



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS



*MAESTRIA EN GESTION ECONOMIA Y FINANCIERA DEL
RIESGO*

**Aplicación de un modelo de opciones reales a la
evaluación de proyectos de investigación y
desarrollo en el sector de biotecnología en la ciudad
de Bogotá**

Diciembre de 2012

Maestrando: Andrés Felipe Segura

Directores: Javier Garcia Fronti

Adriana Fassio

Agradecimientos

Mi agradecimiento a mis directores de tesis, Javier Garcia Fronti y Adriana Fassio, por su permanente apoyo y asesoramiento en las distintas etapas del proceso de investigación.

Mi agradecimiento a mi familia, la cual me apoyo y me incentivo desde el comienzo y siempre estuvo a mi lado, aun en los momentos más difíciles. Especialmente a Sara Margarita Segura, sin la cual, la motivación por este trabajo no hubiera sido el mismo.

Mi agradecimiento especial a Carolina por su amor y apoyo.

Índice

Agradecimientos	2
Resumen.....	5
Introducción.....	6
Estado del Arte	7
Objetivo General.....	9
Objetivos Específicos	9
Metodología y fuentes de datos	10
1. BIOTECNOLOGÍA. DE LA INVESTIGACIÓN A LA PUESTA EN EL MERCADO ...	12
Introducción.....	12
1.1 Definición y conceptos de biotecnología.....	14
1.2 Historia de la biotecnología	17
1.3 Dinámica industrial de la biotecnología. Característica de los proyectos biotecnológicos.....	19
1.4 El mercado actual de los proyectos biotecnológicos.	22
Conclusiones.....	25
2. VALUACIÓN DE INVERSIONES EN BIOTECNOLOGÍA. LA METODOLOGÍA DE OPCIONES REALES	28
Introducción.....	28
2.1 Métodos tradiciones de valuación de proyectos. Principales limitaciones de los métodos tradicionales para evaluar proyectos biotecnológicos	29
2.2 Las decisiones de inversión en proyectos biotecnológicos como opciones reales: tipos de incertidumbre a los que está expuesto un proyecto	31
2.3 Un modelo básico de evaluación de proyectos bajo el uso de opciones reales: de la certidumbre en los costos y los ingresos hasta la incertidumbre total	34
Conclusión	41
3 MODELO DE SCHWARTZ PARA LA VALUACIÓN DE INVERSIONES BIOTECNOLÓGICAS.	43
Introducción.	43
3.1. El modelo de evaluación de Schwartz.....	45
3.1.1. El valor del proyecto una vez la inversión ha terminado	48
3.1.2. El valor de la oportunidad de invertir	49
3.1.3. Procedimiento para la solución del modelo	54
3.2. Ventajas y limitaciones de la utilización del modelo de Schwartz.....	57

Conclusión	59
4. EL PROYECTO DE LA PLATAFORMA DE VISUALIZACIÓN DE MICROSCOPIA ÓPTICA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ Y LA CALIBRACION DE SUS PARAMETROS.	62
Introducción.	62
4.1. Etapas y adelantos conseguidos a la fecha	64
4.2. Principales retos y riesgos a los que ha está expuesto el proceso de investigación.	67
4.3. Calibración de los costos del proyecto: evaluando las condiciones de incertidumbre	69
4.4. Calibración de los flujos de caja esperados y el tiempo de expiración de la patente.	73
4.5. Uso de la calibración en las ecuaciones previas a la solución	77
Conclusiones.	80
CONCLUSIONES	84
Bibliografía	88
ANEXO 1	90
ANEXO 2	93
ANEXO 3	96
ANEXO 4	98
ANEXO 5	104

Resumen

Los factores de producción en los mercados globales, más que los factores tangibles que existían en la revolución industrial como capital, trabajo y materias primas, han empezado a volverse intangibles como el conocimiento, la información y la cultura. El nuevo papel jugado por el conocimiento está generando una transformación en la escala y en el proceso productivo nacional, de forma que las utilidades dependen cada vez en más de la producción, distribución y uso del conocimiento y la información. Uno de los sectores que ha jugado un papel preponderante en este nuevo escenario mundial ha sido la biotecnología.

Debido a la importancia y de los avances que ha tenido la biotecnología en áreas como el mercado farmacéutico, el agroquímico, el energético y el medioambiental cuyo financiamiento depende, en su mayoría, de empresas privadas que han tenido que enfrentar un alto nivel de incertidumbre a lo largo de años de inversión, es necesario desarrollar y mejorar métodos de evaluación de proyectos que permitan tomar decisiones eficientes para invertir o seguir invirtiendo.

En el presente trabajo de tesis se desarrolla y se explica un modelo de evaluación de proyectos que usa el método de opciones reales. Al principio el modelo expone de manera genérica, para después continuar con el desarrollo de un modelo más específico a las necesidades de los proyectos biotecnológicos. Esto es, un modelo que considere la existencia de una patente que proteja por un tiempo límite los rendimientos que se esperarían ganar con el desarrollo, la existencia de un elevado nivel de incertidumbre en los costos y los ingresos totales del proyecto y, una alta probabilidad e fracaso debido a eventos catastróficos.

Posteriormente, se calibran las variables del modelo propuesto tomando como referencia el caso real de un proyecto biotecnológico. Para este trabajo de tesis, el caso propuesto es el desarrollo de una plataforma de visualización óptica desarrollada en la ciudad de Bogotá. Por último, el trabajo se completa con una serie de reflexiones acerca de las posibilidades (y limitaciones) que existentes para hacer este tipo de calibraciones.

Introducción

El crecimiento de una empresa e inclusive, su capacidad de ser competitiva y sobrevivir a la fuerte dinámica del mercado, depende en gran medida de los flujos de ideas que tenga para desarrollar nuevos productos y mejorar los ya existentes. De esta forma, la evaluación de proyectos resulta estratégica, especialmente, en aquellos sectores económicos donde la innovación es un factor que incide no solo en la obtención de utilidades sino en la supervivencia de la organización.

Para elegir entre la gama de posibilidades de proyectos que puede tener la empresa, es necesario hacer una evaluación previa y darle prelación a aquellos que mayor rendimiento esperado tengan. Para esto, las metodologías usadas habitualmente en las finanzas corporativas son el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). Sin embargo, estas metodologías no contemplan escenarios con incertidumbre ni cuantifican las opciones reales que podrían existir en proyectos de inversión.

En el caso de los proyectos de Investigación y Desarrollo (I+D), donde la incertidumbre recae no solamente sobre el valor final del activo una vez terminado el proyecto, sino sobre los costos de la inversión necesarios para su terminación, hacen que sea este tipo de proyectos los más difíciles de evaluar. De acuerdo a Pindick (1992), es posible identificar dos tipos de incertidumbre sobre los costos: incertidumbre técnica, referente a dificultades físicas que puedan surgir al desarrollar el proyecto, tales como el tiempo, esfuerzos y materiales que puedan ser requeridos y no previstos en su desarrollo y; la incertidumbre sobre el precio de los insumos del proyecto, debido a la fluctuación constante de los factores de producción requeridos.

Un de las áreas del conocimiento donde es común que se desarrollen proyectos de I+D es en la de biotecnología. Es importante resaltar que de todas las áreas del conocimiento, esta es una de las que podría considerarse estratégica para el desarrollo de la sociedad. De acuerdo a Medina (2010, página 1) “La Biotecnología

es particularmente importante, por su contribución a la calidad de vida, y a la minoración del consumo de recursos no renovables, contribuyendo de este modo al objetivo estratégico de crecimiento sostenible ampliamente sustentado por la comunidad internacional.”

Dadas las importantes implicaciones que tiene el desarrollo de esta disciplina para el mejoramiento del nivel de vida de las personas, la eficiente implementación y puesta en marcha de proyectos de investigación y desarrollo resulta primordial para la sociedad. De esta forma, en el presente trabajo de investigación se explorara una metodología de evaluación de proyectos que contemple condiciones de incertidumbre en los costos y en el valor del proyecto terminado para proyectos desarrollados bajo esa disciplina.

Estado del Arte

Para tomar la decisión sobre qué tipo de proyectos elegir, la empresa deben tener herramientas de evaluación que permitan priorizar aquellos proyectos que mayor valor puedan crear. Para esto, la mayoría de las organizaciones usan el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) como instrumento de decisión, suponiendo como ciertos los costos de la inversión y los flujos de caja futuros que el proyecto llegará a generar. Sin embargo, de acuerdo a Garcia Fronti (2011, página 129) “(...) estas metodologías tienen la desventaja de no reflejar la complejidad de los fenómenos sociales y económicos implicados en muchos proyectos de inversión. En particular, las técnicas tradicionales no contemplan en su cálculo contextos inciertos ni cuantifican las flexibilidades que muchas veces aparecen en proyectos de inversión.”

Al evaluar proyectos de investigación y desarrollo (I+D), donde la incertidumbre recae no solamente sobre el flujo de caja, sino sobre los costos y los esfuerzos que la inversión pudiera requerir para su terminación, se hace más que evidente la insuficiencia de los métodos tradicionales de evaluación. Al respecto de esto, vale la pena mencionar el trabajo de investigación realizado por Grossman y Shapiro (1986) donde se estudiaron dos tipos de proyectos: aquellos donde es posible conocer previamente la cantidad de esfuerzo necesario para su terminación y, aquellos donde la dificultad de terminar el proyecto es inicialmente desconocida. Para estos últimos, los autores modelaron el pago como una variable Poisson y definieron la tasa de riesgo en función del esfuerzo total realizado para terminar el proyecto.

Pyndick (1992) por su parte, recoge estos esfuerzos pero hace mayor énfasis en los tipos de incertidumbre que afectan los costos de un proyecto, logrando identificar dos tipos diferentes: una incertidumbre técnica y una incertidumbre en el precio de los insumos. Al hacer esta diferenciación, le resulta posible aislar y estudiar cada uno de los factores de riesgo de manera independiente y su impacto sobre el costo del proyecto para analizar, a través de la implementación de opciones reales, la conveniencia de abandonar, esperar o continuar invirtiendo.

De la misma forma, Schwartz (2002) desarrolla e implementa un acercamiento a la evaluación de proyectos de I+D bajo un enfoque de opciones reales. Para esto, retoma el trabajo de Pyndick sobre la incertidumbre en el costo y sobre los flujos de efectivo del proyecto, haciendo mucho énfasis en la opción de abandonar como una parte substancial del valor del mismo. Identifica así, tres posibilidades por las cuales abandonar: Por aumentos inesperados en los costos que llevaran a la inviabilidad de la inversión. Por una reducción en los flujos de fondos más allá de lo anticipado y, por “eventos catastróficos” que pudieran obligar a dar por concluido el proyecto antes de ser completado.

De otra parte, resulta especialmente relevante mencionar algunos estudios que se han realizado al respecto de otra de las características más relevantes de los proyectos de I+D: la irreversibilidad de las inversiones. Es decir, inversiones que una vez que se han realizado no pueden recuperarse o recobrase hasta que el proyecto esté completamente terminado. Es así como una referencia básica resulta ser el trabajo realizado por McDonald y Siegel (1986) donde se considera la inversión en el proyecto de I+D como un costo hundido y el retorno, como el valor del activo una vez termina el proyecto. Allí, tanto el costo como el retorno, se consideran variables aleatorias que siguen movimientos brownianos geométricos que, bajo la definición de una simple regla optima de inversión tal como $\frac{\text{valordelactivo}}{\text{Inversion}}$, genera la posibilidad de aconsejar cuando es mejor tomar la opción de esperar.

El trabajo de Weeds (2002) a su vez, profundiza los aportes de McDonald y Siegel y estudia el comportamiento de las empresas frente a condiciones de incertidumbre en el costo de los proyectos de I+D, agregando escenarios de competencia no cooperativa en el desarrollo de invenciones patentables. En un escenario de este tipo, el valor de la opción de esperar se reduce debido al miedo de ser adelantados en la investigación y perder la carrera por la patente. Weeds (2002) introduce de esta forma, un elemento interesante en la evaluación de proyectos de I+D en industrias biotecnológicas: la competencia.

En el presente trabajo de tesis se tomará los aportes realizados por Pyndick (1994), McDonald y Siegel (1986) y Schwartz (2002) para evaluar proyectos bajo condiciones de incertidumbre, usando el método de opciones reales. Específicamente, se evaluará un proyecto real del área de biotecnología en la ciudad de Bogotá, usando para esto, el desarrollo que hace Schwartz (2002) en su análisis sobre una nueva vacuna en la industria farmacéutica.

De la misma forma, vale la pena mencionar que con el presente trabajo de tesis se pretende exponer y aplicar un modelo de evaluación de proyectos que tenga en cuenta las condiciones de incertidumbre de los costos y del flujo de caja esperado, de forma que sea posible identificar y gestionar los riesgos de un caso real en el área de biotecnología. Para esto, se realizará un análisis comparado del método de opciones reales versus los métodos tradicionales de evaluación de proyectos, con el objeto de identificar ventajas comparativas; se desarrollará y expondrá el modelo específico de opciones reales propuesto por Schwartz (2002) aplicado a la evaluación de proyectos biotecnológicos; Se estudiará en profundidad un caso de un proyecto de investigación y desarrollo (I+D) en el área de biotecnología en la ciudad de Bogotá, identificando los factores de riesgo que conllevó su ejecución y los riesgos que aún debe afrontar para ser terminado; y, se calibrarán los parámetros de entrada del modelo de opciones reales de acuerdo a los riesgos identificados en el caso de estudio.

Objetivo General

Exponer y aplicar un modelo de evaluación de proyectos que tenga en cuenta las condiciones de incertidumbre de los costos y del flujo de caja esperado, de forma que sea posible identificar y gestionar los riesgos de un caso real en el área de biotecnología.

Objetivos Específicos

- Realizar un análisis comparado del método de opciones reales versus los métodos tradicionales de evaluación de proyectos, con el objeto de identificar ventajas comparativas.
- Desarrollar y exponer el modelo específico de opciones reales propuesto por Schwartz aplicado a la evaluación de proyectos biotecnológicos.
- Estudiar en profundidad un caso de un proyecto de investigación y desarrollo (I+D) en el área de biotecnología en la ciudad de Buenos Aires, identificando los factores

de riesgo que conllevó su ejecución y los riesgos que aún debe afrontar para ser terminado.

- Calibrar los parámetros de entrada del modelo de opciones reales de acuerdo a los riesgos identificados en el caso de estudio.

Metodología y fuentes de datos

En una primera fase del presente trabajo de tesis se realizaron entrevistas a informantes expertos y a informantes claves, así como una extensa búsqueda de informaciones bibliográficas, estadísticas e institucionales orientadas al análisis del mercado biotecnológico y de los proyectos de investigación y desarrollo. Posteriormente, se procedió a organizar la información de manera cronológica, dándole mayor importancia a las publicaciones más recientes con el objeto de usar las propuestas y desarrollos más actuales.

En el siguiente tramo, se procedió a describir a manera de contextualización los diferentes debates y las distintas aplicaciones que hay al respecto de la definición de la biotecnología así como de otros conceptos conexos, usando como base, la información recolectada en la fase anterior.

Posteriormente, por medio de la bibliografía alcanzada en la primera fase y la orientación de informantes clave, se comenzó el análisis y descripción de los modelos teóricos que se consideraron más convenientes para enfrentar el desafío de evaluar los proyectos de investigación y desarrollo biotecnológico. Así, se explicó teóricamente y se hicieron los desarrollos matemáticamente que soportaran tanto el modelo de Pindyck (1992) como el modelo de Schwartz (2002) que se encuentran en el capítulo dos y tres respectivamente.

Finalmente, en una tercera etapa, se comenzó la calibración de los parámetros que se requerían de acuerdo al modelo de Schwartz (2002) para hacer la evaluación del proyecto de investigación seleccionado (la plataforma de microscopia óptica desarrollada en Bogotá). Para esto, se tuvo acceso a los datos directamente recolectados por los investigadores del proyecto concerniente a los costos históricos, los presupuestos con las estimaciones de los costos para las fases subsiguientes y las estimaciones de mercado obtenidas a través de la investigación realizada para la comercialización de la plataforma.

La información concerniente al mercado que era necesaria para la calibración de los parámetros del modelo, se obtuvieron a través de las publicaciones estadísticas realizadas por el Banco de la República y la Bolsa de Valores de Colombia a la que puede acceder a través de sus páginas web.

Se utiliza un diseño experimental mediante el cual se pretende elaborar un modelo de evaluación de proyectos aplicado a la valoración de proyectos biotecnológicos. Las variables intervinientes consideradas son los costos y los ingresos estimados del proyecto, que, de acuerdo a la exposición del modelo de Schwartz (2002) se expondrá en el capítulo tres.

1. BIOTECNOLOGÍA. DE LA INVESTIGACIÓN A LA PUESTA EN EL MERCADO

Introducción

Los factores de producción actual, más que los factores tangibles de la economía industrial como capital, trabajo y materias primas, han empezado a ser intangibles tales el conocimiento, la información y la cultura. El nuevo papel jugado por el conocimiento está generando una transformación en la escala y en el proceso productivo nacional, de forma que las utilidades dependen cada vez en mayor medida de la producción, distribución y uso del conocimiento y de la información.

Este proceso de transformación se debe mayoritariamente a la globalización de la producción, al aumento en la demanda y de los mercados internacionales, y a una revolución tecnológica sin precedentes en el capitalismo moderno producida por los efectos sinérgicos de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

De acuerdo a la opinión de múltiples analistas, después de la tecnología de la información, es cada vez más probable que la biotecnología sea el segundo mayor sector económico en importancia cuyo insumo principal sea el conocimiento. De acuerdo a Burrone (2006, página 2), “una reciente estimación de la Comisión Europea indica que, al final de esta década, el valor del mercado mundial de la biotecnología podría ascender a más de dos billones de euros. Pese a la fuerte inversión de capital que requiere la biotecnología, la tasa de crecimiento del sector durante la década de 1990 y, en menor medida, el comienzo del siglo XXI, ha sido impresionante.”

Aunque la biotecnología ha existido desde tiempos muy antiguos con procesos tales como la fermentación, la fabricación de quesos e incluso la elaboración de pan, no es sino hasta el siglo XIX en que por medio de procesos más controlados, se logró reducir costos, alcanzar resultados más estables y conseguir métodos de transformación biológica más eficientes, que otorgaron mayor protagonismo a la biotecnología como un sector estratégico para el desarrollo económico.

De acuerdo a Bisang, Campi y Cesa (2009), la denominada biotecnología moderna tiene su punto de partida en los desarrollos científicos de Watson y Crick sobre la conformación genéticas de los seres vivos. Estos desarrollos otorgaron una base científica sólida a partir de la cual fue posible sumar otros avances académicos, que posteriormente permiten llegar, algunas décadas más tarde, a las primeras aplicaciones comerciales exitosas de biotecnología.

Durante el siglo XX se produjeron avances científicos que transformaron procesos productivos en sectores claves como el farmacéutico, el agropecuario y el médico entre otros. Durante este siglo se logró la codificación del genoma humano, se desarrollaron terapias médicas por medio del uso de equipos altamente tecnificados, se construyeron biofábricas, se desarrollaron medicamentos nuevos para enfermedades anteriormente no tratables y se crearon cultivos transgénicos que potenciaron el rendimiento de las cosechas de muchos alimentos.

De acuerdo a la organización de Organización para la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico –OCDE- (2006), es posible definir la moderna biotecnología como la aplicación científica y tecnológica a organismos vivientes y sus partes, así como los modelos destinados a modificar organismos vivos y/o materiales aplicados a la producción de conocimientos, bienes y servicios.

Haciendo uso de la definición anterior y teniendo en cuenta el importante desarrollo vivido las últimas décadas en los sectores farmacéuticos, agroquímico, energético y medioambiental, es posible decir que la biotecnología ha jugado un papel importante en la consecución de dichos logros.

Vale la pena decir también, que estos avances han sido en gran parte el resultado de décadas de investigación auspiciada por el financiamiento, en su mayoría, de empresas privadas que han tenido que enfrentar un alto nivel de incertidumbre a lo largo de este proceso de inversión. Esto se debe en general, a que el costo de la elaboración de productos y procesos nuevos es alto, mientras que el costo de su imitación es relativamente bajo.

Adicionalmente, una vez que la empresa empieza a invertir en un proyecto nuevo lo hace sin tener la certeza de cuantos recursos podría demandar esta inversión y por cuánto tiempo será. Esto hace que el invertir en este tipo de proyectos sea riesgoso y que se espere, en caso de que se tenga éxito en el desarrollo del mismo, un flujo de fondos

suficientemente amplio que puedan ayudar a recuperar la inversión y compensar el riesgo en el que se incurrió.

En lo particular, y debido a las importantes implicaciones que tiene la biotecnología para el desarrollo económico y social, en este capítulo se estudiara la dinámica del sector biotecnológico desde un contexto global haciendo énfasis en la historia y los distintos enfoques que definen este término, para posteriormente presentar un panorama del sector en el mercado colombiano.

El presente capítulo se estructurará en cuatro secciones. En la primera, se definirá que es biotecnología y se explicará algunos conceptos relativos. En la segunda sección, se describirá la historia de la biotecnología haciendo énfasis en los momentos y en las fases más importantes. En la tercera sección, se procederá a tratar la dinámica industrial y las características de los proyectos biotecnológicos. Finalmente, se hablará del mercado actual que tienen los proyectos biotecnológicos.

1.1 Definición y conceptos de biotecnología

Aunque al pensar en el concepto de biotecnología las primeras ideas asociadas sean relativas a los campos de aplicación de los desarrollos biológicos, en aras de lograr una primera aproximación genérica debería describirse a la biotecnología como un campo del conocimiento científico asociado a la producción económica, fuertemente transversal y heterogéneo, en el cual están implicadas diferentes técnicas provenientes de diversas ramas de la ciencia.

Aunque esta primera aproximación pueda captar de manera general algunas características conocidas a *priori* al respecto de la biotecnología, no es lo suficientemente precisa como para poder describirla y estudiarla. De hecho, de acuerdo a la diferente bibliografía consultada, lograr una definición que abarque todas las complejidades que implica la tecnología es un desafío importante que ha sido abordado desde diferentes perspectivas en los últimos años.

Desde el abordaje de la literatura existe una amplia variedad de definiciones al respecto de lo que es biotecnología, sin embargo, de acuerdo a Albornoz (2005), estas pueden ser agrupadas en dos grandes grupos: por un lado, las que establecen un enunciado único que cubre las posibles actividades del campo, o las que utilizan una lista de definiciones de diferentes tipos de biotecnologías. De acuerdo a este autor, es interesante ver como en los Estados Unidos a mitad de los años ochenta se ensayaron ambos tipos de definiciones.

La primera, consideraba a la biotecnología como una técnica, o un conjunto de técnicas, que utiliza organismos vivos o partes de ellos para obtener o modificar productos, mejorar plantas o animales, o para desarrollar microorganismos con usos determinados. La segunda definía a la biotecnología en función de la utilización de las modernas técnicas del ADN, la fusión celular y los procedimientos de bioingeniería.

Otra de las definiciones a considerar siguiendo el trabajo de Albornoz (2005), es la de la biotecnología como la aplicación de la ciencia y la ingeniería al uso directo o indirecto de organismos vivos o parte de ellos, en sus formas naturales o modificadas, en una forma innovadora para la producción de bienes y servicios o para la mejora de procesos industriales existentes.

En la práctica, la elección de una sola definición o un solo tipo de definición de biotecnología es difícil, debido a los diferentes significados que se le puede dar como consecuencia de los diferentes sectores de en qué pueda ser aplicada. De acuerdo a Albornoz (2005, página 8) “la biotecnología en la agricultura suele referirse a organismos genéticamente modificados OGM y a las tecnologías asociadas como los marcadores de ADN; suele incluir el cultivo de tejidos, pero no las tecnologías tradicionales. Biotecnología para las aplicaciones medioambientales e industriales incluye tecnologías que no usan OGM, como biorremediación de tierras contaminadas o blanqueo de pulpa de madera”. En el sector salud por su parte, la biotecnología puede referirse a varias tecnologías avanzadas como ingeniería genética, genómica y proteómica¹, pero suele incluir disciplinas más tradicionales como química combinatoria y química tradicional.

Disponer de una sola definición al respecto de lo que es la biotecnología es útil debido a que bajo un mismo concepto, es más fácil generar estadísticas e indicadores para medir el comportamiento y desarrollo de sus diferentes componentes. De la misma forma, bajo un concepto único sería posible desarrollar comparaciones entre países y regiones de forma tal, que se pueda identificar experiencias positivas de países y replicarlas.

De otra parte, utilizar una lista básica de definiciones puede ayudar a reducir algunas de las confusiones que rodean una sola definición y es útil, de acuerdo a Albornoz (2005), cuando las políticas públicas se orientan a las aplicaciones y beneficios de la biotecnología, las que variarán con el tipo de biotecnología en uso. También resulta provechoso cuando empresas grandes y diversificadas utilizan la biotecnología en muchos sectores diferentes,

¹ Genómica y Proteómica, de acuerdo a los diccionarios médicos consultados, se refiere a ramas de la

dado que posibilitan su identificación, y la evaluación el grado de intensidad de los usos respectivos.

Resulta importante mencionar que más allá de la definición que se emplee para tratar el tema de la biotecnología, es importante reconocer que en la actualidad, el uso de estos métodos está teniendo un gran impacto en los distintos sectores industriales y por ello, de acuerdo a Pliego (2010), dependiendo del sector en que se aplica, la biotecnología se ha dividido en varios tipos: roja, verde, blanca y azul.

Siguiendo a este autor, la biotecnología roja o de la salud hace referencia a las aplicaciones en las áreas de salud humana y animal, con énfasis en la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades, fundamentalmente el cáncer. Algunos ejemplos de este tipo de biotecnología son el desarrollo de medicamentos a través de organismos para producir antibióticos, los diagnósticos moleculares o las terapias regenerativas.

La biotecnología verde por su parte, es la biotecnología aplicada a procesos agrícolas en la industria alimentaria, al desarrollo de bio-fertilizantes y a la obtención de plantas transgénicas. Estos desarrollos, en palabras de Pliego (2010, página 42), "(...) están revalorizando la industria agropecuaria mediante la incorporación de la biotecnología en sus procesos para la obtención de alimentos funcionales (aquellos elaborados no solo por sus características nutricionales sino también para cumplir una función específica como puede ser la mejora de la salud o reducir el riesgo de contraer enfermedades)."

