



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS – OPTIMIZACIÓN FINANCIERA

**EVALUACIÓN DE UN PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL RELACIONADO CON
INFRAESTRUCTURA NACIONAL MEDIANTE OPCIONES REALES**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ALAN HERNÁNDEZ CORONA

TUTOR:
DR. EDGAR ORTÍZ CALISTO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX. OCTUBRE DE 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Martínez Miranda Elio Agustín

Secretario: Dr. Gómez Gallardo Wulfrano

Vocal: Dr. Ortiz Calisto Edgar

1^{er.} Suplente: Dra. Sosa Castro Magnolia Miriam

2^{d o.} Suplente: Dra. Cabello Rosales María Alejandra

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

Ciudad Universitaria, CDMX a octubre de 2018

TUTOR DE TESIS:

DR. EDGAR ORTIZ CALISTO

FIRMA

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Ingeniería por permitirme realizar mis estudios de posgrado con excelentes profesores y con todas las facilidades necesarias para llevar a cabo mis investigaciones.

Al CONACYT por apoyarme con la beca de estudios de posgrado, ya que gracias a ésta me fue posible concluir mis estudios de manera exitosa.

Un agradecimiento especial al Dr. Edgar Ortiz Calisto por su tiempo y apoyo en la elaboración de la presente tesis; así como por sus enseñanzas y consejos como profesor durante la maestría.

Al Dr. Elio Martínez Miranda, al Dr. Wulfrano Gómez Gallardo, a la Dra. Miriam Sosa Castro y a la Dra. Alejandra Cabello Rosales, por su apoyo en la revisión de la presente tesis y sus sugerencias para enriquecer el trabajo.

A mis padres y mi hermano por apoyarme en todo momento en mis proyectos académicos, profesionales y personales. Mil gracias por toda esa confianza y motivación que me dan día a día.

A Ingrid J. por su apoyo en todo mi proceso de titulación, desde la elaboración de la tesis hasta la revisión de la estructura, redacción y ortografía de la misma; así como por su motivación en todo momento. Danke für alles Schwan!

A mis tíos y mi abuelo por sus consejos y motivaciones a lo largo de toda mi trayectoria académica y personal.

A todos mis amigos de la maestría, la licenciatura y de la vida que me han apoyado en todo momento a salir adelante.

Contenido

1.	La infraestructura como un motor de la economía	1
1.1.	Infraestructura y competitividad	1
1.1.1.	Índice de Competitividad del Foro Económico Mundial	2
1.1.2.	Índice de competitividad IMD	4
1.1.3.	El índice de competitividad del Instituto Mexicano Para la Competitividad (IMCO)..	6
1.2.	Infraestructura en México.....	10
1.2.1.	Programa Nacional de infraestructura 2014-2018.....	11
1.2.2.	Sector Comunicaciones y Transportes	12
2.	Proyectos de Inversión.....	18
2.1.	Definición de un proyecto de inversión	18
2.1.1.	Viabilidad de los proyectos de inversión.....	19
2.1.2.	Etapas de un proyecto de inversión.....	22
2.2.	Clasificación de los proyectos de inversión.....	25
2.3.	Metodologías para la evaluación privada	29
2.3.1.	Valor Presente Neto (VPN).....	32
2.3.2.	Tasa Interna de Rendimiento (TIR).....	33
2.3.3.	Periodo de recuperación	34
2.4.	Metodologías para la Evaluación Social de Proyectos	36
2.4.1.	Valor Presente Neto Social (VPNS).....	37
2.4.2.	La Tasa Interna de Retorno Social (TIRS).....	38
2.4.3.	La Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI).....	39
3.	Evaluación de proyectos mediante opciones reales	41
3.1.	Definición de opciones reales	41
3.1.1.	Opciones reales y financieras.....	42
3.1.2.	Opciones reales como una filosofía	43
3.1.3.	Tipo de opciones reales.....	44
3.2.	Proyectos de inversión con un enfoque de opciones reales.....	47
3.3.	Modelos de valuación de opciones	48
3.3.1.	Modelo de Black-Scholes	48
3.3.2.	El modelo binomial.....	50

3.3.3.	Método binomial para dos o más periodos	54
3.4.	Problemas al aplicar el análisis de opciones reales.....	56
4.	Manejo de riesgo en proyectos de infraestructura	60
4.1.	Definición de riesgo.....	60
4.2.	Tipos de riesgo	61
4.3.	Riesgos en proyectos de infraestructura	64
4.3.1.	Riesgo en la fase de inversión	65
4.3.2.	Riesgo en la fase operación.....	67
4.3.3.	Riesgos existentes en ambas fases.....	68
4.4.	Manejo y administración del riesgo	72
4.4.1.	Proceso de administración de riesgo	73
4.4.2.	Instrumentos derivados en la administración del riesgo	78
5.	Evaluación de un proyecto de Ingeniería Civil	87
5.1.	Características generales del proyecto	87
5.2.	Metodología de opciones reales	92
6.	Conclusiones.....	103
	APÉNDICE A	105
A.1.	Cálculo del VPN, TRI y TIR bajo diferentes escenarios.....	105
A.2.	Datos históricos del tipo de cambio, inflación, índice de costos para los materiales de la construcción y salario mínimo	110
	Referencias.....	114

Introducción

La construcción de infraestructura pública es una de las actividades económicas más importantes en la mayoría de los países, ya que fomenta la competitividad y el desarrollo tanto a nivel nacional como regional. Sin embargo, muchas veces los proyectos de infraestructura no son evaluados adecuadamente, pues no se consideran eventos extraordinarios como: el incremento en los costos de los materiales, variaciones en el tipo de cambio, el comportamiento de la inflación, entre otros. Dichos eventos pueden causar que el proyecto pierda valor de manera parcial o total en el peor de los escenarios.

Actualmente la teoría de opciones reales es empleada para evaluar diferentes proyectos de inversión, destacando en su aplicación los proyectos de Investigación y Desarrollo de nuevos productos, debido al alto grado de incertidumbre que presentan. Por esta razón se pretende extender la teoría de opciones reales en la evaluación de proyectos de infraestructura que por lo general se evalúan con métodos clásicos, destacando los métodos de la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Presente Neto (VPN), que si bien dan una idea del posible rendimiento en una inversión, no consideran el riesgo y la alta volatilidad implícita en estos proyectos.

La presente tesis se divide en cinco capítulos donde se explican los fundamentos teóricos y técnicos para realizar la evaluación de un proyecto de ingeniería civil relacionado con la construcción de un sistema de transporte masivo. En el capítulo uno se da una breve explicación acerca de la relación existente entre la infraestructura y la globalización, además, se comentan los principales índices de competitividad mundiales y la posición que ocupa México en cada uno de éstos. De la misma manera, se menciona de manera resumida los puntos más relevantes del Plan Nacional de Infraestructura en el periodo 2014-2018 y los principales proyectos a ejecutar en diversas áreas.

En el capítulo dos se define el concepto de proyecto de inversión y las principales etapas que existen durante el desarrollo de los proyectos. Asimismo, se mencionan algunas de las metodologías de evaluación más empleadas en proyectos de carácter privado, haciendo énfasis en los alcances y limitaciones de cada una. Por otro lado, también se describen metodologías empleadas en la evaluación de proyectos sociales, los cuales suelen tener ligeras diferencias con respecto a las metodologías empleadas en los proyectos de inversión privados.

El capítulo tres da una breve introducción de los principales conceptos de opciones reales, así como los tipos de opciones reales que actualmente se utilizan en la evaluación de proyectos de inversión. También, se menciona la metodología general para la valuación de opciones financieras y los principales modelos teóricos de valuación, entre los cuales se encuentran el Modelo de Black-Scholes y el Modelo Binomial.

En el capítulo cuatro se presenta una definición de riesgo y la clasificación de los diferentes tipos de riesgo que están involucrados en el proceso de planeación y construcción de los proyectos de infraestructura. De igual forma, se detalla el proceso de administración del riesgo, el cual parte de la identificación de riesgos, su análisis y las técnicas más recurridas para mitigar de forma total o parcial el impacto que éstos generen. Cabe señalar que, además, se da una breve introducción a los derivados financieros, ya que suelen ser los instrumentos más empleados en la administración del riesgo.

Por último, en el capítulo cinco se muestra la aplicación de la metodología de opciones reales en un proyecto de ingeniería civil, dicho proyecto se refiere a la ampliación de la línea A del Sistema del Transporte Colectivo (STC). Para lo cual se llevó a cabo una identificación de las variables con mayor impacto en el proyecto, posteriormente, se realizó una actualización de los costos e ingresos implícitos en el mismo. Con base en lo anterior se evaluó el proyecto mediante las metodologías clásicas (VPN, TIR y TRI), al no presentarse resultados favorables, se empleó la metodología de opciones de reales con la finalidad de conocer la flexibilidad del proyecto para ser diferido 5 años.

1. La infraestructura como un motor de la economía

1.1. Infraestructura y competitividad

Hoy en día México es parte de un proceso de globalización económica, el cual ha impulsado la competitividad entre las naciones. A fin de conocer éste hecho y sus implicaciones, se han implementado indicadores que miden el nivel de competitividad internacional entre las economías. Es importante señalar que en muchos de estos indicadores se considera el desarrollo de la infraestructura como un factor importante, generando así una estrecha relación entre la infraestructura y los niveles de competitividad.

Competitividad se puede definir como la capacidad que tiene un país de atraer inversiones de capitales nacionales y extranjeros, apoyándose en un esfuerzo conjunto de los sectores público y privado. De esta forma se genera estabilidad en el mercado interno y se promueve el bienestar social.

Cabe mencionar que tanto el sector público como el privado juegan un papel importante en la construcción de infraestructura, ya que a falta de disponibilidad de recursos en el gobierno, se deben buscar asociaciones público-privadas que tengan como objetivo convertir al sector privado en la parte activa del desarrollo de obras y servicios públicos.

A continuación se mencionan brevemente algunos de los indicadores más importantes que miden el nivel de competitividad de diferentes países en el mundo, dando especial énfasis en aquéllos que consideran dentro de sus criterios de evaluación el desarrollo de infraestructura pública.

Para la elaboración de este capítulo se emplearon las publicaciones de Alastaire (2015), Winter (2014), Del Angel (n.d.), Cortina (2012), Pérez (2008), Instituto Mexicano de la Competitividad (2016), Klaus (2015), Secretaría de Hacienda y Crédito Público (2016), Secretaría de Transportes y Comunicaciones (2013-2016), World Competitiveness Center (2016) y el World Economy Forum (2015, 2016).

1.1.1. Índice de Competitividad del Foro Económico Mundial

Cada año el Foro Económico Mundial (WEF, por sus siglas en inglés) publica el Índice de Competitividad Global (GCI, por sus siglas en inglés), el cual mide la eficiencia de cada país para aprovechar todos los recursos de los que dispone con el fin de generar altos niveles de bienestar entre sus habitantes.

Actualmente este índice evalúa a 140 economías basándose en el análisis de 12 pilares, los cuales se dividen en 3 subíndices. Estos pilares no favorecen de la misma manera a todos los países, ya que los niveles de competitividad y bienestar son por lo general mayores en los países desarrollados que en los emergentes. En la tabla 1.1 se muestran los pilares y los subíndices que componen al índice propuesto por el WEF.

Tabla 1.1. Pilares del Índice de competitividad Global

Subíndice	Pilares	Temas a evaluar
Subíndice A: Requerimientos Básicos	1. Instituciones	Instituciones públicas y privadas, ética y corrupción.
	2. Infraestructura	Infraestructura de transporte, eléctrica y de telefonía.
	3. Ambiente macroeconómico	Balance de presupuesto gubernamental, ahorro nacional bruto, inflación, deuda gubernamental y clasificación del crédito por país.
	4. Salud y educación básica	Salud: Índice de malaria, índice de tuberculosis, predominio del VIH, mortalidad infantil y esperanza de vida. Educación básica: calidad y número de alumnos inscritos.
Subíndice B: Potenciadores de Eficiencia	5. Educación media superior y capacitación	Calidad en la educación secundaria y media superior; así como la efectividad en la capacitación del trabajo.
	6. Eficiencia en los mercados de bienes	Competitividad nacional y extranjera, y calidad en las condiciones de demanda.

	7. Eficiencia en los mercados de trabajo	Flexibilidad y eficiente uso del talento.
	8. Desarrollo del mercado financiero	Eficiencia, solidez y confianza en los mercados financieros.
	9. Reajustes tecnológicos	Adopción tecnológica y tecnologías de la comunicación.
	10. Tamaño de mercado	Crecimiento en el mercado nacional y extranjero.
Subíndice C: Innovación y factores de sofisticación	11. Sofisticación de negocios	Cantidad y calidad de proveedores locales, estado de desarrollo de los clúster, sofisticación de los procesos de producción.
	12. Innovación	Capacidad generar nuevas líneas de investigación, calidad de las instituciones y disponibilidad de ingenieros y científicos.

Fuente: World Economic Forum (WEF)

En el ranking de competitividad del periodo 2015-2016, México ocupaba el lugar 57 general del GCI y el 59 en el subíndice de infraestructura. Por otro lado, dentro de los primeros tres lugares del GCI se encontraban Suiza, Singapur y los Estados Unidos de América.

En la tabla 1.2 se muestran las posiciones que obtuvo México en cada partida que forma parte del subíndice de infraestructura. Donde destaca la posición desfavorable en las suscripciones de telefonía móvil como resultado de los bajos niveles de inversión que existen en el sector de las telecomunicaciones; por el contrario, en cuanto a la calidad de la infraestructura existente de carreteras, ferrocarriles, puertos y aeropuertos se encuentra ligeramente encima de la media.

Tabla 1.2. Calificación indicadores de pilar de infraestructura

Indicador	Puntos	Posición
Calidad de la infraestructura general	4.1	65
Calidad de carreteras	4.3	54
Calidad infraestructura de ferroviaria	2.8	61
Calidad infraestructura de puertos	4.3	57
Calidad infraestructura de transporte aéreo	4.7	55
Aerolíneas disponibles	2,115.4	21
Calidad del suministro de electricidad	4.7	73
Suscriptores de telefonía móvil	82.5	112
Reparación de líneas de teléfono	17.0	66

Fuente: World Economic Forum (WEF)

De acuerdo con los pilares de este índice, la inversión en infraestructura resulta de gran importancia, dado que genera una gran cantidad de empleos y promueve la apertura de nuevos negocios en los alrededores del lugar donde realiza el proyecto de infraestructura. Por lo tanto, un buen programa de inversiones en infraestructura sería favorable para México, ya que de esta manera sería posible escalar posiciones en el pilar de infraestructura y, a su vez, en el índice de competitividad global. De esta manera el país sería más llamativo para los inversionistas extranjeros, abriendo el paso a proyectos de mayor escala que contribuirían al desarrollo económico.

1.1.2. Índice de competitividad IMD

El International Institute for Management Development (IMD) emite cada año desde 1989 el Anuario de Competitividad Mundial (WYC, por sus siglas en inglés), el cual es el más completo y exhaustivo reporte anual de competitividad en el mundo.

Los resultados del WYC facilitan a los líderes económicos y políticos de todo el mundo la toma de decisiones en cuanto a proyectos de inversión, ya que con esta información es posible determinar estrategias para mejorar la productividad y analizar los factores que promuevan el crecimiento de las economías. Asimismo, se pueden identificar oportunidades en mercados que se encuentren en desarrollo y registren un potencial de crecimiento importante.

