

**EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS DE INNOVACIÓN BASADA EN OPCIONES
REALES**

ALEJANDRO KEPES BUSTAMANTE

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Maestro en
Administración**

Asesor: SANTIAGO QUINTERO RAMÍREZ

AI, MSc Gestión Tecnológica, MSc Project Management

MEDELLÍN

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN

2011

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Medellín, 19 de Octubre de 2011

A Jacke, a mis padres y a mi hermano, que me apoyan siempre que quiero emprender, y que estuvieron ahí durante todo el tiempo dedicado a la maestría y a esta investigación.

CONTENIDO

1.INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 JUSTIFICACIÓN	11
1.2 ALCANCE.....	13
1.3 OBJETIVOS.....	13
1.3.1 Objetivo General.....	13
1.3.2 Objetivos Específicos.....	14
1.4 METODOLOGÍA	14
2.MARCO DE REFERENCIA.....	15
2.1 ESTADO DEL ARTE DE LA INNOVACIÓN	15
2.2 ESTADO DEL ARTE DE LAS OPCIONES REALES.....	19
2.3 MARCO TEÓRICO, OPCIONES FINANCIERAS	22
2.3.1 Tipos de opciones	22
2.3.2 Posiciones para una opción	24
2.3.3 Activos subyacentes.....	25
2.3.4 Factores que afectan los precios de las opciones.....	26
2.3.5 Notación y supuestos.....	27
2.3.6 Límites superiores e inferiores para los precios de las opciones	28
2.3.7. Valoración de Opciones	30
2.4 MARCO TEÓRICO ESTRATEGIA DE INNOVACIÓN.....	41
2.4.1 Estrategia de innovación en productos y servicios.....	41
2.4.2 El proceso idea producto	49
2.5 COMPARACIÓN ENTRE OPCIONES REALES Y OPCIONES FINANCIERAS.....	53
2.5.1. Métodos para la valoración de opciones reales	54

3. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS DE INNOVACIÓN BASADA EN OPCIONES REALES.....	57
3.1. PRIMER PASO: ¿CAMBIARÍA EL RUMBO DE LAS COSAS EL USO DE OPCIONES REALES?	57
3.3. TERCER PASO: MODELAR LOS RIESGOS	59
3.4. CUARTO PASO: VALORAR EL PROYECTO.....	63
4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	69
4.1 EL PROBLEMA.....	69
4.2 UNA SOLUCIÓN PROPUESTA: SARA	70
4.3 APLICACIÓN DEL PASO I	71
4.4 APLICACIÓN DEL PASO II	73
4.5 APLICACIÓN DEL PASO III	75
4.6 APLICACIÓN DEL PASO IV	77
5. CONCLUSIONES	81
6. REFERENCIAS.....	82

FIGURAS

Figura 1. Compromiso de inversión incremental para las etapas del Stage-Gate.	10
Figura 2. Posiciones para las opciones call y put.	25
Figura 3. Árbol binomial: un paso.	31
Figura 4. Árbol binomial: dos pasos.	32
Figura 5. Clasificación de nuevos productos.	42
Figura 6. Clasificación de productos Boston Consulting Group.	47
Figura 7. Interacción roadmaps, recursos, proyectos y mercados.	49
Figura 8. El proceso Stage-Gate.	52
Figura 9. Metodología propuesta hasta la valoración de riesgos.	62
Figura 10. Valoración con portafolio gemelo usando el total de la tasa libre de riesgo desde el riesgo de mercado.....	64
Figura 11. Valoración con portafolio gemelo distribuyendo tasa entre riesgo tecnológico y de mercado.	65
Figura 12. Valoración con riesgo de mercado.....	65
Figura 13. Valoración usando el método de Boer.....	67
Figura 14. Metodología propuesta consolidada.	68
Figura 15. Distribución de probabilidad del retraso del proyecto de plataforma tecnológica.....	71
Figura 16. Distribución de probabilidad del retraso de la planeación de la auditoría.....	72
Figura 17. Distribución de probabilidad del Valor Presente Neto del proyecto.	72
Figura 18. Prueba Anderson-Darling para el ajuste a una distribución lognormal.....	73
Figura 19. Riesgo tecnológico.....	76
Figura 20. Riesgo de mercado.....	77
Figura 21. Árbol de decisión.....	77
Figura 22. Valoración del proyecto usando el método de Copeland.....	79

Figura 23. Valoración del proyecto usando el método de Boer.	80
---	----

TABLAS

Tabla 1. Relación de variables de las opciones financieras y reales.	54
Tabla 2. Tipos de opciones reales.	56
Tabla 3. Entradas I+D.	70
Tabla 4. Entradas financieras.	74
Tabla 5. Entradas I+D.	75
Tabla 6. Entradas del negocio.	75

RESUMEN

Este trabajo muestra como las técnicas de valoración financiera de proyectos, basadas en flujos de caja descontados castigan el valor de los proyectos relacionados con el desarrollo de nuevos productos y servicios, estos métodos como muchos otros, no tienen en cuenta el costo de oportunidad de las decisiones de inversión, que se toman durante la ejecución del proyecto en la medida que se adquiere mayor información y se tiene mayor certidumbre del éxito del producto final.

De acuerdo con la propuesta del profesor Robert Cooper en el proceso Stage-Gate, las inversiones en las distintas etapas de un proyecto de innovación ocurrirán siempre y cuando se supere exitosamente la etapa anterior, y estas inversiones deberán ser incrementales, en la medida que se adquiera mayor información de lo que es incierto y se reduzca el riesgo de la inversión. Es por esto que en organizaciones en donde se usen estas prácticas en el desarrollo de nuevos productos, se deberían tener en cuenta métodos diferentes para la valoración de proyectos.

Se propone en esta investigación, un método basado en propuestas de otros autores que usan las opciones reales para tener en cuenta esa flexibilidad en la inversión y la toma de decisiones que trae implícito el Stage-Gate, basados en técnicas de valoración de opciones financieras como árboles binomiales y *Black-Scholes*. Los métodos estudiados nos permitirán dar respuesta a la pregunta de investigación: ¿cuál es el impacto económico con el que se castiga implícitamente a un proyecto de innovación cuando éste es evaluado usando las técnicas de flujo de caja, descontado en contraste con las técnicas de opciones reales?, todo esto teniendo en cuenta los riesgos de mercado y los riesgos tecnológicos, que son aspectos esenciales en la toma de decisiones en el desarrollo de nuevos productos y servicios.

Finalmente, y contando ya con la valoración de los proyectos, y usando tanto los métodos propuestos como los flujos de caja descontados, se demuestra que estos últimos, no tienen en cuenta la flexibilidad que da la inversión por etapa de los proyectos de innovación, en la medida que se resuelve la incertidumbre, y que esto castiga los proyectos hasta el punto de mostrarlos como negativos y como proyectos que no se deberían ejecutar.

1. INTRODUCCIÓN

Hace ya tres años, al interior de la Vicepresidencia de Auditoría Interna del Grupo Bancolombia, se creó una sección que se encargaría inicialmente de crear modelos de minería de datos para el apoyo a las evaluaciones que se ejecutan sobre los procesos, y que más adelante se convertiría en el área encargada de investigar y apoyar la aplicación de formas innovadoras de hacer la auditoría.

Luego de grandes aportes en la ejecución de las auditorías, relacionados sobre todo con técnicas de minería de datos y la automatización en el procesamiento y recuperación de la información, se requirió que este grupo comenzara incluso a incursionar en la investigación de nuevas metodologías para el desarrollo de evaluaciones, e incluso que se empezaran a generar innovaciones radicales totalmente nuevas para el mercado y para el mundo.

Es así como luego de algunas consultorías con la Universidad Pontificia Bolivariana y TECNNOVA en los temas relacionados con la gestión de la innovación, se llegó a una lista de brechas a cerrar, entre las que se encuentra la definición formal del proceso de gestión de la innovación y del portafolio de nuevos productos y servicios.

El proceso Stage-Gate del profesor Robert Cooper define un grupo predeterminado de etapas, que están compuestas por actividades prescritas y ejecutadas de manera paralela por grupos multidisciplinarios (compuestos por integrantes relacionados con mercadeo, operaciones, I+D, tecnología). Cada una de las etapas está precedida por una puerta que sirve como punto de control en donde, según la calidad y el cumplimiento de los entregables de cada etapa, se da continuidad o no a un proyecto cuyo objetivo es el desarrollo de un nuevo producto o servicio¹.

El 73% de los creadores de nuevos productos en Estados Unidos usan el proceso Stage-Gate², y esta ha sido la metodología sugerida por los consultores para usar en la Sección I+D de la Vicepresidencia de Auditoría. El proceso estándar, definido como mejor práctica a nivel general, está compuesto por cinco etapas (Product development institute inc., 2011):

- Descubrimiento: actividades diseñadas para descubrir oportunidades y para generar ideas de nuevos productos.
- Enfoque: evaluación rápida y económica de los méritos técnicos del proyecto y de sus prospectos de mercado.
- Construcción del caso de negocio: etapa de las tareas críticas, la que hace o destruye un proyecto. La viabilidad técnica, del mercado y del negocio son evaluadas, dando como

¹ Ver en [1] Capítulo 5 “The Stage-Gate Process”, p. 129.

² Ver en [2] Capítulo 1, p. 8.

resultado un caso de negocio que tiene tres componentes: definición del producto y del proyecto, justificación y planeación.

- Desarrollo: acá los planes son traducidos en entregables concretos. El diseño actual y desarrollo del nuevo producto ocurre, los planes de manufactura y operaciones son definidos, el lanzamiento al mercado es desarrollado y el plan de pruebas es definido.
- Pruebas: el objetivo de esta etapa es proveer validaciones de todo el proyecto, las cuales comprenden el producto en sí, el proceso de producción, la aceptación del mercado y la viabilidad financiera.
- Lanzamiento: comercialización total del producto, comienzo de la producción total y lanzamiento comercial.

Según Cooper y otros (2001), estas etapas deben estar diseñadas de manera que se obtenga cada vez más información y se reduzca la incertidumbre en la medida que se avanza en la ejecución, así como reducir el riesgo y hacer inversiones incrementales: cada una de las etapas debe tener un compromiso mayor que la predecesora, teniendo en cuenta que se reducen los riesgos y se incrementa la confiabilidad con respecto al éxito proyectado de un nuevo producto o servicio.

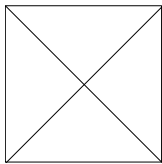


Figura 1. Compromiso de inversión incremental para las etapas del Stage-Gate.

Actualmente en todas las áreas del Grupo Bancolombia, se evalúan los proyectos usando las metodologías que propone la oficina de administración de proyectos: la viabilidad de las diferentes iniciativas se debe evidenciar mediante la construcción de un caso de negocio, cuya parte más importante es la relacionada con la evaluación financiera del proyecto. El cálculo de la viabilidad financiera se hace calculando el valor presente neto y la tasa interna de retorno.

Es acá en donde sale a relucir el tema de discusión de la investigación: los métodos de flujos de caja descontados que tradicionalmente se usan en la evaluación de proyectos parten del supuesto de que hay una inversión inicial y única para todo el proyecto, este no es el caso de los proyectos que se gestionan usando la metodología Stage-Gate, teniendo en cuenta que las inversiones se hacen etapa por etapa y de manera incremental en la medida que se reduce el riesgo y la incertidumbre.

Suponer que los proyectos para la creación de nuevos productos y servicios parten de una única inversión inicial, como lo hacen los proyectos tradicionales, castiga a los primeros de manera injusta y por una cantidad considerable de dinero. Tener la opción de tomar la decisión de seguir invirtiendo o no en un proyecto en la medida que se ejecutan etapas y se evalúan las opciones en las puertas, da un costo de oportunidad menor que una inversión total inicial que debería beneficiar, financieramente hablando, a los proyectos gestionados usando el proceso Stage-Gate³.

Con el cálculo del VPN no se puede valorar la oportunidad de expandir o no un proyecto o estrategia, dependiendo de las condiciones del entorno de negocios y el ambiente económico. Cuando se definen los planes de ejecución de los proyectos con estas oportunidades de ampliación, se debería tener en cuenta el valor que tiene la flexibilidad de tomar decisiones en momentos posteriores y debe ser integrado al VPN (Venegas, y otros, 2006).

Luego de narrar la situación relacionada con el proyecto de investigación, es un buen momento para definir la pregunta que se resolverá: ¿cuál es el impacto económico con el que se castiga implícitamente a un proyecto de innovación cuando éste es evaluado usando las técnicas de flujo de caja descontado, en contraste con las técnicas de opciones reales?

1.1 JUSTIFICACIÓN

Estudios recientes realizados en una muestra compuesta por cientos de empresas que tienen un proceso de innovación definido, demuestran que el 52% de los proyectos de innovación que fracasan han tenido una etapa de análisis financiero y de negocios no realizada o pobremente realizada (con una calificación de 4.5 en una escala de 10). No siendo este un argumento suficiente, en un estudio realizado a 203 proyectos de innovación, del total de los recursos invertidos, sólo el 0,7% del dinero y el 13,6% de las horas hombre, son invertidos en etapas de evaluación financiera. Estas falencias cobran una importancia considerable, teniendo en cuenta que aproximadamente el 46% de los recursos que se invierten en la incubación, desarrollo y lanzamiento de nuevos productos es para aquellos que fracasan⁴.

Por otro lado, el proceso etapa-puerta para el desarrollo de productos y servicios, es uno formado entre 4 y 6 etapas, con las cuales se pretende gestionar los riesgos generados por las incertidumbres técnicas y de negocio presentes en las ideas, por medio de la adquisición de

³ Ver (Cooper, y otros, 2001) Ver nota "The achilles' heel of NPV: Options pricing theory versus NPV", p. 228.

⁴ Ver (Cooper, et al., 2001) Capítulo 2 "New products: Problems and Pitfalls", pp. 26-29. Se tienen en cuenta las actualizaciones recientes de los estudios de Robert G. Cooper "Uncovering the keys to new product success" de 1993, y "Why new industrial products fail" de 1975, y la información de los estudios de Booz-Allen y Hamilton. "New product management for the 1980s".

información técnica, de mercado y financiera, que ocurre durante la ejecución de una etapa, y el uso de ésta en hitos de control, llamados puertas para abortar un proyecto o continuar invirtiendo en éste con cada vez mejores argumentos y mayor certeza. Las evaluaciones que ocurren en las puertas (hitos de evaluación entre cada una de las etapas), tienen en cuenta criterios cada vez más específicos y profundos que los usados o definidos para filtrar y calificar en la puerta anterior, garantizando que se llegue a información cada vez más detallada. En la medida en que las puertas son superadas, menos incertidumbre habrá y por tanto la inversión por etapa debería irse incrementando con respecto a la anterior (Cooper, y otros, 2001).

Es por esto último, que para proyectos que siguen el proceso etapa-puerta, la evaluación financiera no debería basarse en el valor presente neto, ya que en métodos como suponen montos totales de inversiones, y no montos parciales, teniendo en cuenta que no se incluye dentro del retorno los costos de oportunidad, ahorrados gracias a las inversiones incrementales, ni tampoco por la reducción del riesgo, se considera que es un método que castiga los proyectos de innovación al intentarlos comparar y priorizar en una lista de proyectos de otro tipo (Cooper, y otros, 2001).

Luego de explorar diferentes trabajos de investigación relacionados con la evaluación financiera de proyectos de tecnología, innovación y riesgo considerable, se encuentran elaboraciones interesantes basadas en opciones reales como las de Sierra (2005) o las de Boer (2003).

Teniendo en cuenta que todos los proyectos que se realicen por parte de la sección de investigación, desarrollo e innovación deberán apuntar a la generación de nuevos productos y servicios, que generen valor gracias a la experiencia de los clientes y a lo que éstos estén dispuestos a dar a cambio por aquellos, es deber de la administración y de los administradores de los procesos de innovación contar con los mecanismos que permitan tomar decisiones acertadas, y que se adapten a los métodos que utilizan. Esto incluye la evaluación financiera de proyectos.

El grupo de trabajo y la dirección de los procesos de innovación están conscientes de la necesidad de un nuevo método para la evaluación financiera de proyectos de innovación. Esta conciencia está acompañada de su disponibilidad en cuanto a recursos humanos se refiere. La creación de la nueva metodología no requiere inversiones en nuevas tecnologías, herramientas o capacitaciones, por lo que sólo con la disponibilidad del recurso humano será más que suficiente.

Según la bibliografía consultada, existen trabajos relacionados con evaluación financiera de proyectos de innovación y de tecnología, basados en opciones reales, sin embargo, ninguno de éstos define a profundidad cómo se combina el proceso Stage-Gate con la evaluación financiera de proyectos, basada en opciones reales. Así, esta investigación será la continuidad de trabajos con un bien definido fundamento teórico de opciones reales, con el que se evaluará a nivel financiero un método que, según los autores, es el más utilizado en el mundo para el desarrollo de nuevos productos y servicios, y que dará como resultados herramientas adicionales y desarrolladas a la medida de una situación particular, para la toma de decisiones de inversión en proyectos de innovación.

1.2 ALCANCE

Con esta investigación se logrará definir una metodología basada en opciones reales para la evaluación financiera de proyectos de innovación, todo esto enfocado el proceso etapa-puerta, y teniendo en cuenta las etapas posteriores a la construcción del caso de negocio (desarrollo del producto o servicio, pruebas y lanzamiento).

Para poder usar métodos como el binomial o el de *black and scholes*, se hacen necesarios los cálculos de probabilidades de abortar un proyecto, continuarlo, darle espera, o retroalimentarlo en etapas anteriores, usando datos históricos y simulaciones. La información utilizada para calcular estos valores no corresponderá con información histórica de productos y servicios del grupo Bancolombia, teniendo en cuenta que aunque hay gran cantidad de proyectos, éstos no fueron gestionados con el proceso Stage-Gate. En su lugar, se tendrá información de las diferentes industrias colombianas, correspondiente a compañías que han usado la metodología Stage-Gate para la gestión de sus proyectos.

Luego de definir la metodología basada en opciones reales para la evaluación, se aplicará ésta a un proyecto de plataformas tecnológicas, o de nuevos productos y servicios que ya ha sido previamente evaluado con las técnicas que tradicionalmente usa la oficina de gestión de proyectos de la organización (valor presente neto, tasa interna de retorno), y se usará la metodología basada en opciones reales que se han definido; así mismo, se harán las comparaciones de los diferentes resultados de las evaluaciones financieras realizadas.

Finalmente, se dejará esta metodología como una alternativa para la Vicepresidencia de Auditoría Bancolombia para evaluar los proyectos que corresponda (aquellos gestionados con el proceso Stage-Gate). No se busca con este trabajo, dejar a un lado los métodos de valoración basados en flujos de caja descontados. Como comenta Faulkner, hay que pensar en los proyectos teniendo en cuenta diferentes opciones, independientemente de cómo sea la evaluación financiera del proyecto: dependiendo de la incertidumbre y de si se hará la inversión incremental o total desde el comienzo y de los diferentes rumbos que puede tomar el proyecto, que se pueden prever, seleccionar el método con el cual evaluar el proyecto (binomiales, *black and scholes*, e incluso valor presente neto).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General. Definir y aplicar una metodología de evaluación financiera de proyectos ejecutados, según los procesos etapa-puerta, basados en opciones reales y metodologías actuales de evaluación para apoyar la toma de decisiones de manera acertada y más completa.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar las metodologías para el cálculo de opciones reales y aplicaciones representativas en la evaluación de proyectos de tecnología e innovación.
- Adaptar las dos metodologías para el cálculo de opciones reales más utilizadas al proceso etapa-puerta.
- Evaluar un proyecto planteado según los procesos etapa-puerta, usando la adaptación de las metodologías.

1.4 METODOLOGÍA

- Analizar los diferentes métodos de cálculo y análisis de opciones reales (funciones binomiales, árboles de decisión, simulación Monte Carlo, *black - scholes*).
- Adquirir bibliografía relacionada con antecedentes en la aplicación de opciones reales para la evaluación financiera de proyectos. En esta etapa se hará más explícito el conocimiento adquirido de opciones reales, teniendo en cuenta las fortalezas, debilidades oportunidades y amenazas de la metodología en la gestión de proyectos.
- Analizar la metodología Stage-Gate, teniendo en cuenta casos de gestión de la innovación en donde se ha usado esta herramienta.
- Obtener información para el cálculo de las variaciones y las probabilidades para cada una de las etapas del proceso Stage-Gate.
- Definir mediante uno de los métodos de análisis de opciones reales, una metodología de evaluación de proyectos, basada en valor presente neto y opciones reales.
- Usar tanto la metodología antigua basada en el valor presente neto, y la nueva metodología para la evaluación de un mismo proyecto de innovación en un producto o servicio.
- Comparar las metodologías y concluir la investigación.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 ESTADO DEL ARTE DE LA INNOVACIÓN

Desde hace muchos años, la importancia de los nuevos productos y servicios en las organizaciones es evidente: el 10% de los ingresos que se esperaba generarían las empresas manufactureras en 1959, correspondería a productos aún no existentes en 1955⁵. Sólo para la industria farmacéutica, el 60% de los ingresos producidos en 1956 provenía de productos que no existían hacía 5 años⁶.

Sin embargo, no todo eran buenas noticias para las empresas que destinaban algo de sus recursos a la creación de nuevos productos y servicios. Aunque cierta empresa del sector farmacéutico, gracias a la introducción de un nuevo producto, reportaba un incremento del 100% de las ventas, utilidades de más de 5 veces las anteriores, y un crecimiento del mercado de 2.5 veces, otra empresa del sector manufacturero, fabricante de dispositivos mecánicos, luego de una inversión de 500.000 dólares en dos nuevos productos que no fueron exitosos, estaba en quiebra y a la venta, pasados dos años (Johnson, et al., 1957).

Los esfuerzos de los diferentes estudiosos del tema se han centrado en resolver precisamente qué hacer al interior de la empresa para que el desarrollo de nuevos productos sea exitoso, atacando principalmente temas como el de la estrategia de innovación, la gestión de portafolios y servicios, el proceso de desarrollo de nuevos productos y servicios, y el desarrollo de la cultura de innovación.

En la década de los 50 las organizaciones comenzaron a enfocarse en el tema de la innovación, definiendo cómo atacar este tema desde su estructura. Para 1956, en un análisis realizado a 58 grandes empresas, como General Electric, General Foods, International Business Machines Corporation y Borroughs Corporation, se encontró que en todas éstas se había definido un departamento dedicado al desarrollo de nuevos productos, que el 20% de ellos tenía más de 4 años de establecido y que el 50% había sido creado hacía menos de dos años⁷.

