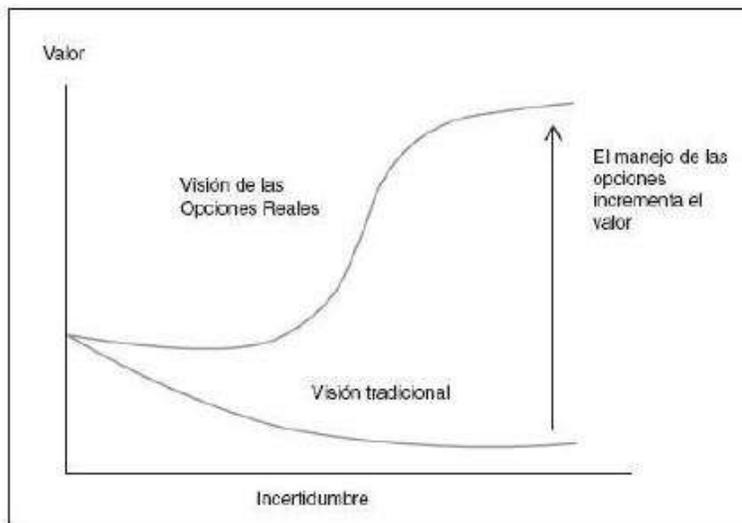
2. El riesgo del proyecto.

3. Los tipos de interés.

4. El grado de exclusividad del derecho de la empresa a aceptar un proyecto de inversión. Las opciones exclusivas son lógicamente más valiosas y resultan de patentes, del conocimiento privativo del mercado por parte de la empresa, o de una tecnología que la competencia no puede imitar. Las oportunidades compartidas tienen, por lo general, un valor inferior.

En la visión tradicional, un alto nivel de incertidumbre conduce a reducir el valor de los activos. El enfoque de las opciones reales muestra que un incremento de la incertidumbre puede conducir a un alto valor de los activos, si los directivos identifican y usan sus opciones para responder flexiblemente a los eventos que se desarrollan.

El siguiente gráfico ilustra uno de los más importantes cambios en el enfoque de las opciones reales: la incertidumbre crea oportunidades. Repensando las inversiones estratégicas, los gerentes deben intentar ver los mercados en términos del origen, dirección y evolución de la incertidumbre, determinando así el grado de exposición de sus inversiones y, entonces, responder para posicionarlas y así obtener un mejor provecho de ellas.



Fuente: Hernández (2002)

Valor e incertidumbre

La realidad de la globalización e internacionalización de los mercados, entre ellos el financiero, ha alterado la perspectiva desde la cual se visualizan las finanzas y el mundo. Los mercados se han ido sofisticando, se han creado nuevos instrumentos y enfoques que, con la evolución del conocimiento y con la aparición de las nuevas teorías, han traído consigo numerosos y sustanciales avances en el mundo de las finanzas. Todo ello obliga a que los directivos financieros tengan que modificar su forma de actuar y operar para asegurar la toma de decisiones financieras sólidas y que respondan a los requerimientos de las firmas.

Son muchas las opciones que se pueden tener a lo largo de la vida de un proyecto (no todo tiene que realizarse como se planeó inicialmente) y por tanto, un proyecto que valore y considere estas opciones valdría más que aquel que no lo haga. Así mismo, la influencia de los intangibles en la toma de una decisión está creciendo considerablemente pero en muchas situaciones no son valorados cuantitativamente.

Fuentes bibliográficas

- Abetti, A. (1989). "Linking technology and business strategy", The Presidents Association, Frank J. Fabozzi. Greenwich, Advances in futures and options research 4, CT: JAI Press.
- Abel A. "Optimal Investment under Uncertainty". American Economic Review. 1983; 73:228-33.
- Bachini, D., J. Fronti y E. Márquez (2007). "Valuación de un proyecto de inversión utilizando opciones reales borrosas. Facultad de Ciencias Económicas"—Universidad de Buenos Aires: Centro de Investigación en Métodos Cuantitativos Aplicados a la gestión y la economía.
- Baillie R., Han Y., Myers R., Song R. J., "Long Memory and FIGARCH Models for Daily and High Frequency Commodity Prices". Working paper, Queen Mary University of London; 2007.
- Barone-Adesi G., Whaley R. E., "Efficient Analytic Approximation of American Option Values". Journal of Finance. 1987; 42:301-20.
- Black F., "Scholes M. The Pricing of Options and Corporate Liabilities". Journal of Political Economy. 1973; 81:637-54.
- Chepakovich A. A., "Realistic Stock Valuation Model". McGill University; 2000. MBA Thesis.
- Chiang A., "Elements of Dynamic Optimization". Nueva York: Waveland Press; 2000.
- Damodaran A., "Corporate Finance". 2a. Nueva Jersey: John Wiley & Sons; 2001.
- Dixit A.K., Pindyck R.S., "Investment under Uncertainty". Nueva Jersey: Princeton University Press; 1994.
- Dixit AK, Pindyck R.S., "The Options Approach to Capital Investment". Harvard Business Review. 1995; 105-15. May-June.
- Dixit AK, Pindyck R.S., "Expandability, Reversibility, and Optimal Capacity Choice". En: Brennan M.J.,