Este reporte del IMD mide la competitividad entre 61 países con base en cuatro factores principales, los cuales a su vez se dividen en cinco subfactores que permiten realizar una evaluación más detallada. Es importante mencionar que para la evaluación de 2016 se tomaron en cuenta un total de 342 criterios, los cuales dependen del factor principal o subfactor que se está evaluando.

Tabla 1.3. Factores de competitividad del IMD

Factor	No. de criterios	Subfactores
Desempeño económico	83	Economía doméstica Comercio internacional Inversión extranjera Empleo Precios de consumo básico
Eficiencia Gubernamental	73	Finanzas Pública Política Fiscal Marco Institucional Legislación para los negocios Marco social
Eficiencia de negocios	71	Productividad y eficiencia Mercado Laboral Finanzas Prácticas Gerenciales Actitudes y valores
Infraestructura	115	Infraestructura básica Infraestructura Tecnológica Infraestructura científica Salud y medio ambiente Educación

Fuente: Institute for Management Development (IMD)

En la tabla 1.3 se muestra que el factor de infraestructura está compuesto por cinco subfactores. El primero es el de infraestructura básica donde se evalúan los aspectos como la tierra, el agua, las carreteras, las líneas férreas, transporte aéreo e infraestructura de energía. El segundo subfactor es la infraestructura tecnológica que evalúa la inversión en

telecomunicaciones, telefonía móvil, usuarios de internet, computadoras en uso, desarrollo en aplicaciones de tecnología, seguridad cibernética, etc. El tercero es la infraestructura científica donde se evalúa el gasto total y per cápita en ciencia, artículos científicos, porcentaje de ingenieros y científicos, premios nobel, patentes, entre otros. El cuarto subfactor es salud y medio ambiente, el cual evalúa el gasto total y per cápita en salud, esperanza de vida, mortalidad infantil, problemas de salud, emisiones de CO₂, huella ecológica, problemas de contaminación, entre otros criterios. El último subfactor es la educación, y tiene como objetivo evaluar el gasto total y per cápita en educación, movilidad estudiantil internacional y nacional, certificación TOEFL, sistemas de educación, educación universitaria, literatura, etc.

El ranking de competitividad general del año 2016 fue encabezado por China, a quién le precedió Suiza y los Estados Unidos de América en segundo y tercer lugar, respectivamente. Por otro lado, México se encontraba en la posición 45 de las economías más competitivas de WYC y en el lugar 53 en cuanto al desarrollo de infraestructura.

1.1.3. El índice de competitividad del Instituto Mexicano Para la Competitividad (IMCO)

El índice del IMCO evalúa cada dos años a 43 países mediante 131 indicadores que son agrupados en 10 factores de competitividad. Este índice aporta información útil para las dependencias nacionales, ya que permite establecer prioridades a partir de las brechas observadas entre México y los países con mayor desarrollo.

En la tabla 1.4 se muestran los factores que forman parte del índice de competitividad del IMCO. Cabe señalar que dentro de estos factores no existe alguno con el nombre de infraestructura como se observó en los dos índices anteriores. No obstante, dentro del factor llamado “Sectores precursores de clase mundial” se consideran diversos indicadores de infraestructura como el transporte interurbano, carreteras pavimentadas, longitud de red ferroviaria, infraestructura portuaria, entre otros.

Tabla 1.4. Factores de la competitividad según el IMCO

Factores	Número de Indicadores	Descripción
Sistema de derecho confiable y objetivo	15	Se centra principalmente en considerar indicadores que describan la situación jurídica del país. Algunos de estos indicadores son: personas desaparecidas, homicidios, confianza policiaca, imparcialidad en cortes, piratería informática, corrupción, estado de derecho, etc.
Manejo sustentable del medio ambiente	10	Toma en cuenta indicadores que resalten la protección al medio ambiente como lo son las emisiones de CO ₂ , estrés hídrico, áreas naturales protegidas, cambio en superficie forestal, empresas certificadas como limpias, etc.
Sociedad incluyente, preparada y sana	19	Considera indicadores que midan la calidad de vida y educación de las personas. Algunos de éstos son: acceso al agua, analfabetismo, calidad educativa, nivel de inglés, esperanza de vida, prevalencia de diabetes, etc.
Sistema político estable y funcional	7	Los indicadores a tomar a cuenta son aquellos que consideran la participación ciudadana en temas políticos como la estabilidad política, interferencia militar, participación electoral, etc.
Gobierno eficiente y eficaz	12	Evalúa las capacidades que tiene el gobierno para administrar los recursos y oportunidades para la creación de nuevos negocios. Algunos de estos indicadores son: efectividad del gobierno, facilidad de abrir una empresa, ingresos fiscales, etc.
Mercados de factores eficientes	11	Considera factores involucrados con la situación laboral y productiva. Algunos indicadores a considerar son: la flexibilidad de leyes laborales, economía informal, eficiencia eléctrica, cambio de inventarios, etc.
Economía Estable	14	Considera los principales indicadores para evaluar la economía de un país. Entre estos indicadores están el crecimiento del PIB, inflación, tasa de desempleo, deuda externa, control precios, etc.

Sectores precursores de clase mundial	19	Evalúa los indicadores que más intervienen en la competitividad como es la infraestructura y los mercados financieros. Algunos indicadores son: líneas móviles, usuarios en internet, transporte urbano, carreteras pavimentadas, transporte portuario, mercado de valores, etc.
Aprovechamiento de las relaciones internacionales	15	Indicadores que miden la calidad de hacer negocios internacionales. Destacando los acuerdos comerciales, inversión extranjera directa, ingreso por turismo, llegadas turísticas, etc.
Innovación y sofisticación en los sectores económicos	9	Considera factores que contribuyen al desarrollo del país. En esta área se encuentran factores como el gasto en investigación y desarrollo, empresas con ISO 9000, grandes ciudades, PIB servicios, etc.

Fuente: Instituto Mexicano de la Competitividad (IMCO)

De acuerdo con el informe del IMCO del 2015, México ocupa la posición número 35 de 43 en el índice de competitividad, lo cual se explica en gran medida por los problemas de delincuencia y corrupción que existen en el país, ya que han afectado considerablemente el factor de “Sistema de derecho confiable y objetivo”. Por otro lado, en las primeras tres posiciones figuran Suiza, Noruega y Suecia. Esto resulta muy interesante, ya que en las tres metodologías estudiadas en este capítulo, Suiza se encuentra en los primeros lugares independientemente de los factores que se consideren en la evaluación.

En la tabla 1.5 se aprecian las posiciones que alcanzó México en cada uno de los factores que se evalúan en el índice del IMCO. Analizando dicha tabla se observa que la mejor posición (número 26) que tiene México es en el factor de “Economía Estable”, mientras que en el que ocupa la posición más baja (número 40) es en el factor de “Sistema de derecho confiable y objetivo”.

Cabe mencionar que el problema de seguridad en México no solamente ha afectado la calidad de vida de sus habitantes, sino que también ha sido factor importante en la reducción de inversiones provenientes tanto de manera interna como externa.

Tabla 1.5. Posición de México en los diferentes factores el IMCO

Factores	Posición
Sistema de derecho confiable y objetivo	40
Manejo sustentable del medio ambiente	35
Sociedad incluyente, preparada y sana	37
Sistema político estable y funcional	35
Gobierno eficiente y Eficaz	27
Mercados de factores Eficientes	27
Economía Estable	26
Sectores precursores de clase mundial	38
Aprovechamiento de las relaciones internacionales	37
Innovación y sofisticación en los sectores económicos	28

Fuente: IMCO

Resulta importante analizar más a detalle el factor de sectores precursores de clase mundial, ya que en él se involucran diversos indicadores relacionados con infraestructura. Por esta razón, en la tabla 1.6 se muestran las posiciones que obtuvo México en cada uno de los indicadores que conforman dicho factor entre los años 2011 y 2013.

Dentro de los indicadores más importantes en la tabla 1.6, se observa que en transporte interurbano de alta capacidad se mantuvo la posición número 8; mientras que en carreteras pavimentadas se perdieron dos posiciones, llegando al puesto número 12. De la misma manera, en el indicador de infraestructura portuaria se registró un retroceso de una posición, colocándose en el cuarto lugar. De acuerdo con estos resultados, se puede apreciar que en términos de infraestructura no ha existido un crecimiento constante, por lo cual difícilmente se escalarán más posiciones en el índice general si no se soluciona este problema en el corto y mediano plazo.

Tabla 1.6. Indicadores del factor de sectores precursores de clase mundial

Indicador	Posiciones		
	2011	2013	Cambio
Índice de desempeño logístico (transporte)	7 ^o	6 ^o	+
Seguridad energética	3 ^o	4 ^o	-
Líneas móviles	5 ^o	4 ^o	+
Usuarios de internet	8 ^o	8 ^o	=
Servidores seguros de internet	9 ^o	8 ^o	+
Gasto en Tecnologías de Información	10 ^o	11 ^o	-
Transporte interurbano de alta capacidad	8 ^o	8 ^o	=
Carreteras pavimentadas	10 ^o	12 ^o	-
Tránsito aéreo de pasajeros	9 ^o	11 ^o	-
Pérdidas de electricidad	37 ^o	33 ^o	+
Índice de infraestructura portuaria	3 ^o	4 ^o	-
Tráfico portuario de contenedores	18 ^o	17 ^o	+
Penetración del sistema financiero privado	7 ^o	7 ^o	=
Margen de intermediación	19 ^o	11 ^o	+
Capitalización del mercado de valores	15 ^o	18 ^o	-
Capitalización del mercado de valores (micro)	1 ^o	1 ^o	=
Cambio en empresas listadas	10 ^o	15 ^o	-
Rotación de activos bursátiles	9 ^o	11 ^o	-
Índice de competencia de Boone	31 ^o	30 ^o	+

Fuente: IMCO

Por último, con base en los indicadores estudiados en este capítulo, se confirma el hecho de que la infraestructura es un factor importante para el desarrollo del país, ya que se encarga de generar empleos, conectar comunidades, desarrollar del comercio, promover el turismo y atraer un mayor número de inversionistas nacionales y extranjeros.

1.2. Infraestructura en México

Resulta necesario contar con infraestructura pública suficiente y con altos estándares de calidad, para conseguir un crecimiento económico constante y sostenido que

mejore la calidad de vida de los mexicanos. Por esta razón, la inversión en infraestructura es algo importante a considerar dentro del gasto público del país, ya que mejora la competitividad de las regiones, facilita el acceso a mercados distantes y apoya en la integración de cadenas productivas. Asimismo, activa la generación de empleos y las oportunidades de desarrollo en las regiones donde se lleva a cabo la ejecución del proyecto.

Es importante mencionar que en la historia de México se han presentado diversas crisis económico-financieras que han limitado el crecimiento del país y, por tanto, la capacidad de inversión en infraestructura. No obstante, México se encuentra dentro de las 20 economías más importantes en el mundo, y cuenta con el potencial de ubicarse dentro de las primeras 7 en el período 2030-2050 (Cortina, 2012).

Para lograr esto es necesario impulsar la economía mexicana mediante la construcción de infraestructura de manera continua y eficiente. Por lo tanto, es preciso realizar programas de inversión en infraestructura que se mantengan vigentes por más de un sexenio, con el objetivo de dar continuidad a los programas propuestos en administraciones previas.

1.2.1. Programa Nacional de infraestructura 2014-2018

“El 29 de abril de 2014 el Gobierno de la República publicó en el Diario Oficial de la Federación el Decreto en el que se aprueba el Programa Nacional de Infraestructura (PNI) 2014-2018. Dicho programa se elaboró en el marco del Sistema Nacional de Planeación Democrática establecido en la Ley de Planeación y forma parte de los programas especiales previstos en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018.” (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 2014).

De acuerdo con el párrafo anterior, el PNI puede ser definido como un instrumento de política económica que busca la competitividad, mejorar la calidad de vida de las personas y promover el desarrollo mediante la construcción de infraestructura pública.

El Programa Nacional de Infraestructura en un inicio contemplaba la ejecución de 743 programas de proyectos de inversión en diferentes sectores estratégicos, lo cual implicaba una inversión histórica de 7,750.5 millones de pesos. Los sectores estratégicos que se contemplaban el PNI 2014-2018 eran los siguientes:

1. Comunicaciones y Transportes.
2. Energía
3. Infraestructura hidráulica
4. Salud
5. Desarrollo urbano y vivienda.
6. Turismo

1.2.2. Sector Comunicaciones y Transportes

Para que México consiga ser un país competitivo y productivo es necesario invertir en infraestructura de comunicaciones y transportes de alta calidad, ya que de esta forma se lograrían satisfacer las necesidades de movilidad y carga; así como de comunicación entre las diferentes regiones del país. Desafortunadamente muchos de los proyectos que se tenían originalmente asignados en el PNI han sido cancelados como resultado de los recortes presupuestales y la priorización de otras áreas de desarrollo en el país.

Otra razón por la que resulta importante realizar inversiones en infraestructura de comunicaciones y transportes, se debe a que la construcción de este tipo de infraestructura ocupa un porcentaje importante dentro del Producto Interno Bruto (PIB). En la tabla 1.7 se muestran las principales estadísticas del 2015 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), donde sobre sale la participación que tiene el Producto Interno Bruto de Transporte dentro del Producto Interno Bruto desde el año 2000 hasta el 2014.

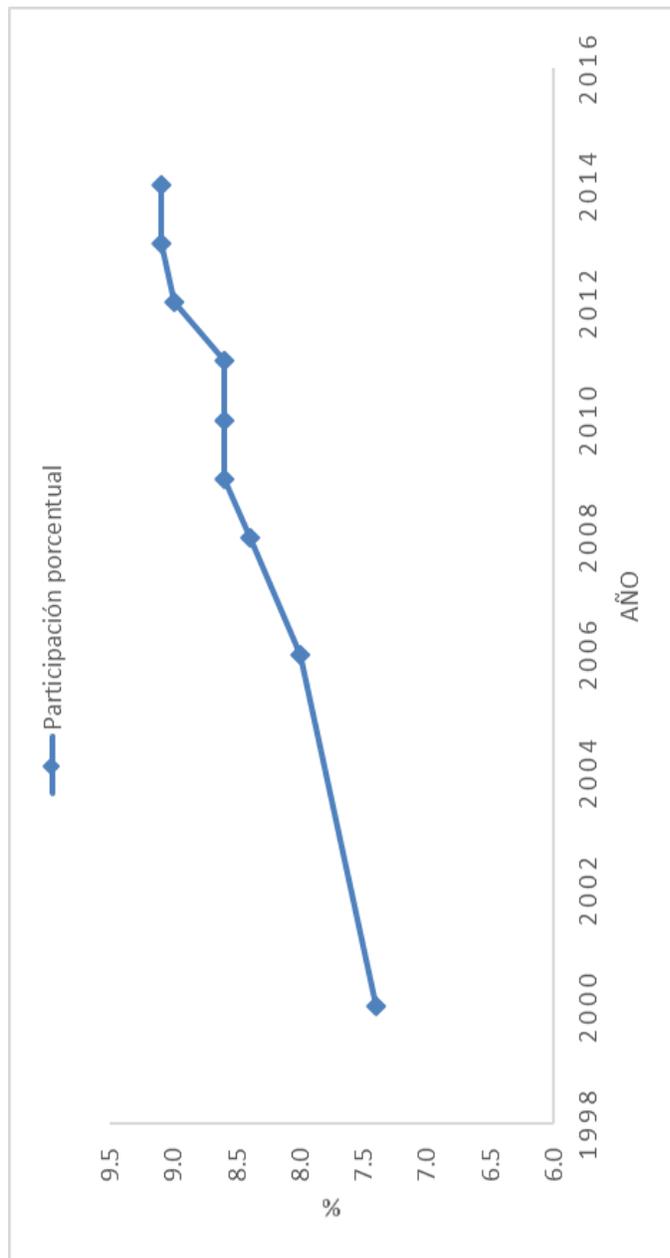
La gráfica 1.1 se construyó a partir de los datos de la tabla 1.7, con la finalidad de observar la tendencia de la participación del PIB de transportes en el PIB Total. En dicha gráfica se puede apreciar que desde el año 2000 la participación porcentual aumentó de manera considerablemente, sin embargo, en el año 2012 esta participación comenzó a disminuir. Asimismo, en los últimos dos años se ha observado que la participación ha registrado una variación mínima como resultado de los recortes presupuestales al sector.