En 1957 se publicó el caso de éxito de S.C. Johnson, la empresa creadora de productos como RAID, en donde se resolvían los que para ese entonces eran los problemas en el desarrollo de nuevos

⁵ Ver en Mc-Graw Hill Publishing Company Inc., Survey of Business' Plans for New Plants and Equipment (New York, 1956).

⁶ Ver en Nation's Business, febrero 1956, p. 86.

⁷ Ver en Booz, Allen & Hamilton, Management Research Report, Management of New Products (Chicago, 1956).

productos: la clasificación de los productos, la coordinación de las diferentes partes de la organización para dar continuidad y cooperación al proceso idea-producto, y la gestión del nuevo conocimiento del mercado, y lo tecnológico, que traía consigo el proceso de desarrollo de nuevos productos.

Estos tres problemas se resolvieron de manera visionaria en S.C. Johnson, y salieron a la luz aspectos fundamentales que todavía hoy se usan en la definición de estrategias de innovación, como la matriz de clasificación de nuevos productos, que usa como variables fundamentales la viabilidad tecnológica y la viabilidad del mercado, la importancia de tener coordinación interdisciplinaria en las empresas para los proyectos relacionados con el desarrollo de nuevos productos y el uso de estrategias contemporáneas para la gestión de proyectos, como la basada en control por etapas para la creación de nuevos productos, que es el concepto base usado por Cooper en la definición del modelo Stage-Gate (Johnson, et al., 1957).

El problema de cómo organizarse para la innovación seguía latente años después, y se discutía otro método para el desarrollo de nuevos productos con el que se pretendía lograr dar cierta autonomía en todas las decisiones que se requerían, desde que nacía una idea hasta que se comercializaba. Este era el concepto de los grupos emprendedores (*Venture teams*), muy usados por empresas como Polaroid, Texas Instruments, IBM entre 1945 y 1965⁸, las cuales daban popularidad al método, debido a crecimientos organizacionales que superaban por mucho el crecimiento promedio (17% contra 2,5%). Se pretendía con estos grupos crear organizaciones aparte para los productos que tuvieran un mercado y unos retornos promisorios, de manera que los problemas de la organización no se convirtieran en causas del fracaso de nuevos productos (Hill, et al., 1972).

Las características estructurales de los *Venture teams* son la separación organizacional, la inclusión de todo el conocimiento necesario para el desarrollo de un nuevo producto, una difusión menos jerárquica de la autoridad que permita que las ideas no se vean afectadas por el poder, la coordinación entre los diferentes líderes de grupos, y flexibilidad; esta última se logra gracias a que el seguimiento continuo no se hace necesario por el sentido de pertenencia que sienten los integrantes hacia el grupo y hacia el proyecto, que hace que las metas se cumplan sin necesidad de un programa rígido. Con respecto a otras formas de organización para el desarrollo de nuevos productos, se resalta como ventaja, la mayor efectividad en comparación con directores de nuevos productos o grupos dedicados a nuevos productos en la organización, ya que hay total poder sobre las acciones a tomar para resolver un problema, y adicionalmente, que no hay interacción con el día a día de los productos tradicionales, lo que facilita ser más radicales (Hill, et al., 1972).

Además de la estructura organizacional para el desarrollo de nuevos productos, la estrategia comienza a jugar un papel importante a partir de la década de los 70. Es claro que los nuevos

⁸ Technological Innovation: Its Environment and Management (Washington, D.C. U.S. Department of Commerce, January, 17), at p. 5.

productos son esenciales para la supervivencia de las organizaciones, pero que éstos deben crearse bajo la existencia y la operación de una estrategia, para evitar así tiempo perdido, recursos mal dedicados, pérdida de la inversión y confusión y desilusión por parte de los empleados. Para estas épocas, autores como Crawford definen que una estrategia de innovación debe incluir información como: el análisis técnico y de mercado de la compañía propuesto antes en el caso de S.C Johnson (Johnson, et al., 1957), que permite definir qué es un nuevo producto para lo compañía, el tamaño del mercado incluyendo mercados potenciales, y una última variable que es el nivel de innovación o imitación que desea la compañía. Esta última es esencial, ya que permite diferenciar entre ser una empresa pionera en tecnología y ser una empresa exitosa en el desarrollo de nuevos productos, no siendo una necesariamente consecuencia de la otra (Crawford, 1972).

Además de estas tres variables principales a tener en cuenta, dentro de una estrategia de nuevos productos, Crawford señala también algunos otros temas considerados secundarios que sería bueno incluir dentro de la definición de la estrategia, estos son: rangos de precio y calidad, requerimientos esenciales para la promoción, capacidades de investigación y desarrollo, situaciones competitivas a buscar o a evitar, requerimientos de los productos, velocidad del desarrollo de productos, factores críticos de éxito y riesgos, ventas mínimas, retorno de inversión y tiempo para obtener retorno. Todos estos temas son de vital importancia, y son incluidos hoy (tanto los primarios como los secundarios) dentro de publicaciones relacionadas con el tema de estrategia de desarrollo de productos y nuevas tecnologías (Cooper, et al., 2009)).

Cinco años después, en otra de sus publicaciones, Crawford hace un duro cuestionamiento a los encargados de la investigación de mercados en la empresa y a los procesos de desarrollo de nuevos productos, al afirmar que a pesar de los avances en metodologías presentados desde mediados de la década de los 60, en la investigación de mercado y desarrollo de productos, eran considerables, pues éstos no reflejaban un decremento en la tasa de mortalidad de los nuevos productos, y que el culpable de estos hechos era la investigación de mercados. Crawford centra su publicación en nueve hipótesis que podrían estar causando estos inconvenientes: un proceso de toma de decisiones incompleto y mal diseñado, que los tomadores de decisiones en el proceso de desarrollo de nuevos productos no entienden el rol de la investigación de mercados, que los investigadores de mercado no saben ofrecer de manera apropiada sus servicios, la rigidez de la organización contra la investigación de mercados, que los procesos de investigación de mercados y de nuevos productos trabajan de manera contraria, la falta de responsabilidad y objetividad de los directores de investigación de mercados, la aceptación indiscriminada del riesgo por parte de compañías generalmente exitosas en el desarrollo de productos, y finalmente, asumir que predecir el mercado de nuevos productos es tarea imposible (Crawford, 1977).

Para dar un razonamiento más empírico a la afirmación de Crawford, que no era el único que concluía que debía haber una mayor orientación al mercado (ver también Hopkins, et al., 1971), (Hatch, 1957), (Cooper, 1975)), Cooper en una de sus publicaciones hace públicos los resultados de una investigación que resolvería una pregunta que para la década de los 70 estaba de moda: ¿qué

separa a los ganadores de los perdedores en el desarrollo de nuevos productos? El desarrollo de la investigación contempla 77 variables de total interés para los especialistas del mercadeo de la época, y resulta en la agrupación de 18 grandes factores, entre los cuales se resaltan en los resultados los tres más importantes: superioridad y diferenciación del producto, el conocimiento del mercado y habilidades en marketing y la viabilidad técnica (Cooper, 1979).

Para la década de los 80, Cooper, concluye que a pesar de una inmensa cantidad de estudios que diferencian las acciones entre ganadores y perdedores en el desarrollo de nuevos productos, las empresas no redefinían su manera de hacer las cosas, y por tanto no mejoraban sus resultados, ya que las diferentes publicaciones tenían una gran brecha que cerrar entre la teoría y la práctica (incluyendo las propias publicaciones del autor). Es por esto que toma las diferentes investigaciones publicadas por él y Kleinschmidt en 1986 y 1987, en donde se cuenta con información de la ejecución de 203 proyectos de nuevos productos (123 éxitos y 80 fracasos) (ver (Cooper, et al., 1987), (Cooper, et al., 1987), (Cooper, et al., 1986), y logra como resultado un conjunto de 13 actividades que los mejores ejecutores de proyectos de innovación realizan durante el desarrollo de un proyecto de esta naturaleza. Es así como se logra un conjunto de pasos a seguir en un proceso de innovación, que serviría como guía para la administración del desarrollo de nuevos productos, y se ponen en evidencia la importancia de otros factores como: controles y filtros en la ejecución de las etapas de proyectos de este tipo, conformación de equipos interdisciplinarios, la orientación al mercado desde la etapa más temprana del proyecto hasta el lanzamiento, mayor foco en las actividades previas al desarrollo del producto, y la definición de un proceso sistemático para el desarrollo de producto, basado en etapas de desarrollo y controles (proceso etapa-puerta), (Cooper, 1988).

Fue también en la década de los 80, y también basado en las publicaciones nombradas anteriormente, que Cooper escribe la primera edición de su obra más tradicional "Winning at new products", que es básicamente una guía completa para la implementación del proceso etapa-puerta, y contiene ayudas paso a paso de cómo implementar compuertas, cada una de las etapas propuestas para el proceso de desarrollo del producto (descubrimiento, enfoque, caso de negocio, pruebas, comercialización), actividades críticas de éxito, malas prácticas a evitar, cómo conformar grupos de trabajo y comités de evaluación (conocidos como porteros), (Cooper, 1986).

Entre 1990 y 1993, se pueden encontrar más de 30 publicaciones de Cooper, que giran alrededor del planteamiento del proceso etapa-puerta logrado en la década anterior, factores críticos de éxito para su implementación, y casos de negocio orientados a empresas de casi todas las industrias, entre éstas las de servicios financieros y la farmacéutica. Se destaca para los casos de servicios financieros que era la primera incursión del modelo Stage-Gate en un marco diferente al sector real, y se concluye que aunque los productos son distintos, las diferencias en el proceso y los factores críticos de éxito son mínimas (Cooper, 1993),(Cooper, 1992).

En la segunda edición de la obra “Winning at new products”, y otras publicaciones desde finales de 1993 en adelante, se comienza a diferenciar entre procesos etapa-puerta de segunda generación y de tercera generación; este concepto está ligado a la sinergia que tiene el proceso con el resto de la organización luego de que ha sido retroalimentado y adaptado. Aunque el proceso estándar con todas las actividades y controles propuestos es el que se debe usar inicialmente, éste debería evolucionar continuamente, de manera que se eliminen o se adicione actividades para hacer al proceso más eficiente y más alineado con los objetivos de innovación y desarrollo de nuevos productos, sin afectar la calidad de ejecución de los diferentes proyectos (Cooper, 1994).

La PDMA (Product development management association), realiza un estudio de mejores prácticas de desarrollo de nuevos productos, enfocándose en la cantidad de técnicas en el desarrollo de nuevos productos utilizados, la evolución en el desarrollo de productos nuevos para el mundo, la evolución del proceso idea-producto, la evolución de la estructura organizacional y compensación. En este reporte se concluye que el 60% de las empresas usan procesos etapa-puerta para el desarrollo de nuevos productos, y que es la práctica de las firmas más exitosas en innovación, que las organizaciones han modificado las estructuras gracias al desarrollo de nuevos productos y han hecho las organizaciones más complejas, que la compensación menos exitosa es el dinero y la más exitosa es una cena para el equipo del proyecto, que los líderes de la innovación son los *champions* y los gerentes de proyectos organizacionales, y que aunque está demostrado que tener un proceso alineado a la estrategia organizacional es un factor crítico de éxito, la tercera parte de las organizaciones cuenta con un proceso que no cumple con estas condiciones (Griffin, 1997).

Entre 1997 y 2010 Cooper comienza a abordar el tema de la innovación en 15 publicaciones, apoyado en lo que él llama el “Diamante de la Innovación”, refiriéndose a cuatro *drivers*: la estrategia de innovación, la administración del portafolio, el proceso etapa-puerta y la cultura (Cooper, et al., 2001), (Cooper, 2006). Estos cuatro elementos en la combinación correcta, generan el alto rendimiento en el desarrollo de nuevos productos. En 2009 publica lo que sería una guía para la definición de la estrategia de innovación, en donde se explica cómo definir objetivos, cómo definir las arenas estratégicas basadas en la viabilidad tecnológica y de mercado, cómo gestionar y adquirir recursos necesarios para los proyectos de innovación, cómo gobernar la innovación, y la construcción de *roadmaps* de mercados, productos, tecnologías y proyectos (Cooper, et al., 2009).

2.2 ESTADO DEL ARTE DE LAS OPCIONES REALES

El uso de opciones reales para la evaluación financiera de proyectos ha tenido usos en muchos campos, en donde se requiere tener en cuenta el hecho de que el entorno es cambiante, y las opciones de crecimiento, atraso, abandono de un proyecto, han de presentarse a pesar de que la

decisión inicial de inversión se tome en un momento determinado, en donde hay una situación puntual.

Myers, muestra en su trabajo los *gaps* que hay entre la teoría financiera y la planeación estratégica dando tres explicaciones: las diferencias del lenguaje y la cultura de ambas, el uso de flujos de caja descontados para el análisis financiero en situaciones estratégicas (en donde propone no se debería usar este método), y que el uso de flujos de caja descontados falla al aplicarlo en análisis estratégico, incluso si es bien usado (Myers, 1984).

En 1984, Kester hizo la primera analogía entre las opciones *call* usadas para los bonos de inversión y las oportunidades futuras de inversión, y cuestiona si los gerentes de las empresas deben dar la oportunidad de inversión a proyectos, que en la actualidad generan retornos por debajo de la meta que tendrían oportunidades estratégicas futuras o si se deberían quedar anclados a proyectos menos riesgosos con retornos más claros (Kester, 1984).

Brennan y Schwartz en 1985, trabajaron en un método para la evaluación financiera de inversiones en recursos naturales, haciendo una crítica bien argumentada a los métodos que se basan en precios actuales de activos adyacentes, y en precios proyectados, para dar paso a un método que toma al precio del activo como un valor estocástico. Aunque el trabajo fue realizado para analizar o apoyar la toma de decisiones de inversión en recursos naturales, como los relacionados con la minería, el método propuesto puede ser aplicado en otros casos en donde los flujos de caja futuros de un proyecto o una inversión, son afectados por decisiones futuras (Brennan y otros, 1985).

Se aborda el problema de cuándo es valioso invertir después, en el trabajo de McDonald y Siegel, en donde se valora la opción de postergar una inversión, asumiendo que las decisiones de coordinar en el tiempo las inversiones son tomadas por inversionistas aversos al riesgo, con portafolios bien diversificados. Se derivan fórmulas para valorar opciones de inversión irreversible en un proyecto y se definen reglas para decidir cuándo invertir en situaciones en las que el valor del proyecto y el costo de la inversión son estocásticos (R.L., y otros, 1986).

El retorno que genera la inversión que se requiere para renovar una patente año a año, y por tanto una herramienta para apoyar la decisión de renovar o no una patente, todo esto basado en opciones, se logra con el trabajo de Ariel Pakes (1986).

Faulkner, habla de cómo técnicas de flujo de caja descontado no deberían ser siempre las que se usan para evaluar financieramente un proyecto de innovación, adicionalmente habla de cómo las opciones reales en contraste con las técnicas de valor presente neto y tasa interna de retorno, tienen en cuenta los costos de oportunidad de inversión, característicos de las inversiones incrementales de los proyectos de innovación. Este autor no propone necesariamente la adopción de la evaluación financiera a partir de opciones reales como ley, sino que propone un "Pensamiento orientado a opciones", en el que quien crea un caso de negocio correspondiente a

un proyecto, debería seleccionar los métodos más adecuados para la evaluación de proyectos. Faulkner afirma también que se debe seleccionar un método de opciones reales correcto, ya que métodos como el de *Black and Scholes* suponen que la incertidumbre de un proyecto tiene una distribución lognormal y esto no siempre es cierto en todos los casos (Faulkner, 1996).

La inversión en proyectos de infraestructura tecnológica, iniciativas de innovación, genera capacidades en la organización que darán la posibilidad de generar valor de diferentes maneras a los clientes. Estos proyectos se ven afectados por dos tipos de incertidumbre, la de los proyectos en sí, y los del entorno organizacional. Kulatilaka y Balasubramanian proponen un método basado en opciones reales, en donde se tienen en cuenta todas las opciones previstas, para calcular por cada una un flujo de caja y un cálculo del valor esperado del proyecto (Balasubramanian, y otros, 2000).

Cooper, relacionando la evaluación financiera de proyectos con su proceso Stage-Gate para la gestión de la innovación, afirma que lo que se asume al usar métodos de flujo de caja descontado en el cálculo del retorno de un proyecto, es inválido para el caso de inversiones en nuevos productos y servicios, teniendo en cuenta que las inversiones incrementales propuestas por el etapa-puerta, se alejan de una única inversión en la que se gana o se pierde todo, como se presupuesta en los modelos de flujo de caja descontado. Además de esto, Cooper habla de los costos de oportunidad que se ahorran gracias a las inversiones incrementales, que deberían incluirse dentro del valor del proyecto, para no castigarlo a sobre medida. Este autor, rescatando el caso de empresas como Kodak, dice que en proyectos en donde hay gran nivel de incertidumbre y muchos riesgos, son subvalorados cuando se usan métodos como el cálculo del VPN o la TIR para evaluarlos (Cooper, et al., 2001).

Copeland y Antikarov parten de la comparación entre las técnicas de flujos de caja descontados, árboles de decisión, y opciones reales, demostrando con múltiples ejemplos el valor de la flexibilidad que otorgan las opciones de posponer un proyecto, de invertir más en éste, de abandonarlo o de seguir con su ejecución. Los múltiples ejemplos abordados por los autores valoran diversos tipos de proyectos, incluyendo los de innovación. Dentro de la valoración de proyectos de innovación se proponen metodologías para la valoración de proyectos, incluyendo el impacto de riesgos de mercado y tecnológicos a partir de árboles binomiales, opciones arcoíris, y árboles cuadrantomiales (Copeland, et al., 2003).

Partiendo de la definición de entradas del proceso de I + D, entradas financieras, y entradas de negocio, Boer plantea un modelo de valoración de proyectos de innovación, basado en opciones reales, que usa el método de *Black and Scholes* para incluir el valor de las opciones de invertir o no en cada una de las etapas de investigación en el valor total del proyecto, usando como precio del ejercicio el costo de la etapa correspondiente y como precio del activo subyacente, el valor del proyecto al momento de tomar la decisión (Boer, 2003).

Teniendo en cuenta que la implementación de proyectos de innovación tecnológica trae consigo los riesgos posteriores de implementación y de adopción, Fichman creó un modelo de opciones reales que tiene en cuenta 12 factores que afectan la innovación organizacional. Además de esto el modelo tiene dos implicaciones centrales para la investigación y la práctica: el modelo podría guiar otras investigaciones relacionadas con los determinantes de la iniciación y adopción temprana de tecnologías, y además de esto en investigaciones relacionadas con la valoración; el modelo identifica un grupo de factores que orienta la valoración de una opción relacionada con plataformas tecnológicas (Fichman, 2004).

Usando la información del capital de 290 empresas manufactureras del Reino Unido, Oriani y Sobrero demostraron el impacto de la incertidumbre del mercado y de la tecnología al calcular el capital de I + D de una compañía, concluyendo que el efecto de la incertidumbre sobre el cálculo no es lineal, y que por el contrario, está afectado y se hace complejo por la presencia de diferentes opciones que toman los inversionistas, para finalmente mostrar que empíricamente el valor presente neto no es la única variable que un inversionista tiene en cuenta, y que este valor no tiene en cuenta las diferentes relaciones y situaciones que surgen de mezclar la incertidumbre tecnológica y la del mercado (Oriani, y otros, 2008).

Luego de analizar la evaluación financiera en el sector construcción en Colombia, y de concluir que gracias a los problemas que este sector había presentado previamente, se aplicaban implícitamente las opciones reales en la ejecución de proyectos. Tamayo y Calle hacen el símil de construcción por etapas con las opciones *call* financieras, y muestran cómo un caso real y exitoso de un proyecto de construcción, fue valorado por los métodos tradicionales y los de opciones reales, dando como resultados el valor negativo del proyecto en el primero, y el positivo en el segundo, para así concluir que de quedarse sólo con el concepto tradicional de los flujos de caja descontados, no se habría ejecutado un proyecto que dejó grandes ganancias (Tamayo, y otros, 2009).

2.3 MARCO TEÓRICO, OPCIONES FINANCIERAS⁹

Una opción es un contrato que da el derecho a su tenedor de hacer algo, pero este poseedor no tendrá que ejercer esta atribución, contrario a contratos como los *forwards* o los futuros, en donde quien adquiere el contrato y el que lo vende están comprometidos con alguna acción.

2.3.1 Tipos de opciones. Hay dos tipos básicos de opciones. Una opción *call* da el derecho al tenedor del contrato de comprar un activo en un momento determinado a un precio

⁹ Ver (Hull, 2008) Cap. 8, 9, 11, 13

determinado. Una opción *put* da el derecho al poseedor de vender un activo a un precio determinado en un momento establecido. La fecha especificada en un contrato es conocida como la fecha de vencimiento o la fecha de maduración, el precio especificado es llamado el precio del ejercicio.

Según el momento en el que se puede ejercer una opción, ésta puede ser americana o europea: la opción americana se puede ejercer en cualquier momento antes de la fecha de expiración, la opción europea sólo podrá ser ejercida en la fecha de vencimiento.

- **Opción *Call*.** Suponga que hoy el precio de la opción europea de comprar una acción de la empresa XA a \$100 (precio del ejercicio) en un plazo de 5 meses (fecha de expiración) es de \$10 por acción. Para un contrato de 200 acciones la inversión sería de \$2000.

Si en 5 meses el precio de la acción de la empresa XA es menor a \$100 (precio del ejercicio pactado), la opción no se ejercería, ya que no tiene lógica ejercer el derecho de comprar a un mayor precio que el del mercado actual, y de esta forma, quien adquirió el contrato tendría una pérdida del valor de la opción \$2000. Por otro lado, si la acción de la empresa XA es mayor a \$100, como por ejemplo \$130, el derecho de compra se ejercería y significaría una ganancia para el poseedor del derecho de: $200 \times (\$130 - \$10 - \$100) = \4000 .

También podría suceder que el precio de la acción de esta empresa fuera mayor a los \$100, pero no tan alto como para recuperar la inversión necesaria para adquirir la opción de compra, por ejemplo, un precio de la acción a la fecha de vencimiento de \$107, allí la pérdida del poseedor del contrato sería de: $200 \times (\$107 - \$10 - \$100) = -\600 . Sin embargo, suponiendo que no se posee la opción *call* y teniendo en cuenta el precio del activo subyacente 5 meses atrás al momento del vencimiento del contrato, la pérdida del inversionista sería de: $200 \times (\$100 - \$107) = \$1400$, lo que significa que gracias a la opción de compra, el poseedor presenta disminuciones en pérdidas por \$800.