La biotecnología blanca, también llamada biotecnología industrial conlleva la aplicación de herramientas biotecnológicas para la producción de compuestos químicos, biomateriales (como los plásticos biodegradables) y biocombustibles, mediante el uso de células vivas o de sus sistemas enzimáticos. Siguiendo los estudios de Pliego (2010), este tipo de biotecnología puede ayudar al desarrollo de nuevos productos así como a la reducción del impacto ambiental de las actividades industriales.

Finalmente, la denominada biotecnología azul o biotecnología marina y de acuicultura, incluye las aplicaciones en ambientes marinos y acuáticos. En palabras de Pliego (2010, página 42),

(...) "algunas de las más claras aplicaciones en este campo son el diseño de vacunas más efectivas que disminuyan la mortalidad de los peces por enfermedades infecciosas, y el desarrollo de marcadores genéticos,

asociados a características de interés comercial, que permita la selección de reproductores que tuvieran en su ADN las características deseadas.”

Por otra parte, es importante mencionar que la biotecnología azul sirve de base a importantes avances en los sectores rojo y blanco, ya que las algas se están utilizando tanto para la fabricación de medicamentos como para la fabricación de biocombustibles. De la misma forma, los desarrollos en el sector blanco contribuyen con aplicaciones que pueden tener uso en el sector azul o rojo. En consecuencia, pese a que la biotecnología es posible clasificarla dependiendo del sector industrial donde tiene aplicación, no se debe olvidar que los diferentes sectores están también relacionados entre sí.

1.2 Historia de la biotecnología

Los inicios de la biotecnología surgen de la aplicación de la biología en la transformación de naturaleza. La fermentación de bebidas, la fabricación de quesos, e incluso elaboración de pan son tan viejas como la humanidad y tienen como epicentro el uso de procesos biológicos como herramientas de transformación de materiales extraídos de la naturaleza en productos finales. Esos procesos fueron desarrollados a partir de mecanismos de prueba y error y perfeccionados desde el siglo XIX con técnicas que surgen de la química.

En el sector agrícola, el uso de las leyes de Mendel² publicadas en 1865 permitió contar con una guía para mejorar los procesos de selección vegetal de las especies que se producían. De esta forma se logró una mejora sustantiva, principalmente, en el fitomejoramiento³ de las semillas y se dieron pasos para el entrecruzamiento “manual” entre especies vegetales compatibles, dando lugar a los fenómenos conocidos como hibridación. De acuerdo a Bisang, Campi y Cesa (2009), su resultado fue la clave del uso masivo de las semillas híbridas (junto con la mecanización y los agroquímicos) como eje central de la denominada revolución verde de los años cincuenta y sesenta. Sin embargo, las técnicas aplicadas respetaban el cruzamiento “natural” entre especies.

Posteriormente, con la descripción hipotética del funcionamiento del ADN en 1953 fue posible comenzar a ahondar los conocimientos sobre el funcionamiento interno de los procesos genéticos. En palabras de Bisang, Campi y Cesa (2009, página 11)

² Leyes sobre la herencia que se constituyen en el fundamento de la genética moderna

³ El Fitomejoramiento es una disciplina de las ciencias biológicas, que ha permitido la creación de nuevas variedades o híbridos de especies vegetales con características mejoradas como altos rendimientos, resistencia a las principales plagas y enfermedades, capacidad de adaptación a diferentes condiciones de clima y suelo, precocidad, mayor contenido nutricional y excelente presentación entre otras.

(...) “las investigaciones avanzaron en la identificación de cada gen, sus funciones asociadas, las formas de relación con las proteínas y otros mecanismos de la compleja biología de las células. De allí surgió rápidamente el interés por el uso aplicado de los avances científicos: la manipulación de los códigos del ADN de cada ser vivo, la posibilidad de copiar individuos (clonar), la identificación de qué gen corresponde a qué rasgo (estructural y/o funcional), guiaban las investigaciones.”

Unas décadas después, a mediados de los sesenta, estos avances científicos abandonaron el plano teórico y sirvieron de base para el desarrollo de nuevos productos y procesos con mercado y valor comercial.

Cada vez más los desarrollos científicos iban logrando alcanzar aplicaciones comerciales concretas, lo que significó, que la relación hasta entonces débil entre lo científico, lo tecnológico y lo comercial comenzará a ser cada vez más estrecha. En consecuencia, en palabras de Bisang, Campi y Cesa (2009, página 13),

(...) “se abrió la necesidad de reformular el modelo científico (articulado previamente bajo el paradigma de bien público financiado con recursos estatales) y tecnológico (previamente exclusivo de tecnólogos privados y orientada por el lucro). Como consecuencia a inicios de la década del ochenta, se lanzaron al mercado los primeros medicamentos obtenidos a través de recombinantes (la insulina recombinada y la eritropoyetina fueron los productos más destacados).”

Durante mediados de la década de los ochenta y gran parte de la década de los noventa, el sector biotecnológico creció y muchas de las ideas que nacieron como cuestionamientos científicos terminaron desarrolladas como productos finales. En este proceso, Pliego (2010) identifica una larga serie de pasos técnicos en los cuales, además de identificar los “protocolos estándar” de desarrollo de un proyecto biotecnológico, identifica el desarrollo de subproductos (genes, test, servicios de bioinformática, cultivos y equipamiento entre otros) que en muchos casos eran desarrollados en forma integrada con todo el proyecto o bien, de manera independiente en el marco de una red local o internacional de intercambios de bienes y conocimiento. En este sentido, es posible decir que la moderna biotecnología genera una forma de producción que abre múltiples oportunidades de negocios previamente inexistentes.

Actualmente existen al menos tres opciones por donde se producen avances sustantivos en la aplicación de la biotecnología moderna:

- a) El uso de técnicas de biotecnología moderna para mejorar costos y desarrollar productos tradicionales, como por ejemplo la producción de medicamentos por técnicas recombinantes que dan como resultado productos que ya existen en el mercado, pero a costos menores y con menos posibilidades de efectos secundarios.
- b) El diseño de nuevas especies a partir de procedimientos de ingeniería genética, a fin de dotarlos de estructuras estables y funciones particulares. En tal caso, de acuerdo a Bisang, Campi y Cesa (2009) nos encontramos en presencia de la transgenia, debido a que las técnicas disponibles permiten incorporar genes de otras especies. En consecuencia, los límites que impone la naturaleza para el cruce de individuos de diferentes especies es superada por la actividad científica. Para ello es necesario conocer en profundidad no sólo la biología del receptor, el gen que se desea incorporar, y el procedimiento en sí, sino también la complejidad biológica del receptor. El desarrollo de esta faceta de la biotecnología es claramente comercial.
- c) La profundización científica del funcionamiento molecular, que opera como plataforma para nuevas aplicaciones. En particular vale la pena resaltar la identificación de los mapas genéticos, la mecánica de funcionamiento interno de las células y las relaciones entre proteínas y genes entre otros.

1.3 Dinámica industrial de la biotecnología. Característica de los proyectos biotecnológicos.

Pasar de un desarrollo científico a una técnica y de ésta a una tecnología⁴ con capacidad comercial, implica en el caso de la biotecnología, una gran cantidad de pasos interrelacionados (con sus respectivas demandas hacia terceras actividades) que pueden ser efectuadas por un único agente o por varios. En consecuencia, se trata de una actividad que, vista en perspectiva, presenta una gran cantidad de oportunidades e

⁴ Debe diferenciarse entre desarrollo científico, técnica y tecnología. La primera se refiere a desarrollo de conceptos capaces de ser comprobados. Técnica por su parte es un procedimiento o conjunto de reglas, normas o protocolos, que tienen como objetivo obtener un resultado determinado. Finalmente, tecnología se refiere al conjunto de conocimientos ordenados científicamente, que permiten diseñar y crear bienes.

interconexiones entre agentes y sectores en sus diferentes fases, lo que permite la creación de nuevos productos y el inicio de nuevos procesos.

Aunque cada proceso es prácticamente único debido a las distintas particularidades que puede tener, las distintas interconexiones que pueda generar, la variedad de agentes a intervenir y las distintas oportunidades que se puedan crear, es posible señalar algunas características generales aplicables a todas estas dinámicas.

Un primer tipo de dinámicas podría ser aquel donde las técnicas creadas son comunes a todas las aplicaciones posteriores. Un ejemplo de esto son las técnicas básicas de clonación, que si bien pueden tener ajustes al ser aplicadas en algunas especies, no difieren sustantivamente del procedimiento original. A este conjunto de desarrollos se los conoce como tecnología horizontales y son relativamente estandarizadas. Además, vale la pena mencionar que normalmente son el resultado de la aplicación especializada de conocimientos variados en biología, química fina, e incluso bioinformática.

Un segundo conjunto por su parte, podría ser el de uso específico de técnicas en aplicaciones concretas. Por lo general este tipo de dinámicas se caracterizan por tener un alto grado de especificidad y de desarrollarse en empresas o instituciones que altamente especializadas en sus actividades y operaciones (variedades vegetales y animales, equipamientos, etc.). En otras palabras, este tipo de dinámicas desarrollan proyectos para dar respuesta a soluciones a medida en sectores especializados.

Por otra parte, Bisang, Campi y Cesa (2009) mencionan que además de que las dinámicas en los proyectos biotecnológicos se generen por el uso de la técnica a aplicaciones posteriores, en muchos casos también éstas se generan debido a las condiciones específicas donde será aplicada la técnica. Así por ejemplo, si se trata temas referentes a agricultura o ganadería, se debe tener en cuenta para su aplicación las características propias de los suelos y el tipo de clima regional, con las consecuentes conexiones que estos estudios requieren con otras áreas del conocimiento. Como resultado, si bien existe una serie de técnicas genéricas y específicas por actividad, la presencia de especificidades locales en los diversos ámbitos de aplicación requiere de procesos adaptativos a su uso en regiones específicas.

Además de las distintas dinámicas que se pueden generar en los proyectos biotecnológicos dependiendo del tipo de aplicación producida y del lugar donde se prenda usar, los proyectos biotecnológicos están sujetos a procesos específicos para ser desarrollados que si bien no son iguales para todos los tipos de proyectos, se pueden

caracterizar como tal para efectos académicos. Los desarrollos científicos están orientados desde el principio por el desafío de resolver un problema. Después de encontrar y enfocar la pregunta de investigación, surge la eventual aplicación a la solución técnica del problema planteado, momento en el cual, el proyecto puede volverse específico a una situación concreta o ser más general. El paso siguiente sería encontrar la viabilidad productiva al desarrollo de esta técnica, es decir, definir una aplicación práctica que posteriormente pueda convertirse en una oportunidad de negocios.

Vale la pena mencionar que, debido a la complejidad de los desarrollos científicos, normalmente se dividen los proyectos de investigación por temas específicos. Por lo tanto, pese a ser subdivisiones del proyecto general, en muchos casos generan nuevas y variadas oportunidades de intercambio que, bajo ciertas circunstancias, podrían inclusive desarrollar mercados reales o potenciales que inicialmente no se hubieran considerado. Esta situación conlleva a revalorizar los conocimientos desarrollados previamente y a plantear nuevos objetivos.

Después de que se haya generado el proceso de maduración pertinente en el que el proyecto cumple los requerimientos y expectativas inicialmente planteadas, y por tanto, el desarrollo es probado funcionalmente en el laboratorio, es aprobado regulatoriamente, y es económicamente rentable, se deben cumplir otra larga serie de pasos con sus consecuentes formas de organización:

En primer lugar, una vez se ha desarrollado el producto o el proceso, éste debe ser escalado a nivel industrial, etapa menos sencilla que en otras actividades dado que se trata de productos biológicos. En esta etapa se debe tener en cuenta el marco regulatorio, entendido esto no sólo en cuanto a los derechos de propiedad, sino a las condiciones de seguridad, inocuidad y eficiencia de los desarrollos. También debe tenerse en cuenta el proceso de producción y la logística de distribución requerida hasta llegar al consumidor final con un producto en perfectas condiciones.

En síntesis, la generación de rendimientos por medio de un proyecto biotecnológico requiere no sólo del dominio tecnológico, sino fundamentalmente del control productivo, las capacidades para dar respuesta a las regulaciones y el manejo de los canales comerciales del producto hasta llegar al consumidor. En perspectiva, si bien el control tecnológico en los desarrollos iniciales es importante por constituirse en la base para la creación de un proceso o un producto exitoso, éste solo puede ser entendido como una condición necesaria para el éxito del proyecto; las condiciones suficientes se asocian con el control de las restantes etapas. Obviamente, esto conlleva dos modelos distintos de

organización: el primero, conformado por mega empresas con una alta integración técnica y productiva y, el segundo modelo en el cual se segmentan las actividades en entre agentes especializados.

Vale la pena resaltar que debido a los elevados requerimientos técnicos, las oportunidades comerciales y el tiempo requerido para su desarrollo, este tipo de proyectos suelen estar auspiciados por el financiamiento, en su mayoría, de empresas privadas que tienen que enfrentar un alto nivel de incertidumbre a lo largo de este proceso de inversión. Esto se debe en general, a que el costo de la elaboración de productos y procesos nuevos es alto, mientras que el costo de su imitación es relativamente bajo. Un ejemplo de esto es el desarrollo de un medicamento nuevo que, pese a ser el resultado de un arduo proceso de investigación, desarrollo y testeo, puede ser copiado con relativa facilidad una vez que sale al mercado.

Adicionalmente, una vez la empresa empieza a invertir en un proyecto nuevo lo hace sin tener la certeza de cuantos recursos podría demandar esta inversión y por cuanto tiempo será. Esto hace que el invertir en este tipo de proyectos sea riesgoso y que se espere, en caso de que se tenga éxito en su desarrollo, un flujo de fondos suficientemente amplio que puedan ayudar a recuperar la inversión y compensar el riesgo en el que se incurrió.

El desarrollo de una medicina por ejemplo, puede tomar más de diez años para ser completada. Durante todo este periodo de tiempo, la inversión en el proyecto se hace sin obtener ningún tipo de retorno a cambio y con una probabilidad significativamente alta de tener que abandonar y perder lo que se ha invertido debido a razones técnicas o económicas. Adicionalmente, suponiendo que el proyecto haya podido ser completado con éxito, y por tanto, que haya sido posible desarrollar la medicina, no es posible tener certeza sobre el costo actual de producirla de manera masiva ni de las ventas y los flujos de fondos que se puedan generar hasta el vencimiento de la patente.

1.4 El mercado actual de los proyectos biotecnológicos.

Los primeros avances en el mercado de la biotecnología moderna se desarrollaron en las grandes universidades de Estados Unidos y Europa. De acuerdo a Bisang, Campi y Cesa (2009), la modificación en la Ley de Patentes de Estados Unidos 1982 facilitó enormemente los trámites de patentamiento por parte de las universidades y los institutos públicos, lo cual se constituyó en un impulso para la investigación y el desarrollo en las denominadas nuevas tecnologías. De esta manera, las universidades comenzaron a operar como desarrolladores iniciales del proceso, pero a partir de investigaciones

claramente orientadas por aplicaciones concretas (muchas de ellas a ser explotadas en el ámbito privado).

En el sector privado, más específicamente en los Estados Unidos en los años setenta, se creó Genetech, empresa considerada como la primera firma biotecnológica moderna. Después de que se desarrolló este emprendimiento, se comenzaron a sumar varios miles más, muchos de los cuales - Bisang, Campi y Cesa (2009)- adoptaron el formato de empresas científicas cuyo único activo fueron patentes, rutinas o desarrollos incompletos, que rápidamente ingresaron a la bolsa de valores norteamericana para captar fondos de inversión. El fin de la burbuja de 2002 puso límite a estos desarrollos y generó un número más pequeño de empresas pero de creciente dinamismo.

De acuerdo al estudio de estos autores, para el año 2006 había en el mundo alrededor de 5 000 empresas de biotecnología, con un nivel de facturación global para el año 2006 de alrededor de los 72.478 millones de dólares. Vale la pena decir que si bien la cifra es un valor estimativo, es suficientemente significativa como para resaltar el dinamismo de un sector inexistente hace solo unas décadas atrás.

Tabla 1
PANORAMA GENERAL DE LAS EMPRESAS BIOTECNOLOGICAS EN EL MUNDO
AÑO 2006
(En Millones de dólares, en cantidad)

	Mundo	Estados Unidos	Europa	Canada	Asia - pacifico
Datos de empresas públicas					
Ingresos	72,478	55,458	11,489	3,742	3,289
Gastos en I+D	27,782	22,865	3,631	885	401
Numero de empleados	190,500	130,600	39,740	7,190	12,970
Numero de empresas					
Empresas Publicas	710	336	156	82	136
Empresas Publicas y privadas	4,275	1,452	1,621	465	737

Fuente: Bisang, Campi y Cesa (2009), página 32

Tal como se muestra en la Tabla 1, Estados Unidos es el país que mayor cantidad de empresas y recursos produce a partir de desarrollos biotecnológicos, seguido muy detrás por los países de la Unión Europea, Canadá y algunos países asiáticos. De la misma forma, es posible ver que la mayor parte de las empresas que producen proyectos biotecnológicos son de carácter privado, aunque existe una participación mínima de empresas públicas.

Los importantes niveles de facturación mostrados en Tabla 2 son - Bisang, Campi y Cesa (2009)- el resultado de un rápido crecimiento que es sustentado por una fuerte apuesta

por las actividades de Investigación y Desarrollo (I+D). Tal como se demuestra, la facturación creció a razón de poco menos de un 15% entre el 2006 y 2005 y los gastos en I+D duplicaron dicha tasa.

De la misma forma, es posible ver un aumento en el nivel de empleo del 30% entre los dos años. Aunque el sector biotecnológico no es un sector intensivo en mano de obra y la generación de empleo no es correlativa con sus niveles de facturación (se estima en menos de 200 mil la cantidad de personas empleadas en la actividad en Estado Unidos), los empleos en el sector se caracterizan por ser de alta remuneración.

Concepto	2006	2007	Variación
Ingresos	73,478	64,213	14
Gastos en I+D	27,782	20,934	35
Numero de empleados	190,500	146,010	30
Cantidades de empresas públicas	710	673	5
Cantidades de empresas públicas y privadas	4,275	4,263	0

Fuente: Bisang, Campi y Cesa (2009), página 33

Con respecto al lugar de desarrollo de los proyectos biotecnológicos, el grueso de los mismos tiene lugar en reducidos centros de investigación y empresas ubicadas mayoritariamente en Estados Unidos y Europa. Aunque si bien pueden identificarse algunas contribuciones provenientes de otras regiones como Latinoamérica y Asia, de acuerdo a Bisang, Campi y Cesa (2009), las mismas se insertan en proyectos y redes cuyos nodos residen en las economías desarrolladas. Como es de esperar, debido a que los desarrollos biotecnológicos llevados a cabo en estos países, responden como es de esperar, a las demandas de tales sociedades. Vale la pena recordar que los avances científicos en este campo de la tecnología tienen una clara vocación a ser utilizados en actividades productivas concretas.

En contraposición, vale la pena señalar que en la casi totalidad de los países de Sur América es posible encontrar pequeños empresarios que ya en los años ochenta comenzaron a desarrollar, en común con grupos de investigación públicos, algunos productos biotecnológicos. Tal como lo señala Bisang, Campi y Cesa (2009), si bien se trató de casos aislados que no lograron conformar grandes empresas y desarrollar clusters, se destacaron en el promedio y establecieron las primeras empresas biotecnológicas de la región.

En Colombia, las primeras empresas de base biotecnológica aparecieron en 1996 con el desarrollo de iniciativas importantes: la primera, fue una empresa dedicada a la biología molecular llamada CorpoGen; y la segunda, de anticuerpos monoclonales llamada

Histolab. Ambas fueron incubadas en Innovar, incubadora de empresas de base tecnológica de Bogotá.

Más adelante surgen algunos otros emprendimientos dentro de las que vale la pena resaltar la creación de Orius Biotecnología, una empresa que cuenta entre sus líneas de producto con desarrollos agrícolas, acuícolas y ambientales producto de sus investigaciones aplicadas. Actualmente la empresa lleva adelante negocios en Colombia, Chile, Costa Rica, Ecuador, Panamá y Perú.

En la actualidad existe un decena de empresas, que efectúan desarrollos en el campo de la micro propagación de cultivos, el desarrollo de levaduras y los antes mencionados avances en biología molecular. Sin embargo, aún es un sector muy pequeño en la economía nacional que pese a haber alcanzado algún desarrollo, no representa una parte importante en el agregado nacional. De hecho, - Bisang, Campi y Cesa (2009) - es un sector que, comparado con el desarrollo que ha alcanzado en países de la región como Argentina, Cuba y Chile aún tiene un largo que camino que recorrer.

Conclusiones

En el presente capítulo de tesis se procedió a presentar un panorama general de la biotecnología, explicando en un primer momento las distintas definiciones del término y los conceptos más relevantes a tener en cuenta para entender el sector biotecnológico. Esto, con el fin de lograr una aproximación conceptual al sector, que permitiera posteriormente, entender su desarrollo y dinámicas propias del mismo.

En un primer momento, se procedió a explicar que la elección de una sola definición o un solo tipo de definición de biotecnología es difícil debido a los diferentes significados que se le puede dar a la palabra dependiendo de los diferentes sectores de aplicación con los que se relacione. De la misma manera, se explicó que aunque tener definiciones diversas sobre lo que es biotecnología puede generar la ventaja de ofrecer distintas visiones sobre este campo, disponer de una sola definición es útil debido a que bajo un mismo concepto es más fácil generar estadísticas e indicadores que permitan evaluar el estado de las políticas y los agentes involucrados en el sector.

Adicionalmente, al tener una sola definición sería posible hacer comparaciones entre países y regiones que puedan servir para aprender de experiencia exitosas que alienten el desarrollo biotecnológico local. Sin embargo, también se resaltó que utilizar una lista básica de definiciones, puede ayudar a reducir algunas de las confusiones que rodean una

sola definición y sería útil, de acuerdo a Albornoz (2005), cuando las políticas públicas se orientan a las aplicaciones y beneficios de biotecnología, las que variarán con el tipo de biotecnología en uso.

Posteriormente, se procedió a explicar la historia y los hechos más relevantes que se han producido para el desarrollo de la biotecnología. Tal como se explicó, la biotecnología ha existido desde tiempos muy antiguos pero no es sino hasta el siglo XIX en que por medio de procesos más controlados, se logró reducir costos, alcanzar resultados más estables y conseguir métodos de transformación biológica más eficientes. Debido a estos logros, la biotecnología ganó mayor protagonismo como un sector estratégico para el desarrollo económico.

Así mismo, como hecho relevante en la historia del desarrollo biotecnológico se mencionó el importante aporte de las leyes de Mendel publicadas en 1865, con las cuales se puede establecer una guía para mejorar los procesos de selección vegetal entre las diferentes variedades que se producían en los diferentes territorios. Igualmente, se mencionó como la descripción hipotética del funcionamiento del ADN en 1953 generó un impulso al desarrollo de los conocimientos sobre el funcionamiento interno de los procesos genéticos.

Posteriormente, se procedió a describir la dinámica del sector biotecnológico y como, el proceso de hacer un desarrollo científico y luego traducirlo a una tecnología con capacidad comercial, implica en el caso de la biotecnología, una gran cantidad de pasos interrelacionados que pueden involucrar uno o varios agentes. Se mostró como, aunque cada proceso es prácticamente único debido a las distintas particularidades que puede tener, las distintas interconexiones que pueda generar y la variedad de agentes que puedan intervenir, era posible señalar algunas características particulares de estas dinámicas.

Finalmente, se procedió a describir el mercado global de biotecnología mencionando que los primeros avances en el mercado de la biotecnología moderna se desarrollaron en las grandes universidades de Estados Unidos y Europa. Así mismo, con la modificación en la Ley de Patentes de EE.UU en 1982 facilitó enormemente los trámites de patentamiento por parte de las Universidades y los institutos públicos, lo que se constituyó en un incentivo para el desarrollo de investigaciones y su traducción a procesos y productos comercializables.

Aunque no es objeto de estudio del presente trabajo de tesis pero teniendo en cuenta el importante crecimiento, los beneficios resultantes y el potencial de mercado que ofrece la

biotecnología en los países donde se desarrolla, los diferentes gobiernos deberían tomar las medidas necesarias en los países de Sur América que fortalezcan la alianza universidad – empresa – gobierno como base para un desarrollo estable y sostenido de la biotecnología. Quizás, por medio de la biotecnología, una región rica en recursos naturales y llena de diversidad en flora y fauna encuentre respuestas a parte de sus problemas de desarrollo.

2. VALUACIÓN DE INVERSIONES EN BIOTECNOLOGÍA. LA METODOLOGÍA DE OPCIONES REALES

Introducción

El valor de todo proyecto de inversión depende del número y del tamaño de los flujos de caja que se esperen obtener en el futuro. Solo cuando la suma del valor presente de estos flujos es mayor que la suma del valor presente de los desembolsos que se deben a hacer para obtenerlos (la inversión), es óptimo llevar a cabo el proyecto de inversión. Normalmente en estos proyectos, debe hacerse un gran pago inicial que puede estar dividido a lo largo de unos años y, después de algún tiempo, suele comenzar a recibirse flujos de efectivo positivos.

Para saber si es conveniente invertir en un proyecto de inversión, la empresa debe evaluarlo y decidir si se generan los rendimientos suficientes por los cuales valga la pena invertir. En la práctica las empresas hacen uso de herramientas tales como el Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno. Sin embargo, estas metodologías no son adecuadas para evaluar todos los proyectos de inversión debido a que algunos tienen características y flexibilidades que no son posible captar por el uso de estas herramientas.

Los proyectos de investigación y desarrollo y, más concretamente, los proyectos de biotecnología, tienen características particulares tales como: alto nivel de incertidumbre al respecto de la posibilidad de su terminación; sobre el valor de los insumos necesarios para su desarrollo y; sobre los flujos de efectivo que puedan generar. Por esta razón, evaluar proyectos bajo el uso de herramientas tradicionales como el Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno pueden ser insuficiente para considerar las bondades de invertir o no en este tipo de proyectos.

Para evaluar este tipo de proyectos, en los que la incertidumbre y las decisiones estratégicas resultan ser factores relevantes del valor del propio proyecto, es necesario usar otro tipo de herramientas que efectivamente las capte y le dé "señales" al inversionista sobre la conveniencia de invertir. En este sentido, Dixit y Pindyck (1994) así como Schwartz (2002) proponen usar un método de opciones reales a partir del cual se obtengan mejores herramientas de análisis para llevar a cabo o no el proyecto. Por este método es

posible identificar la volatilidad en los pagos y del flujo de efectivo, así como el valor de la opción de abandono.