Tabla 1.7 Productor Interno Bruto Total y el Producto Interno Bruto de Transporte, Correo y almacenamiento e Información de Medios Masivos (Millones de pesos de 2008).

Producto Interno Bruto	2000	2006	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Total	\$ 10,288,981.70	\$ 11,718,671.70	\$ 12,256,863.50	\$ 11,680,749.40	\$ 12,277,658.80	\$ 12,774,242.70	\$ 13,287,534.00	\$ 13,471,777.50	\$ 13,760,185.10
Transporte, Correo y Almacenamiento e Información en Medios Masivos (SCT)	\$ 763,741.10	\$ 931,829.60	\$ 1,025,040.80	\$ 1,001,971.30	\$ 1,055,456.70	\$ 1,099,477.90	\$ 1,189,569.30	\$ 1,229,513.00	\$ 1,255,097.50
Porcentaje	7.4%	8.0%	8.4%	8.6%	8.6%	8.6%	9.0%	9.1%	9.1%
- Transporte, Correos y Almacenamiento	\$ 624,735.40	\$ 677,733.90	\$ 700,557.00	\$ 650,008.40	\$ 700,119.60	\$ 728,423.20	\$ 758,002.40	\$ 776,371.50	\$ 791,935.60
- Información en Medios Masivos	\$ 139,005.70	\$ 254,095.70	\$ 324,483.80	\$ 351,962.90	\$ 355,337.10	\$ 371,054.70	\$ 431,566.90	\$ 453,141.50	\$ 463,161.90

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Gráfica 1.1 Participación porcentual



Cobertura del sector

La infraestructura en comunicaciones y transporte debe considerar diferentes áreas de desarrollo, con el fin de ampliar la conectividad integral entre los diferentes sistemas de transporte y promover el desarrollo económico en el país. Entre los programas que se deben realizar para lograr los objetivos anteriormente mencionados se encuentran los siguientes:

- Transporte logístico
- Infraestructura Carreteras
- Infraestructura Ferroviaria
- Infraestructura Aeroportuaria
- Infraestructura Portuaria
- Transporte Urbano Masivo
- Telecomunicaciones
- Infraestructura espacial

La región Sur-Sureste carece de conectividad entre las poblaciones que la integran debido a la falta de infraestructura carretera y sistemas de transportes adecuados. Por lo cual, el reto para esta región sería desarrollar infraestructura que sea capaz de movilizar a la población y, además, pueda enfrentar los retos meteorológicos, la orografía y la dispersión de la población.

Por el contrario, el Norte del país es una zona de alto comercio como resultado de la cercanía con la frontera con los Estados Unidos, por esta razón convendría la construcción de nuevos sistemas ferroviarios y carreteros para evitar la saturación de la frontera y los tiempos de espera que llegan a ser de hasta 2.5 horas.

En el Centro del país se presentan problemas de saturación en los accesos a las poblaciones urbanizadas, a pesar de que en esta zona es donde se cuenta con la mayor cantidad de caminos y carreteras. Este problema se explica por la concentración poblacional que se tiene en la Zona Metropolitana del Valle de México, resultado de la expansión de la población a las zonas limítrofes de la Ciudad de México. Es por ello que

es trascendente atacar los problemas de movilización mediante la creación de sistemas de transporte masivo como líneas del metro, autobuses de alta capacidad o teleféricos.

Objetivo del sector

El objetivo principal del sector es: *“contar con una infraestructura y una plataforma logística de transportes y comunicaciones modernas que fomenten una mayor competitividad, productividad y desarrollo económico y social”* (Presidencia de la República, 2014). De acuerdo con la STC, este objetivo pudo haber sido alcanzado mediante las siguientes estrategias:

1. México como una Plataforma Logística Global.

Para lograr convertir a México en una gran plataforma logística hacia finales de 2018 se pretendía construir una red de carreteras que conectaría las regiones del país con una posición estratégica. Además, se planeaba mejorar las redes ferroviarias que conectan con los puertos y, de esta forma, incrementar la capacidad de traslado de mercancías que llegan y salen de las costas mexicanas. Por último, se deseaba construir dos sistemas portuarios complementarios con la finalidad de aumentar las exportaciones a otros continentes.

2. México con una Movilidad de Pasajeros Moderna.

Se consideraron propuestas para resolver los problemas de transporte entre las comunidades, principalmente en las zonas metropolitanas a través de los sistemas ferroviarios y los sistemas de transportes masivos. Asimismo, se pensó en resolver el problema de saturación del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México con el fin de propiciar la movilidad aérea y la competitividad en el país.

3. México con Acceso Universal a la Banda Ancha.

Esta estrategia pretendía que México consiguiera acceso a internet de banda ancha como un derecho constitucional, invirtiendo en infraestructura de telecomunicaciones tanto terrestre como espacial.

Dichas estrategias se lograrían como consecuencia del aprovechamiento del Sistema Satelital Mexicano (MEXSAT) y la construcción de nuevas plataformas de lanzamiento espacial, las cuales también ayudarían a reducir los costos causados por la renta de plataformas e impulsarían desarrollo de la ciencia en México.

En las tablas 1.8, 1.9 y 1.10 se muestran los principales proyectos de inversión del sexenio y los montos aproximados que se planeaban invertir en cada uno de éstos en caso de que se implementaran las estrategias de: México como una Plataforma Logística Global, México con una Movilidad de Pasajeros Moderna y México con Acceso Universal a la Banda Ancha.

Como se mencionó anteriormente, algunos proyectos contemplados en el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 han sido pausados o cancelados debido a la recesión económica que ha atravesado el país en los últimos 4 años. Sin embargo, existen algunos proyectos de gran importancia para el país que comenzaron a construirse el año anterior, entre los que destaca la construcción del Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, el cual a pesar no haber sido considerado dentro del PNI se encuentra en la primera etapa de construcción como resultado de sus altos niveles de rentabilidad.

Tabla 1.8. México como una Plataforma Logística Global

Nombre de proyecto	Descripción proyecto	Monto de inversión (mdp)
Atizapán-Atlacomulco	Es una carretera importante en el centro del país, ya que representa una alternativa a las carreteras México-Querétaro y México-Toluca. Su construcción se comenzó en el 2014 y se espera que finalice al cierre de 2018.	5,860
Tenango-Malinalco-Alpuyeca	Es una nueva carretera que conectará el occidente del país con la Autopista del Sol, reduciendo el tránsito en la Ciudad de México. Se planeaba que la construcción diera inicio en 2015 y concluyera antes de 2018.	3,294
Nuevo Necaxa-Tihuatlán	Este proyecto favorece la conexión entre el Pacífico y el Golfo de México con el puerto de	2,730

	Tuxpan. La construcción comenzó en 2008 y finalizó en 2014.	
Ampliación del Puerto de Altamira	Es uno de los puertos más importantes del Golfo y su ampliación permitiría el ingreso de plataformas petroleras. Se esperaba que la ampliación iniciada en 2014 y finalizada en 2018.	10,700
Modernización del puerto de Mazatlán	Facilitará el comercio exterior, ya que en conjunto con la conexión existente de la carretera Durango-Mazatlán se agilizará el flujo de cargas internacionales en el centro del país; además, se reactivará el turismo en cruceros. Se comenzó a inicios de 2018 y se espera que se concluya a inicios de 2019.	10,667

Fuente: Plan Nacional de Infraestructura

Tabla 1.9. México con una Movilidad de Pasajeros Moderna

Nombre de proyecto	Descripción proyecto	Monto de inversión (mdp)
Apoyar el proyecto de Tren rápido Querétaro–Cd. De México	Se proyectaba que contara con 209.2 km de doble vía, de los cuales 124.7 km serían de nuevas vías. El objetivo de este proyecto era desahogar la carretera México-Querétaro. Se estimaba que su construcción estuviera empezada en 2014 y terminada en 2017.	43,580
Construir el Tren Interurbano México–Toluca (Primera Etapa)	Se construirá para liberar la carretera México-Toluca por medio de 6 estaciones. Su construcción inicio en 2014 y se estima que termine en el 2018.	38,608
Construcción del Tren Transpeninsular (primera etapa)	El objetivo de la construcción de este tren de pasajeros era fomentar la movilización en la península de Yucatán. Se estimaba su comienzo en 2014 para que finalizara en 2017.	17,954

Establecer un sistema de Transporte Masivo en el Oriente del Estado de México	Este proyecto consiste en la ampliación de la línea A del Sistema del Transporte Colectivo, lo cual brindaría alivio vehicular a la Calzada Ignacio Zaragoza y la Autopista México-Puebla, reduciendo el tiempo y costos de traslado a la población de la zona oriente. Se planeaba ejecutar su construcción en 2014 y finalizarla en 2017.	11,000
Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México,	Este proyecto no viene en el actual plan de desarrollo, ya que previo a su elaboración del mismo se encontraba en proceso de evaluación con el objetivo de conocer si era un proyecto socialmente rentable.	120,000

Fuente: Plan Nacional de Infraestructura

Tabla 1.10. México con Acceso Universal a la Banda Ancha

Nombre de proyecto	Descripción proyecto	Monto de inversión (mdp)
Ampliación de la red troncal de fibra óptica	Este proyecto consistía en ampliar la cobertura de internet de banda ancha con el despliegue de fibra óptica. El proyecto se planeó para ser iniciado en 2014 con el inicio de la concesión de CFE a TELECOMM.	9,750
Instalación de la red compartida de servicios Móviles	Sería una red compartida que utilizaría una banda de 700 Mhz y los recursos de la red troncal para ofrecer una cobertura y acceso inalámbrico de banda ancha a la población. Se proyectaba que la instalación iniciada en 2014 para comenzar operaciones en 2018.	130,000
Proyecto México conectado	Consiste en llevar servicios de banda ancha a sitios y espacios públicos como lo son: las escuelas, los hospitales, clínicas, bibliotecas, ayuntamientos, plazas, etc.	18,600

Sistema Satelital	Este sistema pretende proporcionar	8,217
Mexsat	comunicación satelital fija y móvil a través del despliegue de tres satélites.	

Fuente: Plan Nacional de Infraestructura

Respecto a los proyectos mencionados en las tablas anteriores, el tren interurbano México-Toluca es un proyecto que se encuentra con trabajos activos en los tramos I y II, ya que por problemas de derecho de vía y de presupuesto en la construcción del tramo III ha sido pausado; no obstante, éste es un proyecto que a enero del 2016 contaba con un avance de alrededor del 30% de acuerdo con datos de la SCT.

Por otro lado, en el proyecto de ampliación de la Línea A sólo se han realizado inversiones para la elaboración de anteproyectos, ya que con los recortes presupuestales que han existido por parte de la Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP) no ha sido posible comenzar con la construcción del proyecto. Además, la volatilidad de los precios de los materiales para la construcción y el tipo de cambio, han sido factores adicionales que han retrasado el inicio del proyecto.

Es importante mencionar que convendría evaluar cada uno de los proyectos propuestos en el Plan Nacional de Infraestructura de manera detallada, debido a que el Producto Interno Bruto del país depende en gran medida de la construcción de infraestructura. Por esta razón la presente tesis toma como caso de estudio uno de los proyectos importantes que forman parte del PNI.

2. Proyectos de Inversión

2.1. Definición de un proyecto de inversión

Antes de definir el concepto de proyecto de inversión es conveniente mencionar la definición de proyecto. Un proyecto puede definirse como una propuesta debidamente estructurada que utiliza recursos financieros y humanos para resolver un problema mediante una metodología previamente planeada. Por ejemplo, al momento de diseñar un puente se tiene como objetivo reducir tiempos de traslado entre dos localidades y se requiere de recursos (mano de obra, insumos, maquinaria, etc.); así como de un proyecto ejecutivo previamente realizado.

En línea con el párrafo anterior, un proyecto de inversión es aquel donde se tiene como objetivo la creación, ampliación o reemplazo de producción de bienes y servicios. Este tipo de proyectos se desarrollan tanto con fines públicos como privados. Los proyectos de inversión privados tratan de maximizar el rendimiento de los recursos invertidos para su ejecución, mientras que en los proyectos inversión pública buscan maximizar los beneficios netos para la sociedad, incluso en ocasiones no es necesario que se recuperen en su totalidad los recursos invertidos (Aguilera, 2011).

Los proyectos de inversión involucran cálculos y proyecciones financieras que permitan conocer la rentabilidad de producir un bien o servicio que satisfaga las necesidades humanas. Además, se pueden llevar a cabo por empresas o instituciones gubernamentales y, en ambos casos, se cumple con las siguientes características (Morales, 2009):

- La recuperación es a largo plazo.
- Son de carácter irreversible.
- Comprometen en gran medida los recursos de las organizaciones o personas.
- La inversión comprende la asignación de recursos con activos o actividades que permiten aumentar el valor de la empresa, persona o sociedad.

- Se exigen varios estudios que permiten justificar la viabilidad y recuperación¹ de la inversión.
- Aumentan el potencial de formación bruta de capital o ventajas de competitivas.

El horizonte de evaluación en la mayoría de los proyectos de inversión se realiza por lo general a largo plazo, ya que las inversiones requeridas en proyectos importantes suelen ser altas, lo cual se traduce en un mayor periodo de recuperación de los recursos inicialmente invertidos. Un ejemplo es la construcción de un edificio que tienen como fin generar utilidades mediante la renta de oficinas, la construcción puede tardar desde meses hasta varios años, todo dependerá de la cantidad de recursos empleados. Mientras menor sea el tiempo de construcción mayor será la inversión inicial necesaria, dado que se requerirá un mayor número de recursos, principalmente de mano de obra. Esta situación podría generar que el recuperar la inversión inicial pueda tomar varios años.

Otro punto importante a destacar es que las inversiones resultan ser de tipo irreversible, ya que una vez que se invierten recursos en la construcción o adquisición de algún activo, resulta casi imposible volver a recuperar en su totalidad estos recursos. Retomando el ejemplo del edificio, una vez que se construyen los cimientos de éste, ya no es posible recuperar la inversión destinada a esta partida, pues no sería posible reembolsar los gastos causados por la mano de obra, los materiales requeridos, y los insumos en general. Por lo cual únicamente se podría recuperar un valor de rescate de los activos que se hayan adquirido para realizar el proyecto (maquinaria de construcción, camiones, etc.).

2.1.1. Viabilidad de los proyectos de inversión

Antes de llevar a cabo una inversión se deben realizar diversas investigaciones con la finalidad de identificar la rentabilidad del proyecto. Estas investigaciones por lo general son de larga duración y requieren de importantes cantidades de recursos, tiempo y esfuerzo. Sin embargo, esto ayuda a reducir la incertidumbre generada ante proyectos novedosos y facilita la toma de decisiones.