- **Opción *Put*.** Suponga que hoy el precio de la opción europea de vender una acción de la empresa XA a \$100 (precio del ejercicio) en un plazo de 5 meses (fecha de expiración) es de \$10 por acción. Para un contrato de 200 acciones la inversión sería de \$2000.

Si en 5 meses el precio de la acción de la empresa XA es mayor a \$100 (precio del ejercicio pactado), la opción no se ejercería, ya que no tiene lógica ejercer el derecho de vender a un menor precio que el del mercado actual, y de esta forma, quien adquirió el contrato tendría una pérdida del valor de la opción \$2000. Por otro lado, si la acción de la empresa XA es menor a \$100, como por ejemplo \$70, el derecho de compra se ejercería y significaría una ganancia para el poseedor del derecho de: $200 \times (\$100 - \$10 - \$70) = \4000 .

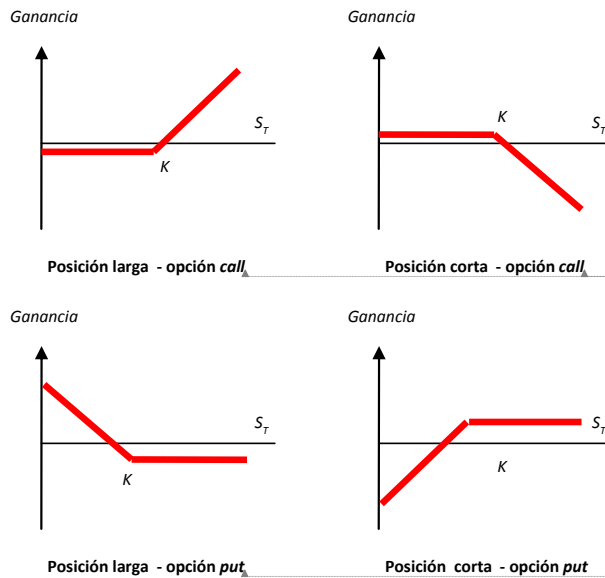
También podría suceder que el precio de la acción de esta empresa fuera menor a los \$100, pero no tan bajo como para recuperar la inversión necesaria para adquirir la opción de compra, por ejemplo, un precio de la acción a la fecha de vencimiento de \$93, allí la pérdida del poseedor del contrato sería de: $200 \times (\$100 - \$10 - \$93) = - \600 . Sin embargo, suponiendo que no se posee la opción *call* y teniendo en cuenta el precio del activo subyacente 5 meses atrás al momento del vencimiento del contrato, la pérdida del inversionista sería de: $200 \times (\$100 - \$93) = \$1400$, lo que significa que gracias a la opción de compra, el poseedor presenta disminuciones en pérdidas por \$800.

2.3.2 Posiciones para una opción. Un contrato de opción, involucra a dos partes, una es aquella que ha adquirido la opción (tiene posición larga), la otra es la que ha escrito o vendido la opción (posición corta). Teniendo en cuenta los tipos de opción y las partes involucradas, se habla de cuatro tipos de posición:

- Posición larga en una opción *call* (comprar un derecho a comprar).
- Posición corta en una opción *call* (vender un derecho a comprar, adquirir la obligación de vender en caso de que la contraparte ejerza la opción de compra).
- Posición larga en una opción *put* (comprar un derecho a vender).
- Posición corta en una opción *put* (vender un derecho a vender, adquirir la obligación de comprar en caso de que la contraparte ejerza la opción de vender).

Las ganancias de la posición corta gracias al contrato serán las pérdidas de la posición larga, y viceversa. Siendo S_T el precio del activo subyacente al momento del vencimiento del contrato, y K el precio del ejercicio, las ganancias para cada posición serían:

- Posición larga en una opción *call*: $\text{Max}(S_T - K, 0)$
- Posición corta en una opción *call*: $-\text{Max}(S_T - K, 0) = \text{min}(S_T - K, 0)$
- Posición larga en una opción *put*: $\text{Max}(K - S_T, 0)$
- Posición corta en una opción *put*: $-\text{Max}(K - S_T, 0) = \text{min}(K - S_T, 0)$



Con formato: Fuente: Cursiva

Con formato: Fuente: Cursiva

Con formato: Fuente: Cursiva

Figura 2. Posiciones para las opciones call y put.

2.3.3 Activos subyacentes. Los contratos de opciones se escriben sobre activos subyacentes como acciones, monedas extranjeras, índices y futuros. Cuando se realizan sobre acciones se negocian en el mercado oficial en su mayoría; un contrato da la opción al tenedor de comprar o vender un paquete de 100 acciones al precio del ejercicio, este tamaño es conveniente, teniendo en cuenta que normalmente en los mercados de valores internacionales se negocian acciones en paquetes de a 100.

En el caso de las monedas extranjeras, la mayoría se negocia en el mercado extra oficial, se ofrecen opciones europeas y americanas para diferentes monedas, los tamaños por contrato varían según el tipo de moneda y el valor de ésta al momento de escribir y adquirir los contratos.

Las opciones indexadas se negocian de manera muy dividida alrededor del mundo, tanto en el mercado oficial como en el extra oficial, las más comunes son las que se elaboran sobre el índice S&P 500 (SPX), el S&P 100 (OEX), el Nasdaq 100 (NDX), y el Dow Jones

(DJX). Para las opciones “amarradas” a índices, los contratos son casi todos europeos, a excepción de los que se relacionan con el OEX, que es americano.

Los contratos de derecho de compra o venta también pueden ser elaborados sobre futuros, estos contratos normalmente tienen una fecha de vencimiento que va antes de la fecha de entrega del contrato futuro. Cuando se ejerce una opción *call*, el tenedor adquiere una posición larga en el contrato futuro adjunto, y un monto adicional equivalente al exceso del precio del futuro sobre el precio del ejercicio. Cuando se ejerce una opción *put*, el tenedor adquiere una posición corta en el contrato futuro adjunto y un monto adicional equivalente al exceso del precio del ejercicio sobre el precio del futuro.

2.3.4 Factores que afectan los precios de las opciones. Las opciones se ven afectadas por factores como el precio actual del mercado (S_0), el precio del ejercicio (K), el tiempo de expiración (T), la volatilidad del precio del activo subyacente (σ), la tasa de interés libre de riesgo (r), y los dividendos esperados durante la vida de la opción.

La ganancia de una opción *call* al momento de ser ejercida, será el monto por el cual el precio del mercado exceda el precio del ejercicio, por tanto, en la medida en que el precio del mercado del activo subyacente sube, los precios de las opciones deben subir y en la medida en que el precio del ejercicio suba, el precio de la opción deberá bajar.

La ganancia de una opción *put* al momento de ser ejercida, será el monto por el cual el precio del ejercicio exceda el precio del mercado, por tanto, cuando el precio del ejercicio aumenta el precio de una opción *put* debe subir, y por el contrario, si el precio del activo subyacente sube, la opción *put* debe bajar de precio.

En la medida en que la fecha de vencimiento sea de mayor plazo, el precio de una opción americana se incrementará, teniendo en cuenta que se incrementa el riesgo por parte del vendedor, al asumir mayores oportunidades en el tiempo de que la opción sea ejercida. Por otro lado, cuando se trata de opciones europeas, sucede lo mismo, teniendo en cuenta que a mayor plazo se asumen mayores probabilidades de ocurrencia de factores que afectan el entorno, y por tanto, el precio del activo subyacente; sin embargo, esto no siempre ocurre, pueden existir estímulos positivos o negativos como el pago de dividendos en el corto plazo, que afectan más negativamente el precio de una opción de menor plazo que otra de mayor plazo.

En la medida en la que se aumenta la volatilidad del activo subyacente, hay menor certeza acerca de cuál podría ser el comportamiento del precio de éste en el mercado, y por tanto no hay mucha certeza en la probabilidad de que ocurran cambios positivos o negativos. Hay que tener en cuenta que el comprador de la opción, asume como máximo riesgo el equivalente al precio de la opción, ya que éste tiene la libertad de ejercer o no su derecho. Las posiciones cortas asumen grandes riesgos, y por tanto a mayor volatilidad, se incrementa el precio de toda opción.

En la medida en que las tasas libres de riesgo aumenten su valor, las tasas de retorno esperadas de todos los inversionistas aumentan, además de esto los valores presentes de cualquier flujo de caja futuro recibido por el tenedor de una opción decrece. Es por estas razones que el valor de una opción *call* aumenta y el de una opción *put* se reduce.

Los dividendos reducen el precio de las acciones en el período ex dividendo, esto impacta negativamente los precios de una opción *call* y aumenta los precios de una opción *put*.

2.3.5 Notación y supuestos. Se asume que hay grandes participantes en el mercado como grandes bancos, que no hay costos de transacción, que todas las ganancias o pérdidas se someten a la misma tasa de interés, y que se puede prestar o hacer un préstamo a la tasa de interés libre de riesgo.

Se asume también que los participantes del mercado están preparados para tomar ventaja de las oportunidades de arbitraje cuando éstas se presenten; según esto, las oportunidades de arbitraje que se presentan desaparecen rápidamente, y gracias a esto se hace también razonable pensar o suponer que no hay oportunidades de arbitraje.

La notación que se usa para el análisis de las opciones es la siguiente:

- S_0 : Precio actual del activo en el mercado.
- K : Precio del ejercicio para la opción.
- T : Fecha de vencimiento de la opción.
- ST : Precio del activo al momento del vencimiento del contrato.
- r : Tasa de interés compuesta continua libre de riesgo, para la maduración de la inversión en T . (nominal $r > 0$).
- C : Valor de la opción *call* americana para la compra de una unidad del activo.
- P : Valor de la opción *put* americana para la venta de una unidad del activo.
- c : Valor de la opción *call* europea para comprar una unidad del activo.

- p : Valor de la opción *put* europea para la venta de una unidad del activo.

2.3.6 Límites superiores e inferiores para los precios de las opciones. Cuando el precio de una opción está por encima del límite superior o por debajo del límite inferior, se presentan oportunidades de arbitraje:

Una opción *call* da al tenedor el derecho de comprar una unidad del activo subyacente de un mercado determinado a un precio determinado. Teniendo en cuenta esto, la opción no debería valer más que el precio del activo subyacente en el mercado, por tanto, el precio del mercado se convierte en el límite superior del valor de la opción ($c \leq S_0$ y $C \leq S_0$).

Una opción *put* da al tenedor el derecho de vender una unidad del activo subyacente a un precio determinado. Teniendo en cuenta esto, una opción *put* no debería valer más que el precio del ejercicio, por tanto, el precio del ejercicio se convierte en el límite superior del valor de la opción ($p \leq K$ y $P \leq K$).

Para opciones europeas, al momento del vencimiento, la opción no puede ser más valiosa que el precio del ejercicio, y por tanto el precio de la opción no debería tener un mayor valor que el valor presente del precio del ejercicio ($p \leq K e^{-rT}$).

El precio de una opción *call* europea en un mercado que no paga dividendos, debe ser mayor que la diferencia entre el precio actual del activo subyacente en el mercado y el precio del ejercicio al momento de adquirir el contrato (tomando la maduración T y la tasa libre de riesgo r como base para el cálculo de su valor presente), es decir, $S_0 - K e^{-rT}$.

Para determinar el límite inferior del precio de una opción *call* europea, considérense los siguientes portafolios:

- A: Una opción *call* europea y un monto de dinero igual a $K e^{-rT}$.
- B: Una unidad del activo subyacente.

Si se toma el dinero del portafolio A y se invierte a una tasa r en un período T , el valor de la inversión al momento del vencimiento de la opción es igual a K . Por otro lado, si al momento de vencimiento el precio del activo subyacente (S_T) es mayor que el precio del ejercicio (K), la opción se ejerce, y con el monto de dinero K se adquiere la unidad del activo adyacente y el valor del portafolio sería igual a S_T . Si el precio del activo subyacente (S_T) es menor que el precio del ejercicio (K), la opción no se ejerce, e independiente de que se adquieran o no unidades del activo subyacente con el monto de dinero K , el portafolio tendrá un valor de K . Así el portafolio A tendrá siempre un valor $\text{Max}(S_T, K)$.

El portafolio B, que al momento inicial está compuesto por una unidad del activo subyacente (S_0), tendrá al final el valor de mercado correspondiente al activo subyacente en el momento T (S_T) y siempre tendrá ese valor al momento del vencimiento.

Teniendo en cuenta los valores que puede tomar cada uno de los portafolios, se podría concluir que el A siempre tendría un valor igual o mayor que el B, teniendo en cuenta que $\text{Max}(S_T, K) \geq S_T$.

$$c + Ke^{-rT} \geq S_0$$

$$S_0 - Ke^{-rT} \leq c$$

Y como lo peor que le puede suceder a una opción *call* es que expire sin ser ejecutada, esto implica que $c \geq 0$ y así $c \geq \text{Max}(S_0 - Ke^{-rT}, 0)$.

Para determinar el límite inferior del precio de una opción *put* europea, considérense los siguientes portafolios:

- C: Una opción *put* europea y una unidad del activo subyacente.
- D: Una cantidad de dinero igual a Ke^{-rT} .

En el portafolio C, si el valor del activo subyacente al momento del vencimiento (S_T), es mayor que el precio del ejercicio (K), la opción no se ejerce, e independientemente de que se venda o no la unidad del activo subyacente, ésta tendrá un valor de S_T , y por tanto, el portafolio tendría para esta situación este mismo valor. En el caso de que el activo subyacente al momento del vencimiento (S_T) sea menor que el precio del ejercicio (K), se ejerce la opción, vendiendo el activo subyacente y el valor del portafolio sería de K. Por todo esto el valor del portafolio C será $\text{Max}(S_T, K)$.

El portafolio D suponiendo que se invierta a la tasa r , al momento del vencimiento de la opción tendrá el valor K. Teniendo en cuenta que S_T al momento del vencimiento podría ser mayor que K, se concluye que $\text{Max}(S_T, K) \geq K$.

$$p + S_0 \geq Ke^{-rT}$$

$$p \geq Ke^{-rT} - S_0$$

Lo peor que puede suceder es que la opción *put* no se ejerza, y por tanto, su valor no sería negativo, por esto $p \geq 0$ y así $p \geq \text{Max}(Ke^{-rT} - S_0, 0)$.

Si se tiene en cuenta el dividendo (D) en el caso de que los activos subyacentes sean acciones, modificando los portafolios A y D así:

- A: Una opción *call* europea y un monto de dinero igual a $D + Ke^{-rT}$.
- D: Una cantidad de dinero igual a Ke^{-rT} .

Al efectuar las demostraciones de la misma manera que se han realizado previamente, se llegará a la conclusión de que:

$$c \geq S_0 - Ke^{-rT} - D$$

$$p \geq D + Ke^{-rT} - S_0$$

Teniendo en cuenta los portafolios A y C, se puede afirmar que tanto c como p son iguales a $\text{Max}(S_T, K)$ al momento del vencimiento de las opciones. Como las opciones de los portafolios son europeas, no pueden ser ejercidas antes del vencimiento, y así los portafolios A y C deberían tener valores idénticos hoy. Así:

$$c + Ke^{-rT} = p + S_0$$

Esta relación es conocida como la paridad *put-call*, que dice que el valor de una opción *call* europea con cierto precio y fecha del ejercicio, puede ser deducido del valor de una opción *put* con los mismos precios y fechas de ejercicio y viceversa. Cuando esta paridad está desequilibrada, se presentan oportunidades de arbitraje.

2.3.7. Valoración de Opciones

- **Árboles binomiales.** Imagínese que se tiene un portafolio compuesto por una cantidad Δ de títulos valores con un precio en el mercado S_0 , y por una opción *call* europea sobre el mismo título valor cuyo precio es f . El vencimiento de la opción ocurrirá en el tiempo T y mientras esto ocurre, el precio de la acción se podrá incrementar u veces (para $u > 1$) o podrá ser decremento d veces (para $d < 1$), y el porcentaje de incremento sería $u - 1$ o el de decremento sería $1 - d$.

El valor de la opción depende también del incremento o decremento de la acción en el mercado, así al vencimiento T la opción se supone tendrá un precio f_u en caso de que se incremente el valor de S_0 a S_0u , y un valor de f_d en caso de que el valor de S_0 baje a S_0d .

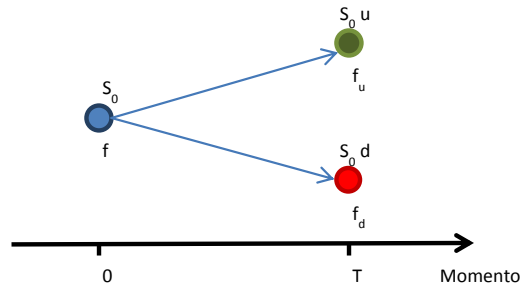


Figura 3. Árbol binomial: un paso.

Para que este portafolio se considere como libre de riesgo, la cantidad de títulos valores que lo componen debe ser tal, que el valor del portafolio sea el mismo, tanto para la situación de incremento del precio del título valor (pasa precio de S_0 a S_0u) o de decremento del precio del mismo (pasa precio de S_0 a S_0d). Así se podría decir que el portafolio es libre de riesgo si cumple que:

$$S_0u\Delta - f_u = S_0d\Delta - f_d$$

$$\text{Y así: } \Delta = \frac{(f_u - f_d)}{(S_0u - S_0d)} \quad (1)$$

Para opciones *call*, Δ debe ser positivo teniendo en cuenta que una opción *call* tiene un precio f_u mayor que 0 siempre y cuando $S_0u - K > 0$: para esta situación f_u será siempre mayor o igual que f_d . Por otro lado para las opciones *put*, Δ será siempre negativo teniendo en cuenta que la opción *put* tiene un precio f_d mayor que 0 cuando $K - S_0d > 0$: para esta situación f_d será siempre mayor o igual que f_u .

Hay que tener en cuenta que el portafolio no tiene riesgos, y que por tanto no se presentarían oportunidades de arbitraje. Teniendo en cuenta esto se toma como base la tasa de interés libre de riesgo para calcular el valor presente del portafolio en el momento T:

$$(S_0u\Delta - f_u)e^{-rT}$$

Y si el costo de armar el portafolio planteado al momento inicial es $S_0\Delta - f$ entonces:

$$S_0\Delta - f = (S_0u\Delta - f_u)e^{-rT}$$

$$\text{Y despejando } f: f = S_0\Delta(1 - ue^{-rT}) + f_ue^{-rT}$$

$$\text{Sustituyendo } \Delta \text{ según (1): } f = e^{-rT}(pf_u + (1 - p)f_d) \quad (2)$$

$$\text{Siendo } p = \frac{(e^{rT} - d)}{(u - d)} \quad (3)$$

Si la opción *call* europea tiene un período de vencimiento T , que es más amplio que los períodos de incremento o decremento del título valor en el mercado, por ejemplo, un título valor del que se tiene información de su comportamiento anual, y una opción sobre este título con T igual a dos años, se usan los árboles binomiales de dos o más pasos, en donde se usan recursivamente las condiciones y fórmulas que se han planteado hasta el momento.

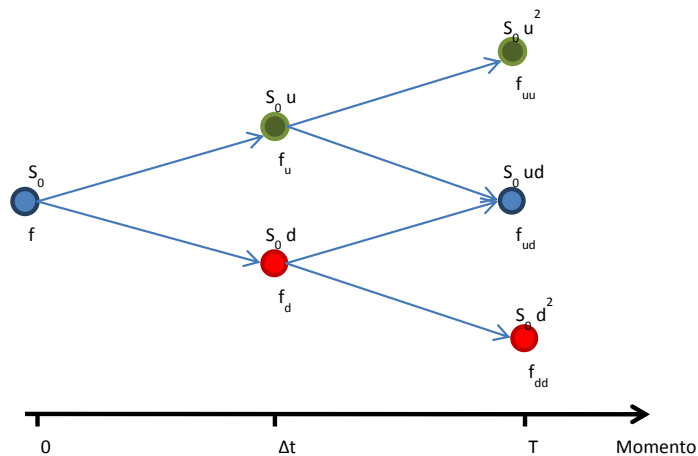


Figura 4. Árbol binomial: dos pasos.

Teniendo en cuenta que los períodos de tiempo Δt para los que se cuenta con información de posibles incrementos o decrementos es menor que el tiempo de vida de la opción T , y que luego de cada Δt se pueden presentar incrementos o decrementos en el precio del título valor, independientemente de lo que haya sucedido en el Δt anterior, para la valoración de una opción con vencimiento $T = 2\Delta t$, se deben considerar tres situaciones:

- f_{uu} : Valor de la opción cuando se presenta un incremento de u veces S_0 en Δt y otro incremento de u veces S_0 en $2\Delta t$. En donde el precio del título valor es S_0u^2 .
- f_{ud} : Valor de la opción cuando se presenta un incremento de u veces en el precio del título valor en el momento Δt o $2\Delta t$ y un decremento de d veces en el precio del título en el momento Δt o $2\Delta t$. En donde el precio del título valor es S_0ud .

- fdd: Valor de la opción cuando se presenta un decremento de d veces S_0 en Δt y otro decremento de d veces S_0 en $2\Delta t$. En donde el precio del título valor es $S_0 d^2$.

Para este análisis de dos momentos, se redefinen las ecuaciones (2) y (3), ya que los períodos de tiempo de análisis no son iguales al momento de vencimiento de la opción T , sino que serían más cortos, iguales a Δt :

$$f = e^{-rT} (p f_u + (1-p) f_d) \quad (4)$$

$$p = \frac{(e^{r\Delta t} - d)}{u - d} \quad (5)$$

Y usando de manera recursiva la ecuación (5) se tiene que:

$$f_u = e^{-r\Delta t} (p f_{uu} + (1-p) f_{ud}) \quad (6)$$

$$f_d = e^{-r\Delta t} (p f_{ud} + (1-p) f_{dd}) \quad (7)$$

Sustituyendo (6) y (7) en (4) y factorizando se obtiene:

$$f = e^{-2r\Delta t} (p^2 f_{uu} + 2p(1-p) f_{ud} + (1-p)^2 f_{dd}) \quad (8)$$

Teniendo en cuenta los árboles binomiales de dos pasos, es factible hablar de la valoración de opciones americanas, ya que éstas no necesariamente se ejercen al momento del vencimiento. Al momento de calcular los valores de las opciones americanas en los últimos nodos del árbol binomial, se calculan como para una opción europea, es decir, el valor de la opción es igual al precio del ejercicio K menos el valor del título valor en el mercado (S_{uu} , S_{ud} , S_{dd}). El método varía en los nodos de pasos anteriores, teniendo en cuenta que la opción americana se puede ejercer, entonces el valor de la opción para un nodo del árbol en un momento antes del vencimiento debe ser el valor máximo entre el valor calculado de la opción, según la ecuación (4) y el retorno de ejercer tempranamente la opción.