En lo particular, este trabajo de tesis se interesa en un método para evaluar las inversiones en proyectos de investigación y desarrollo biotecnológico. En los mismos, es fundamental tener en cuenta la irreversibilidad de la inversión, la incertidumbre de los precios y la variabilidad de los costos, así, como el pensamiento estratégico de los inversionistas sobre el tiempo para llevar a cabo la inversión.

Este capítulo se estructurará en tres secciones. En la primera se explican las principales limitaciones de los métodos tradicionales de evaluación de proyectos para los proyectos biotecnológicos. Posteriormente, se explicarán los tipos de incertidumbre a los que normalmente está expuesto un proyecto de inversión. Se introduce el concepto de opción real y se comparan, bajo el uso de ejemplos sencillos, las diferencias con los métodos tradicionales de evaluación. Finalmente, en la tercera sección, se propone un modelo básico, el cual se desarrollará partiendo de condiciones de certidumbre en los costos y los ingresos y, en el que se irán levantando poco a poco los supuestos e integrando condiciones de incertidumbre.

2.1 Métodos tradiciones de valuación de proyectos. Principales limitaciones de los métodos tradicionales para evaluar proyectos biotecnológicos

La mayoría de los estudios respecto a inversiones óptimas se centra en el flujo de fondos futuros que un proyecto pueda generar. Así, si una organización desea evaluar cual inversión debe ser priorizada en la asignación de recursos, hace uso del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) como instrumento de decisión, suponiendo implícitamente que, tantos los costos como los retornos se conocen con certeza. Sin embargo, hay muchos casos en los que el costo de la inversión es un factor más incierto que el mismo flujo de fondos esperado. Este es el caso de la mayoría de los proyectos en investigación y desarrollo (I+D) que requieren un periodo de tiempo largo para su terminación, en donde tanto las condiciones regulatorias como las condiciones técnicas del mismo pueden variar considerablemente.

Adicionalmente, en este tipo de proyectos hay otra característica: la inversión que se hace en ellos es irreversible. Es decir, una vez que se ha invertido, si la empresa quiere retirarse porque la demanda por el producto es menor que la prevista o porque requiere reorientar esos fondos a otras actividades, no podrá desinvertir y recobrar el dinero que haya gastado

en el proyecto. Por esta razón, la inversión debe ser entendida como un costo hundido hasta ser terminada y poderse usar.

Dentro de la gama de posibilidades de proyectos de investigación y desarrollo, los proyectos en biotecnología resultan especialmente interesantes como opción de inversión debido a las altas ganancias que pueden reportar en caso de resultar exitosos. Sin embargo, es importante tener en cuenta, tal como lo refiere Leder (2004, página 2), que “Sólo el 10% de las empresas llevan realmente el fruto de sus investigaciones al mercado. Generalmente a una empresa de biotecnología le lleva ocho años pasar de una oferta inicial pública a una verdadera rentabilidad.”

En la práctica, para saber si es conveniente invertir en un proyecto tradicional de inversión, la empresa debe hacer una evaluación del mismo y decidir si se generan los rendimientos suficientes. De acuerdo a García Fronti (2011, página 129) “Las metodologías tradicionales de valuación estiman, primeramente, los flujos de caja futuros generados por el proyecto; luego, se elige una tasa de descuento adecuada para calcular su valor presente, y, por último, se estima el costo inicial. Estos métodos son ampliamente utilizados en la práctica y ocupan un lugar central en las finanzas corporativas.”

Uno de los métodos más usados para evaluar proyectos es el Valor Actual Neto (VAN). Bajo este enfoque, se determina el valor presente de los flujos de efectivo, descontando tanto los ingresos como los egresos al costo del capital del proyecto. Siguiendo a Brigham (2006 Página 399). “Un valor presente neto de cero significa que los flujos de efectivo son exactamente los necesarios para pagar el capital invertido y para conseguir la tasa requerida de rendimiento por él. Si un proyecto tiene un valor presente positivo, estará generando más efectivo del que exigen el servicio de la deuda y el rendimiento requerido por los accionistas”.

De acuerdo a Dixit y Pindyck (1994), al aplicar el método del Valor presente Neto para evaluar un proyecto, se asume implícitamente algunas características básicas de la inversión evaluada. La primera, es que en caso de que las condiciones sean peor que las previstas, la empresa podrá recuperar los gastos en los que haya incurrido en el mercado y; que si la empresa no lleva a cabo el proyecto inmediatamente no tendrá oportunidad de desarrollarlo en el futuro.

Aunque algunos proyectos de inversión tengan estas características, la mayoría (especialmente aquellos desarrollados en el sector real y mucho más en el sector de biotecnología) tienen como cualidades principales la opción de esperar y la irreversibilidad

de la inversión realizada en ellos. Esto es, que solamente se desarrollarán cuando el inversionista considere adecuado o razonable el nivel de incertidumbre y; que en caso de que las condiciones sean peor que las previstas, éste no podrá recuperar los gastos en los que haya incurrido.

Debido a estas características en los proyectos de inversión, Dixit y Pindyck (1994) mencionan que las metodologías tradicionales no reconocen la importancia y las importantes implicaciones tanto cualitativas como cuantitativas de la interacción entre irreversibilidad, incertidumbre y la toma de decisiones a lo largo del tiempo. De acuerdo a estos autores, estas metodologías tampoco logran modelar adecuadamente el comportamiento de los inversionistas, que resultan ser menos sensibles a los cambios en la tasa de interés y el nivel de impuestos, que a la volatilidad y la incertidumbre sobre el ambiente económico en la práctica.

Así, y debido a las evidentes limitaciones de los métodos tradicionales para evaluar proyectos de inversión (más aun para proyectos de investigación y desarrollo, especialmente los desarrollados en biotecnología), es necesario introducir un método que tenga en cuenta y cuantifique la irreversibilidad y las flexibilidades características de este tipo de inversiones. Por lo tanto, la valoración que se haga del proyecto será más certera y permitirá reconocer y cuantificar las diferentes opciones que tendría la empresa de acuerdo a como cambien las condiciones económicas y técnicas del mismo.

2.2 Las decisiones de inversión en proyectos biotecnológicos como opciones reales: tipos de incertidumbre a los que está expuesto un proyecto

Las técnicas tradicionales de evaluación de proyectos son herramienta relativamente fáciles de usar que, bajo contextos de certidumbre, permiten al evaluador tomar decisiones eficientes de inversión. Sin embargo, muchos proyectos se desarrollan bajo contextos de incertidumbre y de irreversibilidad, por lo que estas técnicas no pueden ser utilizadas para evaluarlos acertadamente.

Concretamente, Pindyck (1992) identifica dos tipos diferentes de incertidumbre que afectan a la mayoría de los proyectos (especialmente a los de investigación y desarrollo, pero más aún a los de alto contenido biotecnológico): Una incertidumbre técnica relativa a dificultades físicas que puedan surgir al desarrollar el proyecto, tales como el tiempo, esfuerzos y materiales que puedan ser requeridos y no previstos al desarrollo del mismo (asumiendo que se conoce el costo de ellos); y una incertidumbre en el precio de los

insumos del proyecto. Esto se debe a que los precios de tierra, trabajo y materiales requeridos para la terminación del proyecto tienden a fluctuar a través del tiempo. Por tanto, si cambios imprevisibles en la regulación requieren que se cambien las cantidades de uno o más de estos insumos, se afectaría la composición total del producto y su costo total. Un ejemplo sería cambios en normas laborales o ambientales que requieran más capital.

De acuerdo a este autor, la incertidumbre técnica tiene dos características: La primera es que solo puede ser resuelta una vez que se termina el proyecto y es posible determinar aquello que efectivamente se gastó. La segunda, es que puede ser en gran parte diversificable. Esto se debe a que esta incertidumbre surge de la incapacidad de predecir qué tan difícil puede ser el proyecto y no del comportamiento de los precios o de la economía (no está correlacionado), por lo cual se pueden tomar decisiones de inversión que permitan mitigar este riesgo.

Al respecto de la incertidumbre en el precio de los insumos, es posible identificar dos características: La primera, es que el precio de estos insumos corresponde a procesos estocásticos que existen independientemente de que la firma invierta o no en el proyecto, que además, resultan ser cada vez más inciertos conforme pasa el tiempo; y la segunda, es que esta clase de costos son parcialmente no diversificables por cuanto el precio de los salarios, de los materiales y demás precios de los insumos están normalmente correlacionados con el estado de la economía.

Es interesante ver que los dos tipos de incertidumbre afectan de maneras diferentes la decisión óptima de invertir. La incertidumbre técnica incrementa el costo crítico esperado para terminar el proyecto. Por tanto, si el costo esperado de un proyecto que sirve para evaluar el Valor Presente Neto (VPN) tiene una varianza suficientemente alta, es posible que sea económicamente viable invertir aunque en un primer momento el VPN pueda ser negativo. En palabras de Pindyck (1992), la razón para que este fenómeno ocurra es que invertir revela información respecto al costo y por ende, sobre la rentabilidad neta de invertir más. En consecuencia, hay-lo que él denomina- un valor sombra que más allá de su contribución directa a la terminación del proyecto, puede disminuir el costo total esperado.

Comprender el efecto de la incertidumbre técnica sobre la decisión de invertir resulta más fácil a través de un ejemplo: suponiendo que un proyecto requiere una inversión inicial de \$10, que tiene una probabilidad de 50% de ser terminado, una probabilidad de 50% de que la segunda fase cueste \$40 y, que al terminar el proyecto este genere un rendimiento cierto

de \$28 hoy, el cálculo del costo esperado del proyecto sería \$30 y el VPN arrojaría un valor negativo [$VPN = -(10 + (0.5 * 40)) + 28$] por lo que no convendría invertir en el proyecto. Sin embargo, este análisis ignora la opción de abandonar si la segunda fase es requerida. De esta forma, el análisis correcto sería $VPN = -1 + (2.8 * 0.5)$, y por tanto se debería proseguir con el proyecto.

De otra parte, la incertidumbre en el costo de los insumos tiene el efecto contrario (reduce el costo crítico esperado), por lo que, aunque el proyecto evaluado tenga un VPN positivo, puede ser recomendable no proseguir invirtiendo. La razón de esto, es que las fluctuaciones en el precio de los insumos tienen lugar independientemente de que la empresa esté o no invirtiendo, por tanto, habrá un valor en esperar a ver si los costos cambian antes de comprometer recursos en el proyecto. De acuerdo a Pindyck (1992), si el proceso estocástico de los insumos está altamente correlacionado con la economía, bajo el contexto del *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) propuesto por Merton, la beta será más alta y por tanto, la tasa con el que se actualizaría el costo de esperar a invertir en un momento futuro. Esto implica un efecto amplificado en el valor de esperar.

Suponiendo, a manera de ejemplo, que existe la opción de emprender un proyecto de inversión cuyo costo hoy es \$30, pero que de iniciarse más adelante puede costar \$20 o \$40 con probabilidades constantes de 50% cada una, y, cuyo rendimiento esperado es \$32 a precios de hoy (asumiendo en principio una tasa libre de riesgo de 0), el cálculo del VPN daría \$2 ($VPN = -30 + 32$). Sin embargo, al hacerlo de esta forma se ignora el valor de la opción de esperar por la oportunidad de mejores costos. La forma correcta de hacer el análisis sería considerar que si más adelante el costo es de \$40 la empresa no invierte, pero si es de \$20 lo hace generando un VPN evaluado a hoy de $\{0.5 * (32 - 20) = 6\}$.

En el ejemplo anterior es claramente mejor esperar. De hecho, es posible decir que la empresa obtuvo un beneficio por el uso la opción de esperar por un valor de $\$6 - \$2 = \$4$. Ahora, suponiendo una sensibilidad en los costos (una beta) del 25% por periodo, habría que descontarlos (no se descuenta V porque es un valor certero) y generar un nuevo VPN que exprese el valor del proyecto teniendo en cuenta la nueva condición de la empresa. Así, el nuevo VPN sería $\{50% * [32 - (20 / 1.25)] = 8\}$, lo que claramente aumenta el valor de la opción de esperar.

Es importante notar que tanto la incertidumbre técnica como la incertidumbre en los insumos incrementan el valor de la oportunidad de invertir. La razón es que la función de rentabilidad es convexa en el costo de la inversión. En otras palabras, a medida que aumente el riesgo de que los costos se incrementen, el inversionista demandará un

aumento en la rentabilidad esperada del proyecto para permanecer allí. De esta forma, sería posible formalizar la función de rentabilidad como

$$MAX [V - K, 0] \quad (1)$$

Donde K es el costo del proyecto y V es el valor del proyecto completo. Vale la pena señalar que, tal como está explicitada, la oportunidad de inversión es análoga a la rentabilidad de una opción put europea. Esto significa que al poseedor se le otorga el derecho de vender un activo por un valor, con un K incierto y un V precio de ejercicio fijo (en principio se supone que se conoce el valor final del proyecto). De la misma forma a una opción put, el valor de la opción aumenta por un incremento en la varianza del precio del subyacente (K).

Al igual que en las opciones financieras, las opciones reales pueden ser "*in the Money*" o "*out the Money*". Las primeras son aquellas que si son ejercidas en el momento, aportan un flujo de caja neto positivo al poseedor, mientras que las segundas resultaría en un flujo de caja neto negativo en caso de ser ejercidas en el momento. De esta manera, lo más recomendable sería ejercer la opción, en este caso, realizar la inversión, solo cuando la opción sea "*in the Money*". De otro manera, lo más recomendable sería esperar hasta que haya mejores condiciones y sea posible generar un flujo de caja neto positivo.

Analizar la posibilidad de invertir como una opción, en la que la empresa tiene el derecho más no la obligación de comprar un activo dentro de cierto tiempo, resulta entonces relevante y estratégico. Bajo esta óptica de análisis, la empresa puede contemplar y cuantificar la opción de esperar por nueva información de los costos y los retornos esperados, así como cuantificar la opción de invertir con condiciones de irreversibilidad. Esto le permitiría tener un análisis más integral del proyecto, explicitar las opciones de decisión que puede tomar y contemplar los posibles escenarios que podrían llegar a darse durante la vida del proyecto.

2.3 Un modelo básico de evaluación de proyectos bajo el uso de opciones reales: de la certidumbre en los costos y los ingresos hasta la incertidumbre total

Se considera que una inversión óptima es aquella en la que $\frac{V}{K}$ alcanza un valor crítico mayor que 1. Así, si se considera invertir en un proyecto cuyo costo de terminación es una variable aleatoria \hat{K} y cuyo costo esperado es $E(\hat{K}) = K$; que toma tiempo para ser completado; que tiene una tasa máxima a la que la empresa puede, productivamente

invertir (k); en el cual, al término del proyecto, la empresa recibe un activo (un dispositivo, una nueva droga, etc.) cuyo valor V es conocido con certeza; y en el cual inicialmente no se considera la existencia de incertidumbre en su costo a lo largo del tiempo $T = \frac{K}{k}$ de duración para ser terminado, la inversión óptima a realizar sería:

$$\begin{aligned}
 F(K) &= \text{Max} \left[V * e^{-r \cdot \left(\frac{K}{k}\right)} - \int_0^{\frac{K}{k}} k * e^{-r \cdot t} dt, 0 \right] \\
 &= \text{Max} \left[V * e^{-r \cdot \left(\frac{K}{k}\right)} - \left\{ \left(\frac{k}{-r}\right) * e^{-r \cdot \left(\frac{K}{k}\right)} - \left(\frac{k}{-r}\right) * e^{-r \cdot (0)} \right\}, 0 \right] \\
 &= \text{Max} \left[\left(V + \frac{k}{r}\right) e^{-r \cdot \left(\frac{K}{k}\right)} - \frac{k}{r}, 0 \right] \quad \mathbf{(2)}
 \end{aligned}$$

Donde r es la tasa libre de riesgo.

De la ecuación (2) se puede derivar el K *crítico desde el cual es óptimo invertir. Esto es, el valor del costo que hace que $F(K) > 0$. Así

$$\begin{aligned}
 \left(V + \frac{k}{r}\right) e^{-r \cdot \left(\frac{K}{k}\right)} - \frac{k}{r} &> 0 \\
 K * &= \left(\frac{k}{r}\right) \log\left(1 + r \frac{V}{k}\right) \quad \mathbf{(3)}
 \end{aligned}$$

De acuerdo a Pindyck (1992), las ecuaciones (2) y (3) representan las herramientas con las cuales un inversor decidiría la pertinencia o no de llevar a cabo un proyecto de inversión, suponiendo que se tuviera certeza sobre los costos y los ingresos que la misma generaría. Sin embargo, es precisamente la incertidumbre en el costo y en los ingresos, una de las características más importantes de los proyectos de investigación y desarrollo, con más razón, los desarrollados con alto contenido biotecnológico.

En consecuencia a lo anterior, es necesario incorporar la incertidumbre al modelo hasta aquí explicado. Esto tiene como objeto lograr una mejor aproximación, desde lo teórico, a las características de los proyectos de desarrollo e investigación biotecnológicos, de forma

que después desde lo práctico, sea posible valuarlos más certeramente y brindar verdaderas herramientas de análisis a los inversionistas.

De esta forma, se supone que el costo esperado $K(t)$ sigue un proceso de difusión controlada y que por el momento $K(t)$ esta dado por

$$dK = -I dt + g(I, K) dz, \quad (4)$$

Donde I es la tasa de inversión, $z(t)$ es un proceso de weiner que puede o no estar correlacionado con la economía y el mercado de valores y, la primera derivada de g con respecto a I es positiva ($g_I \geq 0$), porque la pendiente de tasa de inversión es positiva; la segunda derivada de g con respecto a I es negativa ($g_{II} \leq 0$) porque es decreciente; y $g_K \geq 0$ porque la pendiente de tasa de inversión es positiva.

Lo que indica la ecuación (4) es que el costo esperado de realizar la inversión no solo decrece con forme se va haciendo la inversión, sino que también cambia estocásticamente. Estos cambios estocásticos en K pueden ser debido a incertidumbre técnica, en cuyo caso $g(0, K) = 0$ y $g_I > 0$; debido a incertidumbre en el costo de los insumos, en cuyo caso $g(0, K) > 0$; o por las dos anteriores.

Se asume que hay una tasa máxima de inversión k y que $F(K) = F(K; V; k)$ es el valor de la oportunidad de invertir. Entonces $F(K)$ satisface las condiciones de la ecuación (4), $0 \leq I(t) \leq k$, y $K(T) = 0$, así, partiendo de la ecuación (2) :

$$\begin{aligned} F(K) &= \text{Max} \left[\left(V + \frac{k}{r} \right) e^{-r \cdot \left(\frac{K}{k} \right)} - \frac{k}{r}, 0 \right] \\ &= \text{Max} \left[V * e^{-r \cdot T} - \left\{ \left(\frac{k}{-r} \right) * e^{-r \cdot (T)} - \left(\frac{k}{-r} \right) * e^{-r \cdot (0)} \right\}, 0 \right] \\ &= \text{Max} \left[V * e^{-r \cdot T} - \int_0^T k * e^{-r \cdot t} dt, 0 \right] \\ F(K) &= \max_{I(t)} E_0 \left[V * e^{-\mu T} - \int_0^T I(t) * e^{-\mu t} dt \right] \quad (5) \end{aligned}$$

Donde μ es una tasa de descuento ajustada y el tiempo T para completar el proyecto es estocástico. Es importante mencionar que para que la ecuación (5) tenga mayor sentido económico, Pindyck (1992) sugiere agregar un grupo de condiciones en el comportamiento de dK . En particular: (i) que la función $F(K; V; k)$ sea homogénea en primer grado en K, V y k ; (ii) que la primera derivada de la función con respecto a K sea menor que cero ($F_K < 0$), de forma que un incremento en el costo esperado de la inversión siempre reduzca su valor; (iii) que la varianza instantánea de dK esté delimitada por todo K finito y se aproxime a 0 cuando $K \rightarrow 0$; (iv) y que si la firma invierte a la tasa máxima k hasta que el proyecto esté completo, entonces $E \int_0^T k dt = K$. De esta forma, K es el costo esperado para la terminación del proyecto.

De forma que todas las condiciones atrás especificadas se cumplan y por tanto, la variación de los costos cumplan con una lógica económica, es necesario definir la función estocástica $g(I, K) = \beta K \left(\frac{I}{K}\right)^\alpha$, con $0 \leq \alpha \leq \left(\frac{1}{2}\right)$.

Con el objeto de facilitar el análisis, Pindyck (1992) usa solo $\alpha = 0$ y $\alpha = \frac{1}{2}$ que corresponden a los dos tipos de incertidumbre con respecto al costo. El caso en que $\alpha = \frac{1}{2}$ corresponde a la incertidumbre técnica; K puede cambiar solo si la firma está invirtiendo y, la varianza instantánea de $\frac{dK}{K}$ incrementa linealmente con $\frac{I}{K}$. Cuando la firma está invirtiendo, el cambio esperado en K en el intervalo de tiempo Δt es $-I\Delta t$, pese a que a que el cambio pueda ser más grande o más pequeño, inclusive pese a que K pueda inclusive aumentar. La varianza de K disminuye tan pronto como K disminuya, pero el costo total del proyecto $\int_0^T I dt$, solo será conocido cuando el proyecto este terminado.

El caso en que $\alpha = 0$ corresponde a la incertidumbre en los costos de los insumos; la varianza instantánea de $\frac{dK}{K}$ es constante e independiente de I . En este caso, K podría fluctuar inclusive cuando no haya inversión; los cambios que se pueden dar en K por causa de la variación en el precio de los insumos del proyecto es independiente de los avances que la empresa haga en el proyecto mismo y, al igual que con la incertidumbre técnica, solo es posible saber cuánto será el costo total del proyecto hasta que este esté terminado.

Combinando los dos tipos de incertidumbre, Dixit y Pindyck (1994) proponen que el costo total (K) del proyecto se comporte así:

$$dK = -I dt + \beta(IK)^{\frac{1}{2}} dz + \gamma K dw \quad (6)$$

Donde dz y dw son los incrementos de los procesos de Wiener incorrelacionados entre sí. Se asume que todo riesgo asociado con dz es diversificable y por tanto, incorrelacionado con el estado de la economía y el mercado de valores. De otro lado, dw puede estar correlacionada con el estado de la economía y el mercado de valores. Es importante hacer notar, que la ecuación (6) combina incertidumbre sobre el esfuerzo que requiere completar un proyecto, incertidumbre sobre el costo de este esfuerzo e, incertidumbre sobre el tiempo que tomará terminarlo.

Manteniendo el supuesto de que se conoce el valor del proyecto al finalizar la inversión (supuesto que después podrá ser levantado), y dado el proceso de los costos del proyecto que se han logrado modelizar, incorporando en ellos incertidumbre técnica e incertidumbre en el precio de los insumos, resulta ahora interesante plantear una expresión que indique cual podría ser la regla optima de inversión.

Para empezar, se sabe que dw esta correlacionada con el estado de la economía y el mercado de valores, por lo cual, no es posible usar la tasa libre de riesgo para descontar μ de la ecuación (5). El problema es resuelto por Dixit y Pindyck (1994) al asumir que dw es generado por los activos existentes de la economía. Al hacerlo así, se puede generar un portafolio que replique su movimiento y elimine μ de la ecuación. De esta manera, si x es el precio de un activo o un conjunto de activos perfectamente correlacionados con w , entonces dx puede expresarse así:

$$\partial x = \alpha_x x dt + \sigma_x x dw. \quad (7)$$

De forma que el retorno esperado de x sea una tasa de riesgo ajustada r_x . Es importante mencionar que usando esta última ecuación se puede simular un portafolio que disminuya el riesgo del inversionista, eliminando los riesgos no diversificables. La ecuación que indica el retorno de los inversionistas seria (ver anexo 1):

$$rF = \frac{1}{2}\beta^2 IKF_{KK} + \frac{1}{2}\gamma^2 K^2 F_{KK} - IF_K - \theta\gamma KF_K - I, \quad (8)$$

Es importante hacer notar que la ecuación (8) es parecida a la ecuación de Bellman para la programación dinámica estocástica, donde $\emptyset \equiv \frac{r_x - r}{\sigma_x}$, pero al recordar que $r_x = r + \theta \rho_{xm} \sigma_x$ entonces, $\emptyset = \theta \rho_{xm}$. En otras palabras, debido a que \emptyset es un parámetro dado por el mercado, el único valor necesario a identificar es ρ_{xm} , que es el coeficiente de correlación entre las fluctuaciones en el costo del proyecto y el mercado de valores. De la misma forma, vale la pena mencionar que como la ecuación (8) es lineal en I , la tasa de inversión que maximiza $F(K)$ es 0 o k . Específicamente,

$$I = \begin{cases} k, & \frac{1}{2} \beta^2 K F_{KK} - F_K - 1 \geq 0 \\ 0, & \text{de otra manera} \end{cases} \quad (9)$$

Para solucionar la ecuación (8) se deben tener en cuenta las siguientes condiciones:

$$F(0) = V \quad (10)$$

$$\lim_{K \rightarrow \infty} F(K) = 0 \quad (11)$$

$$\frac{1}{2} \beta^2 K * F_{KK}(K *) - F_K(K *) - 1 = 0 \quad (12)$$

La condición (10) dice que cuando el proyecto está completo el retorno es V . La condición (11) por su parte, indica que cuando K es muy grande, existe una probabilidad muy pequeña de que caiga lo suficiente como para empezar el proyecto. Finalmente, la condición (12) indica que F_K es continuo con $K *$.

Como estrategia de resolución de la ecuación (8), Pindyck (1992) propone analizar en primer lugar lo que sucede cuando solo hay incertidumbre técnica, es decir, cuando $\gamma = 0$. Después analizar lo que sucede cuando solo hay incertidumbre sobre el costo de los insumos, es decir, cuando $\beta = 0$, para finalmente regresar a la generalidad del modelo.