Cabe mencionar que al emprender una inversión y, en general, durante la toma de decisiones deben considerar los siguientes principios básicos (Chain, 2008):

¹ El criterio de recuperación de la inversión dependerá de la metodología que se seleccione para la evaluación del proyecto.

1. El decisor por lo general será una persona con amplia experiencia en el sector donde se realice el proyecto.
2. El Comité Evaluador estará compuesto de analistas especializados.
3. Existirán variables controlables por el decisor.
4. Habrá variables que no puedan ser controladas por el decisor y que afecten al proyecto.
5. Se deberán considerar diferentes opciones o proyectos para resolver un problema o aprovechar una oportunidad de negocio.

El equipo de evaluación de proyectos tiene como responsabilidad proporcionar toda la información que le sea posible a la persona u organismo que toma las decisiones, de manera que resulta importante que en su investigación considere todas las opciones y soluciones viables que conduzcan a una decisión óptima.

Para lograr tener una decisión óptima deben realizarse diferentes estudios del entorno del proyecto, con el fin de conocer el impacto de las variables controlables y no controlables. A continuación se mencionaran algunos de los principales estudios que suelen realizarse para conocer el entorno al que se encuentra expuesto un proyecto:

- **El estudio del entorno demográfico.** Determina el comportamiento de la población atendida por otras organizaciones que tienen el mismo enfoque del proyecto que se desea desarrollar, ya que de esta forma se podría conocer su tasa de crecimiento, los procesos de migración, sexo, educación, ocupación, etc.
- **El estudio del entorno cultural.** Se hace un análisis para comprender los valores y el comportamiento de los clientes, proveedores, competidores y trabajadores. Por lo que resulta importante identificar sus valores y principios éticos, las creencias, normas, preferencias y las actitudes frente al consumo.
- **El estudio del entorno tecnológico.** Busca identificar tendencias de innovación tecnológica en los procesos de producción y administración con el fin de tener un proyecto competitivo.

Cabe mencionar que además es preciso estudiar la viabilidad del proyecto antes de tomar una decisión. Chain (2001) recomienda estudiar un mínimo de tres enfoques de viabilidad (técnica, económica y de gestión), pues de esto dependerá el éxito o el fracaso de la inversión. A continuación se mencionan los tres tipos más importantes, y algunas otras viabilidades que podrían resultar de importancia en algunos proyectos.

- 1. Viabilidad técnica.** Este estudio determina si es posible realizar un proyecto física o materialmente. Un ejemplo puede ser la construcción de un nivel adicional en un edificio, ya que si la cimentación no tiene la capacidad de carga necesaria para soportar el nivel adicional, no será posible construirlo. Para hacer este proyecto viable técnicamente deberá proponerse una solución a la cimentación, como la de los pilotes de control. Cabe señalar que ante una solución de este tipo deben considerarse costos y gastos adicionales.
- 2. Viabilidad económica.** A través de un análisis de costo-beneficio se busca saber si es rentable la inversión demandada por un proyecto. Además, también se analiza si es posible que la persona o institución que realiza el proyecto pueda solventar la inversión y los costos generados durante la ejecución del mismo. De lo contrario, se analiza la posibilidad de que se pueda adquirir un financiamiento.
- 3. La viabilidad de la gestión.** Determina si existen las capacidades administrativas y gerenciales para lograr una eficiente administración del proyecto. En caso de no ser así, debe estudiarse la posibilidad de conseguir el personal adecuado para llevarlo a cabo.
- 4. La viabilidad política.** Es cuando un proyecto se realiza sin tomar en consideración su rentabilidad dado que en la mayoría de los casos se trata de proyectos sociales. La persona que toma esta decisión de ejecutarlo es un funcionario público, y por lo general este tipo de proyectos suelen realizarse con motivo de algún compromiso de campaña política.
- 5. La viabilidad ambiental.** Determina el impacto que se tiene en el medio ambiente por la ejecución del proyecto. Para esto se deberán hacer inferencias técnicas (selección del sistema de evacuación de residuos),

legales (cumplimientos de las normas de impacto ambiental) y económicas (elegir la opción con el mejor rendimiento que cumpla con las normas establecidas en materia ambiental).

2.1.2. Etapas de un proyecto de inversión

Resulta importante distinguir las diferentes etapas o fases que existen en los proyectos de inversión, ya que esto nos permitirá planear y controlar su dirección. A continuación, se mencionan algunas de las principales etapas dentro de este tipo de proyecto (Aguilera, 2011).

Fase de preinversión

En esta fase se llevan a cabo todas las acciones requeridas para obtener información relevante que permita resolver un problema. Asimismo, se identifican y evalúan las posibles alternativas con el fin de ayudar a quién tomará la decisión de elegir la mejor alternativa. Dentro de esta fase se desarrollan las siguientes etapas:

- **Idea.** Es la etapa que surge cuando se comienza a identificar soluciones a un problema dado. Además, se evalúa si es posible continuar a la siguiente etapa y, de no ser así, se volverá a revisar el problema desde una perspectiva más amplia con el fin de buscar nuevas ideas.
- **Perfil.** Esta es una etapa de análisis con mayor precisión a las alternativas que se seleccionaron en la etapa anterior (idea). Si en la transición de la etapa anterior a esta se obtuvieron antecedentes nuevos y relevantes, pueden proponerse nuevas alternativas. Cabe destacar que en esta etapa ya se ha confirmado la factibilidad técnica de las alternativas, por lo cual se hará una comparación entre éstas, y se seleccionará la que resulte en primera instancia más adecuada para el proyecto.
- **Factibilidad.** Aquí se hace una evaluación más a detalle de la alternativa seleccionada, además, se comienza a desarrollar la ingeniería básica y se dan más especificaciones acerca del proyecto. Asimismo, se consolida la información contable y financiera del proyecto con base en estudios de mercado. Finalmente, se procede a la evaluación formal del proyecto, es decir, se consolida la información de costos y flujos esperados a fin de

proceder con la evaluación financiera, opciones reales para el estudio de la presente tesis. Esta etapa es la última de la fase de preinversión y de acuerdo a los resultados obtenidos se procederá a la fase de inversión, aunque, en caso de ser necesario se debe regresar a etapas anteriores o rechazar el proyecto.

La fase de preinversión debe considerar tanto el criterio del principio de la separabilidad como comparar los proyectos de evaluación con la situación base optimizada. El primer criterio nos permite identificar y evaluar los componentes del proyecto de manera individual con el fin de saber si estos serán o no considerados en la propuesta inicial. Mientras que el segundo principio consiste en definir una línea base de comparación a partir de la situación existente proyectada en el horizonte temporal de evaluación, considerando mejoras a partir de montos menores de inversión y cambios en la gestión actual.

Fase de inversión

Una vez que se termina la fase de preinversión se decide si el proyecto será llevado a cabo, se posterga o no se ejecuta. En caso de que se decida continuar con el proyecto, se procede a la fase de inversión en la cual se materializan las inversiones. Esta nueva fase se compone de las siguientes etapas:

- ***Diseño de ingeniería.*** En esta etapa se diseña la ingeniería de detalle de la alternativa seleccionada. Para esto se consideraran diseños estructurales, eléctricos, hidráulicos, mecánicos y todos los que sean necesarios para la correcta ejecución del proyecto.
- ***Organización.*** Es cuando se selecciona a la organización final para la ejecución y operación del proyecto. Esta etapa incluye los aspectos legales, administrativos, institucionales, financieros, y los que se refieren a recursos humanos. Asimismo, se da especial atención a la aplicación de técnicas para la programación y control de actividades.
- ***Construcción.*** Consiste en el desarrollo de obras civiles, de ingeniería y arquitectura; así como la instalación de maquinaria y equipo necesario para la operación del proyecto.

Fase de operación

Esta fase comienza una vez que la inversión materializada puede ser puesta en funcionamiento, es decir, cuando se termina con la construcción de la infraestructura del proyecto y el montaje del equipo necesario para el inicio de operaciones. Todo esto debe articularse manera óptima para poder obtener los beneficios esperados que justificaron la ejecución del proyecto. Las etapas más comunes durante esta fase son las siguientes:

- ***Puesta en marcha.*** Durante esta etapa se programa un periodo denominado marcha blanca, el cual permite detectar problemas de diferente naturaleza en el diseño, funcionamiento de equipos, la programación del trabajo, la dotación y capacitación del recurso humano, relaciones con proveedores y aspecto vinculados a la logística.
- ***Operación.*** Da inicio al proyecto y pone en funcionamiento todos los sistemas de planificación, programación y control de gestión de acuerdo a la naturaleza del proyecto.

Todas las fases anteriores tienen como objetivo que el proyecto sea consistente y eficiente mediante una relación lógica entre cada una de ellas. Asimismo, en estas fases se deberán cubrir los aspectos técnicos, económicos, financieros, legales o institucionales. Por último, en cada una de las etapas se evaluará si es conveniente continuar con el proyecto, abandonarlo o revisarlo por segunda ocasión.

Es importante mencionar que el proyecto puede ser abandonado en cualquiera de las fases anteriores de manera indistinta. Sin embargo, cuando el proyecto se encuentra en la fase de inversión o en una fase más avanzada deben considerar detenidamente las pérdidas asociadas, el valor residual del proyecto y los costos que implica la finalización del mismo.

Además, deberá considerarse la elaboración de una evaluación ex-post de proyectos inversión, de esta forma se podrían ver futuras líneas de expansión del proyecto, apoyándose tanto en los posibles cambios internos como externos a lo largo de la vida del proyecto. Logrando de esta forma dar valor agregado al proyecto y garantizando el futuro del mismo en los mercados competitivos.

2.2. Clasificación de los proyectos de inversión

Los proyectos de inversión por lo general son clasificados de acuerdo a los objetivos que tenga el inversionista y a la naturaleza de los mismos. Dentro de las principales clasificaciones se encuentran las siguientes (Morales, 2009):

a. Según el sector económico.

- Proyectos del sector primario. Son necesarios para llevar a cabo actividades como la caza, pesca, ganadería y silvicultura.
- Proyectos del sector secundario. Se realizan con la finalidad de transformar la materia prima en productos terminados como la ropa, gasolina, automóviles, muebles, etc.
- Proyectos del sector terciario. Este tipo de proyectos se componen de productos intangibles, puesto que son asignaciones de recursos orientadas a generar servicios al consumidor; por ejemplo, asesorías jurídicas, despachos financieros, bancos, aseguradoras, etc.

b. Según el punto de vista empresarial.

Esta es una clasificación que hace referencia a los proyectos de inversión que las empresas necesitan para mantenerse competitivas en el mercado.

- Proyectos de mantenimiento del negocio. Son inversiones que se refieren únicamente a la reposición de los equipos dañados para continuar con las operaciones. Un ejemplo es cuando se descomponen los servidores de un banco, donde resulta necesario repararlos de manera inmediata para continuar con las transacciones y operaciones.
- Proyectos de reducción de costos. Por lo general son proyectos que pretenden reducir los costos de producción y operación, una forma de hacerlo es sustituyendo equipos obsoletos. Además, estos proyectos tienen como objetivo reducir los costos de mano de obra, insumos y otros productos relevantes en las operaciones de la empresa.

- Expansión del portafolio de productos o mercados existentes. Son inversiones que consisten en la colocación de nuevas sucursales o canales de distribución que amplíen la cobertura del mercado. Para esto se requiere hacer previamente estudios de mercadotecnia con el fin de conocer el comportamiento de la oferta y demanda.
- Expansión hacia nuevos productos o mercados. Estas inversiones se realizan para producir nuevos productos o servicios que permitan adentrarse en mercados no atendidos previamente. Son proyectos que podrían cambiar la naturaleza del negocio y requieren fuertes inversiones a largo plazo.
- Proyectos ambientales. Este tipo de proyectos se emplean principalmente para adaptar las operaciones de la empresa con las regulaciones ambientales de cada país. Un ejemplo sería la implementación de nuevo equipo que emita menores cantidades de CO₂.
- Otros no incluidos en los anteriores. En esta categoría entran otros proyectos que son necesarios para la operación de la empresa, por ejemplo, edificios, oficinas, tecnología, etc.

c. Según su dependencia o complementariedad.

- Mutuamente excluyentes. Se les llama así a los proyectos que no pueden ser elegidos de manera simultánea, ya que por lo general no se cuenta con los recursos suficientes para poder realizar ambos. Un claro ejemplo puede ser cuando se tiene un presupuesto limitado y una empresa debe decidir entre abrir una nueva sucursal o ampliar la capacidad de las que se tienen actualmente.
- Independientes. Son proyectos que se pueden hacer de manera individual, es decir, la ejecución de un proyecto no requerirá la finalización de uno previo. Por ejemplo, una empresa puede estar realizando un proyecto de ampliación de capacidad a la par de la construcción de una nueva planta en otra región.

- Dependientes. Contrario a los proyectos independientes, esta situación se presenta cuando la ejecución de un proyecto depende de que se haya realizado otro previamente. Un ejemplo es la construcción de una presa, ya que es indispensable que previamente se hayan construido obras de desvío del cauce principal, caminos de acceso y viviendas para los trabajadores.

d. Según el sector de origen

- Sector privado. Son los proyectos que provienen de inversiones con capitales de particulares. Los indicadores de rendimiento están dados por las utilidades que pueda generar el proyecto, incluyendo el costo de financiamiento en caso de que sea necesaria la adquisición de deuda.
- Sector público. Estas inversiones se llevan a cabo tanto por el gobierno estatal como por el federal, y tienen como objetivo generar el mayor número posible de beneficios a la sociedad. La construcción de una carretera, por ejemplo, trae como beneficios: la reducción de tiempos, consumo de combustibles, incrementa el comercio, etc.
- Participación mixta. En este tipo de proyectos hay inversión conjunta del gobierno y de las instituciones privadas, con la finalidad de generar productos o servicio necesarios para la población que también sean rentables para las instituciones privadas. Entre este tipo de proyectos se encuentran: la construcción de parques de generación eléctrica, carreteras, vacunas, aeropuertos, entre otros.

e. Según la situación del mercado.

- Mercados de exportación. El origen de estos proyectos se atribuye principalmente a las siguientes razones:
 - Cuando un país posee recursos naturales en abundancia. Por ejemplo, el aguacate en México, el petróleo en los Emiratos Árabes Unidos, el acero en China, etc.

- Si un país tiene ventajas competitivas en la producción de bienes o servicios. Por ejemplo, electrodomésticos en Japón, relojes en Suiza, whisky en Inglaterra, etc.
 - Sustitución de importaciones. Estos proyectos tratan de evitar las importaciones de algunos bienes o servicios. Para esto algunos gobiernos suelen dar apoyos a empresas con el fin de aumentar la producción de productos que tengan un déficit comercial.
 - Aumento de demanda o demanda insatisfecha por bienes y servicios. Se trata de invertir en activos fijos que incrementen la capacidad de producción con el objetivo de satisfacer la demanda del mercado.
- f. Proyecto de inversión generados por las políticas del país.
- Derivados de los planes de desarrollo de algún sector. Se encuentran principalmente en los planes de desarrollo de infraestructura, como la ampliación de la línea A del Sistema del Transporte colectivo (STC), con el fin de movilizar la economía en la zona y generar beneficios netos sociales. También, pueden incluirse los proyectos de desarrollo de otros sectores como el siderúrgico, agroalimentario, turismo, etc.
 - De acuerdo con las estrategias del país. Son proyectos que surgen cuando una nación quiere impulsar una industria en específico, por ejemplo, Estados Unidos de América ante la presencia de los competidores asiáticos en la industria automotriz decidió apoyar a empresas como Ford, General Motors y Chrysler con el fin de mantener activas a estas empresas, evitando problemas de desempleo.
- g. De acuerdo a la forma en que se revisa o aprueba un proyecto.