Hay que tener en cuenta que según el tipo de opción, se hace una u otra comparación entre el precio del ejercicio y el precio del activo subyacente en el mercado: el tenedor de una opción *call* ejerce siempre y cuando $S_0 - K > 0$ y por tanto en el momento Δt (con $T = 2\Delta t$) ejercerá siempre y cuando $S_{0u} - K > 0$. El tenedor de una opción *put* ejerce siempre y cuando $K - S_0 > 0$ y por tanto en el momento Δt (con $T = 2\Delta t$) ejercerá siempre y cuando $K - S_{0u} > 0$. Retomando esto, y teniendo en cuenta el párrafo anterior, el valor de una

opción americana en el momento Δt (para una fecha de vencimiento de la opción $T = 2\Delta t$), será:

- Para opciones *call* americanas: $\text{Max}(S_0 u - K, e^{-r\Delta t} (p f_u + (1 - p) f_d))$.
- Para opciones *put* americanas: $\text{Max}(K - S_0 u, e^{-r\Delta t} (p f_u + (1 - p) f_d))$.

Hasta el momento todo lo que se ha mencionado ha sido en un mercado libre de riesgo, sin embargo, es necesario tener en cuenta que en el medio existe la volatilidad. La manera de incluir esta volatilidad dentro de la valoración de opciones usando árboles binomiales, es calculando los valores u y d , teniendo en cuenta la volatilidad del retorno esperado en el mundo real (σ), y calculando la probabilidad de aumento en el valor del activo subyacente p , teniendo en cuenta los nuevos cálculos de u y d y el retorno esperado en el mercado del mundo real (μ).

Considere p^* como la probabilidad de incrementar el valor del activo subyacente S_0 en el mundo real, y una tasa de retorno esperado en el mundo real de μ . El precio esperado del activo subyacente será $S_0 e^{\mu\Delta t}$. Mirándolo desde el árbol, el valor esperado del precio de la acción es:

$$p^* S_0 u + (1 - p^*) S_0 d$$

Si este es el valor esperado del activo subyacente, entonces el valor en el momento actual S_0 llevado a futuro usando como base la tasa de retorno esperada en el mundo real μ debe ser igual:

$$p^* S_0 u + (1 - p^*) S_0 d = S_0 e^{\mu\Delta t} \quad (9)$$

La volatilidad de un título valor está definida de manera que $\sigma\sqrt{\Delta t}$ es la desviación estándar del retorno del precio de la acción en un corto período de tiempo Δt . De esta misma manera la varianza es $\sigma^2\Delta t$. La varianza de una variable X es igual a $E(X^2) - [E(X)]^2$ donde E es el valor esperado. Entonces la varianza del retorno esperado del precio del título valor es:

$$p^* u^2 + (1 - p^*) d^2 - (p^* u + (1 - p^*) d)^2$$

$$\text{Y por tanto: } p^* u^2 + (1 - p^*) d^2 - (p^* u + (1 - p^*) d)^2 = \sigma^2\Delta t \quad (10)$$

$$\text{Sustituyendo de (9) en (10): } e^{\mu\Delta t} (u + d) - ud - e^{2\mu\Delta t} = \sigma^2\Delta t$$

Resolviendo la ecuación al ignorar los términos Δt^2 y potencias más altas de Δt :

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (11)$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (12)$$

Las ecuaciones (11) y (12) son las que se deben usar para calcular u y d teniendo en cuenta la volatilidad del mercado del mundo real: valores necesarios para calcular la probabilidad de incremento (p) del título valor. Luego de calcular p usando la ecuación (3) con los valores u y d de (11) y (12) el método para valorar la opción usando árboles binomiales es igual a como se ha venido planteando.

Para valorar opciones cuyo activo subyacente es diferente a un título valor sin dividendo, se define p como:

$$p = \frac{(a - d)}{(u - d)} \quad (13)$$

Siendo a hasta el momento para un título valor sin dividendo: $a = e^{rT}$

Si se desea hacer la valoración de un título valor con una tasa continua de dividendo, suponga que q es la tasa de dividendo. Así los retornos del dividendo serán q y las ganancias por capital deberán proveer un retorno de $r - q$, suponiendo una tasa en un mercado libre de riesgo r de retorno tanto para dividendos como para capital. Si la acción tiene un precio inicial S_0 , su valor esperado en Δt es $S_0 e^{(r-q)\Delta t}$ y por tanto:

$$p S_0 u + (1 - p) S_0 d = S_0 e^{(r-q)\Delta t}$$

Y a partir de esto se redefine p:
$$p = \frac{(e^{(r-q)\Delta t} - d)}{(u - d)}$$

En caso de que existan volatilidades se usan las ecuaciones (11) y (12) para calcular u y d y luego se calcula p según la redefinición que se acaba de hacer. Se usa esta misma redefinición de p cuando se valoran opciones sobre índices de las acciones.

Cuando se valoran opciones sobre monedas extranjeras, se tiene en cuenta las tasas libres de riesgos locales (r) y del mercado extranjero (r_f) al que pertenece la divisa y se redefine a para el cálculo de p en (13).

$$a = e^{(r - r_f)\Delta t}$$

En caso de que existan volatilidades se usan las ecuaciones (11) y (12) para calcular u y d y luego se calcula p, teniendo en cuenta también la redefinición de ¿qué?. En caso de que

existan volatilidades se usan las ecuaciones (11) y (12) para calcular u y d y luego se calcula según la redefinición que se acaba de hacer. Se usa esta misma redefinición de α .

- **Modelo Black-Scholes.** Este modelo asume que el comportamiento de los cambios porcentuales del precio de un título valor en un período corto de tiempo tienen una distribución normal. Teniendo en cuenta esto, y definiendo a μ como el retorno esperado anual de un título valor y a σ como la volatilidad anual del precio de la acción, la media del retorno en un período de tiempo Δt es $\mu \Delta t$ y la desviación estándar del retorno es $\sigma\sqrt{\Delta t}$, y:

$$\frac{\Delta S}{S} \sim \phi(\mu \Delta t, \sigma^2 \Delta t) \quad (1)$$

En donde ΔS es el cambio en el precio del título valor S en el tiempo Δt y $\phi(m, v)$ denota una distribución normal con media m y varianza v. Este modelo implica para el precio del título valor en T S_T y para el precio del título valor en 0 S_0 lo siguiente:

$$\ln S_T - \ln S_0 \sim \phi\left(\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)T, \sigma^2 T\right)$$

$$\text{por tanto: } \ln \frac{S_T}{S_0} \sim \phi\left(\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)T, \sigma^2 T\right) \quad (2)$$

$$\text{y que finalmente: } \ln S_T \sim \phi\left(\ln S_0 + \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)T, \sigma^2 T\right) \quad (3)$$

Propiedad lognormal de los precios de las acciones. Una variable V tiene una distribución lognormal si $X = \ln(V)$ tiene una distribución normal. Suponiendo que X es $\phi(m, s^2)$ con media m y desviación estándar s. La función de densidad probabilística para X es:

$$\frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-m)^2}{2s^2}}$$

Y por tanto la densidad probabilística para V es:
$$h(V) = \frac{1}{sV\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(V)-m)^2}{2s^2}}$$

Considerando el momento n de V:
$$\int_0^{+\infty} V^n h(V) dV$$

Sustituyendo $V = e^X$:
$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{nX}}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-m)^2}{2s^2}} dX$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-m-ns^2)^2}{2s^2}} e^{-\frac{(2mns^2+n^2s^4)^2}{2s^2}} dX$$

$$e^{\frac{mns^2+n^2s^2}{2}} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-m-ns^2)^2}{2s^2}}$$

Como la integral en esta expresión es la integral de una función distribuida normalmente, una función con media $m + ns^2$ y una desviación estándar de s cumple que:

$$\int_0^{+\infty} V^n h(V) dV = e^{nm + \frac{n^2 s^2}{2}}$$

El valor esperado de V se presenta cuando $n = 1$. Así: $e^{m + \frac{s^2}{2}}$

$$\text{Siendo: } m = \ln(S_0) + \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)T \quad \text{y } s = \sigma\sqrt{T}$$

$$\text{Entonces: } E(S_T) = S_0 e^{\mu T} \quad (4)$$

Y como la varianza de V es $E(V^2) - [E(V)]^2$: $e^{2m+2s^2} - e^{2m+s^2}$

$$\text{Entonces: } \text{var}(S_T) = S_0^2 e^{2\mu T} (e^{\sigma^2 T} - 1) \quad (5)$$

La propiedad log normal de los precios de las acciones, puede ser usada para proveer información sobre la distribución de la probabilidad de la tasa compuesta continua de retorno anual, adquirida entre los momentos 0 y T . Si se define la tasa compuesta continua de retorno anual adquirida entre 0 y T como x , entonces:

$$S_T = S_0 e^{xT}$$

$$x = \frac{1}{T} \ln S_T$$

$$\text{Siendo } \frac{S_T}{S_0} \quad (6)$$

$$\text{Gracias a (2) se puede afirmar que } x \sim \phi\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}, \frac{\sigma^2}{T}\right) \quad (7)$$

Así la tasa continua compuesta de retorno anual se distribuye normalmente con una media $\mu - \frac{\sigma^2}{2}$ y una desviación estándar $\frac{\sigma}{\sqrt{T}}$. En la medida en que T incrementa, la desviación estándar de x se reduce.

El retorno esperado de un título valor μ requerido por los inversionistas depende del riesgo del mercado: entre más riesgo, más retorno esperado. Este también depende de las tasas de interés de la economía: entre más altas las tasas más alto el retorno esperado de cualquier título valor. Sin embargo, cuando se expresa el valor de una opción en términos del valor del activo subyacente, no hay dependencia de μ .

La ecuación (1) muestra que $\mu\Delta t$ es la variación porcentual esperada de un título valor en un período de tiempo Δt muy corto. Sería normal asumir de esto que μ es el retorno compuesto continuo esperado de una acción, pero esto no es así, el retorno compuesto continuo x para un período de tiempo de duración T es el dado por la ecuación (6). Y como se indica en la ecuación (7), el valor esperado E(x) de x es $\mu - \sigma^2/2$.

La razón por la que la tasa de retorno continua compuesta de retorno es diferente de μ es tenue, pero importante. Suponga que se consideran una gran cantidad de períodos cortos de tiempo de tamaño Δt , y que S_i es el precio de la acción al final del **iesimo** intervalo y ΔS_i como el incremento entre períodos $S_{i+1} - S_i$. Según los supuestos que se han hecho para el comportamiento del precio del título valor, el promedio de los retornos para cada intervalo se acerca a μ . Diciéndolo de otra manera, $\mu\Delta t$ es cercano a la media aritmética de $\frac{\Delta S_i}{S_i}$ y el retorno esperado para todo el período que cubren los datos, expresado por un intervalo compuesto de Δt es cercano a $\mu - \sigma^2/2$ y no a μ .

La volatilidad de un título valor es una medida del grado de incertidumbre de los retornos generados. Las acciones generalmente tienen una volatilidad de entre el 15% y el 60%.

De la ecuación (7) se podría definir la volatilidad de un título valor como la desviación estándar del retorno generado por la acción en un año, siendo este retorno una tasa continua y compuesta.

Cuando Δt es pequeña, la ecuación (1) muestra que $\sigma^2\Delta t$ es aproximadamente igual a la varianza del cambio porcentual en el precio de la acción en un periodo Δt . Esto significa que $\sigma\sqrt{\Delta t}$ es aproximadamente igual a la desviación estándar del cambio porcentual del precio del título valor en Δt .

Comentario [R1]: ¿Está bien esta palabra?, no se entiende ¿es acaso mismo?

- **Derivación de la ecuación diferencial de Black-Scholes.** Suponiendo que el retorno esperado y la volatilidad son constantes, que S es el precio de una acción en el período t , entonces el valor del incremento de la acción será μS para un valor constante de μ . Esto significa que para un intervalo corto de tiempo Δt , el incremento esperado de S es $\mu S \Delta t$. La volatilidad del precio de la acción se asume como 0 en períodos cortos de tiempo y siendo constante, implica que:

$$\Delta S = \mu S \Delta t$$

Y en el límite en el que $\Delta t \rightarrow 0$: $dS = \mu S dt$

$$\frac{dS}{S} = \mu dt$$

Integrando por el período de tiempo comprendido entre 0 y T: $S_T = S_0 e^{\mu T}$ (8).

En donde S_0 y S_T son los precios de la acción en los momentos 0 y T. La ecuación (8) muestra que cuando la varianza es 0, el precio de la acción crece continuamente a una tasa compuesta de μ para cada unidad de tiempo. En la vida real el precio de la acción es afectado por la volatilidad. Un supuesto razonable es que la variabilidad del porcentaje de retorno en un período corto de tiempo Δt , es la misma sin importar el precio de la acción. En otras palabras, un inversionista maneja la misma incertidumbre acerca del retorno de la acción, tanto cuando el precio es \$30 como cuando el precio es \$10. Esto sugiere que la desviación estándar del cambio en el precio para un período corto de tiempo Δt debe ser proporcional al precio de la acción, y sigue que:

$$dS = \mu S dt + \sigma S dz$$

$$\frac{dS}{S} = \mu S dt + \sigma S dz \quad (9)$$

Suponiendo que f es el precio de una opción *call* u otro derivado subyacente a S , la variable f debe ser alguna función en términos de S y t . Siguiendo el lema de ITO, la ecuación para f sería:

$$df = \left(\frac{\partial f}{\partial S} \mu S + \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 \right) dt + \frac{\partial f}{\partial S} \sigma S dz \quad (10)$$

Las versiones discretas de las ecuaciones (9) y (10) son:

$$\Delta S = \mu S \Delta t + \sigma S \Delta z \quad (11)$$

$$\Delta f = \left(\frac{\partial f}{\partial S} \mu S + \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 \right) \Delta t + \frac{\partial f}{\partial S} \sigma S \Delta z \quad (12)$$

En donde Δf y ΔS son cambios en f y S en un corto período de tiempo Δt . Supóngase ahora que hay un portafolio compuesto por -1 derivado y $\frac{\partial f}{\partial S}$ acciones. El tenedor de este portafolio tiene entonces una posición corta en un derivado y una posición larga en $\frac{\partial f}{\partial S}$ acciones.

Retomando el lema de ITO los proceso de Wiener (los factores Δz) de las funciones de Δf y ΔS son los mismos, y por tanto se eliminan. Si Π es el valor del portafolio, entonces:

$$\Pi = -f + \frac{\partial f}{\partial S} S \quad (13)$$

El cambio en el valor del portafolio está dado por: $\Delta \Pi = -\Delta f + \frac{\partial f}{\partial S} \Delta S \quad (14)$

Sustituyendo ecuaciones (11) (12) en la ecuación (14):

$$\Delta \Pi = - \left(\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 \right) \Delta t \quad (15)$$

Como la ecuación no tiene en cuenta los Δz , el portafolio debe ser libre de riesgo en el periodo de tiempo Δt . Asumir esto implica que el portafolio debe tener al instante la misma tasa de retorno que otros títulos de corto plazo libres de riesgo. Si con el portafolio se gana más que la tasa libre de riesgo, los arbitrajistas podrían hacer un movimiento libre de riesgo prestando dinero para comprar el portafolio, si gana menos, los arbitrajistas podrían tomar una posición corta con el portafolio y comprando otros títulos libres de riesgo. Siendo r para esta situación la tasa de interés libre de riesgo, se sigue que:

$$\Delta \Pi = r \Pi \Delta t \quad (16)$$

Sustituyendo de las ecuaciones (13) (15): $\left(\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 \right) \Delta t = r \left(f - \frac{\partial f}{\partial S} S \right) \Delta t$

Y así: $\frac{\partial f}{\partial t} + rS \frac{\partial f}{\partial S} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} = rf \quad (17)$

La ecuación (16) es la ecuación diferencial de *Black-Scholes* – Merton. Tiene muchas soluciones, que corresponden a las diferentes derivaciones que pueden ser definidas con S como la variable adyacente. La derivación particular que es obtenida cuando la ecuación es resuelta, depende de las condiciones que sean usadas. En el caso de una opción *call* europea, la condición clave es:

$$f = \max(S - K, 0) \text{ cuando } t = T$$

Y en el caso de una opción *put* europea, sería:

$$f = \max(K - S, 0) \text{ cuando } t = T.$$

- **Fórmulas de valoración de opciones *Black-Scholes*.** Teniendo en cuenta los límites definidos para las opciones europeas *put* y *call*, las fórmulas para calcular el precio de una opción *put* europea sin dividendos es:

$$c = S_0 N(d_1) - K e^{-rT} N(d_2)$$

Y el precio de la opción *put* es:

$$p = -S_0 N(-d_1) + K e^{-rT} N(-d_2)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K} + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T\right)}{\sigma\sqrt{T}} \text{ y}$$

En donde:

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

En donde $N(x)$ es la probabilidad de que una variable distribuida normalmente $\phi(0,1)$ sea menor que x , c y p son los precios de las opciones *call* y *put* europeas, S_0 es el precio de la acción en el momento 0, K el precio del ejercicio, r es la tasa de interés compuesta continua libre de riesgo, σ la volatilidad del precio del activo subyacente, y T el tiempo para el vencimiento de la opción.

Para usar estas fórmulas con acciones que pagan dividendos, se calcula el valor presente de los dividendos y se resta éste al precio de la acción en el momento 0 S_0 y se utiliza este valor recalculado en las ecuaciones para d_1 y d_2 .

2.4 MARCO TEÓRICO ESTRATEGIA DE INNOVACIÓN¹⁰

- ### 2.4.1 Estrategia de innovación en productos y servicios.
- Luego de tener claro el concepto de innovación, lo primero es definir cuáles son las metas y los objetivos de innovación de la

¹⁰ Basado en el libro de Cooper y Edget, *Estrategia de Innovación*. Ver (Cooper, et al., 2009).

estrategia a implementar. Sin embargo hay que aclarar que se trata de un nuevo producto o servicio para la organización, así como la clasificación de los mismos. Según un estudio realizado por el profesor Cooper a varias compañías se trata de:

- Nuevos para el mundo: nuevos en su tipo, crean un nuevo mercado.
- Nuevas líneas de producto: nuevos para la empresa, nueva línea de producción, entrada a un mercado existente.
- Adiciones a las líneas de productos: nuevos para la empresa, línea de producción existente, novedosos para el mercado ya atacado.
- Mejoras y revisiones a productos existentes: reemplazos a versiones anteriores.
- Reposicionamiento: nuevos usos a productos existentes.
- Reducción de costos: reemplazos a productos costosos.

Según esta clasificación, hay que definir qué es un nuevo producto para la organización para la cual se define una estrategia de innovación. La siguiente es la distribución de lo que consideran las empresas como nuevos productos, en el estudio realizado por el profesor Robert Cooper, usando la información de cientos de empresas.

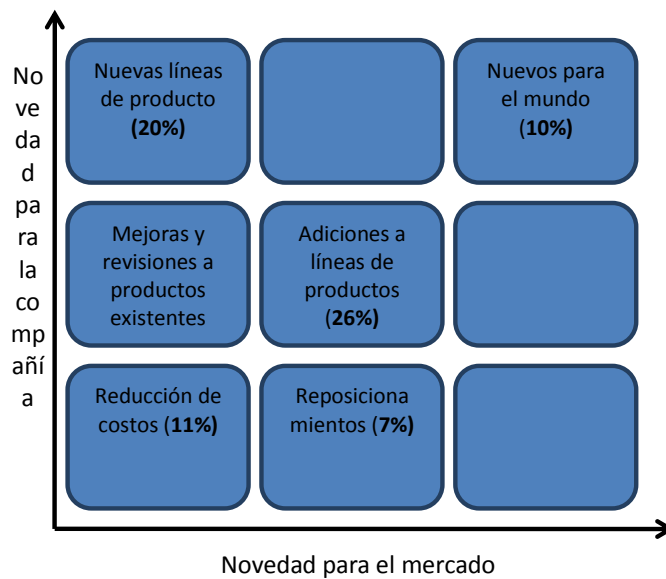


Figura 5. Clasificación de nuevos productos.

Luego de definir qué es un nuevo producto para la organización, se deben plantear metas y objetivos. Teniendo en cuenta que las metas son amplias, incluyen intenciones generales, que tienden a ser intangibles, abstractas y difíciles de validar; por ello deben ser apoyadas por la redefinición de objetivos, que deben ser específicos, puntuales, tangibles, concretos y validables. Estos objetivos en las mejores empresas a nivel mundial en innovación son:

- Porcentaje de ventas de nuevos productos y servicios.
- Porcentaje de ingresos generados por nuevos productos y servicios.
- Aporte porcentual al crecimiento del negocio de las ventas o ingresos de nuevos productos y servicios.
- Retorno sobre la inversión en innovación.
- Rol estratégico de la innovación en el negocio.

Luego de definir todos estos objetivos, lo siguiente es analizar estratégicamente el mercado, la tecnología y la industria, propia y de la competencia, de manera que se identifiquen cuáles son las fortalezas de la compañía para atacar los *drivers* de los clientes actuales y potenciales. Los *drivers* son las variables que hacen que un cliente sea rentable y exitoso. Acá se usan los análisis de las 5 fuerzas de Porter por ejemplo, para obtener una mirada periférica de la situación estratégica de la compañía, e identificar los campos de batalla atractivos para ésta. Luego se deben evaluar las fortalezas de la compañía comparándolas con la competencia, teniendo en cuenta temas como:

- Competencias de mercado propias contra las de la competencia:
 - Lealtad de clientes claves y relaciones con los clientes.
 - Marca y reputación en el mercado.
 - Producto – Calidad, desempeño, confiabilidad, valor que brinda.
 - Canales de distribución.
 - Fuerza de ventas.
 - Habilidades en relaciones públicas, comunicaciones y publicidad.
 - Habilidades en soporte y servicio técnico.