Para empezar, si solo hubiera incertidumbre técnica, la ecuación (8) sería

$$rF = \frac{1}{2}\beta^2 IKF_{KK} - IF_K - I. \quad (13)$$

En este caso, K solo podría cambiar cuando la empresa esté invirtiendo. Por tanto, si $K > K^*$ y la empresa no está invirtiendo $F(K) = 0$. Las condiciones (10) y (12) serían iguales y la condición (13) sería reemplazada por $F(K^*) = 0$

Cuando $r = 0$ la ecuación (13) tendría solución analítica así (ver anexo 5):

$$F(K) = V - K + \beta^2 \left(\frac{V}{2}\right)^{-\frac{2}{\beta^2}} \left(\frac{K}{\beta^2+2}\right)^{\frac{\beta^2+2}{\beta^2}} \quad (14)$$

Y el valor crítico de K , es decir, K^* sería:

$$K^* = \left(1 + \frac{1}{2}\beta^2\right)V$$

La ecuación (14) tiene una interpretación simple. Con $r = 0$, $V - K$ sería el valor de la oportunidad de invertir donde no hay posibilidad de abandonar el proyecto una vez el proyecto comience. El último término de la ecuación hace referencia al valor de la opción put de abandonar el proyecto. De esta forma, el costo de abandonar el proyecto se vuelve más caro de lo esperado. Es importante notar que para $\beta > 0$, $K^* > V$ y K^* se incrementaría en β . En otras palabras, entre mayor incertidumbre, mayor será la oportunidad de invertir y, más grande será el costo máximo esperado para el cual invertir sea rentable.

Cuando $r > 0$, no habría solución analítica como en el caso pasado, sino que habría que resolver numéricamente con diferentes valores para β . Sin embargo, para que los valores escogidos sean razonables, es necesario relacionar este parámetro con la varianza total del proyecto de forma que

$$VAR(\hat{K}) = \left(\frac{\beta^2}{2-\beta^2} \right) K^2 \quad (15)$$

De otra parte, si solo hubiera incertidumbre en el costo de los insumos, la ecuación (8) quedaría así:

$$\frac{1}{2}\gamma^2 K^2 F_{KK} - IF_K - \phi\gamma K F_K - I = rF. \quad (16)$$

Así como en el caso de incertidumbre técnica, la ecuación (16) cumple las condiciones (10) y (11), pero en la ecuación (10) $F_K(K^*) = -1$. Ahora, K puede cambiar se esté o no realizando la inversión. Por tanto, como en una opción put, habrá un $F(K) > 0$ para cualquier K finito.

Cuando $\gamma > 0$ la ecuación (16) no tendría solución si $r = 0$, porque no habría ninguna razón para invertir. Por tanto, siempre sería mejor esperar hasta que K este cerca de 0, de forma que la rentabilidad neta del proyecto sea mayor. En este caso concreto, no importaría cuanto tiempo pase hasta que suceda lo anterior, porque los pagos netos no van a ser descontados.

Si $I = 0$, entonces \hat{K} es distribuida como una Log-normal. Entonces γ podría ser interpretada como la desviación estándar del porcentaje de cambios por periodo en K . Determinar un γ razonable depende de la composición de los costos y su comportamiento en el mercado.

Conclusión

En el presente capítulo se han presentado las desventajas del uso de los métodos tradicionales de evaluación de proyectos, tales como el valor presente neto y la tasa interna de retorno, como herramienta de análisis y evaluación de proyectos biotecnológicos. Se explicó que una de las grandes limitantes de este tipo de herramientas para evaluar proyectos de esta naturaleza reside en no tomar en cuenta las flexibilidades y las decisiones estratégicas de los inversionistas, tales como esperar o retirarse. De igual manera se estableció que no es posible captar la incertidumbre en los costos y los ingresos propios de este tipo de proyectos, dado que el uso de las herramientas tradicionales de evaluación suponen certidumbre sobre los flujos del proyecto.

Posteriormente se procedió a explicar, siguiendo los aportes de Pindyck (1992), los tipos de incertidumbre que afectan los costos de los proyectos de investigación y desarrollo. Se trató la incertidumbre técnica como aquella relativa a las dificultades físicas que pudieran surgir al desarrollar el proyecto, tales como el tiempo, esfuerzos y materiales requeridos y no previstos al desarrollo del mismo; y una incertidumbre en el precio de los insumos del proyecto, relativos a la variación de los precios de los factores de producción en el mercado. De esta forma, fue posible introducir el concepto de las opciones reales como método alternativo de evaluación de proyectos de investigación y desarrollo biotecnológicos.

Finalmente, en la tercera parte del capítulo se desarrolló un modelo general para evaluación de proyectos bajo condiciones de incertidumbre con el uso de opciones reales propuesto por Dixit y Pindyck (1994). Para esto, se partió el análisis suponiendo condiciones de certidumbre sobre el costo y los retornos para posteriormente levantar el supuesto y describir el comportamiento estocástico esperado de los costos de acuerdo a los dos tipos de incertidumbre que los afectan. Con esto fue posible llegar a proponer una regla óptima de inversión plasmada en la ecuación (8).

Es importante notar que el uso del método de opciones reales para evaluar proyectos de innovación biotecnológica, tales como los estudiados en el presente trabajo de tesis, resulta más adecuado que el uso de las herramientas tradicionales de evaluación debido a que con su uso es posible captar y valorar la incertidumbre y las flexibilidades características de este tipo de proyectos. Sin embargo, se debe adaptar el modelo general propuesto por Dixit y Pindyck (1994), de forma que sea posible contar con un modelo específico, que tome en cuenta las características propias de los proyectos biotecnológicos estudiados en el presente trabajo de tesis. El detalle de esta adaptación, propuesta en su momento por Schwartz (2002), será tratada en el siguiente capítulo.

3 MODELO DE SCHWARTZ PARA LA VALUACIÓN DE INVERSIONES BIOTECNOLÓGICAS.

Introducción.

De acuerdo a la opinión de múltiples analistas, después de la tecnología de la información, es cada vez más probable que la biotecnología sea el segundo mayor sector económico en importancia cuyo insumo principal sea el conocimiento. De acuerdo a Burrone (2006, página 2), “una reciente estimación de la Comisión Europea indica que, al final de esta década, el valor del mercado mundial de la biotecnología podría ascender a más de 2 billones de euros. Pese a la fuerte inversión de capital que requiere la biotecnología, la tasa de crecimiento del sector durante la década de 1990 y, en menor medida, el comienzo del siglo XXI, ha sido impresionante.”

La biotecnología ha sido decisiva para la consecución de numerosos e importantes avances en los sectores farmacéuticos, agroquímico, energético, y medioambiental. Estos avances han sido en gran parte el resultado de décadas de investigación auspiciados por el financiamiento, en su mayoría, de empresas privadas que han tenido que enfrentar un alto nivel de incertidumbre a lo largo de este proceso de inversión. Esto se debe en general, a que el costo de la elaboración de productos y procesos nuevos es alto, mientras que el costo de su imitación es relativamente bajo. Un ejemplo de esto es el desarrollo de un medicamento nuevo que, pese a ser el resultado de un arduo proceso de investigación, desarrollo y testeo, puede ser copiado con relativa facilidad una vez sale al mercado.

Adicionalmente, una vez la empresa empieza a invertir en un proyecto nuevo lo hace sin tener la certeza de cuantos recursos podría demandar esta inversión y por cuanto tiempo será. Tampoco se tiene certeza sobre los recursos que podría demandar el proyecto ni del precio futuro de los mismos. Esto hace que el invertir en este tipo de proyectos sea riesgoso y que se espere, en caso de que se tenga éxito en su desarrollo, un flujo de fondos suficientemente amplio que puedan ayudar a recuperar la inversión y compensar el riesgo en el que se incurrió.

El desarrollo de una medicina por ejemplo, puede tomar más de diez años para ser completada. Durante todo este periodo de tiempo, la inversión que se hace en el proyecto se hace sin obtener ningún tipo de retorno a cambio y con una probabilidad significativamente alta de abandono y consecuentemente de perder lo que se ha invertido

debido a razones técnicas o económicas. Adicionalmente, suponiendo que el proyecto haya podido ser completado con éxito, y por tanto, que haya sido posible desarrollar la medicina, no es posible tener certeza sobre el costo actual de producirla de manera masiva ni de las ventas y los flujos de fondos que esta puedan generar hasta el vencimiento de la patente.

Debido a la importancia estratégica de este tipo de desarrollos y de los importantes impactos positivos que se pueden lograr para mejorar la calidad de vida y el cuidado de la salud de millones de personas, la protección de estos inventos por medio de patentes resulta clave, debido a que se constituyen en incentivos para el desarrollo continuo de nuevos productos. Si de alguna forma se le dan facilidades al empresario para que recupere su inversión por medio de un tiempo de protección en la producción, y por tanto, de la comercialización del invento, se le posibilita la obtención de un flujo de caja que le compensaría por la inversión riesgosa.

De esta forma, al analizar un proyecto de investigación y desarrollo en el área de biotecnología, es necesario no solo contemplar la incertidumbre en los costos sino también la incertidumbre en el flujo de caja del proyecto, diferenciando en esta última dos etapas: Un flujo de fondos que se pueda obtener bajo la protección que ofrece la patente, y, aquel flujo que se obtendría una vez la patente expire y se entre a competir con las demás empresas del sector.

Debido a las características de este tipo de proyectos, en el presente trabajo de tesis se propone el uso de un modelo de opciones reales que permita captar tanto las flexibilidades como la incertidumbre existente en el desarrollo del mismo. Más concretamente, se propone seguir el enfoque utilizado por Eduardo Schwartz (2002) en su *paper* “*patents and R&D as real options*” para proyectos de investigación y desarrollo en sectores económicos intensivos en investigación.

Este capítulo se estructura en dos secciones. La primera explica el enfoque usado por Schwartz (2002) para evaluar un proyecto biotecnológico bajo condiciones de incertidumbre, introduciendo en primer lugar la incertidumbre sobre el costo y los flujos de fondos. Después se procede a explicar cuál se espera sea el valor del proyecto una vez la inversión haya terminado. Posteriormente, se abordará el valor de la oportunidad de invertir, finalizando la exposición del modelo planteado con una forma de resolución mediante simulación. En la segunda sección, se exponen las ventajas y limitaciones de la utilización del modelo expuesto en la sección anterior para valuar proyectos biotecnológicos.

3.1. El modelo de evaluación de Schwartz

El modelo implementado por Schwartz (2002), es un método de evaluación de proyectos de I+D que aplica un enfoque de opciones reales, en sectores donde hay un uso intensivo de la investigación como insumo básico para la producción tal como ocurre en el de biotecnología. Bajo este enfoque, es posible captar las flexibilidades propias de este tipo de proyectos e incorporar la incertidumbre en los costos y en los flujos de caja.

Para lograr este propósito, el autor retoma el trabajo de Dixit y Pindyck (1994) sobre inversiones bajo condiciones de incertidumbre, así como el trabajo de Grossman y Shapiro (1986) sobre incertidumbre en el costo de la inversión y la opción de abandonar, haciendo especial énfasis en esta última como una parte substancial del valor del proyecto. Es importante mencionar que, para proyectos de biotecnología bajo la presente óptica, solo se considera la opción de abandonar y no la opción de esperar y continuar invirtiendo en el futuro si el flujo de caja mejora. Esto, debido a que a medida que pasa el tiempo, la duración de los flujos de fondos disminuye debido a que hay una duración para la patente. Esto hace que esperar y reiniciar la inversión resulte muy costoso.

Como punto de partida, Schwartz (2002) asume que el ambiente regulatorio está dado y que éste es estable o altísimamente predecible. De esta forma, se elimina la incertidumbre por cambios regulatorios inesperados en el modelo y se centra el foco del análisis en la valuación de los proyectos de biotecnología patentables desde que se está investigando, hasta que se consigue la patente y ésta se extingue.

De una manera realista, se asume que el inversionista del proyecto empieza a recibir retornos por su inversión únicamente cuando el proyecto esté terminado, y, estos retornos serán solo por un tiempo dependiendo de la duración de la inversión. Si la patente es obtenida antes de que el proyecto sea completado, la duración del flujo de caja dependerá críticamente de la duración de la inversión. Así, para el presente modelo Schwartz (2002) toma tanto la duración de la inversión como la duración del flujo de caja como variables aleatorias.

De la misma forma, en el presente modelo se asume la existencia de un mercado eficiente, en el cual, tan pronto se extingue la protección que otorga la patente para la producción del bien desarrollado en el proyecto, la utilidad marginal que obtiene el inversionista se reduce a cero por efectos del aumento en la competencia.

Para empezar, debe considerarse una inversión en un proyecto de investigación y desarrollo que tome tiempo en ser completado. La máxima tasa a la que el inversionista puede invertir es I_m y el costo total para completar el proyecto es $K = E(\hat{K})$. Cuando el proyecto esté completo, el inversionista recibirá ingresos por su inversión, representados por una tasa de efectivo C , la cual sigue un proceso estocástico.

Se asume que la protección de la patente para el proyecto terminará al momento T , después de la cual, el proyecto estará sujeto a una competencia más activa y en consecuencia, sus ingresos esperados decrecerán sustancialmente. De la misma forma, y con el ánimo de reflejar el hecho de que muchos proyectos de investigación y desarrollo fallan, se asume que durante el periodo de tiempo en el que dura la inversión, hay una probabilidad de poisson λ por unidad de tiempo de que el proyecto falle y su valor pase a ser de cero. Esta medida de probabilidad es lo que Schwartz (2002) llama eventos catastróficos. Estos podrían ser, a) que otra firma obtenga primero la patente sobre el desarrollo; b) que el proyecto tenga terribles efectos secundarios; c) que la opción de retirarse llegue a ser más alta de lo esperado y / o, d) que el flujo de fondos llegue a ser más bajo de lo anticipado.

Retomando el trabajo de Pindyck (1992) explicado previamente en el capítulo II, Schwartz (2002) parte de la ecuación (5) y describe la dinámica del costo esperado para completar el proyecto como un proceso estocástico que tiene la siguiente forma:

$$dK = -I dt + \sigma(IK)^{\frac{1}{2}} dz \quad (17)$$

Donde dz es el incremento del proceso browniano, el cual se asume incorrelacionado con el portafolio del mercado. El primer término de la ecuación indica que a medida que la inversión se va realizando, el costo del proyecto para ser completado decrece. El segundo término corresponde a la incertidumbre técnica, la cual es relativa a las dificultades físicas de completar el proyecto y por tanto, solo puede ser resuelta invirtiendo en el proyecto.

Vale la pena mencionar que, si bien la dinámica del costo para terminar el proyecto que en principio usa Schwartz (2002) corresponde a la ecuación (17), es posible incluir especificaciones más complejas para el análisis, tales como la incertidumbre sobre el costo de los insumos. La ventaja sin embargo, de no complejizar más esta ecuación es que

resulta más fácil encontrar una resolución analítica cuando tanto el proceso para los costos como para el flujo de efectivo están incorrelacionados y, la varianza del costo para completar el proyecto tiene una expresión analítica de esta forma:

$$Var(\tilde{K}) = \frac{\sigma^2 K^2}{2 - \sigma^2}. \quad (18)$$

Es importante resaltar que la ecuación (18) relaciona la varianza del costo total del proyecto para ser terminado y el parámetro de volatilidad σ . De esta manera, es posible inferir valores razonables para este último parámetro, de forma tal, que se pueda tener una idea más aproximada de las posibles variaciones en los requerimientos de liquidez del proyecto mismo.

De otra parte, Schwartz (2002) describe la dinámica de la tasa de flujo de efectivo esperado como un proceso que se comporta como un movimiento Browniano geométrico de esta forma:

$$dC = \alpha C dt + \phi C dw \quad (19)$$

Donde dw es el incremento del proceso browniano que es correlacionado con el portafolio del mercado y que a su vez puede estarlo también con la incertidumbre en el costo esperado para terminar el proyecto. El primer término representa la tendencia del flujo de efectivo y refleja las características del proyecto particular de investigación y desarrollo. Vale la pena anotar que dichas características pueden reflejar diversos comportamientos en el flujo de efectivo.

De la misma forma, Schwartz (2002) resalta el hecho de que estos flujos de efectivo empiezan a ser recibidos por el inversionista del proyecto únicamente cuando el proyecto está completo. Antes de esto, la expresión (19) representa la mejor estimación posible del flujo de efectivo esperado, cuyos valores cambian constantemente cuanta mayor información se va obteniendo a través de la inversión y del mercado potencial del producto.

Si bien Schwartz (2002) afirma que la ecuación (19) representa la dinámica del verdadero proceso del flujo de efectivo, para los propósitos de la evaluación del proyecto, el proceso neutral al riesgo o de riesgo ajustado para el flujo de efectivo que será usado es

$$dC = (\alpha - n)Cdt + \phi Cdw = \alpha^* Cdt + \phi Cdw \quad (20)$$

Donde n es la prima de riesgo asociada con el flujo de caja y α^* es la tendencia del riesgo ajustado.

3.1.1. El valor del proyecto una vez la inversión ha terminado

En la medida en que Schwartz (2002) desarrolla el modelo, identifica y diferencia claramente una segunda fase posterior a la terminación de la investigación. En esta fase, donde la inversión en el proyecto ha sido completada exitosamente, el valor del proyecto dependerá únicamente del flujo de caja neto que sea capaz de generar. Supóngase entonces que $V(C, t)$ es el valor del proyecto al tiempo t para el flujo de caja neto C y que la patente para el producto expira al momento T . De la misma forma, se supone que el valor residual del proyecto, representado por el posible flujo de efectivo generado después de la expiración de la patente es un múltiplo M del flujo de caja generado al momento T .

Los argumentos y las suposiciones atrás expuestas implican que el valor del proyecto debe satisfacer la ecuación diferencial

$$\frac{1}{2}\phi^2 C^2 V_{cc} + \alpha^* C V_c + V_t - rV + C = 0 \quad (21)$$

Con la condición

$$V(C, T) = M * C \quad (22)$$

Así, es posible ver que la solución completa a esta ecuación diferencial (anexo 2) es

$$V(C, t) = \frac{C}{r-\alpha^*} (1 - e^{-(r-\alpha^*)(T-t)}) + MCe^{-(r-\alpha^*)(T-t)} \quad (23)$$

Es importante mencionar que el primer término en la ecuación (23) representa el valor presente del flujo de efectivo hasta la expiración de la patente y, el segundo término representa el valor presente del proyecto a su terminación. De esta ecuación, es posible ver que el valor del proyecto, después de que la inversión es finalizada, resulta lineal en el flujo de efectivo y es independiente de la volatilidad de este último. Esto no sucede, sin embargo, durante el periodo de la inversión.

Aplicando el Lema de Ito a la ecuación (23) y (19), después de algunos cálculos, el proceso estocástico para el valor del proyecto exitoso (anexo 3) es

$$\frac{dV}{V} = (r + n)dt + \phi dw \quad (24)$$

Es importante notar, que con esta ecuación es posible verificar que la volatilidad de los retornos totales del proyecto terminado y su tasa de interés son la misma, así como lo es la volatilidad del flujo de efectivo y la prima por riesgo asociados con el flujo de efectivo del proceso respectivamente. Los retornos del proyecto terminado pueden ser usados para estimar la volatilidad del flujo de fondos y el parámetro de prima de riesgo.

Asumiendo que el modelo de CAPM aplique, la prima de riesgo es igual a la beta del proyecto terminado por la prima de riesgo del mercado. De esta forma, usando la ecuación (25) estimar la prima de riesgo del modelo es más fácil.

$$n = \beta(r_m - r) \quad (25)$$

3.1.2. El valor de la oportunidad de invertir

Antes de que la inversión este completa, el valor del proyecto de investigación y desarrollo, $F(C, K, t)$, al momento t , depende de la tasa estimada del flujo de caja, del costo esperado para su terminación y del tiempo en el que se espera tener totalmente terminado el proyecto. Este valor debe satisfacer la siguiente ecuación diferencial (anexo 4)

$$\text{Max} \left[\frac{1}{2} \sigma^2 C^2 F_{CC} + \frac{1}{2} \sigma^2 (IK) F_{KK} + \phi \sigma \rho C (IK)^{\frac{1}{2}} F_{CK} + \alpha^* C F_C - I F_K + F_t - (r + \lambda) F - I \right] = 0 \quad (26)$$

Con la condición

$$F(C, 0, \tau) = V(C, \tau) \quad (27)$$

Donde el lado izquierdo de la condición viene de la ecuación (23) y el λ presente en la ecuación (26) es la probabilidad de poisson por unidad de tiempo de que el proyecto falle.

La dificultad que se tiene con la ecuación (27) es que la fecha de terminación de la inversión τ es una variable aleatoria. El valor del proyecto de investigación y desarrollo una vez completado depende no solo del flujo de efectivo en ese momento, sino también del tiempo que sea necesario invertir en él. Esto se debe, principalmente, a que la duración del flujo de caja es limitada a la expiración de la patente. De acuerdo a lo anterior, la ecuación (26) no puede ser resuelta a través de métodos convencionales de análisis numérico sino que debe hacerse a través de una simulación de Montecarlo.

Una vez se ha logrado una solución para las ecuaciones (26) y (27) es posible tener los valores críticos a partir de los cuales es posible definir la conveniencia de invertir o abandonar el proyecto. Para cada tasa del flujo de efectivo hay un valor crítico del costo para completar el proyecto $K^*(C)$ después del cual no es óptimo invertir. De la misma manera, para cada nivel de costo para terminar el proyecto hay una tasa crítica del flujo de efectivo $C^*(K)$ debajo de la cual no es óptimo invertir. Vale la pena decir que el valor del proyecto es cero, en caso de que no sea óptimo invertir.

Al respecto de esto último, Schwartz (2002) hace una comparación interesante que vale la pena traer a colación. Dice que si se analizan los valores críticos bajo un contexto de certidumbre y tomando en cuenta la prima de riesgo y la probabilidad de fallar en la tasa de descuento, este análisis correspondería exactamente a la valuación del valor presente neto (VPN). Bajo certidumbre, el tiempo para completar el proyecto debería ser determinística y por tanto, igual a la siguiente expresión:

$$T_K = \frac{K}{I_m} \quad (28)$$

Y el valor presente neto del proyecto estaría dado de esta forma:

$$NPV = VP(C, T_K) - VPK$$

Donde

$$VP(C, T_K) = V(C, T_K)e^{-\{(r+\lambda)-(\alpha-n)\}T_K}$$

$$VPK = \frac{I}{T(r+\lambda)}$$

Así, dado que VPK es una esperanza

$$\frac{I}{T(r+\lambda)} = \frac{(1-\lambda)Ke^{-(r+\lambda)T}}{T(r+\lambda)} + \frac{\lambda Ke^{-\{(r+\lambda)-(\alpha-n)\}T}}{T(r+\lambda)}$$

$$\frac{I}{T(r+\lambda)} - \frac{(1-\lambda)Ke^{-(r+\lambda)T}}{T(r+\lambda)} = \frac{\lambda Ke^{-\{(r+\lambda)-(\alpha-n)\}T}}{T(r+\lambda)}$$

$$\frac{I}{T(r+\lambda)} - \frac{Ke^{-(r+\lambda)T}}{T(r+\lambda)} + \frac{\lambda Ke^{-(r+\lambda)T}}{T(r+\lambda)} = \frac{\lambda Ke^{-\{(r+\lambda)-(\alpha-n)\}T}}{T(r+\lambda)}$$

$$\frac{I}{T(r+\lambda)} - \frac{ITe^{-(r+\lambda)T}}{T(r+\lambda)} + \frac{\lambda ITe^{-(r+\lambda)T}}{T(r+\lambda)} = \frac{\lambda Ke^{-\{(r+\lambda)-(\alpha-n)\}T}}{T(r+\lambda)}$$

$$\frac{I}{T(r+\lambda)} - \frac{ITe^{-(r+\lambda)T}}{T(r+\lambda)} = \frac{\lambda Ke^{-\{(r+\lambda)-(\alpha-n)\}T}}{T(r+\lambda)} - \frac{\lambda ITe^{-(r+\lambda)T}}{T(r+\lambda)}$$

$$\frac{I}{T(r+\lambda)} (1 - e^{-(r+\lambda)T}) = \frac{\lambda Ke^{-\{(r+\lambda)-(\alpha-n)\}T}}{T(r+\lambda)} - \frac{\lambda ITe^{-(r+\lambda)T}}{T(r+\lambda)}$$

$$\frac{I}{(r+\lambda)} (1 - e^{-(r+\lambda)T}) = \frac{\lambda Ke^{-\{(r+\lambda)-(\alpha-n)\}T}}{(r+\lambda)} - \frac{\lambda Ke^{-(r+\lambda)T}}{(r+\lambda)}$$

De esta forma, el valor presente neto sería

$$NPV = V(C, T_K)e^{-\{(r+\lambda)-(\alpha-n)\}T_K} - \frac{I_m}{r+\lambda}(1 - e^{-(r+\lambda)T_K}) \quad (29)$$

Donde el primer término representa el valor presente del flujo de efectivo al tiempo T_K descontado a la apropiada tasa de riesgo. El segundo término por su parte, representa la integral descontada de los costos hasta la terminación del proyecto.

De otra parte, Schwartz (2002) también analiza la volatilidad y la beta de la oportunidad de invertir. Para hacerlo, usa el lema de Ito y las ecuaciones (17) y (19), de forma que pueda despejar estos dos valores.