Trigeorgis L., editors. *Project Flexibility, Agency, and Competition, New Developments in the Theory and Applications of Real Options*. Oxford: Oxford University Press; 2000. 50-70.

- Fischhoff B., Phillips LD, Lichtenstein S. "Calibration of Probabilities: The State of the Art to 1980". En: Kahneman D., Slovic P., Tversky A., editors. *Judgement under Uncertainty: Heuristics and Biases*. Cambridge: Cambridge University Press; 1982. 306-34.

- Fisher I., "The Theory of Interest: As determined by impatience to spend income and opportunity to invest it". Nueva York: Kelley and Millman; 1930.

- Girsanov IV. "On Transforming a Certain Class of Stochastic Processes by Absolutely Continuous Substitution of Measures". *Journal of Theory of Probability and its Applications*. 1960; 5:285-301.

- Gordon M. J., "Divends, Earnings and Stock Prices. *Review of Economics and Statistics*". 1959; 41:99-105.

- Graham B., David D. "Security Analysis". 5a. Nueva York: McGraw-Hill; 2004.

- Henderson V., Hobson D.G., "Real Options with Constant Relative Risk Aversion". *Journal of Economic Dynamics and Control*. 2002; 27:329-55.

- Hirshleifer J., "Risk, the Discount Rate, and Investment Decisions". *American Economic Review*. 1961; 51:112-20.

- Hubbard D., "How to Measure Anything: Finding the Value of "Intangibles" in Business". New Jersey: John Wiley & Sons; 2010.

- Hull J., "Options, Futures and other Derivatives with Derivagem" CD. 8a. New York: Prentice Hall; 2008.

- Ingersoll J.E., "The theory of Financial Decision Making". Nueva Jersey: Rowman & Littlefield; 1987.

- Jiang G.J., "Nonparametric Modeling of U.S. Interest Rate Term Structure Dynamics and Implications on the Prices of Derivative Securities". *Journal of Financial and Quantitative Analysis*. 1998; 33:465-97.

- Kasman A., Torun E., "Long Memory in the Turkish Stock Market Return and Volatility". *Central Bank Review*. Central Bank of Turkey. 2007; 2:13-27.

- Kester, W.C. (1986). "An Options Approach to Corporate Finance". En E. Altman (Ed.), *Handbook of Corporate Finance* (pp. 1-35). New York, NY: John Wiley.

- Mascareñas, J. (1999). "Innovación Financiera: Aplicaciones para la Gestión Empresarial". Madrid, España: McGraw-Hill.

- Merton R.C., "Theory of Rational Option Pricing. *Bell Journal of Economics and Management Science*". 1973; 4:141-85.

- Merton RC. "Options Pricing when Underlying Stock Returns are Discontinuous". *Journal of Financial Economics*. 1976; 3:125-44.

- Mikosch T., "Elementary Stochastic Calculus with Finance in View. New Jersey: World Scientific Publishing"; 1998.

- Reiss R, Thomas M., "Statistical Analysis of Extreme Values with applications to Insurance, Finance, Hydrology and other fields". 3a. Siegen: Birkhäuser; 2007.

- Sapag Chaín Nassir (2001). "Evaluación de proyectos de inversión en la empresa". Editorial Pearso. Santiago de Chile.

- Trigeorgis L., "Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation". Cambridge: The MIT Press; 1996.

- Vasicek O., "An Equilibrium Characterization of the Term Structure. *Journal of Financial Economics*". 1977; 5:177-88.

- Vélez, I., "Decisiones de inversión: una aproximación al análisis de alternativas". Centro Editorial Javeriano, Santafé de Bogotá, 1998.

- Venegas-Martínez F., "Riesgos financieros y económicos, productos derivados y decisiones económicas bajo incertidumbre". 2a. México: Cengage Learning; 2008.

- Villalón J., "Matemáticas de las decisiones financieras y sus aplicaciones". Tomo I. Madrid: Centro de Estudios Ramón Areces; 1991.

- White, J.A., Agee, H., Marvin, C., Kenneth, E., "Técnicas de análisis económico en ingeniería". México: Limusa; 1981.

© Thomson Reuters