- Los productos y sus tecnologías contra los de la competencia:
 - Áreas de liderazgo del producto, tecnológicamente hablando.
 - Capacidades de desarrollo de productos.
 - Acceso a nuevas tecnologías internas y externas.
 - Tecnologías únicas o habilidades tecnológicas.
 - Propiedad intelectual y posiciones de propiedad.
- Capacidades en la operación y tecnología contra los competidores:
 - Recursos de producción, capacidades e instalaciones.
 - Competencias o habilidades únicas.
 - Capacidades tecnológicas en las operaciones de producción.
 - Tecnologías únicas de producción, propiedad intelectual, protección.
 - Acceso único a materiales.
 - Fuerza de trabajo.

Con fortalezas y competencias identificadas y evaluadas, es el momento de seleccionar las arenas, o campos de batalla (sectores del mercado) sobre los que se buscará la consecución de los objetivos y metas planteados. Estas arenas están definidas según la novedad tecnológica y la novedad del mercado para la organización, y se califican teniendo en cuenta dos dimensiones muy importantes: lo atractivo de la arena, y la fortaleza del negocio para actuar o atacar en esta arena.

Lo atractivo de una arena se define según qué tan atractivo es el mercado (tamaño del mercado, número de clientes potenciales, tasas de crecimiento, intensidad de la competencia, potencial en el largo plazo), qué oportunidades tecnológicas tiene la organización (porcentaje de introducción de nuevos productos en la arena, madurez de la tecnología en la arena), y con cuáles de éstas puede atacar ese mercado atractivo. La fortaleza del negocio se define según las competencias *core* definidas anteriormente, que hacen a la organización efectiva en esta arena, la posición que tendría la organización en la arena según las fortalezas, y los usables que son las competencias en la arena.

Teniendo claros los objetivos, metas, y habiendo seleccionado las áreas del mercado sobre las que se ejecutará la estrategia, es necesaria la definición del plan de ataque. Teniendo en cuenta variables como la capacidad de innovación, las dimensiones competitivas, la

ubicación geográfica, según la madurez y apropiación de la tecnología involucrada en el nuevo producto.

Según las capacidades de innovación en una arena y teniendo en cuenta la relación de la importancia del desarrollo de nuevos productos y los esfuerzos reactivos o proactivos, la organización podría ser:

- Innovadora. Prospectos del mercado, encuentran valor al ser los primeros con nuevos productos y tecnologías. Tienen una respuesta proactiva a señales del entorno.
- Seguidora. Analítica, monitorea cuidadosamente las acciones de los competidores, copia rápidamente las creaciones de los innovadores. Tienen una respuesta más reactiva a las señales del entorno.
- Reactor. No es agresivo, trata de mantener sus productos y mercados establecidos, sólo responde cuando es forzado, reacciona ante las acciones de los competidores y fuerzas externas, tiene una estrategia inconsistente.
- Defensora. Intenta mantener una posición segura en un nicho, todo esto ofreciendo mayor calidad o menos precios.

Según las capacidades competitivas, y teniendo en cuenta la relación del enfoque competitivo y las ventajas competitivas, una organización podría ser:

- Líder en costos: ofrece diferentes productos a precios competitivos y bajos.
- Diferenciada: ofrece productos diferenciados a precios Premium.
- Enfocada en costos: ofrece productos a precios bajos en mercados objetivo.
- Enfocada diferenciada: ofrece productos a precios Premium en mercados objetivo.

Según la posición geográfica, y teniendo en cuenta los lugares en donde se comercializa el producto y la estrategia de mercado objetivo, la organización puede adoptar siete posibles estrategias:

- Doméstica: desarrolla un producto para el país origen de la compañía. Se vende sólo en ese país.
- Producto doméstico con exportación regional: desarrolla un producto para el país origen de la compañía, y lo exporta a las regiones cercanas.
- Producto doméstico con exportación global: desarrolla un producto para el país origen, y lo exporta a cualquier parte del mundo.

- Producto global y mercado regional: fabrica un producto y usa las entradas regionales al mercado, para lanzarlo en una región.
- Productos globales, mercado mundial: desarrolla un producto para el mundo, usa las entradas que se tiene a diferentes partes del mundo, lanzamiento global.
- Producto Glocal, mercado regional: desarrollo de un producto configurable con una plataforma. Muchas variantes desarrolladas para mercados locales de una región.
- Producto Glocal, mercado global: desarrollo de un producto configurable con una plataforma. Muchas variantes desarrolladas para mercados locales de todo el mundo.

Al decidir si se entra o no en nuevas arenas, se puede estar generando la necesidad de crear nuevas capacidades y tecnologías para la organización, teniendo en cuenta lo novedoso y familiar de la tecnología para la organización, así como lo novedoso y familiar del mercado para la misma. Estas necesidades de nuevas capacidades y tecnologías se pueden cubrir de diferentes maneras:

- Licenciamiento: acuerdo legal por medio del cual una firma vende a otra tecnología o productos para el uso o venta de otra compañía, normalmente por unos honorarios acordados y derechos.
- *Joint Venture*: arreglo formal entre dos socios para un desarrollo en conjunto o iniciativa de negocio. Los riesgos y recompensas son negociados y compartidos formalmente.
- Co-Desarrollo: trabaja con socios de afuera en el desarrollo de nuevos productos y servicios. Puede ser visto como un tipo de *Joint Venture* o iniciativa de *open innovation*. Debe incluir desarrollo *peer to peer* o desarrollo proveedor-cliente.
- *Open innovation*: desarrollo colaborativo que incluye conceptos amplios de apalancamiento en todas las fuentes de ideas, tecnología e innovación para generar crecimiento interno. También incluye el *spin-off* y el *outsourcing* de propiedad intelectual no usada.
- Innovación Colaborativa: similar al *open Innovation* y al co-desarrollo, pero también debe incluir redes formales o consorcios que estudian asuntos similares y desarrollan nuevos productos y servicios.
- *Open source*: se deriva del término de la industria del *software*, donde colaboraciones informales y estructuradas toman lugar, para crear una salida compartida que conviene a todos.

- Adquisición educacional: una compañía grande compra una compañía tecnológica pequeña para aprender más de una tecnología, adquirirla.
- Capital a riesgo: cuando una empresa invierte en una pequeña, generalmente una de alta tecnología y toma una posición de propietaria. En un modelo de incubación, la administración de la empresa grande juega un rol activo en la administración de la pequeña, jugando un papel de mentora.

Luego de definir los roles que jugará la organización dentro de cada una de las arenas, es necesario comenzar a definir cómo se asignarán los recursos. Esta asignación responde a las preguntas de cuánto se debe invertir en innovación, y en dónde se debe concentrar la mayor cantidad de recursos.

Para resolver la inquietud de cuánto se debe invertir en innovación, se usan por lo general cuatro métodos:

- Invertir según el rol estratégico del negocio: se toma acá el viejo modelo de portafolio del Boston Consulting Group, en el cual se categorizan los productos, según el crecimiento del mercado, y la participación en el mercado en estrellas, perros, vacas y gatos salvajes.



Figura 6. Clasificación de productos Boston Consulting Group.

Se sugiere que para los negocios estrella se invierta más que el promedio de la industria en innovación, que en los negocios “vaca” se invierta el promedio, que en los

negocios “perros” sólo se invierta en innovación, lo cual es seguro que generará retorno, y en los negocios nuevos, inciertos “Gatos Salvajes”, se evalúen las oportunidades de innovación por aparte, en la medida que aparezcan y se tome en el respectivo momento la decisión de si invertir o no.

- Invertir según los objetivos y tareas: acá se requiere convertir los objetivos en una cantidad requerida de nuevos productos anuales. Teniendo en cuenta el porcentaje de éxito de proyectos de innovación se calcula así la cantidad de ideas o proyectos relacionados con nuevos productos que se requieren para obtener la cantidad de productos deseados, y para éstos se determinan la cantidad de recursos que se requieren por área involucrada. Luego se compara esto con la cantidad de recursos disponibles para los proyectos, y se calculan *gaps* de recursos, sea para adquirirlos, o para redefinir las metas de manera que sean alcanzables.
- Invertir según la paridad competitiva: consiste en hacer *benchmarking* con la industria acerca de la inversión en innovación, y tomar éste como el parámetro base con el que se definirá la cantidad mayor, menor o igual que se invertirá en innovación, según la estrategia planteada.
- Inversión sobre demanda: según van apareciendo nuevas oportunidades de inversión en innovación, se van asignando recursos. Se recomienda que si se usa este método se tenga un proceso de evaluación de proyectos de innovación muy riguroso, de manera que lo que llegue a la asignación de recursos sea de verdad de retorno potencial, y no se asignen recursos de manera errada. La cantidad de recursos es limitada, y se medirá su suficiencia con respecto a la cantidad de proyectos que están en lista de espera.

Para resolver la inquietud de en dónde se deben invertir la mayor cantidad de recursos se definen unas “canastas” o “bolsas” estratégicas de recursos, que servirán para clasificar los proyectos según la prioridad que da la estrategia definida. Entre más estratégica, y más aporte a los objetivos de la clasificación de la canasta, mayor cantidad de recursos de los totales se asignarán. Las clasificaciones más populares para las canastas o bolsas de proyectos son: mercado (mercados, segmentos, sectores, geografía), tipos de proyecto (plataformas, nuevos productos, mantenimiento, mejoras, reducciones de costo), líneas de producto, tamaño de proyecto, tecnología, plataforma, metas estratégicas.

Cuando se quiere dar tamaño a cada una de las bolsas de proyectos, en cuanto a cantidad de recursos, se tiene en cuenta la cantidad histórica destinada en esa bolsa, el rendimiento en los últimos años de la inversión en I+D para la bolsa, la cantidad de recursos asignados en el último año, y el *benchmarking* con la industria.

Luego de definir toda la estrategia, productos, asignación de recursos, proyectos necesarios, entre otros, hay suficiente material para construir el pronóstico del mercado,

los *roadmaps* de productos y de tecnologías, y las relaciones entre éstos, los proyectos y los recursos.

En los *roadmaps* se identifican las rutas críticas de productos, tecnologías y proyectos que están alineados con los mercados objetivos identificados.

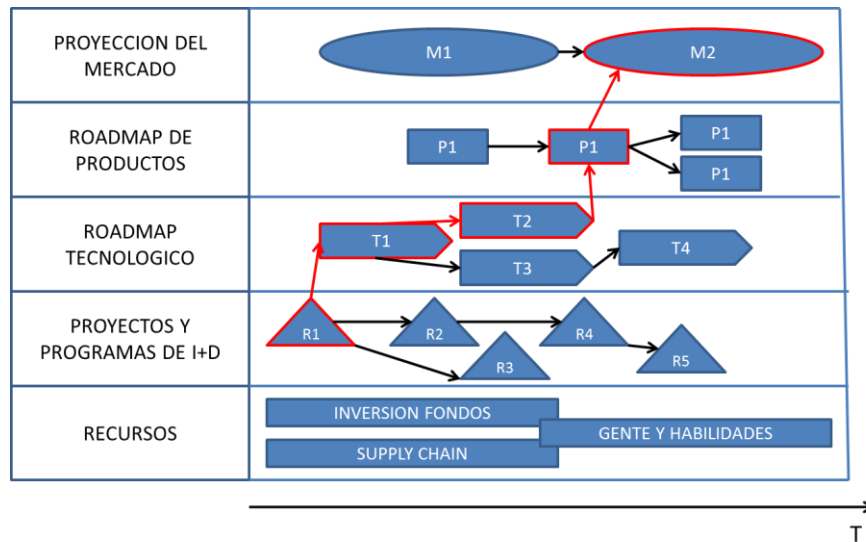


Figura 7. Interacción roadmaps, recursos, proyectos y mercados.

Por favor tildar en la figura: **Proyección del mercado, Roadmap Tecnológico e Inversión fondos**

2.4.2 El proceso idea producto. Teniendo clara la estrategia, y la concentración de recursos en proyectos de innovación, lo que garantiza el buen desarrollo de la estrategia es un buen proceso de gestión de proyectos de innovación.

Un buen proceso de innovación debe ser uno sistemático de calidad que facilite la transformación de ideas en productos. Los proyectos de innovación pueden tener mucha incertidumbre, por lo cual se requiere un proceso que gestione el equilibrio entre el riesgo asumido y la inversión requerida. Para generar la cantidad suficiente de productos innovadores exitosos, se requieren muchas más ideas potenciales de nuevos productos y un proceso que sea más un embudo que un túnel. De todas las ideas deben quedar las mejores, de manera que los recursos no se inviertan en muchos posibles productos, sino en los proyectos que representan las más grandes oportunidades.

El equipo central de la gestión de la innovación debe ser un equipo multidisciplinario, que incluya expertos en las áreas de mercadeo, operaciones, tecnología, investigación y desarrollo y comercialización, que trabajen de forma paralela, de manera que se tomen decisiones acertadas en la selección de proyectos viables para el mercado, los procesos de producción y la infraestructura con que se cuenta.

El proceso debe ser enfocado desde el comienzo al mercado y al cliente, con inversiones y esfuerzos importantes en las etapas previas al desarrollo del producto, en el análisis del mercado y la industria, la viabilidad técnica, financiera y la conceptualización de los productos y servicios a desarrollar, de manera que se obtengan ideas maduras de productos, y conceptos que más que brindar soluciones a los problemas y necesidades de los clientes, deben resolver las inconformidades de los productos de la competencia. El resultado de todo este proceso debe ser la comercialización de un producto superior y diferenciado que tenga una propuesta de valor para el usuario.

Todo esto se logra con el proceso Etapa-Puerta creado por el profesor Robert Cooper: como su nombre lo dice el proceso está conformado por etapas, en donde se ejecutan actividades correspondientes a los proyectos de innovación, y por puertas, en donde se evalúan los diferentes proyectos, según diferentes criterios de obligatorio cumplimiento y de otros calificados, según niveles predefinidos.

El proceso está definido por 6 etapas y 5 compuertas, las etapas se ilustran con recuadros y las puertas con rombos. Las etapas del proceso estándar son:

- Descubrimiento: conocido comúnmente como el proceso de ideación. Es acá en donde se generan todas las ideas de nuevos productos, siendo éste el disparador del proceso de innovación. El proceso de nuevos productos debe estar enfocado al mercado y al cliente.
- Enfoque de la idea: sin invertir muchos recursos, se pretende que el dueño de la idea haga un estudio corto de viabilidad técnica y de mercado de la idea que plantea, usando recursos de información a la vista (Internet, reportes, bases de datos).
- Construcción del caso de negocio: luego de mirar en la etapa pasada la viabilidad técnica y de mercado de una manera muy general y con poca información, se da en esta etapa mayor nivel de enfoque a la idea. En este punto se define el mercado objetivo, se define el concepto del producto o servicio, la posición estratégica del producto, los beneficios que brinda al cliente y la propuesta de valor, teniendo en cuenta las necesidades del cliente, los gustos y preferencias.

Además, en la etapa se incluye la viabilidad financiera, el análisis de riesgos que justifican el proyecto, y un plan detallado del proyecto (recursos, cronograma, entregables, tiempos). Se incluye dentro del análisis de riesgos la metodología de evaluación de riesgo operacional ARO, en donde se definen los riesgos en recursos humanos, información, tecnología, clientes, recursos financieros, proceso, se definen las estrategias de mitigación, las probabilidades de ocurrencia y el impacto en el resultado final del proyecto.

Dentro del análisis financiero se definen los ingresos y los egresos mes a mes, y se calculan los indicadores tradicionales de los flujos de caja proyectados, como el valor presente neto y la tasa interna de retorno. Actualmente se está definiendo un complemento a la evaluación financiera de proyectos de innovación, que se basa en opciones reales.

- Desarrollo: el desarrollo del producto se puede considerar por sí sola un proyecto. Está compuesta por todas las actividades que se deben ejecutar para lograr el desarrollo del producto, todo esto según lo definido en el caso de negocio realizado.
- Pruebas: antes del lanzamiento del producto, es necesario realizar *tests in-house* del producto, pruebas de campo con clientes, producción piloto del producto, piloto de ventas en el mercado y el análisis financiero y del negocio.
- Lanzamiento: implementación del lanzamiento al mercado y el plan de producción y de operaciones.

Las compuertas evalúan el desarrollo de cada una de las etapas. Es en estos puntos en donde se toma la decisión de continuar o no un proyecto, según unas variables de calificación que pueden variar, según la etapa que se chequea, y que deben ser más exigentes que los criterios de las compuertas predecesoras. Las compuertas son:

- Luego del descubrimiento de la idea: acá el proyecto está naciendo, en caso de decidir que se continúa, se sigue con la etapa de enfoque. En este punto la idea es muy inmadura, y los criterios de evaluación son: alineación estratégica, viabilidad técnica, magnitud de la oportunidad, lo atractivo del mercado, ventajas del producto y cumplimiento de políticas.

Este análisis es muy general, con bajo nivel de detalle, y da una luz verde intermitente a la continuidad del proyecto.

- Luego del enfoque: en esta compuerta se deben analizar todos los criterios de evaluación de la compuerta anterior, dando más profundidad a los temas del mercado, teniendo en cuenta reacciones de los clientes ante los nuevos productos y servicios y factores legales, técnicos y regulatorios que pueden dejar por fuera el proyecto. Teniendo en cuenta que hay una primera interacción con el cliente, deben estar más completos los temas de viabilidad de mercado, técnicas, alineación estratégica, lo atractivo del mercado, y oportunidades del producto, y por tanto, la evaluación debe ser más estricta.
- Luego de la construcción del caso de negocio: se tienen en cuenta las variables de las etapas anteriores, pero con mayor rigurosidad en la calificación. En esta compuerta la decisión más importante se toma basada en el caso de negocio, sobre el análisis financiero, el análisis de riesgo, el plan de trabajo, los entregables, los tiempos de entrega, la asignación de recursos.
- Luego del desarrollo del producto: se chequea que se haya cumplido con el plan de trabajo satisfactoriamente, según lo definido en el caso de negocio. Se evalúa de nuevo lo atractivo del producto y por tanto del proyecto. Acá también se hace una revisión de la proyección financiera, dada en el caso de negocio y se reformula con datos del proceso de desarrollo del producto más exactos, para reevaluar la viabilidad financiera.
- Luego de las pruebas: se evalúan los resultados de las pruebas realizadas (*tests in-house* del producto, pruebas de campo con clientes, producción piloto del producto, piloto de ventas en el mercado y el análisis financiero y del negocio). Y se le da, ahora sí con toda la información requerida, el último retoque a los diferentes análisis de viabilidad del producto (financiero, tecnológico, de mercado).



Figura 8. El proceso Stage-Gate.

Cada una de las compuertas es ejecutada por un comité evaluador, que debe ser independiente a los proyectos evaluados y ser multidisciplinario, con mayor o menor participación de algunas áreas de la organización, según la etapa que se está evaluando. Para cada una de las sesiones de evaluación se puede contar con diferentes invitados especialistas en el caso de ser necesario, y éstos podrían también apoyar la evaluación.

Dependiendo del diseño de las puertas, se logra desde el proceso idea-producto, administrar el portafolio de nuevos productos y servicios. Para lograr esto se definen compuertas que estén orientadas a cumplir con los objetivos de las herramientas de administración de portafolio tradicionales:

- Maximización de valor: maximizar el valor del portafolio de productos o servicios, a partir de la selección de los proyectos más “valiosos”. Se usan acá técnicas tradicionales de valor presente neto del proyecto, valor comercial esperado, y una evaluación de variables cualitativas relacionadas con el valor del proyecto para la compañía.
- Balance de proyectos: en la estrategia se hablaba de bolsas de recursos de proyectos según su tipo, se debe lograr el balance de proyectos según la división estratégica de los recursos. No todo debe ser para proyectos de alto riesgo, pero tampoco para proyectos de bajo riesgo, no todo debe ser para productos nuevos para el mundo pero tampoco debe haber una excesiva concentración en mejoras incrementales.

Esta clasificación de recursos y balance se logra según lo planteado en la estrategia, y debe permear y orientar el proceso idea-producto, de manera que se dé mayor o menor prioridad según la clasificación del proyecto.

2.5 COMPARACIÓN ENTRE OPCIONES REALES Y OPCIONES FINANCIERAS¹¹

El activo subyacente de las opciones financieras es un título valor como una acción del mercado de valores o un bono, un *commodity*, divisas o tasas de interés, mientras que el activo subyacente de las opciones reales es un proyecto.

Tanto la opción financiera como la real son el derecho, mas no la obligación, de tomar una acción.

¹¹ Ver (Copeland, et al., 2003), pp. 110-112.

Como las opciones financieras son contratos que se escriben sobre títulos valores, es mucho más fácil estimar sus parámetros, ya que el precio de éste es observable, y se puede calcular su volatilidad según el precio histórico del activo subyacente, o según los precios históricos de los contratos escritos sobre el título subyacente que corresponda. Con las opciones financieras, hay que recurrir a la simulación como herramienta primaria para el cálculo de la volatilidad.

Los precios de los activos subyacentes no dependen de las actividades o acciones de quienes escriben los contratos o emiten las opciones en el caso de las opciones financieras. Por otro lado, el valor de las opciones reales se ve afectado por acciones que ejecutan quienes emiten los contratos. Por ejemplo, la opción de diferir un proyecto puede tener un valor alto para valores presentes del proyecto. Sin embargo, si el encargado del proyecto toma acciones que suban el valor presente neto del proyecto, el valor de esta opción baja.

Tanto para las opciones reales como financieras, como para las opciones reales, los riesgos o la incertidumbre del proyecto se asume como exógena: esto es razonable para las opciones financieras, sin embargo en la opciones reales habría que tener en cuenta que el hecho de tener una opción, y también de ejercerla, podría por ejemplo cambiar las acciones de la competencia y cambiar así la volatilidad.