Aquí deben considerarse los actores involucrados en la revisión o aprobación de un proyecto de inversión.

- Grupo de inversionistas. Evalúan el proyecto para decidir si éste cumple con sus intereses y si es conveniente ejecutarlo.
- Comité de aprobación de crédito de un banco. Pueden existir los siguientes tipos:

- Banco de desarrollo. Atiende a los sectores de la economía que no cuentan con bancos comerciales.
- Banca privada. Su objetivo es la obtención de rendimientos como consecuencia de los préstamos que realizan, lo anterior siempre asumiendo el riesgo implícito de incumplimiento.
- Autoridades. Se vigila el cumplimiento de los requisitos legales, impositivos, ecológicos y sanitarios, entre otros.
- Dependencia de la Administración Pública Federal. Exige que se cumplan los lineamientos determinados por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, en el caso de México, para la evaluación de proyectos.

2.3. Metodologías para la evaluación privada

La evaluación de proyectos tiene como objetivo identificar, medir y valorar costos y beneficios de un proyecto de inversión con el objetivo de decidir si conviene ejecutarlo o rechazarlo. El resultado de la evaluación de un proyecto es un parámetro técnico-económico que nos permite conocer la rentabilidad del mismo y facilita la toma de decisiones a los inversionistas.

Para evaluar un proyecto se comparan los costos y beneficios, y si no existe una restricción presupuestaria, se podrán aceptar los proyectos que resulten rentables. Si existe una restricción presupuestaria, se pueden ordenar los proyectos de mayor a menor rentabilidad para poder ejecutarlos en la medida que se tengan recursos disponibles.

Existen diversos tipos de evaluación de proyectos, los cuales dependen de los propósitos generales del proyecto y del origen de sus recursos. A continuación se presentan los tipos de evaluación de proyectos más comunes (Aguilera, 2011):

1. **Evaluación económica.** Se analiza el proyecto a través de los flujos de los beneficios y costos durante la vida útil del proyecto, sin considerar flujos financieros. Supone que no hay préstamos de capital ni créditos de compra-venta, es decir, el proyecto se financia totalmente con capital propio y las transacciones implícitas se realizan al contado. Para dicha evaluación se utiliza una tasa de descuento ajustada al riesgo de la industria que ejecuta el proyecto.

2. **Evaluación financiera.** Se analiza el proyecto a través de sus flujos de ingresos y egresos durante su vida útil, considerando todos los flujos financieros relacionados con el mismo (préstamos, subsidios del estado, donaciones, etc.). Cabe mencionar que para esto deberá establecerse una tasa de descuento que considere los efectos del financiamiento, y con base en esto se podrá decidir si el proyecto resulta rentable ante esta situación.
3. **Evaluación social.** Este tipo de evaluación estudia todos los costos y beneficios implícitos de un proyecto en la sociedad, es decir, se evaluará qué beneficios puede tener la sociedad tanto de manera directa como indirecta por la ejecución de un proyecto. Asimismo, se deberá hacer un análisis de cómo afecta el nuevo proyecto en la riqueza nacional, con la finalidad de seleccionar aquellos que promuevan el desarrollo y crecimiento del país.

Una diferencia importante entre la evaluación social y la financiera-económica, es que en esta última se utilizan los precios de mercado para cuantificar costos y beneficios, los cuales dependerán de la oferta y demanda del mercado donde se compran; así como de la imposición de impuestos y aranceles. Por el contrario, la evaluación social considera precios sociales, los cuales son libres de aranceles e impuestos nacionales debido a que son las propias dependencias gubernamentales las que los implementan; sin embargo, si los productos necesarios para la construcción u operación del proyecto son adquiridos en el extranjero, éstos no quedarían exentos y sus precios podrían ser muy similares a los del mercado.

Asimismo, la evaluación privada sólo toma en cuenta los efectos directos generados por la implementación del proyecto, mientras que la evaluación social valora tanto los efectos directos como los indirectos en las entidades afectadas con la ejecución del proyecto. Por otro lado, en la evaluación social de proyectos generalmente se consideran dos situaciones: situación con proyecto y sin proyecto. Lo anterior se hace con el fin de conocer los beneficios netos que se generan a la sociedad una vez concluido el proyecto.

Tasa de rendimiento

La tasa de rendimiento es aquella que se emplea para descontar los flujos de efectivo en el tiempo, es decir, mediante esta tasa es posible conocer el valor presente de los flujos de efectivo. Es por esto que esta tasa debe incluir un análisis del entorno en el

que se realizará el proyecto, destacando las fuentes de recursos a las que se recurrió para reunir los fondos suficientes para ejecutar el proyecto.

Por lo general en los proyectos de inversión suele utilizarse como tasa de rendimiento el Costo de Capital Promedio Ponderado (WACC, por sus siglas en inglés). La WACC es una tasa que considera los recursos provenientes tanto de un préstamo (bancario o bursátil) como del patrimonio neto de la entidad que realiza el proyecto².

Generalmente el inversionista que realiza el proyecto suele fijar una tasa mínima de rendimiento o costo de oportunidad que deben aportar los proyectos de inversión o, si es el caso, deberá analizar si resulta conveniente realizar un proyecto que se encuentre por debajo de la tasa de rendimiento mínimo. Algunos criterios para establecer la tasa mínima de rendimiento son los siguientes (Morales, 2009):

- Costo de capital de los fondos que se utilizaran para el financiamiento del proyecto de inversión.
- La tasa de rendimiento histórica de los activos de la empresa que llevaron a cabo el proyecto de inversión.
- Rendimientos libres de riesgo que otorgan los instrumentos financieros del mercado. Por ejemplo, en México esta tasa es dada por los CETES (Certificados de Tesorería de la Federación).
- El riesgo específico del proyecto de inversión.
- Las políticas de la empresa que deben cumplir los proyectos de inversión, en el sentido del rendimiento que deben generar.
- La importancia del proyecto de inversión en la planeación estratégica de la empresa.

A continuación, se mencionan las metodologías comúnmente empleadas en la evaluación privada. Cabe señalar que en algunas de ellas se considera el valor del dinero en el tiempo y en otras es irrelevante (periodo de recuperación).

² Para analizar más a detalle la teoría de la WACC se sugiere consultar libro escrito por Weterfield (2012), p.392.

2.3.1. Valor Presente Neto (VPN)

Se puede definir al Valor Presente Neto³ como la suma de los valores actuales de los flujos netos de efectivo menos la suma las inversiones en el año cero. Es decir, los flujos netos de efectivos futuros son traídos a su valor actual mediante una tasa de descuento apropiada, para posteriormente descontarle las inversiones iniciales. Asimismo, en caso de que se realicen más inversiones después del primer año, éstas deberán ser traídas a valor presente mediante la tasa de descuento. A continuación, se presenta la expresión utilizada para calcular el valor presente neto, de acuerdo a lo anteriormente dicho:

$$VPN = -I_0 + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n} = -I_0 + \sum_{t=0}^n \frac{FNE_t}{(1+i)^t} \quad (2.1)$$

donde:

VPN: Valor presente neto

I_0 : Inversión inicial neta

FNE_t : Flujo Neto de Efectivo en el periodo t

i: Tasa de rendimiento efectiva

t: periodo en el que se genera el Flujo Neto de Efectivo

Una vez que se obtiene el Valor Presente Neto por medio de la expresión anterior, se pueden presentar los siguientes resultados:

- 1) El VPN mayor a cero, lo cual quiere decir que el proyecto de inversión logró generar ganancias después de haber recuperado la inversión inicial y el costo de capital correspondiente. Por lo tanto, el proyecto es muy atractivo y debe ser aceptado.
- 2) El VPN igual a cero, esto se traduce en que cuando menos se recuperó la tasa de descuento; sin embargo, no se obtuvieron beneficios adicionales. Por lo general este tipo de proyectos serán rechazados, no obstante, todo dependerá de los fines por los que se realiza el proyecto.

³ También se le conoce como Valor Actual Neto (VAN).

- 3) El VPN menor a cero, significa que no se logró recuperar la inversión inicial ni la tasa de descuento. Por lo tanto, el proyecto no es rentable y debe rechazarse su ejecución.

El emplear la metodología del VPN conlleva tanto ventajas como desventajas:

Ventajas

- 1) Se considera el valor del dinero en el tiempo.
- 2) Suele incluirse una tasa de rendimiento ajustada al riesgo.
- 3) Se consideran los efectos inflacionarios al momento de proyectar los flujos de efectivo.

Desventajas

- 1) En ocasiones, la tasa mínima de rendimiento suele determinarse bajo el criterio del inversionista de una forma muy optimista o pesimista,
- 2) El costo de capital pudo haber sido mal calculado, no reflejando la situación económica del entorno.
- 3) La tasa descuento puede no ser la misma durante la vida útil del proyecto, ya que evidentemente existirán cambios económicos- financieros con el tiempo.

2.3.2. Tasa Interna de Rendimiento (TIR)

La Tasa Interna de Rendimiento (TIR) es definida como la tasa de descuento que iguala el valor presente neto a cero, es decir, la tasa de descuento que ocasiona que los flujos netos de efectivo sean iguales al monto total de la inversión. La regla de la TIR consiste en que mientras ésta sea mayor a la tasa mínima de rendimiento en un proyecto de inversión⁴, éste será aceptado. Entonces, para calcular la TIR de un proyecto de inversión se utiliza la siguiente expresión:

$$\sum_{t=0}^n \frac{FNE_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 = 0 \quad (2.2)$$

⁴ En proyectos financiados pasa lo contrario, ya que el proyecto será aceptado siempre y cuando la TIR sea menor a la tasa de descuento.

donde:

I_0 : Inversión inicial neta

FNE_t : Flujo Neto de Efectivo en el periodo t

TIR: Tasa Interna de Rendimiento

t : periodo en el que se genera el Flujo Neto de Efectivo

Dada la complejidad de la expresión anterior para proyectos con duración mayor a dos años, la TIR se puede obtener a través de las siguientes metodologías:

1. Método gráfico. Se deberán obtener dos valores de la evaluación: uno debe ser positivo y otro negativo con el fin de obtener una gráfica que nos permita observar el perfil de los flujos descontados y, de esta forma, poder identificar cuando la tasa de rendimiento es igual a cero. Análogamente se podrían calcular diferentes valores de los descuentos. Para construir esta gráfica en el eje de las abscisas se registran los valores de la tasa de rendimiento, mientras que en el eje de las ordenadas se grafican los valores del VPN obtenidos en cada tasa de rendimiento.
2. Método de interpolación. Consiste en proponer una tasa de interés baja y otra alta con el objetivo de obtener una tasa intermedia (interpolada). Esta tasa es sustituida en la fórmula de la TIR, si esta tasa es igual a cero el método concluye y dicha tasa es la TIR, pero si resulta diferente de cero es necesario volver a interpolar hasta tener un valor muy cercano a cero.

Cómo se mencionó anteriormente obtener la TIR directo de su expresión matemática resulta complicado, pero con los avances tecnológicos de las calculadoras y los programas computacionales se puede obtener dicha tasa de manera precisa y rápida.

A diferencia del VPN, el método de la TIR puede presentar problemas cuando se presentan raíces múltiples, ya que dificulta al inversionista la toma de decisiones. Sin embargo, sigue siendo un método muy empleado en la práctica, ya que con un sólo parámetro se puede hacer la selección de proyecto óptimo, además, es una metodología muy fácil de aplicar con el apoyo de equipos de cómputo.

2.3.3. Periodo de recuperación

Esta metodología consiste en determinar el tiempo requerido para recuperar la inversión inicial neta, es decir, en cuántos años los flujos netos de efectivo serán iguales a

la inversión neta inicial. Cabe señalar que este método no considera que el valor del dinero cambia durante el tiempo y, por lo general, se propone una fecha límite de manera arbitraria con base en las necesidades de quién realiza el proyecto. Lo anterior con la finalidad de descartar aquéllos proyectos que tomen más tiempo del que se haya fijado como límite.

Dentro de las ventajas de este método se encuentran las siguientes:

- Es útil para comparar proyectos que tienen vidas económicas iguales y flujos netos de efectivo uniformes.
- Los cálculos resultan sencillos y fáciles de interpretar.
- Ayuda a estimar los plazos en el desarrollo de proyectos.

Por otro lado, las desventajas de emplear la metodología son las siguientes:

- No considera el valor del dinero en el tiempo.
- La evaluación no considera los plazos posteriores al periodo de recuperación, por lo que se podrían estar perdiendo flujos netos de efectivo importantes en el futuro.

Por lo general el método es empleado en grandes compañías para tomar decisiones en proyectos que no tienen demasiada relevancia, por ejemplo, construir un almacén o rentarlo para guardar materias primas necesarias para la producción de inventario.

Método del periodo de recuperación descontado

Es una variante del método de periodo recuperación, la diferencia radica en que en esta nueva metodología se considera el valor de dinero en el tiempo y es necesario asignar una tasa de descuento. Por lo tanto, el periodo de recuperación descontado será cuando los flujos netos de efectivo descontados sean iguales a las inversiones netas en el año cero.

Inicialmente podría considerarse como una buena alternativa para la evaluación de proyectos, pero presenta dos inconvenientes similares a los del método del periodo de recuperación clásico. El primero es que el periodo de recuperación asignado para seleccionar los proyectos es arbitrario, el segundo es que tampoco se consideran los flujos netos de efectivo que se generan después del periodo de recuperación, por lo que se podría estar rechazando proyectos con gran valor en el futuro. Además, hay que considerar que si

se están descontando los flujos netos de efectivo del proyecto convendría utilizar mejor la metodología del Valor Presente Neto.

2.4. Metodologías para la Evaluación Social de Proyectos

A continuación se explicarán los conceptos esenciales de la evaluación de social de proyectos, ya que el caso de estudio en la presente tesis es acerca de un proyecto social donde los recursos provienen tanto del gobierno estatal como del federal. Además, resulta importante evaluar los proyectos de inversión pública de manera adecuada, pues se requieren de grandes inversiones para ejecutarlos, y si no se hace una selección correcta la sociedad sería la más afectada.

Como ya se ha mencionado previamente, la evaluación social de proyectos tiene como objetivo seleccionar a aquellos proyectos que maximicen el bienestar social y contribuyan al desarrollo del país, es decir, se deberán seleccionar únicamente los proyectos que den como resultado una mayor disponibilidad de bienes y servicios a la sociedad.

Un primer inconveniente que presenta este tipo de evaluación frente a la evaluación privada es que se deben de considerar precios sociales que suelen ser más difíciles de conseguir, ya que estos eliminan distorsiones típicas de los precios de mercado como los impuestos, subsidios o precios monopólicos. Además, otra variable a considerar en la evaluación social de proyectos es la tasa de descuento que se empleará para conocer el valor de los costos y beneficios a través del tiempo. Para esto se utiliza una tasa ajustada a las perspectivas de crecimiento económico de país, la cual se conoce como Tasa Social de Descuento⁵ (TSD).