Partiendo de la ecuación (VII) y (VIII) del anexo 3 y sabiendo que una de las propiedades de la varianza indica que la varianza de la suma de dos variables aleatorias es igual a la suma de las varianzas marginales más el doble de la covarianza, entonces

$$\sigma_F^2 = \left[\frac{\phi C F_C}{F} \right]^2 + \left[\frac{\sigma(IK)^{\frac{1}{2}} F_K}{F} \right]^2 + 2Cov(C, K)$$

Sabiendo que ρ es la correlación entre C y K , entonces

$$\sigma_F^2 = \left(\frac{\phi C F_C}{F} \right)^2 + IK \left(\frac{\sigma F_K}{F} \right)^2 + 2 \left(\frac{\phi C F_C}{F} * \frac{\sigma(IK)^{\frac{1}{2}} F_K}{F} * \rho \right)$$

$$\sigma_F^2 = \left(\frac{\phi C F_C}{F} \right)^2 + IK \left(\frac{\sigma F_K}{F} \right)^2 + 2(IK)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\phi \sigma \rho C F_C F_K}{F^2} \right) \quad (30)$$

De la misma forma, Sabiendo que

$$\beta_F = \frac{Cov(K, C)}{Var(F)}$$

Entonces

$$\beta_F = \frac{(IK)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\phi \sigma \rho C F_C F_K}{F^2} \right)}{\frac{\phi C F_C}{F} + \frac{\sigma (IK)^{\frac{1}{2}} F_K}{F} + \sqrt{2(IK)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\phi \sigma \rho C F_C F_K}{F^2} \right)}}$$

$$\beta_F = \frac{(IK)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\phi \sigma \rho C F_C F_K}{F^2} \right)}{\frac{\phi C F_C}{F} + \frac{\sigma (IK)^{\frac{1}{2}} F_K}{F} + \frac{1}{F} \sqrt{2(IK)^{\frac{1}{2}} \phi \sigma \rho C F_C F_K}}$$

$$\beta_F = \frac{(IK)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\phi \sigma \rho C F_C F_K}{F^2} \right)}{\frac{\phi C F_C + \sigma (IK)^{\frac{1}{2}} F_K + \sqrt{2(IK)^{\frac{1}{2}} \phi \sigma \rho C F_C F_K}}{F}}$$

$$\beta_F = \frac{(IK)^{\frac{1}{2}} (\phi \sigma \rho C F_C F_K)}{F (\phi C F_C + \sigma (IK)^{\frac{1}{2}} F_K + \sqrt{2(IK)^{\frac{1}{2}} \phi \sigma \rho C F_C F_K})}$$

$$\beta_F = \frac{(IK)^{\frac{1}{2}} \phi \sigma \rho F_C}{(\phi C F_C + \sigma (IK)^{\frac{1}{2}} F_K + \sqrt{2(IK)^{\frac{1}{2}} \phi \sigma \rho C F_C F_K})} \frac{C F_K}{F}$$

$$\beta_F = \beta \left(\frac{C F_K}{F} \right) \quad (31)$$

De esta forma, es posible ver que la volatilidad del proyecto depende de la volatilidad de los dos procesos estocásticos y de su correlación. La beta del proyecto, por su parte, resulta igual a la volatilidad del proyecto exitoso por la elasticidad del flujo de efectivo a lo largo del tiempo.

3.1.3. Procedimiento para la solución del modelo

Debido a que no hay una solución analítica para el modelo planteado hasta acá por Schwartz (2002), el autor propone resolverlo por medio de una simulación de Montecarlo. En esta simulación, la opción de abandonar el proyecto se calcula usando una variación del método de mínimos cuadrados propuesto por Longstaff y Schwartz (2001) - LSM - para valuar opciones americanas.

Para hacerse esta simulación deben formularse dos supuestos simplificadores. El primero es que la inversión estratégica que se haga en el proyecto solo puede tener dos valores extremos: el de invertir a la máxima tasa posible o el de no invertir nada. El segundo supuesto es que una vez se ha abandonado el proyecto, ya no se podrá retomar o reiniciar nuevamente la inversión en él. En otras palabras, Schwartz (2002) contempla la opción de abandonar el proyecto pero no la opción de esperar y reiniciar las inversiones si el flujo de efectivo esperado mejora. Esto se debe a que, de acuerdo al autor, a medida que pasa el tiempo el flujo de efectivo decrece debido a que hay una fecha de expiración para la patente. Esto hace que esperar resulta en extremo costoso.

La decisión de abandonar el proyecto es evaluada en momentos discretos de tiempo. Esto resulta más razonable como supuesto de evaluación de proyectos, que asumir que se evalúa de manera constate la pertinencia de abandonar o no. Así, en la simulación se reemplazan las ecuaciones (17) y (20) bajo la aproximación discreta que se introduce a continuación.

Sabiendo que el incremento en el costo tiene una tendencia lineal negativa con respecto al costo total de la inversión, es posible reemplazar la tendencia y volatilidad de la ecuación (17) en la fórmula de Back & Scholes que se muestra a continuación,

$$\theta(t, s) = \frac{e^{-r(T-t)}}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi \left(S e^{\left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)(T-t) + \sigma\sqrt{T-t}} \right) e^{-\frac{y^2}{2}} dy$$

Y al reemplazar $(T - t)$ por (Δt) se obtiene

$$K(t + \Delta t) = K(t) - I\Delta t + \sigma(IK)^{\frac{1}{2}}(\Delta t)^{\frac{1}{2}}\varepsilon_1 \quad (32)$$

De la misma forma, usando la forma del incremento del activo subyacente en una opción call europeo y teniendo en cuenta que este incremento es un browniano geométrico se obtiene

$$C(t + \Delta t) = C(t)e^{(\alpha^* - 0.5\sigma^2)\Delta t + \sigma(\Delta t)^{\frac{1}{2}}\varepsilon_2} \quad (33)$$

De igual manera que con el costo, al reemplazar $(T - t)$ por (Δt) se obtiene la aproximación discreta. Es importante mencionar que las ε_1 y ε_2 que se muestran en el incremento de los costos y de los ingresos corresponden a variables normales estándar con correlación ρ .

Si T es el tiempo para la expiración de la patente y Δt es el tamaño del paso $NT = \frac{T}{\Delta t}$, es el número de periodos por camino en la simulación. Las ecuaciones (32) y (33) son usadas para generar N caminos de NT periodos para los costos hasta la terminación y la tasa de flujo de efectivo. Cada camino i es entonces descrito por dos NT vectores $K(i)$ y $C(i)$. Después de que el costo para completar el proyecto alcanza el vector $K(i)$ es llenado con ceros.

El algoritmo LSM de mínimos cuadrados es usado para proporcionar una aproximación a la regla óptima de parada que maximice el valor del proyecto. Schwartz (2002) asume que la opción de abandonar el proyecto solo puede ser ejercida en los momentos discretos de tiempo NT en la simulación y en ellos siempre se considera una regla de parada óptima para cada fecha de ejercicio.

De la misma forma, Schwartz (2002) resalta que la opción de abandonar el proyecto solo tiene valor durante el periodo en el que se invierte en él. Una vez la inversión ha sido completada, se asume que el flujo de efectivo es positivo y la opción de abandonar no es óptima. En caso de que se ejerza la opción y se abandone el proyecto, para cada posible fecha de ejercicio, el valor del mismo es cero. Por el contrario, en el caso en el que se continúe en el proyecto el valor del mismo puede ser obtenido tomando la esperanza condicional de los restantes flujos de caja, descontados con una medida neutral al riesgo.

La aproximación de LSM usa mínimos cuadrados para aproximar la expectativa condicional de la función en cada fecha de ejercicio. El proyecto es abandonado si su valor esperado para el siguiente periodo es menor que la inversión marginal requerida para este mismo periodo. De esta forma, condicional a no haber abandonado el proyecto, en la fecha

NT en la que la patente expira, el valor del proyecto para cualquier camino i esta dado por la siguiente condición:

$$W(i, NT) = M * C(i, NT) \quad (34)$$

En cualquier fecha j el valor del proyecto, condicional a no haber sido abandonado antes, para cualquiera de las situaciones en las que el proyecto haya sido terminado es calculado de la siguiente forma:

$$W(i, j) = e^{-r\Delta t}W(i, j + 1) + C(i, j)\Delta t \quad (35)$$

Para todos aquellos caminos en donde la inversión no ha sido completada y la opción de abandonar es óptima y posible, el valor condicional esperado de continuar es estimado por la regresión del valor descontado del proyecto $e^{-(r+\lambda)\Delta t}W(i, j + 1)$, al momento j . El valor ajustado de esta regresión, $\widehat{W}(i, j)$, es el mejor estimador lineal de la expectativa condicional. Para aquellos caminos para los cuales el valor ajustado sea menor que la inversión adicional requerida por el proyecto en el periodo j , abandonar es óptimo, por tanto, el valor al proyecto sería:

$$W(i, j) = 0 \quad (36)$$

Para aquellos caminos donde el valor ajustado es mayor que la inversión adicional requerida, abandonar no es óptimo y el valor esperado del proyecto al momento j es:

$$W(i, j) = \widehat{W}(i, j) - I\Delta t \quad (37)$$

La solución se logra usando recursivamente la ecuación (37) y regresando en el tiempo para repetir el procedimiento hasta que sea posible determinar una decisión para cada uno de los momentos de evaluación, a lo largo de cada uno de los caminos posibles. El valor del proyecto es evaluado empezando en el momento cero y avanzando a lo largo de cada

uno de los caminos hasta la expiración de la patente o hasta que el primer momento de parada ocurra (que sea ejercida la opción de abandono), descontando el flujo de efectivo resultante al momento cero y tomando el promedio de todos los caminos.

3.2. Ventajas y limitaciones de la utilización del modelo de Schwartz

Debido a la naturaleza de los proyectos biotecnológicos, las empresas interesadas en hacer inversiones están obligadas a evaluar e invertir (si así lo deciden) bajo condiciones de alta incertidumbre. No solo deben considerar la incertidumbre propia del proyecto, sino que también deben considerar la incertidumbre propia del sector económico donde se desarrolla. De esta forma, el inversionista debe enfrentarse a un ambiente caracterizado por el cambio y la innovación constantes en productos y técnicas, así como por la confrontación competitiva de diferentes firmas interesadas por ganar la “carrera” por la obtención de patentes.

Dado el alto nivel de incertidumbre, contar con herramientas de análisis y evaluación que contemplen esta importante variable en el sector de biotecnología resulta primordial para el inversionista. El modelo de opciones reales de Schwartz (2002) expuesto en el presente capítulo, resulta ser una alternativa interesante para la valoración de proyectos biotecnológicos. En él, es posible valorar de mejor manera las flexibilidades e incertidumbres propias de este tipo proyectos, de la misma forma que reconocer el aprendizaje que se realiza al pasar por diferentes etapas de desarrollo del proyecto. Esto posibilita a la empresa para tomar una mejor decisión al respecto de la inversión.

El modelo de Schwartz (2002) plantea una ventaja interesante para el análisis y valoración de proyectos biotecnológicos. Debido a que se asimila la opción real con una opción bermuda, es posible evaluar la pertinencia de continuar o abandonar el proyecto en intervalos discretos de tiempo si las circunstancias resultan demasiado adversas. Esto permite un modelo que refleje de manera más adecuada la realidad de las empresas, que evalúan y deciden continuar con sus inversiones de manera periódica y no de manera permanente (como una se haría con opción americana) o únicamente al final de cierto periodo (como se haría con una opción europea).

Otra de las ventajas que ofrece el modelo de opciones reales de Schwartz (2002), es que se considera que durante el periodo de tiempo en el que dura la inversión hay una probabilidad de poisson λ por unidad de tiempo, de que el proyecto falle y su valor pase a ser cero. Esto permite reflejar en el modelo otro de los fenómenos más importantes al respecto de los proyectos de investigación y desarrollo biotecnológicos: la alta probabilidad

de fracaso debido a eventos catastróficos tales como el que otra firma obtenga primero la patente sobre el desarrollo; que el proyecto tenga terribles efectos secundarios; que la opción de retirarse llegue a ser más alta de lo esperado y / o, que el flujo de fondos llegue a ser más bajo de lo anticipado.

De la misma forma, resulta importante mencionar el aporte que hace Schwartz (2002) al distinguir dos momentos diferentes para los flujos de caja esperados del proyecto: aquellos que se recibirían desde el momento en que se termina el proyecto hasta momento de expiración de la patente y, aquel que recibiría una vez la patente expire y quede en condiciones de competencia con otros productos similares. Al hacer esta distinción, es posible caracterizar el flujo de caja a lo largo de los diferentes momentos de tiempo y en consecuencia, tener una aproximación más realista de los retornos que puedan generar el proyecto en donde el tiempo juega un papel fundamental.

Por otra parte, así como se consideran las ventajas del modelo propuesto por Schwartz (2002), es importante mencionar algunas de sus limitaciones. Esto, con el objeto de tener una idea más clara del alcance de la evaluación que se pueda hacer de los diferentes proyectos biotecnológicos, así como posibles futuros temas de investigación.

De esta manera, una limitación del modelo resulta del hecho de que en él, se supone que el activo que se obtiene con la terminación del proyecto biotecnológico (una medicina, una semilla modificada genéticamente, la mejora de un microscopio para la evaluación de micro fluidos, etc.), podrá ser negociado en un mercado líquido. De acuerdo a Orellana (2011) “no existe un mercado primario o secundario donde se transen libremente este tipo de activos. ”Entre muchas razones, esto se debe a que o estos son activos de consumo controlado por las implicaciones que tienen para la salud humana, o, debido a que debido a que son productos novedosos, requieren un tiempo de inserción en el mercado.

Para que haya un mercado líquido se requiere que haya una gran cantidad de ofertas y demandas de tal forma tal, que compradores y vendedores puedan encontrar fácilmente contrapartida a sus posturas. Para productos biotecnológicos nuevos, la realidad es que no hay un mercado primario suficientemente amplio y, la expansión del mercado está limitado por la protección geográfica dada por la patente.

En segundo lugar, el modelo supone que los inversionistas ejercen la opción de abandono en el momento óptimo y que ignoran los movimientos de los tenedores de opciones similares. De acuerdo a Orellana (2011), “la experiencia empírica muestra que una opción real puede ser —exclusiva o compartida con otras empresas o proyectos”. De esta forma,

el inversionista podría ejercer la opción de abandonar el proyecto no solo teniendo en cuenta las condiciones del proyecto mismo, sino también las condiciones y perspectivas de los otros proyectos y/o empresas con la que este compartiendo la opción.

Finalmente, en el modelo se supone que la volatilidad de la inversión es estática y constante a lo largo del periodo de inversión. Esto significa que se espera que el proyecto se desarrolle bajo condiciones de normalidad y que solo habría un posible estado para los costos, sin reconocer que es posible que la volatilidad varíe dependiendo de las diferentes etapas por las que vaya atravesando el proyecto. En la realidad, la volatilidad evoluciona en el tiempo y se modifica constantemente dependiendo del estadio de desarrollo en el que se encuentre el proyecto.

Conclusión

En el presente capítulo se ha introducido un modelo de evaluación de proyectos biotecnológicos, en el cual es posible captar, tanto las flexibilidades, como la incertidumbre existente en los mismos. Este modelo pretende ofrecer una alternativa de evaluación más certera y eficiente comparada con el uso de las herramientas tradicionales de evaluación usadas en las finanzas corporativas.

El modelo introducido para la evaluación de proyectos biotecnológicos elegido fue la propuesta de Schwartz (2002). Al comienzo del capítulo, se realizó una descripción del incremento esperado del costo como el resultado de la interacción de dos elementos: una tendencia determinística representada por la inversión y una volatilidad correspondiente a la incertidumbre técnica. En la primera, a medida que la inversión se va realizando, el costo del proyecto para ser completado decrece. En la segunda, las dificultades físicas de completarlo se comporta como un proceso browniano y por tanto podría aumentar o disminuir el costo del proyecto con forme aumente o disminuya la incertidumbre.

Posteriormente, se procedió a describir el comportamiento del flujo de efectivo esperado, diferenciando en él, dos etapas: un flujo de fondos que se pueda obtener bajo la protección que ofrece la patente, y, aquel otro que se obtendría una vez la patente expire y se compita con las demás empresas del sector. A partir de esta distinción, se espera un flujo de efectivo positivo que se obtendrá únicamente cuando el proyecto esté completo y; un flujo terminal que corresponderá a aquel que se podrá obtener cuando el activo resultante del proyecto entre a competir sin la protección de la patente con otros productos similares.

A continuación, se procedió a explicar el valor del proyecto completo y el valor de la oportunidad de invertir. Al respecto, se encontró que una vez que la inversión en el proyecto ha sido completada exitosamente, el valor del proyecto dependerá únicamente del flujo de caja neto que sea capaz de generar, sin embargo, este flujo de caja es función del tiempo existente entre la terminación del proyecto y la expiración de la patente. La dificultad radica en que la fecha de terminación de la inversión es una variable aleatoria. El valor del proyecto una vez completado depende no solo del flujo de efectivo en ese momento, sino también del tiempo que sea necesario invertir en él.

Finalmente, se procedió a explicar el procedimiento de la solución del modelo propuesto. Debido a que no hay una solución analítica para el modelo planteado por Schwartz (2002), el autor propone resolverlo por medio de una simulación de Montecarlo. En esta simulación, la opción de abandonar el proyecto se calcula usando una variación del método de mínimos cuadrados propuesto por Longstaff y Schwartz (2001) (LSM) para valorar opciones americanas

Después de hacer el desarrollo del modelo propuesto por Schwartz (2002), fue posible analizar los alcances del modelo por medio de una descripción sencilla de algunas de las ventajas y limitantes que ofrece el mismo. Así, se comenzó resaltando que con el uso del modelo es posible valorar de mejor manera las flexibilidades e incertidumbres propias de los proyectos biotecnológicos, así como reconocer el aprendizaje que se obtiene al pasar por diferentes etapas de desarrollo del proyecto. De igual manera, resulta posible distinguir dos momentos diferentes para los flujos de caja esperados del proyecto: aquellos que se recibirían desde el momento en que se termina el proyecto hasta momento de expiración de la patente y, aquel que recibiría una vez la patente expire y quede en condiciones de competencia con otros productos similares. Al hacer esta distinción, es posible caracterizar el flujo de caja a lo largo de estos diferentes momentos de tiempo.

De la misma forma, resulta interesante que en el modelo, las decisiones sobre el ejercicio de las diferentes opciones puedan ser tomadas por los inversionistas en intervalos discretos de tiempo, tal como ocurre en las opciones bermuda con las que Schwartz (2002) propone resolver este tipo de ecuaciones. Al hacerlo así, se agregan características de la realidad al modelo y se logra una mejor aproximación para la toma de decisiones. De igual manera, es importante resaltar que al considerar que durante el periodo de tiempo en el que dura la inversión hay una probabilidad de poisson λ por unidad de tiempo, de que el proyecto falle y su valor pase a ser cero, es posible reflejar de mejor manera la alta incertidumbre a la que este tipo de proyectos está continuamente expuestos.

Como desventajas, de otra parte, se encontró que dentro de los supuestos del modelo se presume que el activo que se obtiene con la terminación del proyecto biotecnológico podrá ser negociado en un mercado líquido. En la realidad esto no ocurre, debido a que estos son catalogados como de consumo controlado por las afectaciones para la salud humana que podrían generar, o, debido a que al ser productos novedosos, requieren un tiempo de inserción en el mercado. De la misma forma ocurre con el supuesto de que los inversionistas ejercen la opción de abandono en el momento óptimo y que ignoran los movimientos de los tenedores de opciones similares. Intuitivamente, el inversionista podría ejercer la opción de abandonar el proyecto no solo teniendo en cuenta las condiciones del proyecto mismo, sino las condiciones y perspectivas de los otros proyectos y/o empresas con la que este compartiendo la opción.

Es importante notar que para evaluar proyectos de innovación biotecnológica, tales como los estudiados en el presente trabajo de tesis, lo más conveniente es el uso del método de opciones reales propuesto por Schwartz (2002), debido a que, pese a sus limitaciones, permite captar y valorar la incertidumbre y las flexibilidades características de este tipo de proyectos, donde existe una clara limitante de tiempo establecida por la patente y la terminación del periodo de inversión. En consecuencia, en el siguiente capítulo se procederá a usar el modelo propuesto por Schwartz (2002) para calibrar las variables de un caso real de un proyectos de investigación y desarrollo biotecnológico en la ciudad de Bogotá.

4. EL PROYECTO DE LA PLATAFORMA DE VISUALIZACIÓN DE MICROSCOPIA ÓPTICA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ Y LA CALIBRACION DE SUS PARAMETROS.

Introducción.

Pensar en un proyecto de inversión es sinónimo de pensar en una opción real donde la empresa tiene la opción, más no la obligación de invertir. La opción de inversión otorga el derecho de adquirir un bien subyacente, constituido por los flujos de efectivo positivos del proyecto. La adquisición de dicho bien subyacente se lleva a cabo a un precio de ejercicio el cual es el costo de llevar a cabo la inversión. Dicha inversión puede realizarse en el momento presente o en cualquier momento futuro, donde el tiempo que transcurra entre el momento en que se concibe un proyecto y el momento en que se realiza se puede concebir como el tiempo de expiración de la opción.

Para evaluar proyectos de inversión bajo esta óptica, el método de evaluación más conveniente a usar es la metodología propuesta por Pindyck (1994) que fue explicada previamente en el capítulo dos. Sin embargo, en busca de un acercamiento metodológico que contemplé con más detalle las características de los proyectos biotecnológicos objeto de estudio del presente trabajo de tesis, resulta más conveniente el uso del modelo propuesto por Schwartz (2002). En este modelo se consideran factores tales como la alta probabilidad de fracaso y la importancia de la protección del invento por medio de una patente que “asegure” un flujo de fondos neto suficiente para compensar el riesgo de los inversionistas, características, más cercanas a la realidad de los proyectos biotecnológicos.

A medida que se fue desarrollo el modelo del Schwartz (2002) en el capítulo tres, se fue exponiendo la existencia de ciertos parámetros necesarios con los cuales sería posible evaluar la opción de invertir o continuar invirtiendo en un determinado proyecto biotecnológico. De esta forma, si se quisiera evaluar un proyecto real de biotecnología, el primer paso que se debería dar sería la calibración de los parámetros requeridos por el modelo de acuerdo a las condiciones propias del proyecto a evaluar.

Para el presente trabajo de tesis se escogió como tema de evaluación un proyecto con el cual se busca desarrollar una plataforma de visualización de microscopia óptica en la ciudad de Bogotá, que inicialmente sería usada en la sala limpia de la universidad de los

Andes para la investigación y el desarrollo de proyectos nano y biotecnológicos. La escogencia de este proyecto de investigación se hace debido al interesante potencial comercial que tiene el proyecto (debido a los múltiples usos que podría tener y las diversas industrias donde podría comercializarse) y la posibilidad que se tiene de acceder más fácilmente a la información para el desarrollo del presente trabajo de tesis.

El desarrollo de la plataforma de visualización de microscopía óptica surge, en palabras de Segura (2010), con el ánimo de convertirse en una herramienta para lograr la reconstrucción 3D por medio del uso de técnicas estereoscópicas captadas por el uso de un microscopio óptico. En principio se centra la atención en los microcanales, no obstante, esto no excluye que sea posible usar la plataforma para ver y analizar diversos tipos de muestras adicionales. Esto permite que las aplicaciones de uso a las que pueda estar vinculado el proyecto sean muy variadas, en toda situación que se utilice este medio para poder observar y grabar en tiempo real diversas muestras de tipo: biológico, químico, electrónico, etc.

Resulta importante mencionar que este dispositivo presenta dos grandes ventajas: la primera es que permite el registro digital de cualquier proceso que se lleve a cabo bajo el microscopio óptico (en este caso centrado en microcanales), y la segunda, que al contar con cámaras con zoom óptico es posible llevar a cabo la amplificación de zonas en las cuales el ojo humano no alcanza a ver con detalle.

A lo largo del presente capítulo se describirá el desarrollo histórico que ha tenido el proyecto de la plataforma de visualización de microscopía óptica hasta el momento en que se desarrolla el presente trabajo de tesis, resaltando los principales logros que se han obtenido y los principales riesgos que ha enfrentado. Esto, con el ánimo de contextualizar el proyecto y el entorno en el que se ha desarrollado, para posteriormente, calibrar los diferentes parámetros que son requeridos en el modelo de Schwartz (2002).

El presente capítulo se estructurará en cinco secciones. En la primera, se describen las distintas fases que el proyecto ya ha atravesado y aún debe atravesar para ser considerado como un proyecto exitosamente terminado, resaltando los principales logros alcanzados en cada una de ellas. En una segunda sección se procederá a explicar los principales riesgos a los que ha estado expuesto el proyecto y los riesgos a los que debe hacer frente para iniciar la comercialización y puesta a punto. En la tercera parte, se calibrarán los parámetros relativos directamente a los costos del proyecto, explicando detalladamente en cada uno de ellos la estrategia usada para lograrlo. En la cuarta parte se calibrarán los parámetros relativos a los flujos de caja netos esperados hasta la

expiración de la patente, describiendo las estrategias que se han usado para calibrar adecuadamente cada uno de los diferentes parámetros. Finalmente, en la quinta parte, se retomará la calibración hecha en las etapas precedentes y se indicará como, a partir de la calibración realizada, sería posible llegar a una solución numérica del modelo propuesto por Schwartz (2002).

4.1. Etapas y adelantos conseguidos a la fecha.

El desarrollo de la plataforma de visualización de microscopía óptica surge en el año 2010, como resultado del trabajo de grado de Sara Margarita Segura para la obtención del título de ingeniero electrónico en la universidad de los Andes en la ciudad de Bogotá. Con el proyecto se pretendía desarrollar un software que permitiera, por medio de dos cámaras y un microscopio óptico, la reconstrucción 3D y en tiempo real del movimiento de un fluido a través de un microcanal.

Para lograr este objetivo, era necesario diseñar e implementar una base para acoplar dos cámaras a un microscopio óptico, de forma tal, que se disminuyera la interacción del usuario con el equipo y fuera posible evitar errores provocados por la manipulación. Tan pronto como se lograra captar algunas imágenes de la muestra en el microcanal, éstas debían ser registradas en un software donde se haría una simulación por medio de estereoscopia (dos imágenes estáticas), para luego presentar dicha simulación de forma digital, reconstruyendo en 3D el movimiento del fluido contenido dentro de dicho microcanal.

El proyecto está dividido claramente tres diferentes fases: la primera fase podría denominarse de investigación y diseño de prototipo. En esta, se comienza por detectar una necesidad en un contexto específico. Para el presente caso de estudio se encontró que, pese a que se estaba trabajando microfluidicas en la sala limpia de la universidad de los Andes con herramientas de última tecnología, no era posible detectar fluidos y partículas en movimiento debido a que los equipos existentes eran solo para sistemas estáticos.

Posteriormente, se inició a investigar las alternativas que ofrece el mercado para subsanar esta necesidad. Debido a que no existía ninguna herramienta que brindara las soluciones esperadas, se procedió a iniciar un trabajo de investigación documentado bajo la tesis de grado "*Reconstrucción 3D de microcanales*". En el mismo, se definieron los posibles alcances del proyecto y se resaltaron las limitaciones que pudieran existir para dar solución al problema de investigación.

Debido a la urgencia por encontrar soluciones a la necesidad en la Sala Limpia y a las consecuentes afectaciones que ésta limitante generaba en los proyectos que allí se desarrollaban relacionados con microfluidica, el siguiente pasó que se dio fue la realización de un primer diseño tanto en esquema circuital como en esquema mecánico. Posteriormente, se hicieron las simulaciones pertinentes y se comprobó el diseño. Como la simulación era coherente con las especificaciones, se procedió a realizar un primer prototipo que, después de ser probado y aprobado en el laboratorio se acuerdo los protocolos de la Universidad, fue trasladado a la Sala Limpia de la Universidad donde pudo empezar a ser probado directamente en el ambiente para el cual fue diseñado.