La siguiente tabla muestra la redefinición de las variables insumo de las opciones financieras, y las opciones reales (Mascarenas, 1999):

OPCIÓN DE COMPRA REAL	VARIABLE	OPCIÓN DE COMPRA FINANCIERA
Valor de los activos operativos que se van a adquirir: VA de los flujos de caja que genere el activo real	S	Precio del activo financiero: VA de los flujos de caja que genere el activo financiero
Desembolsos requeridos para adquirir el activo real: coste del proyecto de inversión	X	Precio de ejercicio al que se tiene derecho a adquirir el activo financiero
Longitud del tiempo que se puede demorar la decisión de realizar el proyecto de inversión	t	Tiempo hasta el vencimiento de la opción de compra
Riesgo del activo operativo subyacente: volatilidad del VA de los flujos de caja	σ^2	Varianza de los rendimientos del activo financiero
Valor temporal del dinero	r_f	Tasa de interés sin riesgo
Flujos de caja a los que se renuncia por no realizar ahora mismo el proyecto de inversión	D	Dividendos del activo subyacente

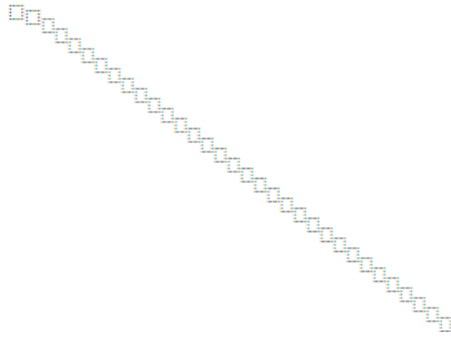
Tabla 1. Relación de variables de las opciones financieras y reales.

2.5.1. Métodos para la valoración de opciones reales

- **Portafolio réplica.** El portafolio réplica consiste de m unidades de un título valor gemelo del activo subyacente y B unidades de un bono libre de riesgo. Siendo C_u el valor de la opción en caso de incremento, y C_d el valor de la opción en caso de decrecimiento. Teniendo a V_u como el valor del título valor gemelo subyacente en caso de incremento, y a V_d como el valor del título valor gemelo subyacente en caso de decrecimiento. Para construir el siguiente sistema de ecuaciones:

$$mV_u + B(1 + r_f) = C_u$$

$$-mV_d + B(1 + r_f) = C_d$$



$$m = \frac{C_u - C_d}{V_u - V_d} \quad \begin{array}{l} \text{Valor incremental de la opción} \\ \text{Cambio del valor del título valor gemelo} \end{array}$$

Resolviendo la ecuación para m , esta será la relación entre el valor incremental de la opción y el cambio del valor del título gemelo. Esta relación multiplicada por el valor del activo subyacente V_0 , menos el valor de la opción $call$, C_0 , da un valor libre de riesgo, B_0 . Y de esta manera:

$$mV_0 - B_0 = C_0$$

$$mV_0 - C_0 = B_0$$

Si se conservan m unidades del título gemelo y su valor se incrementa, la ganancia será exactamente igual a la pérdida que genera la posición corta de la opción $call$.

- **Método de la probabilidad neutral al riesgo.** Parte también de un portafolio réplica compuesto por una unidad del activo adyacente y m unidades de la opción que será valorada.

Supongamos que se cuenta con una opción *call*: el valor de m debe garantizar que el valor del portafolio sea libre de riesgo en el siguiente lapso corto de tiempo. Esto se dará teniendo en cuenta que cuando el valor del activo subyacente va hacia abajo, así sucede con el valor de la opción *call* con posición larga escrita sobre él.

Al contrario, si tenemos una posición corta sobre la opción, la ganancia se aumenta. De esta manera la pérdida que se podría generar por la baja en el valor del activo subyacente, se hace nula gracias a la ganancia en una posición corta sobre la opción *call*, y por tanto se habla de la neutralidad al riesgo.

$$uV_0 - m C_u = dV_0 - m C_d$$

- **Tipos de opciones reales**

NOMBRE DE LA OPCIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA OPCIÓN	TIPO DE OPCIÓN
Opción de abandono	Derecho, mas no la obligación de librarse de un activo a un precio predeterminado	<i>Put</i> americana
Opción de disminución de inversión	Derecho, mas no obligación, de vender algo de capacidad	<i>Put</i> americana
Opción de expandir	Derecho, mas no la obligación de invertir más en un proyecto	<i>Call</i> americana

Tabla 2. Tipos de opciones reales.

3. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS DE INNOVACIÓN BASADA EN OPCIONES REALES

Luego de analizar algunos trabajos relacionados con las opciones reales, se ha definido la metodología objetivo, basada esencialmente en las publicaciones de Copeland y Antikarov (Copeland, et al., 2003), Copeland y Keenan (Copeland, et al., 1998), que definen metodologías para la evaluación de proyectos en general, basada en opciones reales y en las publicaciones de Faulkner (Faulkner, 1996), Varila y Sievanen (Varila, et al., 2005), Boer (Boer, 2002) y Van den Broek (Van den Broek, 2010), en las que aplican las opciones reales para evaluar a nivel financiero proyectos de innovación, gestionados con el proceso Stage-Gate.

3.1. PRIMER PASO: ¿CAMBIARÍA EL RUMBO DE LAS COSAS EL USO DE OPCIONES REALES?

Tanto Copeland como Boer sugieren que aquellos proyectos que tienen valores negativos muy bajos, o positivos muy altos con relación a las inversiones o precios del ejercicio, no obtendrán mucho valor de la flexibilidad.

Sin embargo hay que considerar también situaciones en las que hay una competencia apretada de algunos proyectos ganadores y poca cantidad de recursos para asignar, con inversiones o costos de cada una de las etapas distintas en una línea de tiempo diferente, con condiciones de mercado distintas y riesgos tecnológicos distintos. Aquí se podría lograr un valor adicional para cada uno diferente, gracias a la flexibilidad que dan las opciones, y apoyar así la toma de decisiones de su priorización.

Proyectos con tiempos de ejecución cortos, bajos nivel de incertidumbre, y valores negativos, difícilmente se podrían convertir en ganadores, gracias a la flexibilidad que den las opciones reales.

3.2. SEGUNDO PASO: CONOCIMIENTO DEL PROBLEMA A MODELAR Y DEFINICIÓN DE VARIABLES DE ENTRADA

Boer propone un primer paso, en el que se enmarca el problema, dando una descripción básica del proyecto a modelar e identificando entradas financieras y de la compañía necesarias para valorar el proyecto por medio de opciones reales. Implícitamente Copeland y Antikarov dan una descripción de cada uno de los problemas que resuelven en su publicación y definen los valores de entrada para las variables financieras y de la compañía, definidas por Boer.

Así, en este primer paso se propone dar una contextualización del proyecto, dando a conocer tres tipos de entradas para el análisis:

- Variables financieras:
 - Tasa libre de riesgo: por lo general se toma la tasa de retorno de los bonos del tesoro de los Estados Unidos.
 - Costo de capital: es una variable que por lo general está calculada en las grandes empresas. En caso de no estar calculado, se pueden usar métodos como el CAPM.
 - Volatilidad: para esta variable no hay nada escrito. Copeland y Antikarov proponen que la volatilidad sería la variación de los flujos de caja proyectados de cada año. Boer dice que hay muchas formas de estimar la volatilidad: la volatilidad del sector para el que aplica el plan de negocios, la volatilidad de un *commodity* al que el proyecto está amarrado, o la volatilidad margen del producto o servicio objetivo del análisis. Se usa para esta metodología, la variación en los flujos de caja presentes anuales, siguiendo el método propuesto por Copeland y Antikarov, basado en el análisis de Monte Carlo¹².

- Variables del negocio:
 - Valor presente neto del caso de negocio: valoración convencional del proyecto de innovación. Teniendo en cuenta que el valor del proyecto podría tomar múltiples valores, se toma el valor de la media del valor presente neto del proyecto luego de usar de nuevo el análisis de Monte Carlo.¹³
 - Inversión inicial requerida: inversión total requerida por el proyecto en todas las etapas proyectadas al tiempo presente.

- Variables del proceso de I+D:
 - Duración de cada etapa del proceso idea-producto. Esta información varía según el proyecto a realizar, sobre todo en las etapas de desarrollo y pruebas. Para otros proyectos se podrían mantener los indicadores globales calculados para la duración de las etapas de enfoque y construcción del caso de negocio.

¹² Ver (Copeland, et al., 2003) Capítulo 9.

¹³ Ver (Copeland, et al., 2003) Capítulo 9.

- Costo de cada etapa del proceso idea-producto.
- Probabilidad de éxito de cada etapa del proceso idea-producto: teniendo en cuenta que el proceso de I+D apenas se comienza a ejecutar, y que éste ha sido definido según las mejores prácticas, se usan los porcentajes de éxito definidos por la PDMA (Product Development Management Association) según Cooper¹⁴.

3.3. TERCER PASO: MODELAR LOS RIESGOS

Si la volatilidad a tener en cuenta es sólo la calculada inicialmente para el proyecto, se procede a determinar cómo ésta afecta el valor esperado del proyecto durante la vida de las distintas opciones.

Si no se va a modelar el valor del proyecto con una sola volatilidad, por lo general surge la necesidad de modelar dos tipos de incertidumbres para los proyectos de nuevos productos:

- Incertidumbre del mercado: por lo general se ve afectada por lo confusas que puedan ser la cantidad de productos vendidos, los precios o los costos de producción. Es dependiente de las condiciones del entorno.
- Incertidumbre tecnológica: es independiente de las condiciones del entorno, y son factores que pueden generar confusión en los resultados del proyecto, pero que se van aclarando en la medida que avanza el tiempo en la medida que se investiga y se adquiere información.

Las incertidumbres se pueden consolidar en una sola incertidumbre o modelarlas de manera independiente. Para consolidarlas, todas las volatilidades deben seguir un movimiento browniano, de lo contrario deben ser tratadas de manera independiente. Demostrar distribuciones log normales de la volatilidad requiere información histórica, y es por esto que en muchas situaciones las volatilidades no podrán ser definidas sin problemas usando el método consolidado. Al modelar las volatilidades relacionadas sólo con el mercado o sólo con la tecnología, se usan opciones compuestas. En caso de combinar ambos tipos de volatilidad se usan opciones arco iris¹⁵. En caso

¹⁴ Ver (Cooper, et al., 2001), pp. 11-12.

¹⁵ Ver (Copeland, et al., 2003) Capítulos 9 y 10.

de que las volatilidades sean correlacionadas, si se quieren mantener separadas, se podría modelar el riesgo usando árboles cuadrantomiales¹⁶. Tanto las iniciativas de opciones arco iris como las cuadrantomiales son conocidas como opciones de aprendizaje.

Copeland propone modelar los riesgos con árboles de eventos, en donde los riesgos de mercado independientes (aun sin mezclar o correlacionar con riesgos tecnológicos) toman la forma de árboles binomiales, y en donde los riesgos tecnológicos toman la forma de árboles de dos o más salidas y con distribuciones de probabilidad de ocurrencia que no son perfectamente distribuidas, pero que entre todas obviamente sumarán el valor total de la ocurrencia del 100%. En caso de ser no correlacionados, o de serlo, pero tratados de manera independiente, se afectará el valor futuro del valor esperado del proyecto de manera independiente, es decir, se afecta el valor esperado con los riesgos de mercado como cuando se construyen los árboles binomiales de eventos para la valoración de opciones financieras (cálculo de los movimientos de incremento (u) y decremento (d) a partir de la volatilidad y la tasa libre de riesgo para afectar el valor esperado) y se afectan los valores esperados con movimientos de incremento a decremento calculados o definidos con cualquier método razonable de los riesgos técnicos.

Cuando son correlacionados y se modelan de manera dependiente, y se usan cuadrantomiales, se definen movimientos de alza o baja, según todas las combinaciones posibles de los movimientos de alza o baja de los riesgos combinados, y se afecta el valor esperado del proyecto según todos estos posibles movimientos. Las probabilidades de ocurrencia de cada uno de los valores obtenidos de las posibles combinaciones de alza y baja, se obtienen a partir de coeficientes de correlación entre los riesgos modelados, probabilidades condicionales y tasas esperadas de crecimiento periódico del valor del proyecto gracias a cada una de las volatilidades¹⁷.

Boer propone modelar todos los riesgos tecnológicos en un árbol de decisión, similar al que propone Faulker¹⁸, y luego en la valoración del proyecto usando el método usando *Black and Scholes*, se tiene en cuenta una volatilidad de mercado consolidada. Como siempre habrá al menos un riesgo tecnológico dentro del Stage-Gate que garantiza una única salida exitosa entre otras opciones (éxito, fracaso, repetición de etapas anteriores, stand-by), se toma el valor esperado como aquél en el que hay éxito en todas las etapas de este riesgo tecnológico¹⁹. Aunque el método es mucho más sencillo, hay que tener en cuenta que como se usará la valoración por *Black and Scholes*, algunas condiciones y supuestos que se deberían cumplir son:

- Los precios de los subyacentes (St) siguen una moción browniana geométrica con una media μ y volatilidad σ : $dSt = \mu Std t + \sigma Std Wt$

¹⁶ Ver (Copeland, et al., 2003) Capítulos 9 y 10.

¹⁷ Para mayor detalle ver las páginas 279-286 de (Copeland, et al., 2003)

¹⁸ Ver (Faulkner, 1996).

¹⁹ Ver (Boer, 2002).

- Es posible tomar posiciones cortas en el subyacente
- No hay oportunidades de arbitraje
- Las negociaciones del mercado son continuas
- No hay costes de transacción
- Todos los subyacentes son divisibles (es posible comprar $1/100$ de una acción)
- Es posible tomar prestado y prestar dinero al tipo de interés libre de riesgo
- Los subyacentes no pagan dividendos

Así, los pasos a seguir que se proponen hasta este punto son:

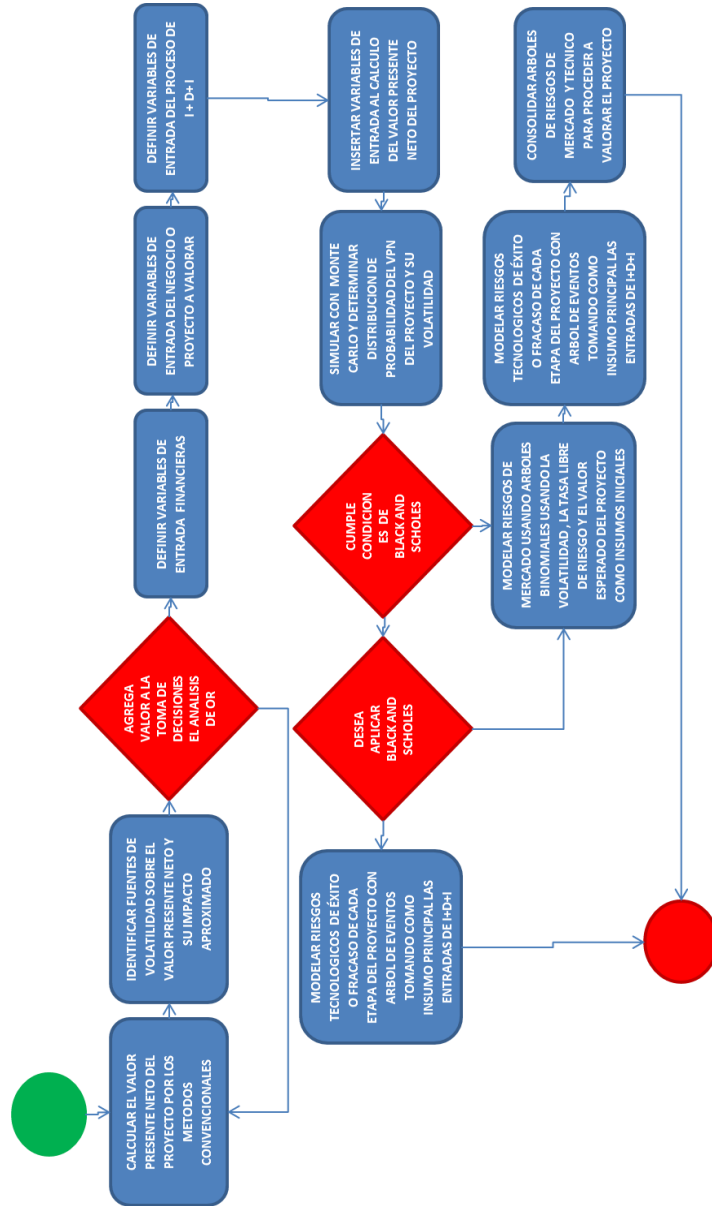


Figura 9. Metodología propuesta hasta la valoración de riesgos.

Tildar en el tercer cuadro a la derecha, **ÁRBOLES Y TÉCNICO**

En el cuadro que le sigue al rojo, a la derecha, tildar **DISTRIBUCIÓN**, y en el que está debajo de éste, tildar **TECNOLÓGICOS**, y **ÁRBOL**

Tildar en el cuadro rojo, **CONDICIÓN**, y debajo del rojo, **ÁRBOLES**.

En el primer cuadro rojo de la mitad, tildar **ANÁLISIS**.

A la izquierda del segundo cuadro rojo, tildar **TECNOLÓGICOS** y **ÁRBOL**.

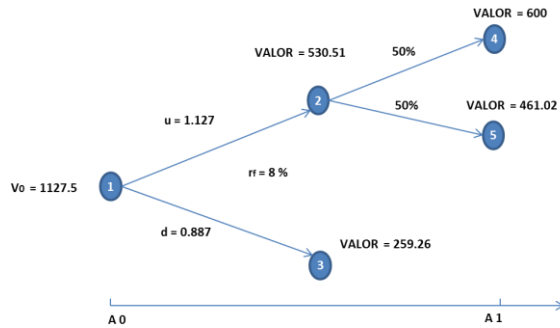
Y en el primer cuadro, debajo del círculo verde, tildar **MÉTODOS**

3.4. CUARTO PASO: VALORAR EL PROYECTO

Luego de valorar los riesgos, y dependiendo del método seleccionado para modelarlos, se valorará el proyecto partiendo desde las hojas de los árboles, para obtener finalmente el valor del proyecto, teniendo en cuenta la flexibilidad de las opciones.

En caso de usar el método propuesto por Copeland para la modelación de riesgos, se podrá proceder de varias maneras:

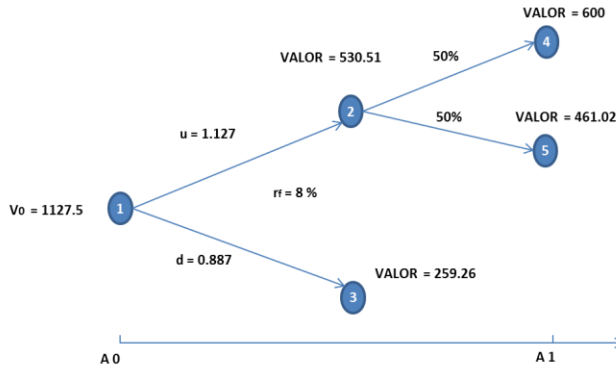
- Riesgos de mercado y riesgos tecnológicos tratados de manera independiente: el valor presente de un riesgo tecnológico será la sumatoria de los valores posibles para el proyecto de cada uno de éstos multiplicados por su probabilidad de ocurrencia. En caso de que este riesgo no esté acompañado de un riesgo de mercado en el período que se asume, se debe calcular su valor presente usando como tasa de descuento la tasa libre de riesgo, y hasta el período en el que otro riesgo comienza a asumirse. En caso de que en el mismo período se estén asumiendo riesgos tecnológicos y de mercado, el valor presente del proyecto puede calcularse de varias maneras:
 - Afectar el valor futuro de los proyectos según la probabilidad del riesgo tecnológico de cada uno de sus posibles eventos sin descontarlo a la tasa libre de riesgo, para luego estimar el valor presente desde la estimación del valor del proyecto, teniendo en cuenta el riesgo de mercado y la tasa libre de riesgo del total del período:



VALOR PRESENTE EN 2
 $600(0.5) * 461.02(0.5) = 530.51$
VALOR PRESENTE EN 1
 $m u V_0 + (1+r_f)B = 530.51 \quad 1uV_0 + (1.08)B = 530.51 \quad B = -685.87$
 $-(m d V_0 + (1+r_f)B = 259.26) \quad V_{PN} = m V_0 + B = (1)(1127.5) + (-685.87)$
 $m V_0 (u-d) = 271.25 \rightarrow m = 1 \quad V_{PN} = 441.63$

Figura 10. Valoración con portafolio gemelo usando el total de la tasa libre de riesgo desde el riesgo de mercado.

- Suponer que el valor futuro del proyecto en un período se afecta por subperíodos de igual duración de cada uno de los riesgos. En este caso se debería descontar la sumatoria de los valores futuros ponderados a la tasa equivalente libre de riesgo:



VALOR PRESENTE EN 2
 $(600(0.5) * 461.02(0.5)) / (\text{EXP}((0.08) * (1/2))) = 509.7$
VALOR PRESENTE EN 1
 $m u V_0 + (1+r_f)B = 509.7 \quad 0.92 u V_0 + (\text{EXP}((0.08) * (1/2)))B = 509.7 \quad B = -618.74$
 $-(m d V_0 + (1+r_f)B) = 259.26 \quad \text{VPN} = m V_0 + B = (0.92)(1127.5) + (-618.74)$
 $m V_0 (u-d) = 250.44 \rightarrow m = 0.92 \quad \text{VPN} = 420.26$

Figura 11. Valoración con portafolio gemelo distribuyendo tasa entre riesgo tecnológico y de mercado.

Los riesgos de mercado se calculan por el método del portafolio libre de riesgos, usado para valorar opciones en donde se supone la existencia de dos portafolios compuestos por m unidades de una acción, cuyo valor y comportamiento son idénticos a los del proyecto y una cantidad B de bonos libre de riesgo para cada uno de los dos posibles valores futuros así:

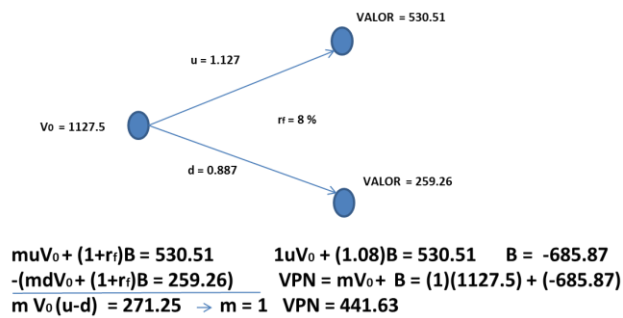


Figura 12. Valoración con riesgo de mercado.

- Riesgos tecnológicos y de mercado modelados en conjunto por medio de árboles cuadrantomiales: se calcula el valor presente neto del proyecto, como se hizo con los riesgos tecnológicos, es decir, según el valor ponderado de cada uno de los posibles resultados de las ramas y se llevan al paso siguiente en el árbol, descontando el valor a la tasa libre de riesgo para el período.