En la evaluación social de proyectos también resulta importante considerar los efectos indirectos que puedan surgir por un proyecto público, es decir, los cambios que se generan en las condiciones de mercado (oferta y demanda) de otros bienes y servicios no directamente relacionados con el proyecto de evaluación. Esto en ocasiones puede resultar una tarea complicada, pero es importante realizar un análisis detallado de los efectos secundarios, dado que estos proyectos presentan grandes impactos en el entorno que se realizan. Por ejemplo, se puede tomar la decisión de realizar una carretera para reducir

⁵ En México la Tasa Social de Descuento es determinada por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) dependiendo de las situaciones económicas que se presenten en el país. Actualmente esta tasa es del 10%.

tiempos de traslado entre poblaciones; sin embargo, esto también impulsaría la apertura de nuevos negocios en los poblados por donde cruce el trazo de dicha carretera, promoviendo el desarrollo económico de la región.

La mayoría de las evaluaciones de proyectos sociales se basa en un enfoque costo-beneficio, el cual consiste en comparar los beneficios que se generan con la incorporación del proyecto contra los costos implicados en el desarrollo de dicho proyecto. Es por esto que resulta conveniente que tanto como los beneficios como los costos sean debidamente identificados, cuantificados y valorados en términos sociales; así como descontados a la Tasa Social de Descuento vigente.

2.4.1. Valor Presente Neto Social (VPNS)

Esta metodología es muy similar a la empleada en la evaluación de proyectos privados, ya que se considera que el valor de los costos y los beneficios cambian a través del tiempo. La diferencia principal radica en que para descontar los Beneficio Netos (beneficios nominales menos los costos nominales) obtenidos se deberá emplear la Tasa Social de Descuento. A continuación se muestra una expresión para obtener el Valor Presente Neto Social:

$$VPNS = \sum_{t=0}^n \frac{BN_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (2.3)$$

donde:

I_0 : Inversión inicial neta

VPNS: Valor Presente Neto Social en el año cero.

BN_t : Beneficios Netos en el valor de en el año t .

r : Tasa Social de Descuento.

Cuando se tiene una restricción presupuestaria o no existan otros proyectos alternativos, se procederá a aceptar el proyecto siempre y cuando el VPNS resulte positivo. En caso contrario se deberá rechazar el proyecto de inversión, ya que sería un proyecto que perjudicaría a la sociedad; además, cuando existan proyectos mutuamente excluyentes se deberá aceptar el proyecto que presente el mayor VPNS.

2.4.2. La Tasa Interna de Retorno Social (TIRS)

Al igual que la Tasa de Interés de Retorno utilizada en la evaluación de proyectos privados, la Tasa Interna de Retorno Social se define como la tasa de descuento que iguala a cero el Valor Presente Neto Social de un proyecto de inversión. Una vez que se obtiene el valor de la TIRS se compara con el valor de la TSD. Si la TIRS es mayor que la TSD, el proyecto es conveniente para la sociedad y deberá realizarse. En caso contrario, la recomendación sería no realizar el proyecto, pues no sería socialmente rentable. El cálculo de la TIRS se hace mediante la siguiente expresión:

$$\sum_{t=0}^n \frac{BN_t}{(1 + TIRS)^t} - I_0 = 0 \quad (2.4)$$

donde:

I_0 : Inversión inicial neta

TIRS: Tasa Interna de Retorno Social

BN_t : Beneficios Netos en el año t .

Cuando los proyectos muestran un comportamiento irregular en sus flujos, es decir, se presentan dos o más cambios de signos, se puede presentar más de una TIRS que cumpla la condición de que el VPNS sea igual a cero. Por lo tanto, el emplear este método podría dar resultados ambiguos en algunas ocasiones, en este sentido resultaría conveniente aplicar otro método como el del VPNS.

La aplicación de la TIRS ofrece resultados adecuados bajo las siguientes condiciones que deberán darse conjuntamente (Aguilera, 2011):

- Existencia de proyectos alternativos que no sea mutuamente excluyentes, donde la TIRS sea mayor que la Tasa Social de Descuento.
- No existan restricciones financieras para un conjunto de proyectos evaluados.
- El flujo de beneficios netos cambie de signo solo una vez a lo largo de la vida del proyecto.

Pese a sus limitaciones la TIRS suele usarse con frecuencia debido a que las personas que toman las decisiones en instituciones gubernamentales no tienen una formación académica relacionada con finanzas públicas, asimismo, estas personas suelen estar familiarizadas con el sector privado donde la metodología de la TIR suele ser muy empleada. Por esto razón, resulta conveniente utilizar como complemento el VPNS con el fin de tomar mejores decisiones.

2.4.3. La Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI)

La Tasa de Rentabilidad Inmediata o Tasa de Retorno Inmediato (TRI), es un indicador que se aplica comúnmente para determinar el momento óptimo de la inversión y, por consiguiente, el inicio de operaciones del proyecto y de la generación de los beneficios netos que sustentan la iniciativa. En términos generales, es un indicador que ayuda a tomar decisiones respecto a la programación temporal de inversiones, complementando la evaluación social del proyecto bajo una metodología diferente.

Es conveniente utilizar este indicador cuando se requieren tomar decisiones respecto a postergar o anticipar una determinada inversión. De esta forma se puede elegir el mejor momento desde el punto de vista de evaluación social para realizar la inversión e iniciar el flujo de beneficios netos. Cabe mencionar que el momento óptimo para invertir es cuando se maximiza el VPNS, es decir, invertir antes o después de ese momento óptimo se traduce en un menor VPNS. De esta forma, para determinar el momento óptimo de la inversión se calcula la Tasa de Rentabilidad Inmediata a partir de la siguiente expresión:

$$TRI = \frac{BN_t}{I_0} \quad (2.5)$$

donde:

TRI: Tasa de Rentabilidad Inmediata.

BN_t : Beneficio Neto correspondiente al año t.

I_0 : Inversión inicial en el año cero.

Para determinar el momento óptimo de la inversión se debe seguir la regla de la TIR, la cual menciona que cuando TRI sea inferior a la TSD el inicio del proyecto deberá postergarse y, viceversa, cuando la TRI sea mayor a la TSD se comenzarán la construcción o implementación del proyecto.

Por último, es importante mencionar que para la construcción de este capítulo se emplearon las obras de De Lara (2007), Berk (2008), Coss Bu (1995), Chain (2001, 2008, 2011), Garmendia (2008), Gatti (2008), Martínez (2006), Morales (2009), Pérez (2008) y Aguilera (2011).

3. Evaluación de proyectos mediante opciones reales

3.1. Definición de opciones reales

Existen diferentes maneras de definir el concepto de opción real de acuerdo con diversos autores, pero una de las más adecuadas es la siguiente:

“Es el derecho, más no la obligación, de adquirir un activo real mediante el pago de una cantidad monetaria previamente pactada en un tiempo determinado. El activo real puede ser un proyecto de inversión, un inmueble, una empresa, una patente, etc.” (Mascareñas, 2007).

Al realizar un análisis con opciones reales se está valorando la flexibilidad de un proyecto en la toma de decisiones, en otras palabras, se tiene la libertad de tomar una decisión que modifique de manera parcial o total un proyecto. Entonces, siempre que exista flexibilidad de escoger entre diferentes caminos en un proyecto, existirán opciones reales con valores diferentes. Por el contrario, si no se tiene flexibilidad en un proyecto, no existirán opciones reales que aporten valor agregado al mismo.

Por lo general resulta conveniente aplicar la metodología de opciones reales cuando existen altos niveles de incertidumbre y ésta responde de manera flexible a la nueva información que se va generando. Asimismo, la metodología también puede emplearse cuando el VPN se encuentra muy próximo a cero, ya que si éste es muy positivo el proyecto será aceptado sin necesidad de hacer un análisis mediante opciones reales (Mascareñas, 2005).

Cabe mencionar que las opciones reales también pueden emplearse una vez que el proyecto de inversión ha comenzado operaciones, ya que en ocasiones es necesario decidir si es conveniente continuar con el proyecto o si es mejor detener las operaciones durante un periodo determinado. Asimismo, se puede considerar la opción de expandir un proyecto o diferir el inicio de una nueva línea de negocio planeada con antelación.

Por otro lado, resulta importante la utilización de la metodología de opciones reales en aquellas organizaciones o instituciones que presenten las siguientes características (Lamothe y Méndez, 2013):

- Cuentan con directivos con un alto nivel de experiencia que son capaces de identificar y crear opciones reales que generen valor en los proyectos de inversión.
- Son instituciones líderes en su mercado y cuentan con gran capacidad de aprovechar las economías a escala, economías de alcance, etc.
- Participan en mercados con un alto nivel de incertidumbre como los que se encuentran en la “Nueva Economía” (empresas tecnológicas, biotecnológicas, robótica, y programas en general de investigación y desarrollo).

3.1.1. Opciones reales y financieras

Las opciones reales se pueden considerar como una extensión de las opciones financieras. Es conveniente recordar que estas últimas son aquellas que tienen como activo subyacente al precio de una acción, un índice bursátil, *commodities*, una divisa, tasas de interés, etc. Mientras que una opción real es aquella cuyo activo subyacente es un activo real como un inmueble, una empresa, un proyecto de inversión, una patente, etc. A continuación en la tabla 3.1 se muestran las variables necesarias para calcular el valor tanto de las opciones financieras como de las reales.

Tabla 3.1 Variables empleadas para el calcular el valor de las opciones financieras y reales.

Variable	Opción financiera	Opción real
S	Precio del activo financiero	Valor de los activos a adquirir
X	Prima	Inversiones requeridas para adquirir un activo real
t	Tiempo hasta el vencimiento	Tiempo que puede demorar la decisión de inversión
σ	Desviación estándar de los rendimientos del activo financiero	Riesgo del activo subyacente
r_f	Tasa libre de riesgo	Valor del dinero en el tiempo
D	Dividendo del activo subyacente	Flujos de efectivo futuros a los que se renuncia por no ejercer la opción.

Fuente: Mascareñas (2005)

Otra diferencia importante entre las opciones reales y financieras radica en que estas últimas se pueden negociar en cualquier mercado competitivo, mientras que las opciones reales no se negocian en ningún mercado, ya que su función es ayudar en la toma de decisiones estratégica en los proyectos de inversión.

3.1.2. Opciones reales como una filosofía

En la actualidad muchos autores consideran a las opciones reales como algo que va más allá de un instrumento de evaluación, y las definen como una forma de pensar que une el pensamiento estratégico y las finanzas corporativas. A continuación se describen de manera breve los componentes de la filosofía de opciones reales (Martínez, 2006):

- Los derechos contingentes. Las opciones reales permiten actuar en diferentes direcciones dependiendo de las circunstancias que rodean al activo subyacente.
- Congruencia con el mercado. La valuación de las opciones reales se alinea con la del mercado financiero, ya que tanto la teoría como la información del mercado financiero se utilizan para obtener el valor de los activos reales.
- Diseño y gestión de inversiones estratégicas. Este proceso se compone de dos fases: la identificación y evaluación de las opciones reales en los proyectos de inversión de tipo estratégico; el rediseño del proyecto para aumentar el valor de las opciones; y la gestión del proyecto a través de opciones reales.

La metodología de opciones reales en muchos casos resulta muy útil en la planeación de proyectos, ya que nos permite hacer un análisis estratégico para enfrentar los diferentes escenarios que se pueden generar durante el tiempo de vida del proyecto. Además, las opciones reales permiten a los directivos centrar su atención sobre el valor de flexibilidad que tiene el proyecto. De tal forma que al incorporar la flexibilidad operativa a los proyectos de inversión, se pueda administrar de manera más eficiente el riesgo implícito.

Una de las grandes ventajas del análisis de opciones reales es que al estar en un ambiente de incertidumbre se pueden descomponer proyectos de gran escala en subproyectos básicos, lo cual facilita el análisis. Por ejemplo, en los proyectos del desarrollo de un nuevo fármaco resulta más fácil descomponer el proyecto en varias etapas, partiendo

de la investigación y desarrollo hasta la el lanzamiento del producto al mercado (Martínez, 2006).

El análisis mediante opciones reales puede mostrar conclusiones diferentes a las del conocimiento económico tradicional. Por ejemplo, los economistas tradicionales señalan que la producción debe detenerse cuando el ingreso unitario marginal desciende por debajo del costo variable unitario marginal; sin embargo, el análisis de opciones reales puede demostrar que podría ser conveniente producir en dichas condiciones, ya que se debe considerar el costo implicado por detener las operaciones y en la reapertura de las mismas.

Desde un punto de vista estratégico es conveniente aplicar la metodología de opciones reales cuando se pretende entrar a un mercado nuevo o con poco nivel competitivo, debido al alto nivel de incertidumbre. No obstante, este tipo de mercados son muy atractivos dado que podrían presentar un punto de inflexión en el futuro, lo cual beneficiaría a los primeros inversionistas que participen en dicho mercado.

3.1.3. Tipo de opciones reales

El enfoque de opciones reales incorpora un modelo de aprendizaje que permite a la administración hacer mejores estrategias para la toma de decisiones cuando los niveles de incertidumbre se reducen a través del tiempo (inversiones dinámicas). Por otro el contrario, el método tradicional del VPN asume una decisión de inversión estática y, por tanto, no se tiene la oportunidad de seguir diferentes alternativas durante la vida del proyecto.

Hoy en día muchos negocios y proyectos se enfrentan con el riesgo y la incertidumbre, por lo cual se recurre a las opciones reales con el fin de tomar mejores decisiones y crear estrategias. A continuación se describirán algunas de las opciones más empleadas en la evaluación de proyectos de inversión (Martínez, 2006).

1. Opción de aplazar o diferir la inversión. Opción empleada cuando es posible esperar un tiempo determinado para comenzar la ejecución de un proyecto, ya sea para obtener mayor información del mismo o porque se espera que las condiciones del mercado sean favorables (reducción de tasas, menores costos, mayores ingresos, etc.). En términos generales, se evalúa la conveniencia de iniciar un proyecto hasta que las condiciones sean favorables y pueda generar valor para los inversionistas.

2. Opción de abandono o desinversión. Es un caso que se presenta cuando el proyecto tiene la flexibilidad de poder detenerse parcial o totalmente una vez que se ha iniciado. En este caso la inversión se llevaría a cabo por etapas y al final de cada una de estas se toma la decisión de continuarlo o abandonarlo. En caso de que se realizaran todas las inversiones, no sería conveniente utilizar una opción de abandono, ya que por lo general las inversiones son de carácter irreversible.
3. Opción de expansión. Esta opción da al inversionista el derecho y la capacidad de expandirse en diferentes mercados, productos y estrategias. Este tipo de opciones puede ser una solución cuando se han realizado todas las inversiones correspondientes a un proyecto y este no funcionó como se esperaba, ya que puede ser utilizando para otros fines y mercados.
4. Opciones de cambio. Son opciones que se ocupan cuando los precios o la demanda comienzan a fluctuar, en estos casos la administración puede modificar la producción (flexibilidad de producto). Alternativamente, los productos pueden ser producidos utilizando diferentes tipos de insumos (flexibilidad de procesos o tecnologías).
5. Opción de reducción. Se refiere a la opción de disminuir las operaciones en una empresa o contraer un proyecto de inversión, con la finalidad de evitar pérdidas si en el futuro no se tienen condiciones favorables. Es decir, si las condiciones del mercado resultaran contrarias a lo esperado, el inversionista podría optar por reducir los alcances del proyecto.
6. Opción de aprendizaje. Estas opciones surgen cuando los inversionistas cuentan con la posibilidad de invertir recursos para adquirir información y conocimiento que permitan de manera más rápida estimar las condiciones del mercado en el lanzamiento de un nuevo producto, los precios esperados del mismo, los compradores potenciales, etc.
7. Opción compuesta. Este tipo de opción permite que se genere otra opción cuando ésta es ejercida. Por lo general este tipo de opciones suelen aplicarse en inversiones secuenciales o por etapas. Por ejemplo, después de que se realiza la primera inversión en un proyecto se da el derecho al inversionista de emplear una opción de crecimiento o de abandono.