La segunda fase del proyecto podría denominarse de prueba y puesta a punto del prototipo. En esta fase, en la que se encuentra la plataforma de microscopia óptica al momento de desarrollo de este trabajo de tesis, se ha venido recolectando información al respecto del rendimiento del dispositivo, así como también se ha venido revisando de manera periódica si se han cumplido las especificaciones requeridas o si por el contrario hay “baches” inicialmente no contemplados. En caso de que no se cumplieran con las especificaciones, habría que rediseñar o se desecha la aplicación. Pero en caso de el prototipo supere esta etapa (tal como parece ser el caso), se podría empezar un trabajo de afinación del prototipo.

Por medio de la información que haya sido posible recolectar durante el tiempo de prueba en la Sala Limpia, se deberá hacer un rediseño de la aplicación para mejorar el comportamiento de los componentes que hayan tenido un rendimiento deficiente o por debajo de lo esperado. Si las respuestas son satisfactorias, la plataforma podría pasar a una etapa final en la cual se haría el acople tecnológico necesario para convertir el prototipo en un dispositivo comercializable.

Por último, en la tercera y última fase a la que podría denominársele como de explotación comercial de producto, se empieza la comercialización de la plataforma de visualización de microscopia óptica durante el tiempo que la patente le otorgue protección. Se espera que la explotación comercial del producto crezca gradualmente y que sea suficiente para cubrir los la inversión y los riesgos en los que se ha incurrido. Una vez concluya la protección de la patente, se esperaría un flujo de fondos residual tal cual se prevé en el modelo de Schwartz (2002).

Es importante hacer notar que las dos primeras fases corresponden al periodo en el cual se completa el proyecto totalmente. La primera fase duró 8 meses. La segunda fase, en la que se encuentra actualmente el prototipo ha durado un año y medio y se estima que

pueda durar un año y dos meses más. Aunque parece poco tiempo y la plataforma ya ha atravesado más de la mitad del tiempo estimado para su terminación, de acuerdo a los investigadores del proyecto, aún hay bastante incertidumbre al respecto del rendimiento máximo y el nivel de precisión que la plataforma pueda alcanzar, de los costos totales que pueda demandar el proyecto en esta fase de la investigación y, de la posibilidad de que el proyecto genere rendimientos suficientes.

Por otra parte, pese al riesgo y la incertidumbre del proyecto, es importante mencionar que desde el año 2010, año en el que Sara Segura realizó su tesis de grado, el proyecto ha conseguido grandes éxitos que valen la pena resaltar. Uno de los primeros logros que ha tenido el proyecto consiste en haber servido de base metodológica y tecnológica para el desarrollo del trabajo de tesis de Carlos Fernando Morales, estudiante de ingeniería electrónica de la Universidad de los Andes, quien desarrolló su proyecto de grado titulado "*Identificación y Seguimiento de Biopartículas en Microsistemas Fluídicos*". En este trabajo, se logró la identificación y seguimiento de bio-partículas de manera individual por medio del uso de la plataforma de microscopía óptica.

Otro de los logros alcanzados por el proyecto, resulta en el hecho de que desde el año 2011 la plataforma de microscopía óptica entró a formar parte de los activos de la Sala Limpia de la Universidad de los Andes. Estos activos tienen un altísimo impacto para la realización exitosa de diversos proyectos de investigación que ha desarrollado la universidad sola y/o en conjunto con otras reconocidas instituciones tanto a nivel nacional como internacional. En este sentido, la plataforma ha logrado ganar reconocimiento como una herramienta útil para el estudio de sistemas dinámicos frente a instituciones nacionales y extranjeras.

Adicionalmente, la plataforma ha empezado a usarse de manera esporádica en el dictado de algunas clases de maestría y doctorado impartidas en la universidad, facilitado el aprendizaje de la nanotecnología y biotecnología en el aula de clase a través de una experimentación práctica. Vale la pena resaltar, que de esta forma se logra un acercamiento con uno de los sectores potencialmente estratégicos para la comercialización del producto.

4.2. Principales retos y riesgos a los que ha está expuesto el proceso de investigación.

Los proyectos biotecnológicos suelen demandar una inversión inicial muy importante y tener un nivel de incertidumbre elevado al respecto de las posibilidades de poder ser terminados y de generar rendimientos suficientes. De la misma forma, este tipo de proyectos suelen caracterizarse por ser largos y costosos debido a que basan sus economías en el conocimiento.

Al igual que este tipo de proyectos, el desarrollo de la plataforma de microscopía óptica ha estado expuesta a importantes riesgos e incertidumbres desde que fue concebido en el 2010 como un proyecto viable para el desarrollo de la tesis de grado de Sara Margarita. Aunque ha habido riesgos de distinta índole durante todo el desarrollo del proyecto, a continuación se describirán los que mayor impacto han tenido para el desarrollo de la plataforma.

En la fase uno por ejemplo, debido al escaso desarrollo del mercado colombiano y de la escasa presencia de empresas biotecnológicas en el mercado local, la información a la que era posible acceder para investigar las diferentes alternativas que se ofrecía para subsanar los requerimientos encontrados en la sala limpia era bastante escasa. De hecho, en palabras de Segura (2011) las fuentes de la información en muchos casos suelen ser contradictorias. Esto generó incertidumbre y dificultades al respecto de la toma de la decisión de continuar o dar por terminado el proyecto.

Posteriormente, cuando se comenzó la construcción del primer prototipo este tuvo que ser rediseñado y la continuación en el proyecto se puso en duda debido a que los materiales requeridos inicialmente para la construcción de la plataforma excedían el presupuesto planteado y debían ser importados, lo cual aumentaba los costos y los tiempos propuestos y aprobados. Sin embargo, gracias a que fue posible contactar un proveedor que ofrecía la misma calidad a un precio razonable fue posible continuarlo.

Vale la pena mencionar que a lo largo del tiempo en el que se ha desarrollado el proyecto, ha sido necesario realizar cambios no previstos en los diseños y, eventualmente en algunos materiales, conforme se hacía evidente la existencia de alguna falla o inconsistencia en el rendimiento que se esperaba obtener. Esto ha generado oscilaciones permanentes entre el presupuesto dispuesto para el proyecto y lo efectivamente gastado.

Además, el proyecto ha enfrentado también incertidumbre sobre la posibilidad de generar los recursos suficientes para ser considerado como una posibilidad real de inversión. Debido a que la plataforma inicio como un ejercicio académico que buscaba plantear una solución a un problema que se presentaba en la sala limpia de la Universidad de los Andes, en sus primeras etapas no se consideró que esta solución podía traducirse en un proyecto comercializable. En consecuencia no se consideraron los costos de producción en masa, la cadena de proveedores, las líneas de ensamblaje, los precios estimados de venta ni los mercados potenciales a los que fuera posible vender el aplicativo.

Al comenzar la fase dos del proyecto, se comenzó a considerar la posibilidad de ampliar el alcance inicial del proyecto y diseñar un plan que permitiera su comercialización exitosa, en una forma sostenible y estructurada en el mercado colombiano. Fue en este momento en el que, considerar ciertas condiciones de tipo financieras, administrativas y de mercadeo comenzaron a ser especialmente relevantes para la continuación del proyecto.

En ese momento hubo que replantear el tiempo de terminación del proyecto. Hubo que replantear los costos de los dispositivos y evaluar la forma de lograr costos de producción adecuados que permitieran, con un precio competitivo, obtener una rentabilidad adecuada para cubrir los riesgos a los que se estaba exponiendo la inversionista. Además era necesario considerar que, durante el tiempo que durara la fase dos y el tiempo en que fuera posible hacer el acople tecnológico para lograr un aplicativo comercializable iba a transcurrir un tiempo muerto en el que seguramente se iban a incurrir en costos importantes que no iban a poder ser cubiertos por ningún ingreso adicional.

Como un primer acercamiento para solucionar estos inconvenientes, se propusieron algunas reuniones con la Universidad de los Andes, en donde, después de un tiempo se encontró que la herramienta más conveniente para el presente caso era desarrollar un contrato de *Spin off*⁵ con el cual se disminuyeran los riesgos para los inversionistas y que generaran la suficiente liquidez como para poder completar las fases siguientes. Esto sucedió ya algunos meses y pese a que no se ha firmado el contrato, todo parece indicar de que se firmará a comienzos del 2013.

⁵ Un contrato de *spin off* es un modelo que responde a una tendencia mundial en la que se busca involucrar a las universidades para que las investigaciones no se queden solo en el papel sino que se conviertan en proyectos comercializables. En este tipo de contratos, los investigadores, los inversionistas y la universidad dejan claras las reglas de operación desde un comienzo. Esto incluye la propiedad intelectual, los porcentajes de participación de cada uno de los participantes del proyecto y la repartición de las utilidades una vez que se alcance el éxito comercial a lo largo de las diferentes etapas del proyecto.

4.3. Calibración de los costos del proyecto: evaluando las condiciones de incertidumbre.

Tal como se explicó en el capítulo tres del presente trabajo de tesis, el modelo de evaluación de opciones reales propuesto de Schwartz (2002) es la herramienta más conveniente para la evaluación de proyectos biotecnológicos, debido a que con este modelo es posible captar y valorar la incertidumbre y las flexibilidades características de este tipo de proyectos que no es posible valorar con otro tipo de herramientas, como por ejemplo, el efecto que tiene sobre el flujo de caja neto la clara limitante de tiempo establecida por la patente.

Con el objeto de encontrar los parámetros requeridos por el modelo del Schwartz (2002) para poder evaluar el proyecto de la plataforma de microscopia óptica, es necesario recurrir a un análisis de la información histórica del proyecto, de la información disponible del sector económico al cual pertenece y, a la información del mercado financiero.

Para empezar, vale la pena mencionar que de acuerdo al modelo de Schwartz (2002) los parámetros requeridos para poder evaluar el proyecto pueden dividirse en aquellos relativos a los costos y aquellos relativos a los flujos de efectivo neto. En consecuencia, se empezará por mostrar la forma en la que fue posible calibrar los parámetros relativos a los costos, es decir, el costo total para completar el proyecto, la tasa máxima de inversión esperada, el nivel de incertidumbre sobre el costo, la probabilidad de fallar, la correlación entre el flujo de caja y los costos y, el tiempo para completar el proyecto.

4.3.1 Costo Total Para Completar El Proyecto: Este parámetro fue calculado con base en la información histórica (estados financieros) correspondiente a la primera, y parte de la segunda fase del proyecto. La estimación del costo restante de la segunda parte se calcula asumiendo que los costos podrán fluctúan entre un valor mínimo y un valor máximo definido por la experiencia de los investigadores del proyecto. De esta forma, el valor esperado del costo para la parte de la segunda fase, podrá ser calculado recursivamente por medio de una simulación de Montecarlo.

Con el objeto de controlar de manera más eficaz los gastos del proyecto, los egresos se agrupan por categorías entre las que se encuentran: las horas de asesorías, las horas de laboratorio, piezas del prototipo, horas de prueba en sala limpia, producción de primeros aplicativos para comercialización y, gastos contingentes. Tal como se indica en la Tabla 2,

los costos de la fase uno fueron de \$20.200.000 y se espera que al finalizar la fase dos se gasten \$ 32.108.000 para un costo total esperado del proyecto de \$ 52.308.000.

De las partidas en las que se agrupan los costos, las horas de asesorías corresponden a todas las horas por las que ha sido necesario pedir consulta a profesores y expertos en distintas materias al respecto del desarrollo de alguna de las partes directa o indirectamente relacionadas con la plataforma. Las horas de prueba corresponden a las horas de uso de la sala limpia para mediciones en las respuestas y durabilidad de los componentes. La partida “producción prototipos de mercado” (Tabla 3), hace referencia a todos los gastos requeridos para producir el modelo de la plataforma de microscopia óptica con materiales y condiciones reales para su comercialización. Finalmente, la partida de gastos administrativos y de ventas corresponde a los gastos en los que se ha incurrido desde que inicio el proyecto hasta que sea posible tener una estructura organizada para la comercialización de la plataforma.

Tabla 3
COSTOS TOTALES DEL PROYECTO

Concepto	FASE 1	FASE 2
Horas Asesorias	\$ 8,000,000	\$ 4,640,000
Horas Laboratorio	\$ 3,150,000	\$ 400,000
Piezas prototipos	\$ 8,800,000	\$ 7,270,000
Horas de prueba		\$ 3,750,000
Produccion prototipos de mercado		\$ 7,548,000
Gastos administrativos y de ventas	\$ 250,000	\$ 8,500,000
	\$ 20,200,000	\$ 32,108,000
COSTO TOTAL DEL PROYECTO \$ 52,308,000		

Fuente: Estimacion propia basada en estado de resultados del proyecto

Del total de las partidas por las que se han agrupado los costos, se espera que el costo de las piezas del prototipo y las horas de asesoría sean las que más representen en el costo total del proyecto siendo el 31% y el 24% respectivamente. Posteriormente, se espera que los gastos administrativos y de ventas (17%), los costos de construcción de los prototipos (14%), las horas de prueba en laboratorios (7%) y las horas de prueba en Sala Limpia (7%) le sigan en importancia en los gastos totales.

4.3.2. Tasa Maxima de Inversion: Debido a que el proyecto está dividido en fases en las que los requerimientos de liquidez son diferentes en cada momento de tiempo, la calibración de la tasa máxima de inversión se hará por medio de la agrupación mensual de las diferentes partidas del gasto, usando los valores históricos de la fases ya terminadas y calculando por medio de una simulación de Montecarlo los costos de los meses restantes.

Para esto, se asume que los costos son una variable aleatoria con distribución normal que podrán fluctúan entre un valor mínimo y un valor máximo definido por la experiencia de los investigadores del proyecto. Este parámetro también podría hallarse por medio de la misma simplificación que hace Schwartz (2002), al estimar un promedio ponderado del costo total y el tiempo total del proyecto.

Tabla 4
COSTOS MAXIMOS DEL PROYECTO
(En pesos colombianos)

Concepto	Valor
Horas Asesorias	\$ 1,740,000
Horas Laboratorio	\$ 400,000
Piezas prototipos	\$ 4,860,000
Horas de prueba	\$ 3,750,000
Produccion prototipos de mercado	\$ 3,200,000
Gastos administrativos y de ventas	\$ 4,800,000
	\$ 18,750,000

Fuente: Estimacion propia basada en estado de resultados del proyecto

Después de diez mil simulaciones, la tasa máxima de inversión del proyecto en un año es de \$18.750.000 tal como se muestra en la Tabla 4. Es importante resaltar que este valor corresponde al 35.85% de los costos totales del proyecto a lo largo de los 40 meses que se estima dura en completarse la plataforma antes de pasar a la fase de comercialización.

4.3.3. Incertidumbre en el Costo: Este parámetro es posible hallarlo por medio del uso la ecuación 18 propuesta por Schwartz (2002) y desarrollada en el capítulo tres del presente trabajo de tesis. Siguiendo esta ecuación, la volatilidad del costo total del proyecto es posible hallarlo si se sabe cuál es el costo total y la varianza del costo.

Después de hacer los despejes correspondientes en la ecuación 18, es posible decir que la volatilidad del costo es

$$\sigma = \sqrt{\frac{2 \text{Var}(\tilde{K})}{\text{Var}(\tilde{K}) + K^2}} \quad (38)$$

La varianza del costo para resolver la ecuación 38 surge de distribuir los costos históricos a lo largo de los meses que lleva el proyecto en ejecución y calcular los costos estimados para cada uno de los meses faltantes por medio de una simulación de Montecarlo, suponiendo, que los costos son una variable aleatoria con distribución normal que puede

fluctuar entre un mínimo y un máximo definidos por la experiencia de los investigadores directamente involucrados en el proyecto. En consecuencia, después de hacer los cálculos correspondientes, se estima que la desviación estándar de los costos del proyecto es de \$ 1.034.693.93.

Sabiendo que el costo total del proyecto es de \$52.308.000, entonces, la volatilidad de los costos calculada a través de la ecuación 38 es de 2.8%. Vale la pena mencionar que este nivel de incertidumbre es particularmente baja comparada con la obtenida por Schwartz (2002), porque para el presente caso de estudio, el tiempo de la inversión y los gastos demandados son mucho menores que los que podría demandar por ejemplo una vacuna estudiada por el autor.

4.3.4. Probabilidad de fallar: La probabilidad de fallar se calcula siguiendo la propuesta de Schwartz (2002) dentro de la parametrización que hace para evaluar el desarrollo de una vacuna. Debido a la falta de estadísticas y estudios especializados que traten los proyectos biotecnológicos en Colombia, no es posible usar cifras reales al respecto de cuál es la cantidad de proyectos biotecnológicos que no se terminan debido a eventos catastróficos (el evento en el que otra firma obtenga primero la patente sobre el desarrollo; que el proyecto tenga terribles efectos secundarios; que la opción de retirarse llegue a ser más alta de lo esperado y / o, que el flujo de fondos llegue a ser más bajo de lo anticipado). Por tanto, al igual que lo hace Schwartz (2002), se asume que la mitad de los proyectos fallan debido a eventos catastróficos.

Teniendo en cuenta que el tiempo estimado para la terminación total del proyecto es de 40 meses (3.3 años), la probabilidad de poisson de fallar por año puede ser calculada como:

$$e^{-\lambda T_K} = 0.5$$

$$e^{-3.3\lambda} = 0.5$$

$$\lambda = 20.79\%$$

4.3.5. Correlación entre flujo de caja y costos: Este parámetro es posible hallarlo al comparar mes a mes los costos del proyecto con respecto a los ingresos netos del mismo. Debido a que hay costos inciertos (que se espera estén entre ciertos rangos razonables definidos por los investigadores) e ingresos desconocidos, es necesario recurrir recursivamente a una simulación de Montecarlo que aproxime, como el promedio de un número de simulaciones, la correlación entre el flujo de caja y los costos del proyecto.

Al respecto de los costos para la terminación del proyecto, se estima que estos existirán hasta el mes cuarenta, momento a partir del cual, todos los egresos relativos al diseño, modificaciones y puesta a punto terminarán. Después, al comienzo de la fase tres, se comenzaría la comercialización del producto y se obtendría al final de cada periodo un flujo de caja neto positivo.

Por otra parte, para estimar los flujos de caja netos, se toman los ingresos brutos y se le descuenta los gastos de producción y comercialización estimados para cada uno de los 120 meses en los cuales se contará con la protección de la patente. Vale la pena aclarar que, debidas las características de la plataforma de microscopia óptica, se piensa solicitar tres patentes: una por modelo de utilidad que es por 10 años, otra por diseño industrial que es por 5 años y una última por el registro del software que es de por vida. Para el presente caso de estudio, solo se usa la patente por el modelo de utilidad.

Los ingresos brutos (y en gran parte los costos de fabricación y de ventas) dependen de las unidades vendidas. Aunque se explicará más adelante cuando se hable sobre la calibración de los parámetros relacionados con el flujo de caja, es importante decir que definiendo el precio de venta, la variable aleatoria que determina mayoritariamente los ingresos a lo largo de los años de protección de la patente son las unidades vendidas.

De esta forma, una vez se identifican los costos en cada uno de los meses en los ha habido y se espera haya gastos en la forma en que fue definido arriba y, se calculen los ingresos netos esperados para cada uno de los periodos subsiguientes, será posible calcular la correlación esperada, como el promedio de las correlaciones de 10.000 simulaciones. De esta forma, para el caso del proyecto aquí evaluado la correlación esperada del flujo de caja y los costos totales del proyecto sería de -45.76%.

4.4. Calibración de los flujos de caja esperados y el tiempo de expiración de la patente.

Para continuar con la calibración de los parámetros del modelo, es necesario continuar con el análisis y el uso de algunos recursos para hallar aquellos parámetros directamente relacionados con los flujos de fondos del proyecto tal como lo son: el flujo de caja esperado, la incertidumbre en el flujo de caja esperado, la tendencia en el flujo de caja esperado, el múltiplo del flujo de caja terminal y la prima de riesgo asociada con el flujo de caja.

Es importante anotar, que además de calibrar estos parámetros con el objeto de evaluar de manera integral el proyecto de interés en esta tesis, el análisis de cada uno de los

parámetros también podría darle alguna información al inversionista al respecto del riesgo, los retornos y la conveniencia de invertir o continuar invirtiendo en el proyecto. Aunque no se hará ningún análisis de fondo en este estudio de tema, podría servir como un tema de investigación futuro.

4.4.1. Flujo esperado de caja: Tal como ya se había anticipado, definiendo el precio de venta, la variable aleatoria que determina mayoritariamente el flujo de caja neto son las unidades vendidas. Para caracterizar el comportamiento de esta variable, se supone que las unidades vendidas son variables aleatorias con distribución de probabilidad normal, que pueden estar entre cero y el mínimo entre las unidades resultantes del modelo de Bass y la capacidad de producción que se espere usar en los diferentes momentos de tiempo para producir plataformas de microscopia óptica.

Sin profundizar más allá al respecto del modelo de Bass, Alcon, Gómez y Fernández (2006) describen el modelo de Bass como un modelo que predice la adopción de un bien innovador en el mercado, de acuerdo al efecto que puede tener las relaciones personales y los medios de comunicación sobre la difusión de la tecnología. De esta forma, es posible dividir a los nuevos consumidores de un bien tecnológico en innovadores (influenciados por los medios de comunicación) e imitadores (consumidores por voz a voz). De acuerdo a estos autores, la tasa de adopción del bien dependerá de la interacción entre los adoptantes y los potenciales adoptantes.

Brevemente, con el uso del modelo de Bass se supone que los adoptantes de un bien se comportarían de esta forma en cada momento t del tiempo:

$$a_t = p(\bar{A} - A_t) + q \frac{A_t}{\bar{A}} (\bar{A} - A_t) \quad (39)$$

Donde p es el coeficiente que mide el nivel de influencia que han ejercido factores externos sobre los individuos para adquirir la tecnología; q es el coeficiente que mide el nivel de influencia que han ejercido factores internos sobre los individuos para adquirir la tecnología y \bar{A} es el total de potenciales adoptantes el número de individuos que van a adoptar la innovación en el tiempo.

Siguiendo el desarrollo de Herrera (2010) para el proyecto aquí evaluado, se usa como p y q los mínimos coeficientes de la tabla de bienes que usan en su trabajo. Después, tomando en cuenta el mercado potencial estimado en el estudio de mercado que se hizo para comercializar la plataforma de microscopia óptica, se estiman las unidades que se

venderían usando este modelo. Dado que las unidades vendidas también estarían limitadas por la capacidad que se tenga de producirlas, se ajusta esta estimación con este nuevo cálculo.

Una vez se tiene los ingresos brutos, para llegar a los ingresos netos es necesario descontar los costos directamente relacionados a la comercialización del aplicativo. Por tanto, se estiman los costos de ventas para cada mes definiendo el costo de la mano de obra fija, costos fijos de producción, costos diferidos y costos variables. Estos últimos dependientes también de las unidades que se esperan vender. Posteriormente, se estiman los costos de administración y los gastos de ventas que dependen de las unidades vendidas del periodo.

Después de definir “los límites de oscilación” de las unidades vendidas para cada mes, los costos de ventas, los gastos de administración, los gastos de ventas y los gastos pre operativos (gastos fijos diferidos para comenzar la comercialización), por medio de una simulación de Montecarlo con 10.000 corridas se calculan los ingresos netos totales por los diez años que dura la protección de la patente. Después de realizados los cálculos, los flujos de caja netos totales que se espera generar por la comercialización de la plataforma son de \$ 627.061.142.

4.4.2. Incertidumbre en el flujo esperado del caja: Debido a que el mercado de opciones y futuros no está muy desarrollado en Colombia y además, hay pocas empresas dedicadas exclusivamente a la producción y comercialización de productos biotecnológicos, la información a la que se puede acceder para calibrar los parámetros propuestos por el modelo de Schwartz (2002) es bastante limitada. De hecho, hay muy pocas empresas de tecnología que cotizan en la bolsa de valores de Colombia, razón por la cual, encontrar información que implique una valoración de mercado para este tipo de empresas es bastante difícil.

Como todos los proyectos biotecnológicos enfrentan incertidumbres altas, especialmente las relacionadas con el flujo de caja esperado, para definir el presente parámetro se debe suponer que las empresas del mercado colombiano siguen la misma dinámica que las empresas estudiadas por Schwartz (2002) en su trabajo sobre la evaluación de la inversión en una vacuna.

De esta forma, la incertidumbre en el flujo de caja debería ser igual o muy parecido al promedio implícito de la volatilidad de las transacciones de las opciones call de las nueve empresas farmacéuticas en EE.UU estudiadas por Schwartz (2002). Esto es 35%.

4.4.3. Tendencia del flujo esperado del caja: Al igual que lo hace Schwartz (2002), se estima que el flujo de caja crecerá estocásticamente a la misma tasa que la inflación promedio esperada de los años en los que halla protección del producto por la patente. Para calibrar este parámetro, se revisan las publicaciones que hace el Banco de la Republica de Colombia sobre las metas de inflación propuestas para los próximos años, así como las tasas de inflación históricas de los últimos quince años. Con base en esta información, es posible decir que la tasa promedio de inflación en la que se ha mantenido la economía y que se espera este los próximos años es del 4% anual.

4.4.4. Múltiplo del flujo de caja terminal: Al momento en que expire la patente, la entrada al mercado de productos de similares circunstancias reducirán significativamente los flujos de caja. Para tener en cuenta esta situación, al igual que lo hace Schwartz (2002) basado en las estimaciones que en su momento hicieron Grabowski y Vernon (1992) sobre el precio y la competencia en las empresas farmacéuticas, se estima que para la plataforma de microscopia óptica el valor terminal del proyecto es cinco veces la tasa terminal del flujo de caja.

4.4.5. Prima de riesgo asociada con el flujo de caja: Para estimar este parámetro, se usa el modelo CAPM propuesto por Merton. En consecuencia, se asume que la prima de riesgo asociado al flujo de caja es igual a la beta del proyecto terminado por la prima de riesgo del mercado, del mismo modo como se indica en la ecuación 25.