En la medida que aparecen las decisiones de inversión o no inversión en una etapa del proceso Stage-Gate, se resta la inversión del valor del proyecto, y se selecciona el valor máximo entre este valor y 0. Se usa esta forma, ya que cada una de las inversiones en cada una de las etapas son opciones de compra de una etapa del proyecto o de no recibir nada de éste, es decir, como una opción *call* de invertir en la etapa del proyecto sin ningún valor de salvamento valorada de manera indirecta. Entonces siendo X en valor de la inversión en la etapa siguiente, V el valor del proyecto en el momento de tomar la decisión de inversión, el valor del proyecto luego de decidir si invertir o no será $\text{MAX}(V-X, 0)$.

En caso de usar el método propuesto por Boer, el primer paso es descargar un valorador de opciones basado en el método de *Black-Scholes*, o implementar uno propio. Para la prueba de esta metodología, se usó uno que ya estaba desarrollado y disponible en la web²⁰.

Luego de contar con el valorador, se ingresarían en éste el valor del activo subyacente como el valor del proyecto al inicio de cada una de las etapas, ponderado según la probabilidad de éxito de la etapa siguiente, el precio del ejercicio como el costo de la etapa siguiente al momento de invertir, la fecha de inicio sería la fecha de inicio planeada de la etapa, la fecha fin será la fecha de fin planeada para la etapa, la tasa libre de riesgo para el período, y la volatilidad del período. Se toma entonces el valor del proyecto en la etapa anterior, como el resultado de la valoración usando *Black-Scholes* ponderado, según la probabilidad de éxito de la etapa anterior.

Esta valoración también se realiza de atrás hacia adelante, es decir, se parte de la última etapa ejecutada, y el valor del proyecto con el que se da inicio al procedimiento, que es el valor presente del valor esperado sumado el costo presente de la última etapa del proceso idea-producto, a tener en cuenta en la valoración.

Suponiendo un proyecto de innovación que seguirá luego de las ideas, tres etapas (una de enfoque, otra de caso de negocio y otra de implementación), y teniendo ya calculados desde los pasos 2 y 3 de la metodología la volatilidad σ y la tasa libre de riesgo, la valoración seguiría los pasos siguientes para lograr obtener el valor del proyecto con flexibilidad:

²⁰ Se usó el valorador de la página <http://www.optiontradingtips.com>.

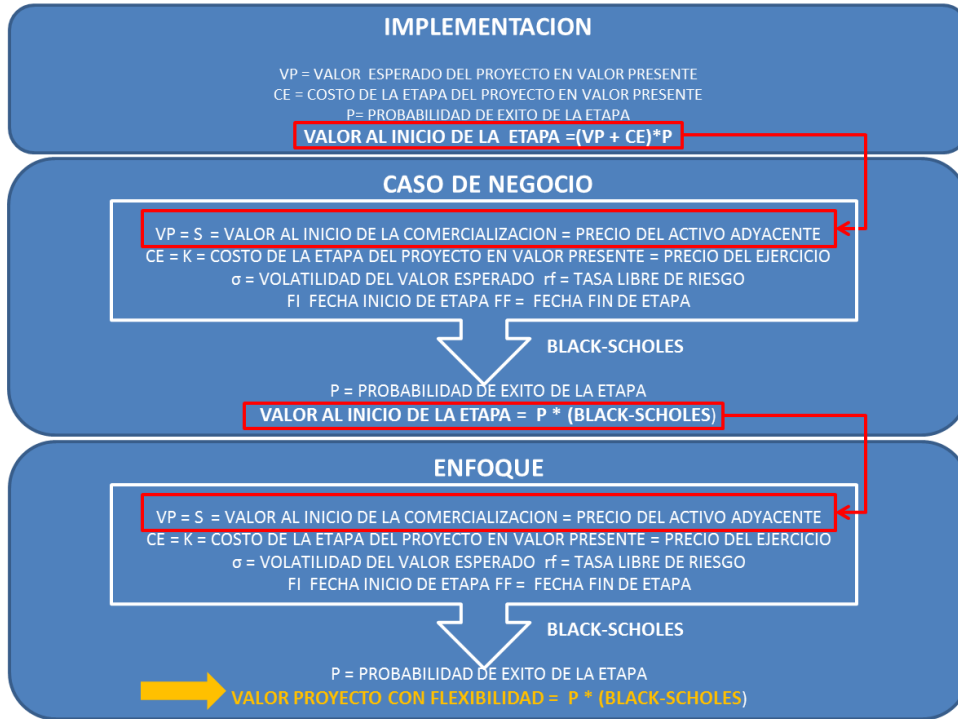


Figura 13. Valoración usando el método de Boer.

Por favor tildar dentro de la gráfica, las palabras: **implementación**, **probabilidad de éxito de la etapa**, (en 3 renglones) **valor al inicio de la comercialización** (en 2 renglones),

Finalmente, los pasos a seguir consolidados de la metodología, se encuentran relacionados en el siguiente diagrama:

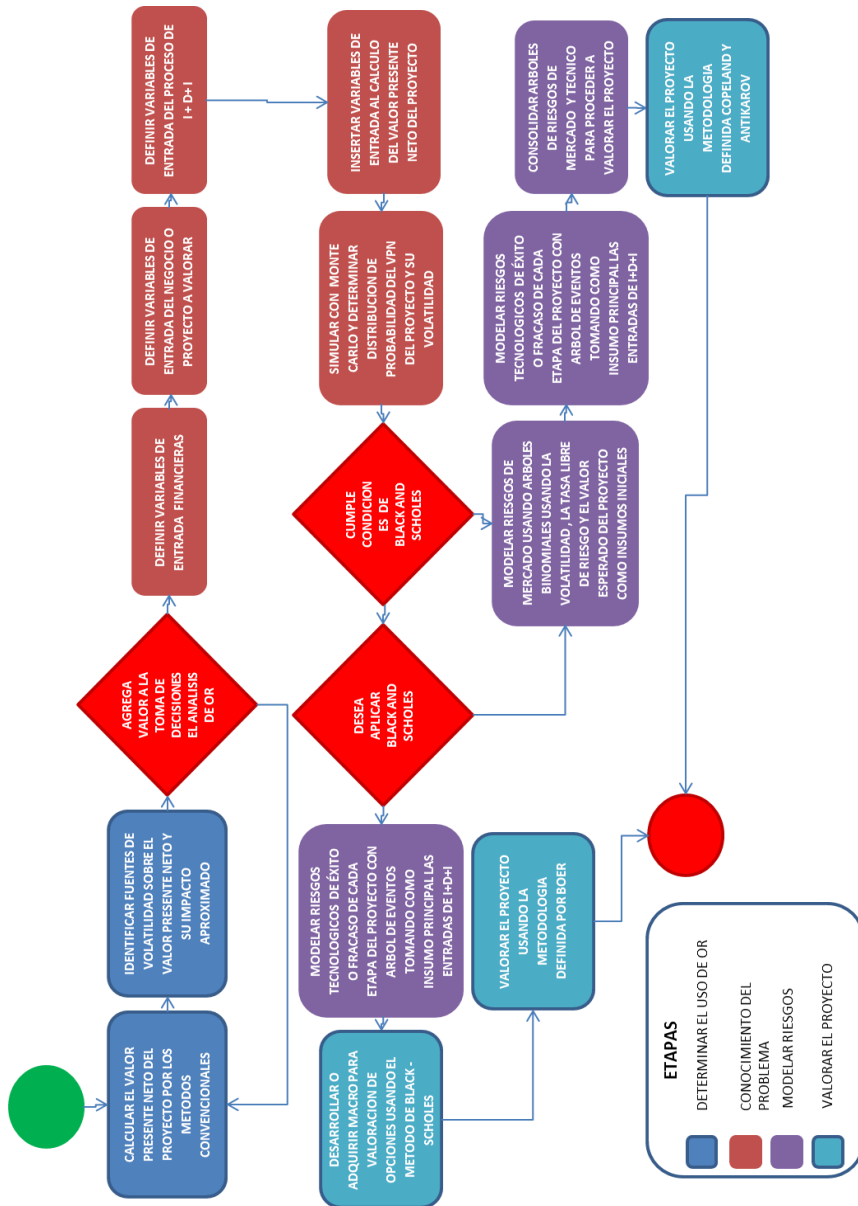


Figura 14. Metodología propuesta consolidada.

Tildar en el segundo cuadro a la derecha, CÁLCULO, y en el tercer cuadro a la derecha, tildar ÁRBOLES y TÉCNICO

En el cuadro que está a la derecha del rombo rojo, tildar **DISTRIBUCIÓN**, y en el que está debajo de éste, tildar **TECNOLÓGICOS**, y **ÁRBOL**

Tildar en el rombo rojo, **CONDICIÓN**, y debajo del rojo, **ÁRBOLES**.

En el primer rombo rojo de la mitad, tildar **ANÁLISIS**.

A la izquierda del segundo rombo rojo, tildar **TECNOLÓGICOS** y **ÁRBOL**.

Y en el primer cuadro, debajo del círculo verde, tildar **MÉTODOS**, y en cuadro que le sigue debajo, tildar **VALORACIÓN** y **MÉTODOS**

4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

El proceso Stage-Gate para la gestión del proceso de innovación, define que todos los nuevos productos y servicios a ser implementados deben pasar por cinco etapas básicas con sus respectivas compuertas de filtrado (idea, enfoque, caso de negocio, pruebas y comercialización). SARA (Sistema de Automatización de Rutas para la Auditoría) puede ser un ejemplo de proyecto de innovación que ha pasado por todo el proceso. A continuación se detalla cómo se define el proyecto.

4.1 EL PROBLEMA

Con la idea de generar un sistema que automatice la ejecución y gestión de resultados de modelos de minería de datos, la Vicepresidencia de Auditoría (VAI) ha definido el problema a resolver: luego del apoyo constante por parte del área de minería de datos de la VAI a la ejecución de auditorías basadas en la detección de anomalías en los procesos evaluados, se han llegado a construir cientos de modelos (también llamados rutas), de los cuales cerca de 70 requieren ser ejecutados con una periodicidad mensual.

El área de minería de datos es la responsable de la ejecución mensual, y a su vez del apoyo con nuevos modelos para los trabajos del día a día de la Vicepresidencia de Auditoría, sin embargo, la actividad de ejecución requiere 160 horas hombre de ejecución mensual. Teniendo en cuenta que al año serían 1.920 horas y que cada hora de ejecución tiene un costo de \$25.000, se tiene un costo total de \$48.000.000 anuales.

Otro factor que comienza a verse reflejado en los resultados de la VAI es la generación de reportes por parte de los auditores: se recuperan los resultados generados por el área de minería de datos de manera manual para cada una de las 70 pruebas, y estos resultados son consolidados de la misma manera en un archivo de Excel, lo que llega a tomar 8 horas por reporte. Teniendo en cuenta, que la cantidad aproximada producida de reportes en el año es de 60, y que la hora de auditor se podría facturar en \$90.000 en caso de ser usada en evaluaciones, el sacrificio aproximado gracias a la generación de reportes es de \$43.200.000.

4.2 UNA SOLUCIÓN PROPUESTA: SARA

Las herramientas de minería de datos en la que se implementan los modelos de minería de datos para obtener la información de soporte para los procesos de la Vicepresidencia de Auditoría (VAI), cuentan con algunas funcionalidades que permiten automatizar su ejecución, como las líneas de ejecución en *batch*, y el *scripting*.

Se propone entonces implementar un sistema que se base en las capacidades de automatización de la herramienta de minería de datos, usando lenguajes de programación de libre licenciamiento, que facilite la administración de la ejecución de pruebas, la actualización del proceso de automatización y que reduzca en un tiempo considerable la generación de reportes a los usuarios finales.

La ejecución de todo el proceso idea-producto tomaría 6 meses, y tendría un costo presente para el mes en el que surge la idea de \$16.612.589,42. Tanto el tiempo como la inversión se distribuyen como muestra la siguiente tabla:

ENTRADAS I+D								
		COSTO	OTROS	TOTAL	PROBABILIDAD	DURACIÓN	COSTO	EN
	HORAS	HORAS	COSTOS	ETAPA	DE ÉXITO	(MESES)	PRESENTE	
COSTO HORA HOMBRE	25000							
ETAPA DE ENFOQUE	20	500000	0	500000	67%	1	500000	
ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DEL CASO DE NEGOCIO	40	1000000	0	1000000	78%	1	983565.6373	
ETAPA DE DESARROLLO DEL PRODUCTO	160	4000000	0	4000000	51%	1	3952136.908	
ETAPA DE PRUEBAS DEL PRODUCTO	200	5000000	0	5000000	78%	2	4961141.873	
ETAPA DE COMERCIALIZACIÓN	40	1000000	6000000	7000000	66%	1	6215745.005	
INVERSIÓN INICIAL		16612589.42						

Tabla 3. Entradas I+D.

4.3 APLICACIÓN DEL PASO I

El proyecto tiene un alto nivel de incertidumbre, considerando que hay un proyecto que está cambiando la plataforma tecnológica de la organización, y que estaría próximo a salir. Aunque este proyecto está programado para que salga a producción en Octubre de 2011, lo que daría a SARA sólo 3 meses de utilidades, se han tenido en cuenta los retrasos históricos de los proyectos sobre su duración planeada a nivel organizacional, para incluir un posible retraso, y por tanto, una mayor cantidad de utilidades para SARA. Luego de obtener una lista de más de 90 proyectos, y de eliminar los valores extremos de la muestra, la distribución de los retrasos de los proyectos organizacionales fue lognormal, según la prueba Anderson-Darling usando la herramienta Crystal-Ball, con una media del 35% y una desviación estándar del 13%²¹.

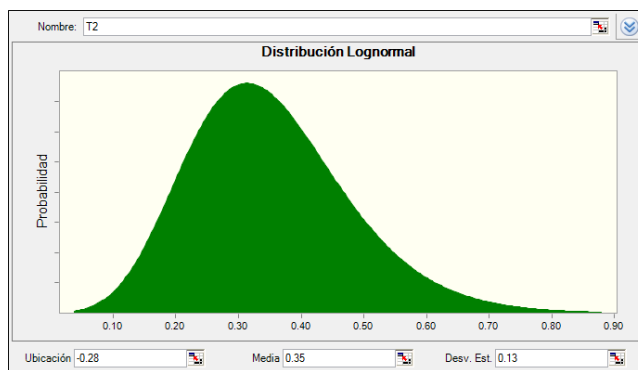


Figura 15. Distribución de probabilidad del retraso del proyecto de plataforma tecnológica.

Otra de las variables que afectan la cantidad de meses de retorno de SARA sería el retraso del proyecto como tal, teniendo en cuenta que quienes ejecutaron el proyecto fue con recursos de la Vicepresidencia de Auditoría, y se calcularon los retrasos en la planeación de la auditoría de los últimos tres años. La distribución de este retraso no presentó valores extremos y fue lognormal con una media del 13% y una desviación estándar del 9%. Esta distribución también se logra usando la herramienta Crystal-Ball bajo la prueba de Anderson-Darling:

²¹ Tener en cuenta que la prueba de Anderson-Darling debe tener un valor menor al 1.5.

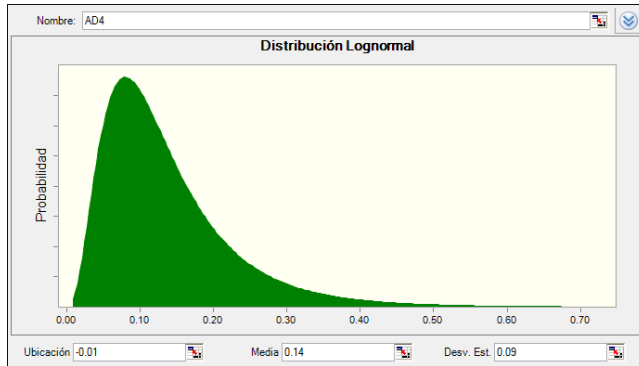


Figura 16. Distribución de probabilidad del retraso de la planeación de la auditoría.

Luego de contar con estas distribuciones, y de definir las como supuestos para una simulación Monte Carlo, se define en una hoja de Excel la cantidad de meses de utilidad por año que podría generar SARA, teniendo en cuenta los posibles retrasos. Con el valor de estos meses se calcula la utilidad esperada anual, y tomando esto se calcula el flujo de caja libre. Al definir el valor presente neto del flujo de caja libre como variable de pronóstico, se obtienen tanto los valores esperados del proyecto como su volatilidad, luego de la ejecución de la simulación con 1000 iteraciones.

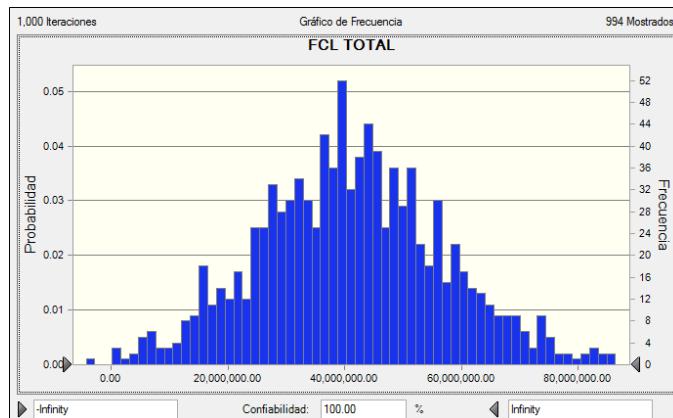


Figura 17. Distribución de probabilidad del Valor Presente Neto del proyecto.

Los valores-resultado de la simulación se ajustan a una distribución lognormal con un resultado de 0.35 para la prueba de Anderson-Darling, es por esto que más adelante se usarán tanto el método de Boer como el método de Copeland y Antikarov.

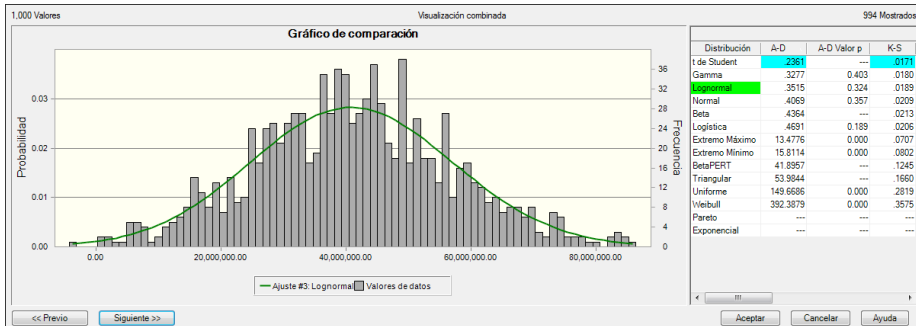


Figura 18. Prueba Anderson-Darling para el ajuste a una distribución lognormal.

Luego de la simulación del flujo de caja libre, el proyecto sin ponderarlo con las probabilidades de éxito del proyecto, se obtiene un valor presente esperado de \$39.738.483,48, hasta acá el proyecto sería un ganador. Sin embargo, la probabilidad acumulada de éxito del proyecto sería del 14% ($0.67 * 0.78 * 0.51 * 0.78 * 0.66$), al multiplicar esta probabilidad por el valor presente esperado, el valor esperado final sería de \$5.452.421.342, que comparado con la inversión inicial daría un valor presente neto de \$ -11160168.1.

Hasta este punto el proyecto no debería realizarse, sin embargo, al tener en cuenta las inversiones incrementales, y la opción de invertir o no en cada una de las etapas dentro del valor inicial, podría cambiar el rumbo de las cosas, teniendo en cuenta la alta volatilidad (42%) proporcionada por la cantidad de meses de retorno, que se afecta por el retraso del proyecto de cambio de plataforma tecnológica y por el retraso de la planeación de auditoría.

4.4 APLICACIÓN DEL PASO II

Se consulta el costo de capital promedio ponderado de la organización y se supone como la tasa de retorno del proyecto, el valor para el 2011 es del 22%. Se consulta la página de investigaciones económicas del Grupo Bancolombia, y se toma del reporte de proyección de indicadores macroeconómicos el IPC para los próximos 5 años.

Como tasa libre de riesgo, se consulta el reporte del sistema SEN del Banco de la República de Colombia, y se toma el valor al momento de los Bonos del Tesoro de los Estados Unidos con vencimiento al 20 de Julio del 2020. Se supone una tasa de impuestos actual del 33% con un incremento del 2% anual.

Dentro de la simulación Montecarlo se calculó el valor esperado del proyecto y su volatilidad. Sin embargo esta no es la volatilidad anual de los flujos de caja. Teniendo esto en cuenta, se ha calculado la variación de los dos primeros años, usando para el primer año el cálculo del logaritmo natural de la relación entre el valor presente del flujo de caja libre total en el año 1 y el valor presente del flujo de caja libre en el año 0, obteniendo un valor promedio del 20%. Luego se realizó lo mismo para calcular la variación entre los años 1 y 2, obteniendo un valor también del 20%. Teniendo en cuenta que para los años 3 y 4 la simulación arrojaba valores para esos años de 0, no se calcularon las volatilidades del resto de los años, y tampoco era necesario, ya que el período de inversión ocurre durante el primer año.

ENTRADAS FINANCIERAS						
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
COSTO DE CAPITAL	22%	22%	22%	22%	22%	22%
TASA LIBRE DE RIESGO	7.49%	7.49%	7.49%	7.49%	7.49%	7.49%
IPC	3.17%	3.41%	3.60%	3.80%	3.65%	3.55%
IMPUESTOS	33%	34%	34%	35%	36%	36%
INCREMENTO IMPUESTOS	2%	2%	2%	2%	2%	2%
VOLATILIDAD ANNUAL		20%	20%	20%	20%	20%

Tabla 4. Entradas financieras.

Al definirse un proceso idea-producto siguiendo la mejor práctica a nivel mundial, se han tomado los porcentajes de éxito por cada una de las etapas de innovación, como los que tienen en promedio las empresas que siguen de manera exitosa el proceso Stage-Gate; estos resultados del estudio de la PDMA fueron reportados por Cooper en una de sus publicaciones²².

En cada una de las etapas se definen los costos según las horas hombre requeridas por etapa, y otros gastos adicionales. Todos los valores corresponden a las horas hombre requeridas por etapa, teniendo un costo de \$25.000 cada una. La única etapa que tendría un costo adicional sería la de comercialización, que requiere la compra de un servidor por \$6.000.000. Como se supone una inversión en activos fijos de tecnología igual a la depreciación de este servidor, y que no hay valor de salvamento al final de los 5 años de la proyección, el efecto sobre el flujo de caja libre es nulo.

²² Ver (Cooper, et al., 2001), pp. 11-12.