Los tipos de opciones mencionados anteriormente son empleados en diversas industrias como una herramienta estratégica para la toma de decisiones. Entre las industrias que más emplean las opciones reales se encuentran las siguientes:

- Industria de manufactura y automotriz. Principalmente se aplican las opciones de cambio durante un periodo determinado por productos de menor precio.
- Industria computacional. Se utilizan frecuentemente las opciones de aplazar la construcción de nuevas plantas ensambladoras en diferentes países, con la finalidad de conocer la demanda esperada de forma más precisa y reducir el riesgo de tener excedentes en el inventario.
- Industria de aerolíneas y transporte. Las compañías participantes en esta industria suelen utilizar las opciones de abandono con el fin de conocer la conveniencia de desarrollar un nuevo diseño de aeronaves. De esta forma se arma un portafolio de diseños, donde se desecharan aquéllos que generen menos valor agregado.
- Industria petroquímica. Generalmente se utilizan las opciones de cambio, las cuales permiten a las refinerías cambiar su portafolio de productos finales por otro que sea más rentable, basándose en los precios del mercado, la demanda y los ciclos de los precios.
- Industria de telecomunicaciones. En esta industria se utilizan comúnmente las opciones de expansión con la finalidad de tener una cobertura de red más extensa en el largo plazo. De esta forma se crea una barrera de entrada, ya que puede tenerse la ventaja de ser pionero en el mercado.
- Industria eléctrica. En esta industria suelen emplearse las opciones de cambio, ya que uno de los objetivos principales es que las plantas operen cuando los precios de la energía son altos y, en caso contrario, las plantas detendrán sus operaciones. En otras palabras, se evalúa la rentabilidad de operar la planta de manera estacional.
- Industria de la construcción. Por lo general se utiliza la opción de diferir con la finalidad de comenzar a construir cuando las condiciones de mercado puedan ser más favorables, por ejemplo, cuando se registren menores costos en los materiales, se tenga un tipo de cambio estable y, en general, mayor información del proyecto. En ocasiones se emplean las opciones de

reducción con el objetivo de realizar un proyecto de gran magnitud por etapas, de tal forma que cada una de éstas sea independiente de la otra.

- Industria de desarrollo e investigación bioquímica y farmacéutica. Se utilizan comúnmente las opciones compuestas, principalmente en la etapa de investigación y desarrollo, pues es cuando existe mayor incertidumbre acerca del éxito futuro de los productos a desarrollar en el mercado.
- Industria de alta tecnología y negocios inteligentes. En este tipo de industria las opciones de abandono son las más empleadas, ya que se trata de empresas que actualmente se encuentra en desarrollo, por lo cual solamente se continuará con la investigación o ejecución del proyecto si éste resulta rentable durante un periodo de prueba.

Es muy probable que se obtenga resultados desfavorables en caso de que se aplicaran las metodologías tradicionales de evaluación de proyectos en los ejemplos por industrias anteriores. Lo anterior como resultado de los largos periodos de duración en la construcción de los proyectos de cada industria y a la incertidumbre que va implícita en la misma. Es aquí cuando es conveniente utilizar la metodología de opciones reales, ya que nos da la flexibilidad de analizar el proyecto desde diferentes perspectivas con la finalidad de seleccionar el momento óptimo para comenzar el proyecto.

3.2. Proyectos de inversión con un enfoque de opciones reales

Una de las principales limitaciones del uso del VPN, la metodología más empleada en la evaluación de proyectos, es que inicialmente se desarrolló para la valoración de bonos libres de riesgo y posteriormente se extendió a la evaluación de proyectos de inversión, por lo cual no considera los cambios en los rendimientos del proyecto. Por esta razón, cuando se habla de proyectos con alta incertidumbre como los proyectos de investigación y desarrollo, resulta conveniente el empleo de opciones reales.

Asimismo, cuando se evalúan proyectos que no admiten demora, no son flexibles y tampoco tienen oportunidades de crecimiento, se recomienda utilizar métodos como del VPN y demás métodos clásicos. De manera generalizada, es conveniente aplicar la metodología de opciones reales cuando un proyecto cumple con las siguientes características (Mascareñas, 2007):

- a) La incertidumbre es grande, pero los inversionistas tienen la posibilidad de responder de manera flexible. Esta incertidumbre puede traducirse en volatilidad de los flujos esperados del proyecto, pues al no tener certeza de lo que pasará en el futuro las variables de las que depende el proyecto de inversión pueden estar cambiando de forma constante.
- b) El proyecto debe evaluarse inicialmente por la metodología del VPN y registrar un valor muy cercano a cero, debido a que si presenta un valor muy positivo el proyecto será aceptado sin importar si tiene flexibilidad o no, y si es muy negativo será descartado.

Una vez que se incorpora el valor de la opción real en el proyecto de inversión, se obtiene el Valor Presente Neto expandido, el cual representa la adición entre el Valor Presente Neto estático (metodología clásica del VPN) y el Valor Presente de la opción real empleada.

$$VPN_{\text{expandido}} = VPN_{\text{estático}} + VP_{\text{opción}} \quad (3.1)$$

En resumen, la evaluación de proyectos de inversión mediante opciones reales es un complemento de la evaluación clásica de proyectos, ya que al VPN obtenido inicialmente se le agrega el valor presente de la opción real (diferir, expandir, abandono, etc.), el cual dependerá en gran medida de la volatilidad que presente el proyecto de inversión. A continuación se explicarán algunas metodologías para la valuación de opciones financieras. Es importante recordar que la metodología de opciones reales es una adaptación de la teoría de opciones financieras en la evaluación de proyectos de inversión.

3.3. Modelos de valuación de opciones

3.3.1. Modelo de Black-Scholes

El modelo desarrollado por Black-Scholes se basa en modelos estocásticos de Wiener y el lema de Ito, así como en los principios de arbitraje. Inicialmente esta metodología fue empleada para valorar opciones europeas sin pago de dividendos, aunque Merthon (1973) expandió esta fórmula con la aplicación de dividendos y posteriormente diversos investigadores han extendido la aplicación a casos más complejos (Ortiz, 2017).

No obstante, resulta más sencillo valuar las opciones americanas con otras metodologías como la de árboles binomiales.

El modelo de Black-Scholes se rige bajo los siguientes supuestos (De Lara, 2005):

1. La tasa libre de riesgo es a corto plazo y constante.
2. El precio del activo subyacente es estocástico en tiempo continuo, y la distribución de los posibles valores es lognormal.
3. La volatilidad de los rendimientos del activo subyacente es constante.
4. La opción es tipo europea, es decir, sólo podrá ser ejercida al vencimiento de la opción.
5. No hay costos de transacción o impuestos en la compra o venta de la opción.
6. El activo subyacente tiene liquidez en un mercado eficiente.

El modelo de Black-Scholes⁶ consiste en determinar la relación que existe entre el costo de la opción de compra (*call*) y el precio del activo subyacente sobre el que recae. De esta forma, se puede determinar qué opciones se encuentran subvaluadas y cuáles sobrevaluadas mediante la siguiente expresión (Mascareñas, 2012):

$$C = SN(d_1) - Xe^{-rT}N(d_2) \quad (3.2)$$

donde:

C: es el valor de la opción de compra

S: es el precio spot del subyacente

X: es el precio de ejercicio

T: es el tiempo antes de la fecha de vencimiento

N(d): es la distribución normal acumulada, es decir, la probabilidad de que una variable con distribución normal sea menor que *d* que se calcula de la siguiente manera:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (3.3)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (3.4)$$

⁶ Para conocer más a detalle el desarrollo de la expresión consúltese el artículo original de Black&Scholes (1973).

donde:

i : es la tasa libre de riesgo

r : es la tasa libre de riesgo continua, $r = e^{(1+i)}$

\ln : logaritmo natural

σ : es la desviación estándar (volatilidad) que se obtiene de los rendimientos del activo subyacente

De acuerdo con la teoría de Black-Scholes un inversionista racional nunca ejercería su opción de compra antes de su caducidad y, por tanto, el valor de una opción americana coincidiría con el de una europea. Por otro lado, las opciones de venta americanas tienen la ventaja frente a las europeas de poder ser empleadas en cualquier momento durante el periodo de vida de la opción; sin embargo, esta característica eleva el precio de la prima de la opción, siendo el valor de la opción europea un límite mínimo para la opción americana. Dicho límite se puede calcular a través de la paridad *call-put* mediante la siguiente expresión:

$$P = C - S - Xe^{-rT} \quad (3.5)$$

$$C = S[N(d_1) - 1] - Xe^{-rT}[N(d_2) - 1] \quad (3.6)$$

donde:

C : es el valor de la opción de compra

S : es el precio spot del subyacente

X : es el precio de ejercicio

T : es el tiempo antes de la fecha de vencimiento

$N(d)$: es la distribución normal acumulada

3.3.2. El modelo binomial

El método binomial fue una técnica que desarrollaron John Cox, Stephen Ross y Mark Rubinstein. Este modelo supone que el precio del activo subyacente tiene un comportamiento binomial, es decir, el precio de las acciones solo tienen dos posibles comportamientos, uno a la alza y otro a la baja. Esto permite demostrar el principio de Black-

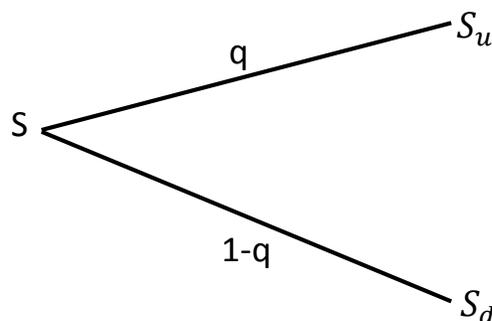
Scholes, el cual menciona que es posible reproducir con exactitud los pagos de la opción por medio de la construcción de una cartera libre de riesgo, la cual se compone de bonos libres de riesgo y acciones subyacentes; sin embargo, en este caso la valuación de la opción se obtiene aplicando una distribución binomial, mientras que en el modelo de Black-Scholes se utiliza una distribución normal.

Este método suele ser muy empleado para la valuación de opciones americanas, ya que de esta forma se puede analizar el valor de la opción en diferentes periodos, lo cual facilita la toma de decisiones en cuanto al momento óptimo para ejercer la compra o venta de la opción. A continuación se explican de manera breve los principios básicos de un árbol binomial.

Modelo de un periodo único

Para obtener este modelo se supone que el precio actual de un activo subyacente (S) podría subir a un precio S_u con una probabilidad (q) o bajar a un precio S_d con una probabilidad ($1-q$). En la figura 3.1 se aprecia el comportamiento de un árbol binomial para un activo subyacente en un periodo.

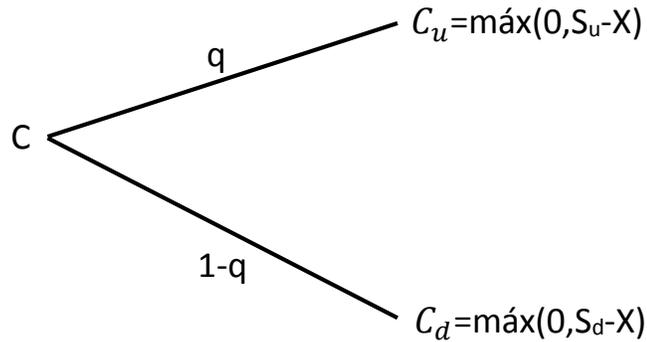
Figura 3.1. Comportamiento del activo subyacente en un periodo



Fuente: Lara (2005)

Para valuar una opción de compra de un periodo se deberá seleccionar en los últimos nodos el valor máximo entre cero (no ejercer la opción) y la diferencia entre el precio del activo subyacente y el precio de ejercicio actual. En el árbol de la figura 3.2 se aprecia que en el periodo uno existen dos valores posibles para la opción, los cuales dependen del comportamiento del activo subyacente.

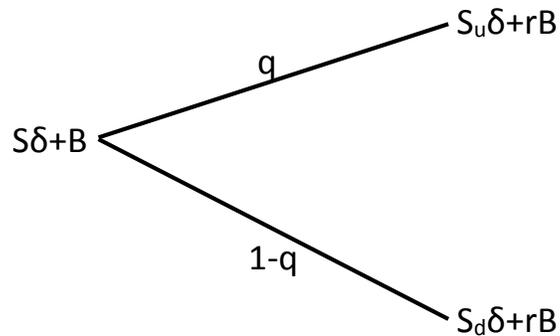
Figura 3.2. Valuación de la opción para un periodo



Fuente: Lara (2005)

El siguiente paso es formar un portafolio replicador que contenga un monto específico del activo subyacente (δ) y bonos libres de riesgo (B). De esta forma, el valor del portafolio al final del periodo será de $S\delta+rB$, mientras que el valor de la opción en el periodo uno dependerá del comportamiento del activo subyacente, tal y como se aprecia en la figura 3.3.

Figura 3.3. Portafolio replicador



Fuente: Lara (2005)

Donde $r = r_f + 1$ y r_f es la tasa libre de riesgo. Para cumplir con la condición de que no exista arbitraje, el valor de la opción deberá ser igual al valor del portafolio replicador. De esta forma, para el periodo uno del árbol binomial se tendría el siguiente sistema de ecuaciones:

$$S_u \delta + rB = C_u \quad (3.7)$$

$$S_d \delta + rB = C_d \quad (3.8)$$

Resolviendo simultáneamente el sistema de ecuaciones se obtienen los siguientes valores para δ y B:

$$\delta = \frac{C_u - C_d}{(u-d)S} \quad (3.9)$$

$$B = \frac{uC_d - dC_u}{(u-d)r} \quad (3.10)$$

Cabe mencionar que δ y B son la cantidad del activo subyacente y bonos, respectivamente, que replican o reproducen el comportamiento de la opción. Además, estas variables son las que evitan la existencia de arbitraje en el mercado, ya que si el valor de la opción fuera menor al del portafolio ($S\delta+B$), el inversionista compraría la opción y vendería el portafolio en el mercado; por el contrario, si el valor de la opción fuera mayor al del portafolio, el inversionista compraría el portafolio y vendería la opción.

Con base en lo anterior, se tiene que el valor del portafolio en el periodo inicial es igual al valor de la opción en el mismo periodo, como se muestra en la siguiente expresión:

$$S\delta + rB = C \quad (3.11)$$

Sustituyendo los valores de δ y B en la ecuación 3.11, se obtiene la siguiente⁷:

⁷ Estas expresiones fueron tomadas de la bibliografía De Lara (2011)

$$C = \frac{pC_u + (1 - p)C_d}{r} \quad (3.12)$$

donde:

$$p = \frac{a-d}{u-d} \quad (3.13)$$

$$a = e^{r_f \times \Delta t} \quad (3.14)$$

Es necesario señalar que r_f se refiere a es la tasa libre de riesgo y mientras que Δt es la periodicidad anual. Asimismo, r es la tasa de descuento que en forma continua se expresa como $r = e^{r_f+1}$, y en forma discreta como $r = r_f + 1$. Por otro lado, el valor p es conocido como la probabilidad neutral al riesgo, por lo cual siempre deberá ser positivo y menor a uno.