Para hallar la prima de riesgo del mercado es necesario usar una tasa libre de riesgo y calcular la rentabilidad promedio del mercado. Para comenzar, se define como tasa libre de riesgo para el caso del mercado colombiano es la tasa interbancaria (TIB) que es fijada por el Banco de la República. Con el objeto de tener una aproximación más certera de la tasa que ha existido a lo largo de los meses en los que se ha desarrollado el proyecto, se calcula el promedio de las tasas diarias publicadas por el Banco durante el último año. Esta es de 5.03%

La rentabilidad promedio del mercado, de otra parte, surge del promedio de la rentabilidad de las distintas operaciones en el mercado secundario para un plazo de 180 a 360 días. Las operaciones que son tenidas en cuenta para este cálculo son las relativas a bonos de deuda pública, bonos ordinarios, bonos pensionales, bonos subordinados, depósitos a términos fijos, certificados de depósitos a plazo fijo, títulos de tesorería y títulos de renta variable. El promedio de esta rentabilidad publicada por la bolsa de valores de Colombia al 31 de octubre de 2012 es de 6.39%

Siguiendo el modelo de Merton y tal como está indicado en la ecuación 25, la prima de riesgo del mercado es la diferencia entre la rentabilidad del mercado y la tasa libre de riesgo. Así, con los datos calculados anteriormente la prima de riesgo del mercado es 1.355%.

Para calcular la beta del mercado se acude a la misma estrategia usada por Schwartz (2002). Es decir, se calcula la beta de empresas biotecnológicas y se saca un promedio ponderado de las mismas. Debido al escaso desarrollo del sector de biotecnología en Colombia y a la consecuente ausencia de grandes empresas dedicadas a este tema que coticen en la bolsa, se escogió algunas empresas que pese a no ser biotecnológicas puras si cuentan dentro de su portafolio de productos con algunos que son el resultado de proyectos biotecnológicos.

Usando la información publicada y disponible por la bolsa de valores de Colombia sobre el precio de cierre de la acción de Cartones de Colombia, Odinsa y Gas Natural, así como el precio de cierre del índice industrial también publicado por la bolsa de valores, se calculó las betas de estas empresas como $\frac{Cov(accion, mercado)}{Var(mercado)}$ y posteriormente se calculó una beta promedio de mercado como el promedio de estas betas. Después de hacer los cálculos correspondientes, la beta promedio del mercado sería 0.02%

Una vez que la beta y la prima de riesgo del mercado fueron calculadas, fue posible hallar la prima de riesgo asociada con el flujo de caja al multiplicar estos dos valores tal como se explicita en la ecuación 25 y el modelo CAPM propuesto por Merton. Para el caso del proyecto biotecnológico estudiado en este capítulo, la prima de riesgo asociada con el flujo de caja sería 0.00028%

4.5. Uso de la calibración en las ecuaciones previas a la solución

Aunque en el presente apartado no se pretende desarrollar una solución numérica para evaluar la conveniencia de invertir en la plataforma de microscopía óptica, si se intentará demostrar cómo, a través de una estrategia de calibración consecuente con los planteamientos del modelo de Schwartz (2002) es posible plantear las ecuaciones previas para la solución numérica del modelo.

Para empezar, una vez se han calculado los parámetros requeridos por el modelo para el presente caso de estudio (Tabla 3), es posible reemplazar dichos valores en las

ecuaciones propuestas por Schwartz (2002) para hallar la solución completa del modelo. El primer parámetro que debe tenerse en cuenta es el paso del tiempo para la evaluación del modelo. Debido a que la periodicidad con la que se decide revisar el proyecto es trimestral, el valor de este parámetro (tal como está indicado en la Tabla 5) es $\Delta t = 0.25$. De igual manera, con un T igual al tiempo en años para la expiración de la patente (10 años) y un Δt como el anterior, el número de periodos por camino en la simulación ($NT = \frac{T}{\Delta t}$) sería $NT = 40$.

PARAMETRO	VALOR
Costo total para completar el proyecto	52,308,000
Tasa maxima de inversion por año	18,750,000
Incertidumbre en el costo	2.80%
Flujo esperado de caja total	627,061,142
Incertidumbre en el flujo de caja esperado	35%
Tendencia del flujo de caja esperado	4.00%
Multiplo del flujo de caja terminal	5
Probabilidad anual de fallar	20.79%
Tiempo de expiracion de la patente (en años)	10
Tiempo para copletar el proyecto (en años)	3.33
Correlacion entre el flujo de caja y los costos	-45.76%
Prima de riesgo asociada con el flujo de caja	0.00028%
Tasa de interes libre de riesgo	5.03%
Distancia de tiempo en la simulacion (en años)	0.25
Numero de simulaciones	10000

De otra parte, sabiendo que el incremento en el costo tiene una tendencia lineal negativa con respecto al costo total de la inversión tal como fue explicado en el capítulo tres, se puede reemplazar la volatilidad y el costo total en la ecuación (32) para hallar el costo del proyecto en el momento $t + 1$ tal como se muestra a continuación.

$$K(t + \Delta t) = K(t) - I\Delta t + \sigma(IK)^{\frac{1}{2}}(\Delta t)^{\frac{1}{2}}\varepsilon_1$$

$$K(t + \Delta t) = K(t) - 0.25 I + 0.028 (52.308.000 I)^{\frac{1}{2}}(0.25)^{\frac{1}{2}}\varepsilon_1$$

De igual manera, considerando que la protección de la patente es de 10 años y que los flujos de caja totales esperados durante este proyecto son de \$627.061.142, es posible asumir que cada año se ganaría \$62.706.114 en promedio. Así, usando este valor y reemplazando también la incertidumbre en el flujo de caja en la ecuación (33)

$$C(t + \Delta t) = C(t)e^{(\alpha^* - 0.5\sigma^2)\Delta t + \sigma(\Delta t)^{\frac{1}{2}}\varepsilon_2}$$

$$C(t + \Delta t) = 62.706.114e^{(\alpha^* - 0.06125)\Delta t + 0.35(\Delta t)^{\frac{1}{2}}\varepsilon_2}$$

Posteriormente, reemplazando en esta última ecuación la tendencia de riesgo ajustado descrito en la ecuación (20) con los parámetros indicados en la Tabla 3, el flujo de caja esperado para el momento $t + 1$ sería

$$C(t + \Delta t) = 62.706.114 e^{-0.0212528*(0.25) + 0.35(0.25)^{\frac{1}{2}} \varepsilon_2}$$

$$C(t + \Delta t) = 62.706.114 e^{-0.005313 + 0.0218750 \varepsilon_2}$$

Es importante recordar que tanto ε_1 y ε_2 que se muestran en el incremento de los costos y de los ingresos corresponden a variables normales estándar con correlación ρ . De la misma forma, vale la pena mencionar que tal como lo indica Schwartz (2002), las ecuaciones (32) y (33) son usadas para generar N caminos de NT periodos para los costos hasta la terminación y la tasa de flujo de efectivo. Cada camino i es entonces descrito por dos NT vectores $K(i)$ y $C(i)$. Después de que el costo para completar el proyecto alcanza el vector $K(i)$ es llenado con ceros.

La aproximación de LSM usa mínimos cuadrados para aproximar la expectativa condicional de la función en cada fecha de ejercicio. El proyecto es abandonado si su valor esperado para el siguiente periodo es menor que la inversión marginal requerida para este mismo periodo. De esta forma, condicional a no haber abandonado el proyecto, en la fecha NT en la que la patente expira, el valor del proyecto para cualquier camino i esta dado por la siguiente condición expresada en la ecuación (34):

$$W(i, NT) = 5 * C(i, NT)$$

En cualquier fecha j el valor del proyecto, condicional a no haber sido abandonado antes, para cualquiera de las situaciones en las que el proyecto haya sido terminado es calculado de la siguiente forma siguiendo la ecuación (35):

$$W(i, j) = e^{-0.012575} W(i, j + 1) + 0.25 C(i, j)$$

$$W(i, j) = 0.9875 W(i, j + 1) + 0.25 C(i, j)$$

Para aquellos caminos para los cuales el valor ajustado sea menor que la inversión adicional requerida por el proyecto en el periodo j , abandonar es óptimo, por tanto, el valor al proyecto sería tal como se expresa en la ecuación (36):

$$W(i, j) = 0$$

Para aquellos caminos donde el valor ajustado es mayor que la inversión adicional requerida, abandonar no es óptimo y el valor esperado del proyecto al momento j es tal como se describe en la ecuación (37):

$$W(i, j) = \widehat{W}(i, j) - I\Delta t$$

La solución se logra usando recursivamente la ecuación (37) y regresando en el tiempo para repetir el procedimiento hasta que sea posible determinar una decisión para cada uno de los momentos de evaluación, a lo largo de cada uno de los caminos posibles. El valor del proyecto es evaluado empezando en el momento cero y avanzando a lo largo de cada uno de los caminos hasta la expiración de la patente o hasta que el primer momento de parada ocurra (que sea ejercida la opción de abandono), descontando el flujo de efectivo resultante al momento cero y tomando el promedio de todos los caminos.

Conclusiones.

En el presente capítulo se han calibrado los parámetros propuestos en el modelo de Schwartz (2002) para el caso de la plataforma de microscopía óptica. Con esta calibración se pretendía encontrar los valores que podrían llegar a usarse si se quisiera evaluar el proyecto usando la solución que Schwartz (2002) propone y que es explicada al final del capítulo pasado. De la misma forma, se pretendía exponer los distintos recursos y estrategias tomadas con el objeto de encontrar los valores de los parámetros correspondientes a este proyecto de estudio.

Al iniciar el capítulo, se presentó el proyecto de plataforma de microscopía óptica como un proyecto real de biotecnología desarrollado en la ciudad de Bogotá, que surge como requisito de grado para la obtención del título de ingeniero electrónico en la universidad de los Andes de Sara Segura en el 2010, pero que, debido a las aplicaciones y a los potenciales usos que tiene, fue extendido como un proyecto comercializable.

Posteriormente se procedió a describir la historia que ha tenido la plataforma de microscopía óptica, sus alcances y las distintas fases que debían transitar para ser considerada como un proyecto exitoso. Se explicó que cuando fue concebido, el proyecto pretendía desarrollar un software que permitiera, por medio de dos cámaras y un

microscopio óptico, la reconstrucción 3D y en tiempo real del movimiento de un fluido a través de un microcanal.

Se explicó a su vez que, además de ser requisito de grado, el proyecto surgió como respuesta a la incapacidad de los usuarios de la sala limpia de la Universidad de los Andes por detectar fluidos y partículas en movimiento por medio del uso de los equipos de los que disponían en ese momento, debido, a que con estos, solo era posible registrar sistemas estáticos. Vale la pena mencionar que debido a esta incapacidad, se vieron afectados algunos proyectos biotecnológicos y nanotecnológicos que se venían desarrollando y que requerían estudios de microfluidica.

Posteriormente, se procedió a mencionar los logros y las ventajas que ha tenido el proyecto a lo largo de las distintas fases que ha atravesado. Se mencionó por ejemplo, que la plataforma de microscopía óptica ha servido como base metodológica y tecnológica para el desarrollo algunos trabajos académicos posteriores, tales como el trabajo de tesis de Ingeniería de Carlos Fernando Morales sobre Identificación y Seguimiento de Biopartículas en Microsistemas Fluídicos.

De la misma forma, se comentó que la plataforma de microscopía óptica entró a formar parte de los activos de la Sala Limpia de la Universidad de los Andes desde el año 2011. Al tener estos activos un altísimo impacto para la realización exitosa de diversos proyectos de investigación que ha desarrollado la universidad sola y/o en conjunto con otras reconocidas instituciones tanto a nivel nacional como internacional, la plataforma de microscopía ha logrado ganar reconocimiento como una herramienta útil para el estudio de sistemas dinámicos.

Posteriormente y tal como se mencionaron los logros que ha tenido el proyecto, se procedió a exponer los riesgos e inconvenientes que la plataforma ha enfrentado desde que comenzó el proyecto hasta hoy. Se explicó que debido al escaso desarrollo del mercado colombiano y a la escasa presencia de empresas especializadas presentes en el mercado local, la información a la que era posible acceder para investigar las diferentes alternativas que ofrecía el mercado para subsanar la necesidad encontrada en la sala limpia era bastante pobre. De hecho, en palabras de Segura (2011) las fuentes de la información en muchos casos eran contradictorias.

También se mencionó que, debido a que el presente proyecto se inició como un ejercicio académico que buscaba plantear una solución a un problema que se presentaba en la Sala Limpia de la Universidad de los Andes, en sus primeras etapas no se consideró que

esta solución podía traducirse en un proyecto comercializable. En consecuencia no se pensó detalladamente en los costos de producción, en la cadena de proveedores, en las líneas de ensamblaje, en los precios estimados de venta ni en los mercados potenciales a los que fuera posible vender el aplicativo. Esto generó incertidumbre sobre la posibilidad de extender los alcances del proyecto a la comercialización del producto, aunque, tal como se explicó, a la fecha, este inconveniente se está resolviendo en parte por medio de la realización de un contrato de *spin off* entre Sara Segura y la Universidad de los Andes.

Una vez se explicó y se contextualizó los logros y los riesgos que ha tenido el desarrollo del proyecto, se procedió a calibrar cada uno de los parámetros requeridos en el modelo de Schwartz (2002), explicados y desarrollados teóricamente en el modelo expuesto en el capítulo tres. Para esto, se recurrió a estrategias y recursos diversos que permitieran definir los parámetros que serían usados para evaluar este proyecto.

Para empezar, se comenzó la calibración de los parámetros referentes a los costos del proyecto tales como el costo total para completar el proyecto, la tasa máxima de inversión esperada, el nivel de incertidumbre sobre el costo, la probabilidad de fallar, y el tiempo para completar el proyecto. Las estrategias para hallar cada uno de estos parámetros fueron diferentes, sin embargo, vale la pena recordar especialmente que para calcular el costo total, la incertidumbre en el costo total y la correlación entre el flujo de caja y los costos se usó de manera recursiva un método de simulación de Montecarlo.

De la misma forma, para calibrar los parámetros relacionados con los ingresos del proyecto, tales como el flujo de caja esperado, la incertidumbre en el flujo de caja esperado, la tendencia en el flujo de caja esperado, el múltiplo del flujo de caja terminal y la prima de riesgo asociada con el flujo de caja, se recurrió a diversas estrategias para hallar los parámetros requeridos. Al igual que se hizo con los parámetros relacionados con los costos, se recurrió a simulaciones de Montecarlo para encontrar los valores ajustados al proyecto.

Para realizar la simulación, se partió de la suposición de que las unidades que se venderán cada mes se comportan como variables aleatorias con distribución normales, que en cada momento t del tiempo podrían estar entre cero y el mínimo entre la capacidad de producción usada para producir los dispositivos y, las unidades que se esperaría vender bajo el modelo de Bass. Cabe aclarar que, aunque no se explicó a profundidad este modelo, se hizo mención que es usado en Marketing para predecir la adopción de un producto nuevo con altas características innovadoras en el mercado, tomando en cuenta el efecto que pueden tener las relaciones personales (las recomendaciones personales

que hagan personas que ya usaron el producto a potenciales clientes) y los medios de comunicación sobre la difusión del producto.

Es importante resaltar también que, tal como se comentó a lo largo del capítulo, encontrar información en el mercado biotecnológico colombiano con la cual calibrar los parámetros requeridos en el modelo fue bastante difícil. Esto se debe en gran a que a que este tipo de industria no esta desarrollada en el país y que las empresas que se dedican a este tipo de proyectos son pocas y no están inscritas en bolsa. Sin embargo, de manera recursiva se usó la información de algunas empresas que si bien no son biotecnológicas puras, cuentan dentro de su portafolio de productos con algunos resultados de proyectos biotecnológicos.

Para finalizar, es importante resaltar que aunque en muchos casos no se encuentre la información pública necesaria para calibrar los parámetros que se requieren en el modelo de Schwart (2002) por la inexistencia de estadísticas y estudios especializados, es posible usar información de algunas empresas que si bien no están dedicadas exclusivamente la biotecnología, pueden reflejar la respuesta del mercado al respecto de este tipo de proyectos. En consecuencia, si además de usar recursivamente estas estrategias se cuenta con registros ordenados y detallados del proyecto a evaluar, es posible calibrar parámetros realistas que permitan en etapas posteriores evaluar el proyecto en la forma en que se explica lo sugiere Schwartz (2002) al finalizar el capítulo tres.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la opinión de múltiples analistas, después de la tecnología de la información es cada vez más probable que la biotecnología sea el segundo mayor sector económico en importancia cuyo insumo principal sea el conocimiento. Dado que es un eje sustantivo para la generación de utilidades la producción, distribución y uso del conocimiento y la información (en contra posición a los factores tradicionales de producción), resulta de vital importancia estudiar las características de este sector y de los proyectos productivos que se desarrollan en él.

En el presente trabajo de tesis se procedió, por medio de una descripción de los conceptos y el desarrollo histórico de este sector, a realizar un análisis contextualizado de los hechos más relevantes y los avances que se han logrado en áreas claves tales como el sector farmacéutico, el agroquímico, el energético y el medioambiental. De esta forma, no solo se presentaron descubrimientos científicos y avances tecnológicos, sino que se describió, como, a partir de la conexión entre la investigación científica y la aplicación de ésta a productos con valor comercial, un sector que era prácticamente inexistente unas décadas atrás ahora resulta en un área atractiva y estratégica.

Debido a que la composición y el crecimiento de este sector a nivel mundial es el resultado del alto dinamismo del sector privado, resulta de interés entender que características tienen los proyectos desarrollados por las empresas y cómo es posible valorar la oportunidad de invertir en ellos. En consecuencia, después de considerar y descartar la eficacia del uso de los métodos tradicionales de inversión en este tipo de proyectos, se procedió a explicar y desarrollar un primer modelo que captara ciertas características relevantes de los proyectos biotecnológicos.

La incertidumbre en el costo total del proyecto y en los rendimientos esperados así como la posibilidad de abandonar entre otras, son características que no pueden ser captados por las herramientas tradicionales de evaluación de proyectos como el VAN. Debido a estas limitaciones, fue necesario lograr buscar una primera aproximación a una herramienta de análisis que tuviera en cuenta estas características para evaluar la conveniencia de invertir. Un primer modelo a través del cual fue posible llegar a una aproximación para el caso de los proyectos biotecnológicos fue propuesto por Pindyck (1992).

Por medio de este modelo, en el que se considera al proyecto de inversión como una opción real, es decir, como aquel en donde la empresa tiene el derecho más no la obligación de comprar un activo dentro de cierto tiempo, resulta posible cuantificar más eficientemente el valor de invertir. Bajo esta óptica de análisis, la empresa puede contemplar y cuantificar la opción de esperar por nueva información de los costos y los retornos esperados, así como cuantificar la opción de invertir con condiciones de irreversibilidad. Esto le permitiría tener un análisis más integral del proyecto, explicitar las opciones de decisión que se pueden tomar y contemplar los posibles escenarios que podrían llegar a darse durante la vida del proyecto.

Aunque el modelo propuesto por Pindyck (1992) permitió lograr una mejor aproximación teórica a la evaluación de proyectos biotecnológicos, este modelo aún era lo bastante general como para captar ciertas características especiales de los proyectos biotecnológicos tales como la existencia de patentes que protegen los flujos de caja durante un tiempo limitado, la opción de abandonar (no la opción de esperar) debido a los altos costos de este tipo de proyectos, la alta probabilidad de no terminar el proyecto debido a la existencia de eventos catastróficos tal como lo define Schwartz (2002), y, la existencia de un flujo terminal que será igual a un múltiplo del valor total del proyecto una vez finalizada la protección de la patente. En consecuencia, encontrar un modelo que captará con mayor detalle este tipo de características resultó primordial.

El modelo escogido en el presente trabajo de tesis fue propuesto por Schwartz (2002). Con él, fue posible captar de mejor manera las características particulares de los proyectos biotecnológicos mencionadas arriba y valorar más adecuadamente la oportunidad de invertir. Sin embargo, así como este modelo ofrecía ventajas en el proceso de valoración de proyectos también tiene algunas desventajas que vale la pena mencionar.

Como desventajas, se encontró que dentro de los supuestos del modelo se supone que el activo que se obtiene con la terminación del proyecto biotecnológico podrá ser negociado en un mercado líquido. Esto no ocurre en la realidad debido a que, entre muchas razones, estos son activos de consumo controlado por las implicaciones que tienen para la salud humana, o, debido a que son productos novedosos requieren un tiempo de inserción en el mercado. De la misma forma ocurre con el supuesto de que los inversionistas ejercen la opción de abandono en el momento óptimo y que ignoran los movimientos de los tenedores de opciones similares. Intuitivamente, el inversionista podría ejercer la opción de abandonar el proyecto no solo teniendo en cuenta las condiciones del proyecto en sí, sino también las condiciones y perspectivas de los otros proyectos y/o empresas con la que este compartiendo la opción.

Es importante notar que para evaluar proyectos de innovación biotecnológica, tales como los estudiados en el presente trabajo de tesis, lo más conveniente es el uso del método de opciones reales propuesto por Schwartz (2002) debido a que, pese a sus limitaciones, es posible captar y valorar la incertidumbre y las flexibilidades características. En consecuencia, se procedió a explicar y desarrollar el modelo así como a calibrar las variables que serían usadas en el mismo para evaluar la conveniencia de invertir, tomando a manera de ejemplo, el caso de un proyectos real de investigación y desarrollo biotecnológico en la ciudad de Bogotá. Este caso es el desarrollo de una plataforma de microscopia óptica.

Vale la pena decir que, aunque no es objetivo del presente trabajo de tesis evaluar el proyecto escogido por medio del modelo de Schwartz (2002), si fue posible presentar una primera aproximación, por medio de la calibración de los parámetros requeridos, que podría servir para hacer esta evaluación en trabajos posteriores. Para cada uno de estos trabajos de calibración se presentaron los recursos y las estrategias para encontrar los valores adecuados, describiendo paso a paso como se hizo y las limitaciones que existieron.

Concretamente, con el objeto de calibrar los parámetros del proyecto escogido, se acudió a la realización de entrevistas con los investigadores del proyecto, que aunque informales, permitieron recolectar información relevante para hacer los cálculos concernientes a los costos y a los ingresos esperados del proyecto. Sin embargo, en la búsqueda de la información para calibrar los parámetros directamente relacionados con el mercado, se encontró que acceder a esta información en el caso de Colombia era bastante difícil.

Debido a que la industria biotecnológica no está suficientemente desarrollada en el país y que en consecuencia, las pocas empresas que desarrollan este tipo de proyectos no están inscritas en bolsa, poder estimar algunos parámetros como la volatilidad de los flujos de caja fue difícil. Para solucionar este inconveniente, de manera recursiva se usó la información de algunas empresas que si bien no son biotecnológicas puras, cuentan dentro de su portafolio de productos con algunos resultados de proyectos biotecnológicos.

Para finalizar, vale la pena decir que aunque con este proyecto de tesis no se pretendía proponer recursos, políticas y estrategias para desarrollar el mercado de biotecnología en Colombia y en los demás países de la región, si se recomendaría focalizar recursos y esfuerzos que permitan desarrollar este sector. No solo se necesitan mayores recursos,

sino el fortalecimiento de una red que articule el esfuerzo de universidades, empresas y gobierno hacia áreas de interés específico.

Bibliografía

Albornoz, Mario (2005). *Manual De Indicadores De Biotecnología*, Centro Redes del RCYT, Buenos Aires.

Alcon, Francisco; Demiguel, Dolores; Fernández, Ángeles (2006). *Modelización de la difusión de la tecnología de riesgo localizado en el campo de Cartagena*. Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros, Vol. 210, Páginas 227-245.

BioRegó de Catalunya –Biocat (2010). *Informe Sectorial. Biotecnología y Biomedicina*. Visitada el 11 de junio de 2012. Encontrada en: http://www.biocat.cat/sites/default/files/Informe_Biotecnologia_Biomedicina_es_v2.pdf

Bisang, Robert; Campi, Mercedes; Cesa, Verónica (2009). *Biotecnología y Desarrollo*, Documento de la CEPAL – colección desarrollos de proyecto, Santiago de Chile.

Brigham, Eugene, Houston, Joel (2006). *Fundamentos de Administración Financiera*. 10ª ed. Thomson. México.

Burrone, Esteban (2006). *Las patentes, pilar esencial del sector de la biotecnología*. OMPI. Visitado el 23 de septiembre de 2012. Encontrado en: http://www.wipo.int/sme/es/documents/patents_biotech.htm

García Fronti, Javier (2011). *Metodología De Evaluación De Proyectos Nanotecnológicos. Rentabilidad de la inversión, gobernanza y sustentabilidad de largo plazo*, Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires.

Grossman, Gene; Shapiro, Carl (1988). *Optimal Dynamic R&D Programs*, Journal of Economics, National Bureau of Economic Research. Working Paper No. 1658. Cambridge, Massachusetts. Massachusetts.

Leder, Michelle (2004). *¿Vale la Pena invertir en Biotecnología?* Business 2.0. Visitado el 4 de agosto de 2012. Encontrada en: <http://www.derevistas.com/contenido/articulo.php?art=2173>

Lin, Sheldon (2006). *Introductory Stochastic Analysis for Finances and Insurance*. John Wiley & sons, Inc., publication. Toronto, Canada.

Longstaff, Francis; Schwartz, Eduardo (2001), *Valuing American Options by Simulation: A Simple Approach*, Review of financial Studies, Oxford Journals. Vol. 14. Pages 113 – 147

McDonald, Robert; Siegel, Daniel (1986). *The Value of Waiting to Invest*. Quarterly Journal of Economics, Vol. 101, Pages 707-728.

Medina, Marta; Gutiérrez, Antonio; Castro, Elena; Fernández, Ignacio (2010). *Metodología para Determinar la Capacidad De I+D en Biotecnología en la Comunidad Valenciana*. Organización de Estados Iberoamericanos (ES 4.264). Visitada el 10 de Junio de 2012. Encontrada en: <http://www.oei.es/salactsi/roldan.pdf>

Pinyck, Robert; Dixit, Avinash (1994). *Investment under Uncertainty*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey.

Pindyck, Robert (1992). *Investments of Uncertain Cost*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

PLIEGO, Fernando (2010). *Biotecnología y sus efectos en los procesos de producción*. Revista. Uciencia. Visitada el 13 de noviembre de 2012. Encontrada en: <http://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/4657>

Schwartz, Eduardo (2002). *Patents and R& D as Real Options*, Anderson School of Management. Los Angeles.

Segura, Sara (2010). Reconstrucción 3D de Microcanales. "Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero electrónico", Universidad de los Andes. Bogotá.

Weeds, Helen (2002). *Strategic delay in a real options model of R&D competition*. Review of economic studies. Vol. 69, Pages 729-747.