ENTRADAS I+D							
COSTO HORA HOMBRE	HORAS	COSTO HORAS	OTROS COSTOS	TOTAL ETAPA	PROBABILIDAD DE ÉXITO	DURACIÓN	COSTO EN PRESENTE
				25000			
ETAPA DE ENFOQUE	20	500000	0	500000	67%	1	500000
ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DEL CASO DE NEGOCIO	40	1000000	0	1000000	78%	1	983565.6373
ETAPA DE DESARROLLO DEL PRODUCTO	160	4000000	0	4000000	51%	1	3952136.908
ETAPA DE PRUEBAS DEL PRODUCTO	200	5000000	0	5000000	78%	2	4961141.873
ETAPA DE COMERCIALIZACIÓN	40	1000000	6000000	7000000	66%	1	6215745.005
INVERSIÓN				16612589.42			

Tabla 5. Entradas I+D.

Luego de la simulación del flujo de caja libre del proyecto, realizada en el paso I, se obtuvo un valor presente esperado de \$39.738.483,48. Con la probabilidad de éxito ponderada según las probabilidades de éxito de cada etapa del 14% ($0.67 * 0.78 * 0.51 * 0.78 * 0.66$), se obtiene un valor presente neto de \$ -11160168.08. Como la inversión inicial bajo la valoración por el valor presente neto se toma como completa y al inicio, se asigna una probabilidad del 100%.

ENTRADAS DEL NEGOCIO						
VALOR ESPERADO DEL PROYECTO	39,738,483.48	PROBABILIDAD DE ÉXITO	14%	5452421.342		
INVERSIÓN	16612589.42		100%	16612589.42	NETO	-11160168.08
VOLATILIDAD DEL PROYECTO	42%					

Tabla 6. Entradas del negocio.

4.5 APLICACIÓN DEL PASO III

Luego de recoger toda la información necesaria, es el momento de modelar los riesgos, mostrando como éstos hacen variar el valor esperado del proyecto. Para los proyectos de innovación siempre habrá un riesgo técnico relacionado con el éxito o fracaso de cada una de las etapas del proyecto de investigación y desarrollo. Aunque podrían existir otros riesgos técnicos que afectan la probabilidad de éxito y el valor esperado del proyecto, sólo se tiene en cuenta el correspondiente al proceso de I+D+i.

VALOR INICIAL	ENFOQUE	CASO DE NEGOCIO	DESARROLLO	PRUEBAS	COMERCIALIZACIÓN	TECNOLOGÍ CO
ÉXITO	67%	78%	51%	78%	66%	
FRACASO	33%	22%	49%	22%	34%	

Figura 19. Riesgo tecnológico.

Los riesgos de mercado afectan los costos unitarios, el precio de venta, o la cantidad de unidades vendidas. La cantidad de meses de retorno para SARA, se ve afectada gracias a dos razones: el retraso del proyecto de cambio de plataforma tecnológica, y el retraso en la planeación de la Vicepresidencia de Auditoría. Teniendo en cuenta esto se obtienen tanto la volatilidad como el valor esperado, necesario para modelar las posibles variaciones mes a mes del valor inicial.

Tomando la volatilidad anual, y convirtiéndola a una volatilidad mensual se obtiene el factor de movimiento hacia arriba del valor esperado u , el factor de movimiento del valor esperado hacia abajo d , y las probabilidades de subir o bajar ajustadas al riesgo. Así se obtiene una volatilidad mensual del 5.77%, un factor de movimiento hacia arriba igual a 1.0594 con una probabilidad de ocurrencia ajustada al riesgo del 53% y un factor de movimiento hacia debajo de 0.9439 con una probabilidad ajustada al riesgo del 47%. Teniendo estos valores calculados, es posible obtener el siguiente árbol binomial para modelar el impacto del riesgo de mercado en el valor esperado:

σ	0.057735027	u	1.059434237	d	0.94390002	
rf	0.6018969%	$P(u)$	53.77%	$P(d)$	46.23%	ENFOQUE
	0.6018969%		53.77%		46.23%	CASO DE NEGOCIO
	0.6018969%		53.77%		46.23%	DESARROLLO
	0.6018969%		53.77%		46.23%	PRUEBAS
	0.6018969%		53.77%		46.23%	COMERCIALIZACIÓN
VALOR INICIAL	ENFOQUE	CASO DE NEGOCIO	DESARROLLO	PRUEBAS	COMERCIALIZACIÓN	MERCADO
					56189518.55	
				53037287.8	50061897.16	
			47253425.85	47253425.9	50061897.16	
		44602509.7	44602509.72	44602509.72	44602509.72	
	42100309.92	42100309.92	42100309.92	42100309.9	42100309.9	
39738483.48		39738483.5	39738483.48	39738483.48	39738483.48	
	37509155.45	37509155.45	37509155.45	37509155.4	37509155.4	
		35404892.7	35404892.67		35404892.67	

			33418678.98		33418679	
				31543891.84		31543891.84
					29774280.2	
						28103943.76

Figura 20. Riesgo de mercado.

Teniendo en cuenta el valor esperado del proyecto, las probabilidades de éxito del proceso idea-producto definidas, las inversiones necesarias por etapa, y por ende, las decisiones de inversión, el siguiente sería el árbol de decisión que resume el problema:

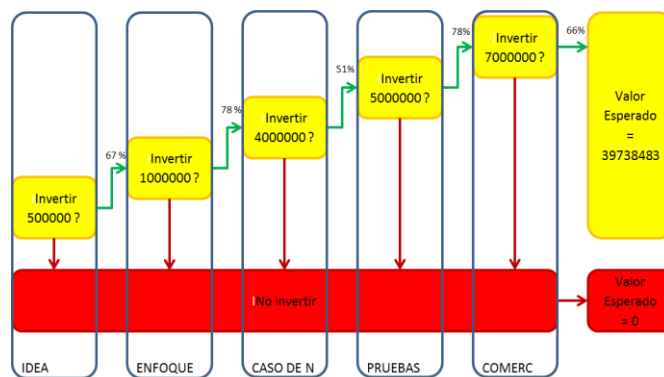


Figura 21. Árbol de decisión.

4.6 APLICACIÓN DEL PASO IV

El último paso es el de la valoración del proyecto, como se expresó en la metodología. Se valora desplazándose de atrás hacia adelante en el árbol binomial, para obtener por medio del despeje de ecuaciones correspondientes a los valores de subida y bajada, el valor presente del proyecto con flexibilidad.

Los riesgos tecnológicos, que en este caso son los correspondientes a las probabilidades de éxito, se calcularon sólo ponderando el valor presente con la probabilidad, esto teniendo en cuenta que el descuento a la tasa libre de riesgo completo se tuvo en cuenta en la valoración de los riesgos de

mercado. A continuación se muestra el árbol resuelto paso a paso, con los valores correspondientes del portafolio réplica (m unidades del activo subyacente y B Bonos libres de riesgo). Los puntos de decisión (en amarillo) están acompañados de la valoración de la opción de invertir en la etapa siguiente con la fórmula $\text{MAX}(V-X, 0)$, siendo X el valor de la opción y V el valor del activo subyacente. Hay que tener en cuenta que la volatilidad usada para este método es la anual calculada, usando el logaritmo natural de la relación de los flujos de caja libre anuales.

Luego de seguir la técnica de valoración propuesta por Copeland, se obtiene un Valor presente neto de \$736789.4. Lo que significa que tener en cuenta las diferentes opciones de invertir por etapa, dependiendo del éxito de las opciones anteriores, hacen del proyecto evaluado un ganador, con una diferencia de 11896957.48.

Al cumplirse las propiedades para la aplicación de la valoración de *Black and Scholes*, también se usó el método propuesto por Boer. Para hacer la valoración de la opción se usó un archivo en Excel publicado en la web, por lo que a continuación se mostrará el paso a paso de la valoración por etapa, sin mostrar el detalle arrojado por el valorador externo²³.

Se toma entonces el árbol decisión en donde se evalúan las probabilidades de éxito y fracaso del riesgo tecnológico que trae implícito el proceso Stage-Gate. Y usando la volatilidad del valor presente neto, la tasa libre de riesgo, la fecha inicial y final de la etapa en la que se toma la decisión de si invertir o no en los pasos posteriores del proyecto, el valor del activo subyacente como el valor actual del proyecto y el precio del ejercicio como el valor de la siguiente etapa; se obtiene un valor presente del proyecto de \$331405, lo que da una diferencia con el método del valor presente neto igual a 11491573.33.

²³ Se usó el valorador de la página <http://www.optiontradingtips.com>

PRUEBAS								COMERCIALIZACION					
NPV	NPV	m	B	NPV	m	B	NPV	NPV	NPV				
								30085082	37085082	66%	56189519		
					0.66	-7000000	28004610						
15311865	20311865	0.78	0.66	-7000000	26040852			26040852	33040852	66%	50061897		
							0.66	-7000000	24187261				
12501372	17501372	0.78	0.66	-7000000	22437656			22437656	29437656	66%	44602510		
							0.66	-7000000	20786205				
9997371.3	14997371	0.78	0.66	-7000000	19227399			19227399	26227399	66%	39738483		
							0.66	-7000000	17756043				
7766438.8	12766439	0.78	0.66	-7000000	16367229			16367229	23367229	66%	35404893		
							0.66	-7000000	15056328				
5778795.5	10778796	0.78	0.66	-7000000	13818969			13818969	20818969	66%	31543892		
							0.66	-7000000	12651025				
								11548603	18548603	66%	28103944		
INVERSION 5000000								INVERSION 7000000					
CASO DE NEGOCIO						DESARROLLO							
NPV	NPV	m	B	NPV	NPV	NPV	m	B	NPV				
						5621692.5	9621692.5	0.51	0.5148	-5460000	18866064		
2842045.8	3842045.8	0.78	0.262548	-6784600	4925699.7			4268752.2	8268752.2	0.51	0.5148	-5460000	16213240
1845954.3	2845954.3	0.78	0.262548	-6784600	3648659.4			3063353.8	7063353.8	0.51	0.5148	-5460000	13849713
958489.34	1958489.3	0.78	0.262548	-6784600	2510883.8			1989407.3	5989407.3	0.51	0.5148	-5460000	11743936
INVERSION 1000000						INVERSION 4000000							
IDEA			ENFOQUE										
m	B	NPV	NPV	NPV	m	B	NPV						
			1060849.9	1560849.9	0.67	0.2047874	-6291988	2329626.7					
0.1372076	-4715632	736789.4											
			430908.68	930908.68	0.67	0.2047874	-6291988	1389415.9					
INVERSION 500000													

Figura 22. Valoración del proyecto usando el método de Copeland.

Por favor tildar dentro de la gráfica las palabras, comercialización e inversión (tres veces)

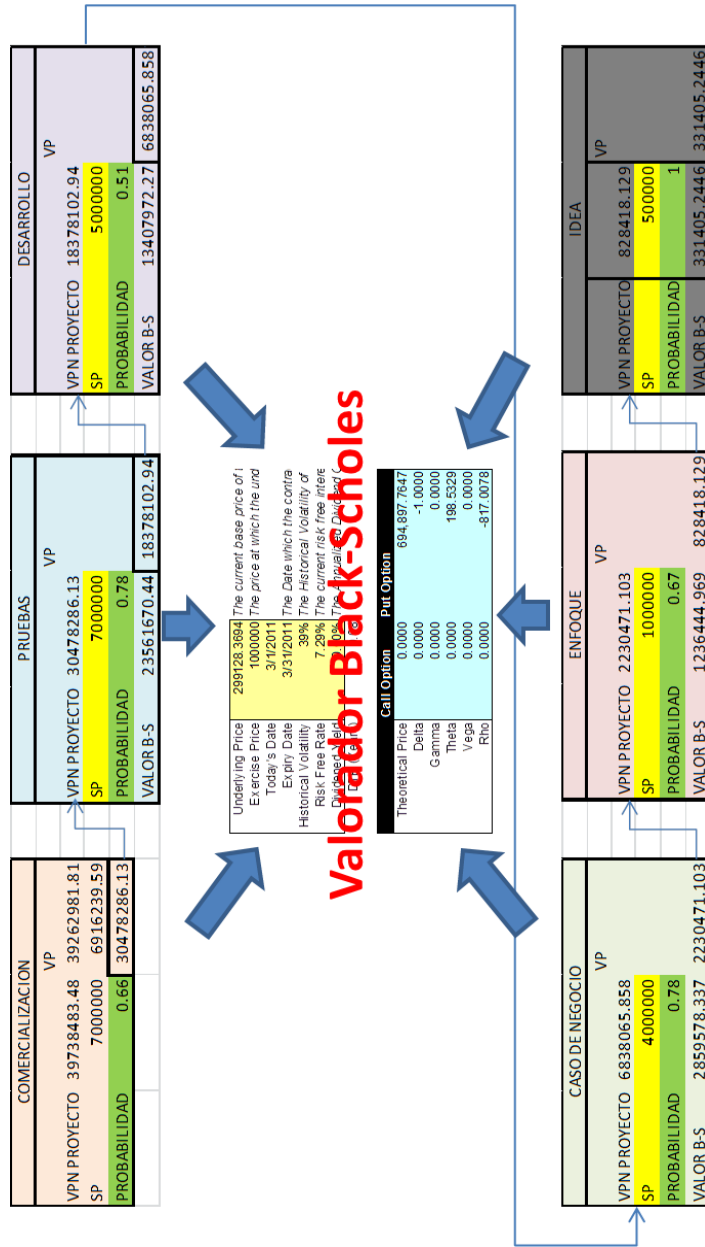


Figura 23. Valoración del proyecto usando el método de Boer.

5. CONCLUSIONES

Los métodos de valoración de proyectos basados en flujos de caja descontados no tienen en cuenta la flexibilidad que trae implícita el proceso Stage-Gate, para el desarrollo de nuevos productos y servicios, que propone la inversión incremental y por etapa, según el éxito o el fracaso de la etapa anterior y la reducción del riesgo de la inversión, que se supone se debería reducir en la medida que avanza el proyecto, y se va adquiriendo información, experiencia y conocimiento sobre éste. Esto no implica reemplazar las técnicas tradicionales, sino agregar más herramientas que permitan hacer análisis cuando hay decisiones cerradas de priorización de proyectos, o de ejecutar o no un proyecto de desarrollo de nuevos servicios.

Aunque el uso de la valoración basada en el método de *Black-Scholes* es de fácil ejecución, y se cuenta con herramientas publicadas en la web que lo facilitan, se requiere hacer un análisis minucioso de la variación de la volatilidad con respecto al tiempo, y de la distribución de probabilidad del valor presente del proyecto. Por otro lado, la valoración basada en árboles binomiales toma un esfuerzo mayor, pero permite atacar un mayor rango de problemas que no necesariamente presentan una situación tan perfectamente distribuida como lo requiere *Black-Scholes*. Esto no descarta un método u otro de valoración de opciones, sino que da algunas condiciones a tener en cuenta para usar un método más simple cuando sea posible y ser más práctico.

La valoración teniendo en cuenta la volatilidad será útil cuando se tenga una volatilidad considerable del valor del activo subyacente, probabilidades de éxito o fracaso en las diferentes etapas de un proyecto, y cuando el valor del proyecto no tiene valores extremos con relación a la inversión inicial (un valor presente neto no muy negativo, ni muy positivo). Es importante tener esto en cuenta, para definir si el método agregará o no valor a la toma de decisiones, basada en los resultados arrojados por los métodos de flujo de caja descontado.

No hay discusión, cuando se afirma que es una metodología que requiere mayor cantidad de información, y mayor elaboración que se traduce en tiempo para conocer más detalladamente un proyecto, y la elaboración como tal de los modelos. Sin embargo, en búsqueda de la precisión y de tener más variables en cuenta, la flexibilidad es una variable que podría agregar mucho valor a un proyecto, y no es preciso dejarla por fuera del análisis financiero.

6. REFERENCIAS

- Balasubramanian P. and Kulatilaka N.** (2000). Managing information technology investments using a real-options approach [Journal] // *Journal of Strategic Information Systems*. pp. 39-62.
- Boer, P.** (2002). Risk-adjusted Valuation for R&D Projects [Journal] // *Research-Technology Management*. pp. 23-35.
- Boer, P.** (2003). Risk-Adjusted valuation of R&D projects [Report]. - [s.l.] : Industrial Research Institute.
- Brennan M. and Schwartz, E.** (1985). Evaluating Natural Resource Investments [Journal] // *The journal of business*. pp. 135-157.
- Cooper, R. and Edgett Scott, J.** (2001). Winning at new products: Accelerating the process from idea to launch. [Book]. - Nueva York : Basic Books.
- Cooper, R. and Edgett Scott, J.** (2001). Portfolio Management for New Products: Picking the Winners [Report]. - [s.l.] : Product Development Institute.
- Cooper, R. and Edgett Scott, J.** (2009). Product Innovation and Technology Strategy [Book]. - Charlestone: Product Development Institute.
- Cooper, R. and Edgett Scott, J.** (2009). Product Innovation and Technology Strategy [Book]. - [s.l.] : Stage-Gate International.
- Cooper, R. and Kleinschmidt E. J.** (1986). An investigation into the new product process: Steps, deficiencies and impact [Journal] // *Journal of product innovation*. pp. 71-85.
- Cooper, R. and Kleinschmidt E. J.** (1987). New products: What Separates Winners from Losers [Journal] // *Journal of Product Innovation Management*. pp. 169-184.
- Cooper R. and Kleinschmidt J. E.** (1987). Succes factors in product innovation [Journal] // *Industrial Marketing Managemente*. pp. 215-223.
- Cooper, R.** (1992). Developing Succesful New Financial Services for businesses [Journal] // *Industrial Marketing Management*. pp. 231-241.
- Cooper, R.** (1993). New Product Success in the Chemical Industry [Journal] // *Industrial Marketing Management*. pp. 85-99.
- Cooper, R.** (1994). Perspective Third-Generation New Product Processes [Journal] // *Journal of Product Innovation Management*. pp. 3-14.

- Cooper, R.** (1979). The Dimensions of Industrial New Product Success and Failure [Journal] // *Journal of Marketing*. pp. 93-103.
- Cooper, R.** (1988). The New Product Process: A Decision Guide For Management [Journal] // *Journal of Marketing Management*. pp. 238-255.
- Cooper, R.** (1975). Why New Industrial Products Fail [Journal] // *Industrial Marketing Management*. pp. 315-326.
- Cooper, R.** (1986). Winning at New Products [Book]. - [s.l.] : Addison-Wesley.
- Cooper, R.** (2006). Winning at New Products: Pathways to Profitable Innovation [Report]. - [s.l.] : Stage-Gate inc.
- Cooper, R., Edgett Scott, J. and Kleinschmid, E.** (2001). Portfolio management for new products [Book]. - New York : Basic Books
- Copeland, T. and Antikarov, V.** (2003). Real Options, A Practitioners Guide [Book]. - New York : Thomson.
- Copeland, T. and Keenan, Ph.** (1988). Making Real Options Real [Journal] // *The Mckinsey Quartely*. pp. 128-141.
- Crawford, M.** (1977). Marketing Research and The New Product Failure Rate [Journal] // *Journal of Marketing*. pp. 51-61.
- Crawford, M.** (1972). Strategies for New Product Development [Journal] // *Business Horizons*. pp. 49-58.
- Faulkner, T.** (1996). Applying "Options Thinking" to R&D Valuation [Journal] // *Research and Technology Management*. pp. 50-57.
- Faulkner, T** (1996). Applying "Options thinking to R&D Valuation" [Journal] // *Research-Technology Management*. pp. 50-56.
- Fichman, R.** (2004). Real Options and IT Platform Adoption: Implications for Theory and Practice [Journal] // *Information Systems Research*. pp. 132-154.
- Griffin, A.** (1997). PDMA Research on New Product Development Practices: Updating Trends and Benchmarking Best Practices [Journal] // *Journal of Product Innovation Management*. pp. 429-458.
- Hatch, R. S.** (1957). Product Failures Attributed Mainly to a Lack of Testing, Faulty Marketing [Journal] // *Industrial Marketing*. pp. 112-126.

- Hill, R. M. and Hlavacek, J. D.** (1972). The Venture Team: A New Concept in Marketing Organizations [Journal] // *Journal of Marketing*. pp. 44-50.
- Hopkins, D. S. and Early L., B.** (1971). New Product Pressures [Journal] // *The Conference Board Records*. pp. 16-24.
- Hull, J. C.** (2008). Options, futures, and other derivatives [Book]. - New Jersey : Pearson.
- Johnson, S. C. and Jones, C.** (1957). How to Organize for New Products [Book]. - [s.l.] : HARVARD BUSINESS REVIEW.
- Kester, W.** (1984). Today's options for tomorrow's growth [Journal] // *Harvard Business Review*. pp. 153-160.
- Mascarenas, J.** (1999). Opciones reales en la valoración de proyectos de inversión [Report]. - Madrid : Universidad Complutense de Madrid.
- Myers Stewart, C.** (1984). Finance Theory and Financial Strategy [Journal] // *Interfaces*. pp. 126-137.
- Oriani, R. and Sobrero, M.** (2008). Uncertainty and the Market Valuation of R&D Within Real Options Logic [Journal] // *Strategic Management Journal*. pp. 343-361.
- Pakes, A.** (1986). Patents as options: some estimates of the value of holding European patent stocks [Journal] // *Econometrica*. pp. 755-784.
- Product development institute inc.** Stage-Gate® - Your Roadmap for New Product Development [Online] // Stage-Gate® - Your Roadmap for New Product Development . - 2011. - 4 18, 2011. - <http://www.prod-dev.com/stage-gate.php>.
- R.L. McDonald and Siegel D.R.** (1986). The value of waiting to invest [Journal] // *Quarterly Journal of Economics*. pp. 707-727.
- Sierra, J.** (año). Opciones Reales para las decisiones de inversión: Aspectos Introductivos. [Report]. - Bogotá : Pontificia Universidad Javeriana.
- Tamayo, V. M. and Calle, A. M.** (2009). Decisiones de inversión a través de opciones reales [Journal] // *Estudios Gerenciales*. pp. 107-126.
- Van den Broek, S.** (2010). Real Options: Een Reele Optie [Journal] // *Tijdschrift Controlling*. pp. 18-22.
- Varila, M. and Sievanen, M.** (2005). Challenges of estimating pioneering R&D project [Journal] // *International Journal of Technology Intelligence and Planning*. pp. 424-440.

Venegas, F. y Ainzestat, A. (2006). Opciones reales, evaluación financiera de proyectos, y estrategias de negocios: Aplicaciones al caso Mejicano. [Publicación periódica] // *El trimestre económico*. pp. 363-405.