Wilson, Paul (2007). *R&D Models: Lessons from Vaccine History*. International Aids Vaccine Initiative and Columbia University. Policy Research Working Paper # 14. New York.

ANEXO 1

El presente desarrollo se hace siguiendo el planteamiento de Pindyck (1992) en busca de un portafolio diversificado que permitiera evaluar proyectos como opciones reales, eliminando a través del desarrollo, aquellos elementos de los costos que pudieran generar distorsiones en el análisis dada su correlación con el comportamiento de la economía.

De esta forma, suponiendo que se tiene un activo o un portafolio cuyo precio siga un comportamiento como el descrito en la ecuación (7) sería posible evaluar la oportunidad de inversión que tendría la firma. Primero se define que $\delta \equiv r_x - \alpha_x$ y $\theta = \frac{r_m - r}{\sigma_m}$. Después, se considera el siguiente tipo de portafolio: se mantiene una inversión en $F(K)$ y se vende en corto n unidades del activo con el precio x . El valor de este portafolio, por tanto, sería $\phi = F(K) - nx$ y su variación instantánea sería $d\phi = dF - ndx$. Desde que la tasa esperada de crecimiento de x es $\alpha_x < r_x$, la posición corta requeriría un flujo de pagos a través del tiempo de a la tasa $n(r_x - \alpha_x)x = n\delta x$. De la misma forma, tan pronto como la inversión tenga lugar, tener la oportunidad de invertir implica un flujo de pagos $I(t)$. Por tanto, en el intervalo dt , el retorno total esperado del portafolio sería $d\phi = dF - ndx - n\delta x - I(t)$.

Ahora, usando el lema de Ito sería posible expresar dF como:

$$\underline{\text{Lema de Ito:}} \quad dg(t, x) = \left[\frac{\partial g(t, x)}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2(t, x) \frac{\partial^2 g(t, x)}{\partial x^2} \right] dt + \frac{\partial g(t, x)}{\partial x} \partial x$$

$$\partial x = \alpha(t, x)dt + \sigma(t, x)dw$$

De esta forma, sabiendo que

$$dK = -Idt + \beta(IK)^{\frac{1}{2}} dz + \gamma Kdw$$

$$\frac{\partial F(K)}{\partial t} = 0$$

Entonces,

$$dF = \left[\frac{1}{2} \{ \beta(IK)^{\frac{1}{2}} + \gamma K \}^2 F_{KK} \right] dt + F_K dK$$

$$dF = \left[\frac{1}{2} \beta^2 IKF_{KK} + \frac{1}{2} \gamma^2 K^2 F_{KK} \right] dt + F_K dK$$

Reemplazando dK usando la ecuación (7)

$$dF = \frac{1}{2} \beta^2 IKF_{KK} dt + \frac{1}{2} \gamma^2 K^2 F_{KK} dt + F_K (-Idt + \beta(IK)^{\frac{1}{2}} dz + \gamma K dw)$$

$$dF = \frac{1}{2} \beta^2 IKF_{KK} dt + \frac{1}{2} \gamma^2 K^2 F_{KK} dt - IF_K dt + \beta(IK)^{\frac{1}{2}} F_K dz + \gamma KF_K dw$$

Por tanto,

$$d\Phi = \frac{1}{2} \beta^2 IKF_{KK} dt + \frac{1}{2} \gamma^2 K^2 F_{KK} dt - IF_K dt + \beta(IK)^{\frac{1}{2}} F_K dz + \gamma KF_K dw - ndx - n\delta x dt - I(t) dt$$

Si se escoge $n = \frac{\gamma KF_K}{\sigma_x x}$ y se reemplaza dx de acuerdo a la ecuación (7) es posible eliminar los términos en dw que son aquellos no diversificables en el portafolio y por tanto, la tasa esperada de retorno del portafolio debe ser la tasa libre de riesgo.

$$d\Phi = \frac{1}{2} \beta^2 IKF_{KK} dt + \frac{1}{2} \gamma^2 K^2 F_{KK} dt - IF_K dt + \beta(IK)^{\frac{1}{2}} F_K dz + \gamma KF_K dw - n(\alpha_x x dt + \sigma_x x dw) - n\delta x dt - I(t) dt$$

$$d\Phi = \frac{1}{2} \beta^2 IKF_{KK} dt + \frac{1}{2} \gamma^2 K^2 F_{KK} dt - IF_K dt + \beta(IK)^{\frac{1}{2}} F_K dz + \gamma KF_K dw - \frac{\gamma KF_K}{\sigma_x x} \alpha_x x dt - \frac{\gamma KF_K}{\sigma_x x} \sigma_x x dw - \frac{\gamma KF_K}{\sigma_x x} (r_x - \alpha_x) x dt - I(t) dt$$

$$d\Phi = \frac{1}{2} \beta^2 IKF_{KK} dt + \frac{1}{2} \gamma^2 K^2 F_{KK} dt - IF_K dt + \beta(IK)^{\frac{1}{2}} F_K dz + \gamma KF_K dw - \frac{\gamma KF_K}{\sigma_x x} \alpha_x x dt - \gamma KF_K dw - \frac{\gamma KF_K}{\sigma_x x} r_x x dt + \frac{\gamma KF_K}{\sigma_x x} \alpha_x x dt - I(t) dt$$

$$d\Phi = \frac{1}{2} \beta^2 IKF_{KK} dt + \frac{1}{2} \gamma^2 K^2 F_{KK} dt - IF_K dt + \beta(IK)^{\frac{1}{2}} F_K dz - \frac{\gamma KF_K}{\sigma_x x} r_x x dt - I(t) dt$$

Ahora, usando el valor de n e igualando el retorno esperado del portafolio a $r(F - nx) dt$

$$r(F - nx)dt = \frac{1}{2}\beta^2 IKF_{KK}dt + \frac{1}{2}\gamma^2 K^2 F_{KK}dt - IF_K dt + \beta(IK)^{\frac{1}{2}}F_K dz - \frac{\gamma KF_K}{\sigma_x x} r_x x dt - I(t)dt$$

$$rFdt = \frac{1}{2}\beta^2 IKF_{KK}dt + \frac{1}{2}\gamma^2 K^2 F_{KK}dt - IF_K dt + \beta(IK)^{\frac{1}{2}}F_K dz - \frac{\gamma KF_K}{\sigma_x x} r_x x dt - I(t)dt + \frac{\gamma KF_K}{\sigma_x x} r_x x dt$$

$$rFdt = \frac{1}{2}\beta^2 IKF_{KK}dt + \frac{1}{2}\gamma^2 K^2 F_{KK}dt - IF_K dt + \beta(IK)^{\frac{1}{2}}F_K dz - \theta\gamma KF_K dt - I(t)dt$$

$$rF = \frac{1}{2}\beta^2 IKF_{KK} + \frac{1}{2}\gamma^2 K^2 F_{KK} - IF_K - \theta\gamma KF_K - I + \beta(IK)^{\frac{1}{2}}F_K dz$$

Debido a que $\beta(IK)^{\frac{1}{2}}F_K dz$ es diversificable, no afectará los retornos del portafolio, por tanto, para efectos de retorno del portafolio se considera que vale 0. De esta forma, el retorno del portafolio actualizado a la tasa libre de riesgo será:

$$rF = \frac{1}{2}\beta^2 IKF_{KK} + \frac{1}{2}\gamma^2 K^2 F_{KK} - IF_K - \theta\gamma KF_K - I$$

Para finalizar, vale la pena mencionar que, a la luz del modelo CAPM, $r_x = r + \theta\rho_{xm}\sigma_x$, donde θ es el precio de mercado del riesgo y ρ_{xm} es la correlación instantánea de x con el portafolio del mercado. De la misma forma, $\theta = \frac{r_m - r}{\sigma_m}$ donde r_m es el retorno esperado del mercado y σ_m es la desviación estándar del retorno del mercado.

ANEXO 2

El presente desarrollo se hace de acuerdo al planteamiento de la teoría de Schwartz (2002). De esta forma, Los argumentos y las suposiciones expuestas al comienzo del capítulo 3 implican que el valor del proyecto debe satisfacer la ecuación diferencial

$$\frac{1}{2}\sigma^2 C^2 V_{CC} + \alpha^* C V_C + V_t - rV + C = 0 \quad (21)$$

Con la condición

$$V(C, T) = M * C \quad (22)$$

Esto implica que

$$V_C = M \quad (I)$$

$$V_{CC} = 0 \quad (II)$$

$$V_T = 0 \quad (III)$$

Reemplazando (I), (II) y (III) en (21)

$$\frac{1}{2}\sigma^2 C^2 0 + \alpha^* C M + 0 - rV + C = 0$$

$$\alpha^* C M - r C M + C = 0$$

$$C(\alpha^* M - rM + 1) = 0$$

En consecuencia

$$\alpha^* M - rM = -1$$

$$M = \frac{1}{r-\alpha^*} \quad \text{(IV)}$$

De la misma forma para C, partiendo de la ecuación (20)

$$dC = (\alpha - n)Cdt + \phi Cdw = \alpha^* Cdt + \phi Cdw$$

Suponiendo la ecuación simplificada

$$dC = \alpha^* Cdt$$

$$d \ln C = \alpha^* dt$$

$$g(t, C) = \ln C$$

Aplicando el lema de ITO

$$d \ln C = \left\{ -\frac{1}{2} \phi^2 C^2 \frac{1}{C} \right\} dt + \frac{1}{C} (\alpha^* Cdt + \phi Cdw)$$

$$d \ln C = \left\{ \alpha^* - \frac{1}{2} \phi^2 \right\} dt + \phi dw$$

Por tanto

$$\ln C_t = \ln C_0 + \ln \left\{ \alpha^* - \frac{1}{2} \phi^2 \right\} t + \ln \phi w_t$$

$$C_t = e^{\ln C_0} e^{\ln \left\{ \alpha^* - \frac{1}{2} \phi^2 \right\} t + \ln \phi w_t}$$

$$C_t = C_0 e^{\left\{ \alpha^* - \frac{1}{2} \phi^2 \right\} t + \phi w_t} \quad \text{(V)}$$

Para transformar el proceso $\{C_t\}$ a un proceso martingala se debe cambiar la medida por una medida Q equivalente con la cual si sea martingala. Así, usando la ecuación (V):

$$\frac{1}{e^r} * E \left\{ \frac{C_0 e^{\{\alpha^* - \frac{1}{2}\sigma^2\}T + \sigma w_T}}{C_0 e^{\{\alpha^* - \frac{1}{2}\sigma^2\}t + \sigma w_t}} \middle| t \right\} = 1$$

$$\frac{1}{e^r} * E \left\{ e^{\{\alpha^* - \frac{1}{2}\sigma^2\}(T-t) + \sigma(w_T - w_t)} \middle| t \right\} = 1$$

$$E \left\{ e^{\{\alpha^* - \frac{1}{2}\sigma^2\}(T-t) + \sigma(w_T - w_t)} \middle| t \right\} = e^r$$

$$e^{\{\alpha^* - \frac{1}{2}\sigma^2\}(T-t)} = e^r$$

$$\alpha^* - \frac{1}{2}\sigma^2 = r$$

$$\frac{1}{2}\sigma^2 = -(r - \alpha^*) \quad \text{(VI)}$$

Con la medida expresada con la ecuación el proceso sería martingala. Ahora, sabiendo que con la ecuación (VI) $\{C_t\}$ y que $V(C, T) = M * C$ es posible decir que

$$V(C, t) = E\{V(C, T)\}$$

$$V(C, t) = M * E \left\{ \left\{ \frac{C_0 e^{-(r-\alpha^*)T + \sigma w_T}}{C_0 e^{-(r-\alpha^*)t + \sigma w_t}} \middle| t \right\} \right\}$$

$$V(C, t) = M * E\{e^{-(r-\alpha^*)(T-t)} \middle| t\}$$

$$V(C, t) = \frac{C}{r - \alpha^*} (1 - e^{-(r-\alpha^*)(T-t)}) + MCe^{-(r-\alpha^*)(T-t)}$$

ANEXO 3

Partiendo de la ecuación (23) que se indica

$$V(C, t) = \frac{C}{r - \alpha^*} (1 - e^{-(r-\alpha^*)(T-t)}) + M C e^{-(r-\alpha^*)(T-t)}$$

y sabiendo que

$$V_t = -e^{-(r-\alpha^*)(T-t)} + (r + \alpha^*) M C e^{-(r-\alpha^*)(T-t)}$$

$$V_C = \frac{1}{r - \alpha^*} (1 - e^{-(r-\alpha^*)(T-t)}) + M e^{-(r-\alpha^*)(T-t)}$$

$$V_{CC} = 0$$

Teniendo en cuenta que el lema de ITO en este caso se plantearía de la siguiente forma

$$dV(t, C) = \left[\frac{\partial g(t, C)}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2(t, C) \frac{\partial^2 g(t, C)}{\partial^2 C} \right] dt + \frac{\partial g(t, C)}{\partial C} \partial C$$

Con

$$dC = \alpha^* C dt + \phi C dw$$

Entonces

$$dV(t, C) = [-e^{-(r-\alpha^*)(T-t)} + (r + \alpha^*) M C e^{-(r-\alpha^*)(T-t)}] dt + \frac{1}{r - \alpha^*} (1 - e^{-(r-\alpha^*)(T-t)}) + M e^{-(r-\alpha^*)(T-t)} (\alpha^* C dt + \phi C dw)$$

$$dV(t, C) = -e^{-(r-\alpha^*)(T-t)}dt + (r + \alpha^*)M C e^{-(r-\alpha^*)(T-t)}dt + \frac{\alpha^* C dt}{r - \alpha^*} (1 - e^{-(r-\alpha^*)(T-t)}) \\ + \frac{\emptyset C dw}{r - \alpha^*} (1 - e^{-(r-\alpha^*)(T-t)}) + \alpha^* C dt M e^{-(r-\alpha^*)(T-t)} + \emptyset C dw M e^{-(r-\alpha^*)(T-t)}$$

$$dV(t, C) = \left[\frac{C}{r - \alpha^*} (1 - e^{-(r-\alpha^*)(T-t)}) + M C e^{-(r-\alpha^*)(T-t)} \right] [(r + n)dt + \emptyset dw]$$

$$\frac{dV}{V} = (r + n)dt + \emptyset dw$$

ANEXO 4

El presente desarrollo se hace siguiendo el mismo desarrollo del anexo 1. De esta forma, suponiendo que se tiene un activo o un portafolio cuyo precio siga un comportamiento como el descrito en la ecuación (7) sería posible evaluar la oportunidad de inversión que tendría la firma. Por tanto, en el intervalo dt , el retorno total esperado del portafolio sería $d\Phi = dF - ndx - n\delta x - I(t)$. Vale la pena recordar que de acuerdo a lo definido en el anexo 1, $\delta \equiv r_x - \alpha_x$ y $\theta = \frac{r_m - r}{\sigma_m}$. Y que Desde que la tasa esperada de crecimiento de x es $\alpha_x < r_x$, la posición corta requeriría un flujo de pagos a través del tiempo de a la tasa $n(r_x - \alpha_x)x = n\delta x$.

Ahora, usando el lema de Ito sería posible expresar dF como:

$$\underline{\text{Lema de Ito:}} \quad dg(t, x) = \left[\frac{\partial g(t, x)}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2(t, x) \frac{\partial^2 g(t, x)}{\partial x^2} \right] dt + \frac{\partial g(t, x)}{\partial x} \partial x$$

$$\partial x = \alpha(t, x)dt + \sigma(t, x)dw$$

De esta forma, sabiendo que

$$dK = -Idt + \sigma(IK)^{\frac{1}{2}} dz + \gamma Kdw$$

$$dC = \alpha Cdt + \phi Cdw$$

$$\frac{\partial F(K)}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial F(C)}{\partial t} = 0$$

Entonces,

$$dF = \left[\frac{1}{2} \{ \sigma(IK)^{\frac{1}{2}} \}^2 F_{KK} \right] dt + F_K dK$$

$$dF = \left[\frac{1}{2} \sigma^2 IK F_{KK} \right] dt + F_K dK$$

Reemplazando dK usando la ecuación (7)

$$dF = \frac{1}{2} \sigma^2 IK F_{KK} dt + F_K (-I dt + \sigma (IK)^{\frac{1}{2}} dz)$$

$$dF = \frac{1}{2} \sigma^2 IK F_{KK} dt - I F_K dt + \sigma (IK)^{\frac{1}{2}} F_K dz \quad \text{(VII)}$$

De la misma forma, haciendo el mismo procedimiento para los ingresos

$$dF = \left[\frac{1}{2} \{\phi C\}^2 F_{KK} \right] dt + F_K dC$$

$$dF = \left[\frac{1}{2} \phi^2 C^2 F_{KK} \right] dt + F_K dC$$

Reemplazando dC usando la ecuación (7)

$$dF = \frac{1}{2} \phi^2 C^2 F_{CC} dt + F_C (\alpha C dt + \phi C dw)$$

$$dF = \frac{1}{2} \phi^2 C^2 F_{CC} dt + \alpha C F_C dt + \phi C F_C dw \quad \text{(VIII)}$$

Por tanto, y sabiendo que la incertidumbre técnica para llevar a cabo el proyecto esta correlacionada (ρ) por la incertidumbre el flujo de efectivo y de los costos,

$$d\Phi = \frac{1}{2} \sigma^2 IK F_{KK} dt + \frac{1}{2} \phi^2 C^2 F_{CC} dt - I F_K dt + \alpha C F_C dt + \phi \sigma \rho (IK)^{\frac{1}{2}} F_{CK} dz + \phi C F_C dw - ndx - n\delta x dt - I(t) dt$$

Si se escoge $n = \frac{\phi CF_C}{\sigma_x x}$ y se reemplaza dx de acuerdo a la ecuación (7) es posible eliminar los términos en dw que son aquellos no diversificables en el portafolio y por tanto, la tasa esperada de retorno del portafolio debe ser la tasa libre de riesgo.

$$d\phi = \frac{1}{2}\sigma^2 IKF_{KK}dt + \frac{1}{2}\phi^2 C^2 F_{CC}dt - IF_K dt + \alpha CF_C dt + \phi\sigma\rho(IK)^{\frac{1}{2}}F_{CK}dz + \phi CF_C dw - n(\alpha_x xdt + \sigma_x xdw) - n\delta xdt - I(t)dt$$

$$d\phi = \frac{1}{2}\sigma^2 IKF_{KK}dt + \frac{1}{2}\phi^2 C^2 F_{CC}dt - IF_K dt + \alpha CF_C dt + \phi\sigma\rho(IK)^{\frac{1}{2}}F_{CK}dz + \phi CF_C dw - \frac{\phi CF_C}{\sigma_x x} \alpha_x xdt - \frac{\phi CF_C}{\sigma_x x} \sigma_x xdw - \frac{\phi CF_C}{\sigma_x x} (r_x - \alpha_x)xdt - I(t)dt$$

$$d\phi = \frac{1}{2}\sigma^2 IKF_{KK}dt + \frac{1}{2}\phi^2 C^2 F_{CC}dt - IF_K dt + \alpha CF_C dt + \phi\sigma\rho(IK)^{\frac{1}{2}}F_{CK}dz + \phi CF_C dw - \frac{\phi CF_C}{\sigma_x x} \alpha_x xdt - \phi CF_C dw - \frac{\phi CF_C}{\sigma_x x} r_x xdt + \frac{\phi CF_C}{\sigma_x x} \alpha_x xdt - I(t)dt$$

$$d\phi = \frac{1}{2}\sigma^2 IKF_{KK}dt + \frac{1}{2}\phi^2 C^2 F_{CC}dt - IF_K dt + \alpha CF_C dt + \phi\sigma\rho(IK)^{\frac{1}{2}}F_{CK}dz - \frac{\phi CF_C}{\sigma_x x} r_x xdt - I(t)dt$$

Ahora, usando el valor de n e igualando el retorno esperado del portafolio a $r(F - nx)dt + F\lambda dt$ de modo que se pueda contemplar la posibilidad de no llevar a cabo el proyecto.

$$r(F - nx)dt + F\lambda dt = \frac{1}{2}\sigma^2 IKF_{KK}dt + \frac{1}{2}\phi^2 C^2 F_{CC}dt - IF_K dt + \alpha CF_C dt + \phi\sigma\rho(IK)^{\frac{1}{2}}F_{CK}dz - \frac{\phi CF_C}{\sigma_x x} r_x xdt - I(t)dt$$

$$F(r + \lambda)dt = \frac{1}{2}\sigma^2 IKF_{KK}dt + \frac{1}{2}\phi^2 C^2 F_{CC}dt - IF_K dt + \alpha CF_C dt + \phi\sigma\rho(IK)^{\frac{1}{2}}F_{CK}dz - \frac{\phi CF_C}{\sigma_x x} r_x xdt - I(t)dt + \frac{\phi CF_C}{\sigma_x x} r_x xdt$$

$$F(r + \lambda)dt = \frac{1}{2}\sigma^2 IKF_{KK}dt + \frac{1}{2}\phi^2 C^2 F_{CC}dt - IF_K dt + \alpha CF_C dt + \phi\sigma\rho(IK)^{\frac{1}{2}}F_{CK}dz - \theta\phi CF_C dt - I(t)dt$$

$$F(r + \lambda) = \frac{1}{2}\sigma^2 IKF_{KK} + \frac{1}{2}\phi^2 C^2 F_{CC} - IF_K - \theta\phi CF_C + \alpha CF_C - I + \phi\sigma\rho(IK)^{\frac{1}{2}}F_{CK}dz$$

Debido a que la decisión óptima de inversión implica que, sin tomar en cuenta el momento temporal en que el agente toma la decisión, el valor de esta siempre será el máximo de las posibilidades, entonces

$$Max \left[\frac{1}{2}\phi^2 C^2 F_{CC} + \frac{1}{2}\sigma^2 (IK)F_{KK} + \phi\sigma\rho(IK)^{\frac{1}{2}}F_{CK} + \alpha^* CF_C - IF_K + F_t - (r + \lambda)F - I \right] = 0$$

Para finalizar, vale la pena mencionar que, de acuerdo al modelo CAPM, $r_x = r + \theta \rho_{xm} \sigma_x$, donde θ es el precio de mercado del riesgo y ρ_{xm} es la correlación instantánea de x con el portafolio del mercado. De la misma forma, $\theta = \frac{r_m - r}{\sigma_m}$ donde r_m es el retorno esperado del mercado y σ_m es la desviación estándar del retorno de mercado.

ANEXO 5

Se parte de la siguiente ecuación:

$$rF = \frac{1}{2}\beta^2 IKF_{KK} - IF_K - I \quad (13)$$

Reorganizando:

$$\frac{1}{2}\beta^2 IKF_{KK} - IF_K - rF = I$$

Con $r=0$

$$\frac{1}{2}\beta^2 IKF_{KK} - IF_K = I$$

Para la solución homogénea:

$$\frac{1}{2}\beta^2 IKF_{KK} - IF_K = 0$$

Por lo tanto

$$\frac{1}{2}\beta^2 KF_{KK} - F_K = 0 \quad (IX)$$

Si se considera la solución para el sistema

$$F = aK^b - K + e \quad (X)$$

$$F_k = abK^{b-1} - 1 \quad (XI)$$

$$F_{kk} = ab(b-1)K^{b-2} \quad (XII)$$

Si reemplazamos (XI) y (XII) en (IX)

$$\frac{1}{2}\beta^2 K[ab(b-1)K^{b-2}] - [abK^{b-1} - 1] = 0$$

$$a \left(\frac{1}{2} \beta^2 K b (b-1) K^{b-2} - b K^{b-1} \right) - 1 = 0$$

$$a \left(\frac{1}{2} \beta^2 b (b-1) K^{b-1} - b K^{b-1} \right) - 1 = 0$$

$$ab \left(\frac{1}{2} \beta^2 (b-1) - 1 \right) K^{b-1} - 1 = 0 \quad \text{(XII)}$$

$$\frac{ab \left(\frac{1}{2} \beta^2 (b-1) - 1 \right)}{K^{1-b}} - 1 = 0$$

Nota:

$$a \left(\frac{1}{2} \beta^2 (b-1) - 1 \right) K^b - k = 0 F(K) \quad \text{(XIII)}$$

$$ab \left(\frac{1}{2} \beta^2 (b-1) - 1 \right) K^{b-1} - 1 = 0 F_K(K) \quad \text{(XIV)}$$

$$ab(b-1) \left(\frac{1}{2} \beta^2 (b-1) - 1 \right) K^{b-2} = 0 F_{KK}(K) \quad \text{(XV)}$$

Para cumplir con la restricción de la ecuación (11)

$$\frac{1}{2} \beta^2 (b-1) - 1 = 0$$

$$b = \frac{\beta^2 + 2}{\beta^2}$$

La ecuación XIV se puede describir como:

$$abK^{*b-1} - 1 = 0$$

Por lo tanto:

$$a = \frac{K^{*1-b}}{b}$$

$$a = \frac{\beta^2}{\beta^2 + 2} K^{*1 - \frac{\beta^2 + 2}{\beta^2}}$$

$$a = \frac{\beta^2}{\beta^2 + 2} K^* \frac{-2}{\beta^2}$$

Para el caso específico:

$$K^* = \frac{V}{2\beta^2 b}$$

Se puede reemplazar

$$a = \frac{\beta^2}{\beta^2 + 2} \left(\frac{V}{2\beta^2 b} \right) \frac{-2}{\beta^2}$$

$$a = \frac{\beta^2}{\beta^2 + 2} \left(\frac{V\beta^2}{2\beta^2(\beta^2 + 2)} \right) \frac{-2}{\beta^2}$$

$$a = \frac{\beta^2}{\beta^2 + 2} \left(\frac{V}{2(\beta^2 + 2)} \right) \frac{-2}{\beta^2}$$

Reescribiendo:

$$a = \beta^2 \left(\frac{V}{2} \right) \frac{-2}{\beta^2} \frac{1}{(\beta^2 + 2) \frac{\beta^2 + 2}{\beta^2}}$$

Para cumplir la ecuación (10)

$$e=V$$

Reemplazando en X

$$F = V - K + \beta^2 \left(\frac{V}{2} \right) \frac{-2}{\beta^2} \frac{K}{(\beta^2 + 2) \frac{\beta^2 + 2}{\beta^2}}$$

Por tanto,

$$F = V - K + \beta^2 \left(\frac{V}{2} \right) \frac{-2}{\beta^2} \left(\frac{K}{\beta^2 + 2} \right) \frac{\beta^2 + 2}{\beta^2}$$