Los valores u y d de las expresiones anteriores son los coeficientes de ascenso y descenso, respectivamente; y se obtienen mediante las siguientes ecuaciones:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (3.15)$$

$$d = \frac{1}{u} \quad (3.16)$$

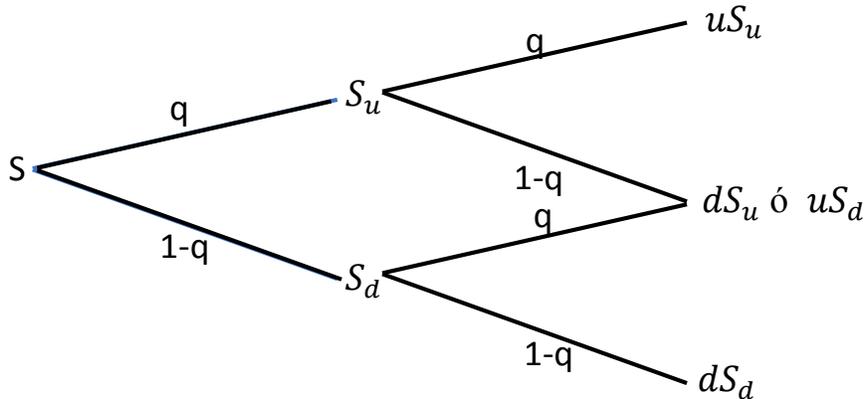
Donde σ es la desviación estándar de los rendimientos del valor del activo subyacente en un periodo de tiempo, y Δt el intervalo de tiempo de cada año en términos anuales.

3.3.3. Método binomial para dos o más periodos

Para construir un árbol de dos o más periodos el procedimiento a seguir es exactamente el mismo que se empleó para el caso del árbol de un único periodo. En la figura 3.4 se aprecia el comportamiento de un activo subyacente para un árbol binomial de dos periodos, donde los valores del primer periodo se obtienen multiplicando el valor del

activo subyacente por los coeficientes de ascenso y descenso, mientras que los valores del segundo periodo se calculan por medio del producto los resultados que se obtuvieron en los nodos del primer periodo por los coeficientes de ascenso y descenso. Cabe mencionar que si el árbol tuviera más de dos periodos, este proceso se repetiría hasta el periodo final.

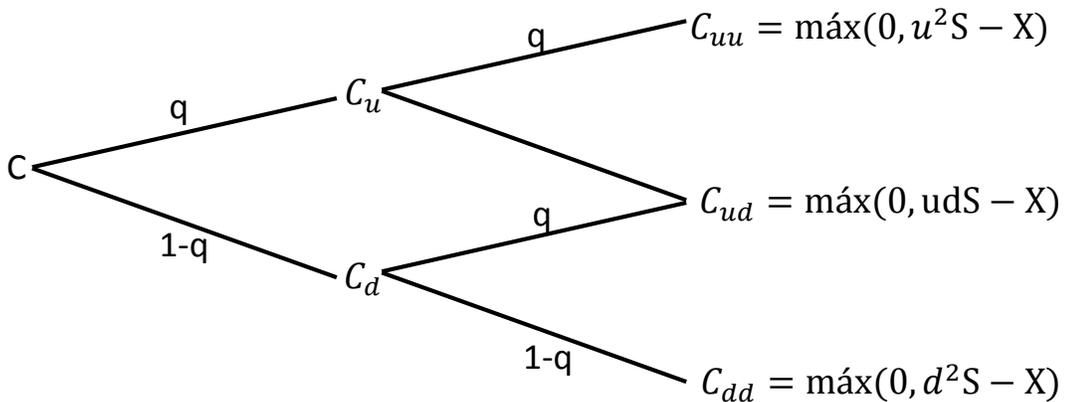
Figura 3.4. Comportamiento del activo subyacente en dos periodos



Fuente: Lara (2005)

Por otro lado, en la figura 3.5 se aprecia que al igual que en el árbol de un periodo, en el periodo final se selecciona el valor máximo entre cero y la diferencia entre el precio del activo subyacente con el precio de ejercicio en dicho periodo.

Figura 3.5. Valuación de una opción de dos periodos



Fuente: Lara (2005)

Al igual que en la metodología que se utilizó para el árbol binomial de un periodo, deberán calcularse los valores de C_u y C_d , mediante las probabilidades ajustadas al riesgo y la tasa libre de riesgo. A continuación se muestran las expresiones utilizadas para obtener dichos valores:

$$C_u = \frac{pC_{uu} + (1-p)C_{ud}}{r} \quad (3.17)$$

$$C_d = \frac{pC_{ud} + (1-p)C_{dd}}{r} \quad (3.18)$$

El siguiente paso es obtener el valor de la opción en el periodo inicial, para lo cual se empleará nuevamente la expresión para el caso del árbol de un periodo:

$$C = \frac{pC_u + (1-p)C_d}{r} \quad (3.19)$$

Cabe mencionar que las expresiones anteriores se han explicado para el caso de una opción europea, la cual sólo se puede ejercer hasta su vencimiento; sin embargo, este análisis puede aplicarse para una opción americana, de hecho, en la mayoría de los proyectos de inversión que son evaluados mediante opciones reales se emplea este tipo de opciones, pues ofrecen la flexibilidad de modificar el rumbo del proyecto durante su fase constructiva y operativa. Entonces, en caso de analizarse una opción americana se realizará el mismo procedimiento que en una opción europea; no obstante, la única diferencia es que se deberá verificar en cada uno de los nodos del árbol lo siguiente:

$$\max(C_a, aS - X) \quad \text{y} \quad \max(C_b, bS - X)$$

3.4. Problemas al aplicar el análisis de opciones reales

La metodología de opciones reales se basa en la valuación de opciones financieras, lo cual conlleva una serie de supuestos y problemas. Entre los cuales destacan los siguientes (Mascareñas, 2007):

1. La posibilidad de arbitraje cuando el activo subyacente no se negocia activamente.

La teoría de valuación de opciones financieras se basa en la construcción de un portafolio libre de riesgo que replique los flujos generados por la opción, lo cual se logra adquiriendo el activo subyacente a una tasa libre de riesgo, ya que de esta forma se obtiene un portafolio totalmente cubierto. Lo anterior implica que el activo subyacente es negociado activamente en el mercado, lo cual no sucede con los activos reales. Por esta razón no es posible igualar los precios de las opciones reales y su portafolio replicador.

El mercado supone que una opción real se encuentra cubierta de riesgo, por lo cual no recompensaría el hecho de que correr un riesgo adicional. No obstante, partiendo de que el mercado financiero debe estar libre de arbitraje se deben cumplir los siguientes criterios:

- Que los flujos de efectivo de cualquier proyecto de inversión pueden ser replicados en el mercado financiero.
- Que el nuevo proyecto no es tan grande para alterar el consumo agregado.

Cabe mencionar que las opciones reales se aplican en un entorno competitivo e interactivo, por lo que cualquier acción que tome algún inversionista afecta a sus competidores y al equilibrio en el mercado. Por lo tanto, si un inversionista logra replicar perfectamente una decisión de inversión a través de un activo financiero negociado con el fin de evaluar su opción real, podría afectar al precio de dicho activo al momento de ejercer la opción. Por ejemplo, una empresa que tenga como opción la extracción de oro afectará de cierta forma al precio del oro, siempre y cuando éste sea una de las variables en el portafolio de réplica.

2. La volatilidad no es conocida y si lo es cambiará en el tiempo

Esta es una de las variables más importante en el análisis de opciones reales, pues de ésta dependerá en gran medida el valor de la opción del proyecto. En las opciones financieras, se parte de que la volatilidad es la desviación estándar (la raíz cuadrada de la varianza) del rendimiento promedio esperado del activo subyacente. Esta desviación estándar es conocida y constante para las opciones financieras, pero para las opciones reales es muy probable que la volatilidad cambie debido a que suelen ser inversiones a muy largo plazo. Lo anterior como consecuencia de que el mercado potencial que existe en los

productos o servicios a desarrollar puede ser desconocido; así como por los cambios tecnológicos que pueden afectar la estructura de costos y la rentabilidad del proyecto.

A continuación se mencionan algunas metodologías empleadas para obtener la volatilidad esperada en un activo real subyacente:

1. Si se tienen datos de algún proyecto con características similares al que se está desarrollando, puede tomarse la varianza de sus flujos de efectivo como base para obtener la volatilidad en la evaluación del proyecto.
2. Asimismo, es válido considerar el comportamiento de variables macroeconómicas como el Producto Interno Bruto (PIB) cuando la ejecución y continuidad del proyecto depende de la situación económica de la región. Esto puede emplearse principalmente en proyecto de inversión pública, pues dependen de los ingresos públicos que se generen durante la vida del proyecto (Martínez, 2006).
3. Otra opción es utilizar la varianza del valor de las empresas con operaciones similares que cotizan en bolsa.
4. También, se pueden construir escenarios futuros del comportamiento de los flujos de efectivo del proyecto, asignándoles probabilidades de ocurrencia al VPN de cada escenario; y de esta forma obtener la varianza de sus rendimientos. Además, se puede hacer una simulación donde se estimen las distribuciones de probabilidad de cada variable aleatoria, y de esta forma obtener el coeficiente de variación de los flujos de efectivo.
5. Por experiencia de los directivos o expertos en el mercado, los cuales tratan de predecir con base en su experiencia qué es lo que puede pasar durante la vida del proyecto. Esta puede ser una alternativa cuando no se tienen mucha información, pero se cuenta con amplia experiencia en el sector donde se va a desarrollar el proyecto.

3. El ejercicio no es instantáneo

El supuesto de que las opciones se ejercen de manera instantánea es un supuesto que aplica principalmente en las opciones financieras, el cual no resulta ser del todo cierto en las opciones reales, dado que aplicar una opción en proyecto de inversión podría tomar varios años. Por lo tanto, las opciones reales no se benefician únicamente de la

incertidumbre, sino de la flexibilidad que se tenga de responder ante escenarios desfavorables en el futuro.

Cabe mencionar que cuando se posterga la ejecución de un proyecto se debe hacer un ajuste que refleje las pérdidas de flujo de efectivo que no se generan mientras se procede a la ejecución del proyecto.

Por último, se señala que para la elaboración de este capítulo se emplearon principalmente las publicaciones de Mun (2002), Black&Scholes (1973), Mascareñas (1999, 2005, 2007, 2010), Martínez (2006), Solórzano (2002) y Lamothe (2013).

4. Manejo de riesgo en proyectos de infraestructura

4.1. Definición de riesgo

Riesgo es una palabra que proviene del latín “riscare” que significa “atreverse”. En el mundo de las finanzas el riesgo se relaciona con la probabilidad de que ocurra un evento que produzca pérdidas a los participantes en el mercado financiero, los cuales pueden ser inversionistas, deudores y/o entidades financieras. El riesgo es producto de la incertidumbre que existe sobre el valor de los activos financieros ante la volatilidad de los precios en el mercado.

Como se mencionó previamente el riesgo y la incertidumbre son dos palabras que suelen ir juntas, pero no son lo mismo. El riesgo es una situación a la cual se le puede asignar posibles resultados de ocurrencia y una probabilidad asociada mientras que a la incertidumbre no se le puede asignar posibles resultados y, por ende, las probabilidades de ocurrencia son desconocidas. De esta manera, puede atribuirse que la incertidumbre es resultado de la carencia de información.

En los proyectos de inversión el riesgo es la volatilidad de los flujos de efectivo reales respecto a los esperados, cuanto mayor es la volatilidad mayor es el riesgo del proyecto. De esta forma se aprecia que la volatilidad y el riesgo están muy relacionados, lo cual permite que se pueda obtener calculando la desviación estándar de los flujos esperados de un proyecto o de los rendimientos históricos del precio de algún activo.

Resulta importante tratar de manera adecuada el riesgo, ya que de no contarse con las medidas adecuadas, el proyecto puede presentar resultados desfavorables en sus flujos de efectivo. A continuación, se muestra un proceso convencional empleado en el manejo del riesgo (Zapata, 2016):

1. *Identificación de riesgos.* En esta etapa se definen las fuentes de incertidumbre que pueden ser medibles.
2. *Análisis de riesgos.* Se estiman las consecuencias de eventos inciertos.
3. *Administración de riesgos.* Se proponen estrategias para transferir, evitar o controlar los riesgos identificados.

4. *Revisión y control de riesgo.* Por último, se hace un respectivo control y retroalimentación de cómo han funcionado las medidas ante el riesgo y su grado de efectividad.

4.2. Tipos de riesgo

Los proyectos de inversión también están sujetos a los riesgos de mercado, pues la volatilidad en sus flujos de efectivo dependerá de condiciones internas y externas que tienen impactos en las operaciones. A continuación se mencionan de manera resumida los principales tipos de riesgos que suelen presentarse en los proyectos de inversión.

Riesgos económicos

El riesgo económico se compone de un conjunto de eventos que afectan el funcionamiento de un proyecto de inversión o un sector de la economía. Entre los eventos que conforma este tipo de riesgo se encuentran: cambios en el consumo, implementación de nuevas tecnologías, cambios en el diseño que modifique el uso en los productos, modificaciones a la norma y movimientos adversos en la economía.

Este tipo de riesgo afecta más a aquellos inversionistas que únicamente participan en un solo sector de la economía, ya que a mayor diversificación de mercados, menor será el impacto producido por este tipo de riesgo. Por lo tanto, una forma de cubrirse ante este riesgo sería diversificando el catálogo de negocios y productos de la empresa.

Riesgos estratégicos

Se relacionan con aspectos económicos, regulatorios (sanitarios, licencias, patentes, etc.), tecnológicos y políticos que afectan a largo plazo a un proyecto de inversión. Un ejemplo es el desarrollo del internet, el cual ocasionó que las empresas comenzarán a valer más por sus activos intangibles, cuando hace una década el valor de la empresa dependía en gran medida de la cantidad de activos físicos que tuviera bajo su control.

La única manera forma de cubrir este tipo de riesgo es expandirse a diferentes ciudades y/o países; así como mantenerse a la vanguardia en los cambio tecnológicos del mercado.

Riesgos financieros

Son aquellos riesgos que están ligados a los movimientos de las variables del mercado financieros, las cuales dificultan el obtener los rendimientos esperados tanto en los portafolios como en los proyectos de inversión. El impacto de estas variables se refleja en mayor medida en el financiamiento y en los montos de inversión de un proyecto. A continuación se mencionan las principales variables financieras que pueden impactar el rendimiento en los proyectos de inversión:

Tasa de interés. Son las tasas que cobran las instituciones financieras por otorgar créditos a los inversionistas. Cuando se contrata a una tasa de interés fija, la empresa queda automáticamente cubierta de riesgo, pues ésta no cambiará durante el plazo del crédito; sin embargo, este tipo de tasas son empleadas en préstamos a corto plazo. En préstamos a largo plazo se suele usar una tasa de interés variable, la cual cambiará de acuerdo a las condiciones económicas de un país y esto puede tanto elevar como reducir el costo de un proyecto de inversión. En México la tasa de interés variable comúnmente se encuentra referenciada a la tasa objetivo que fija Banxico en sus reuniones de política monetaria.

Tipo de cambio. El tipo de cambio es una variable que depende del precio de la divisa nacional respecto a otras divisas extranjeras. Es por esto que en los proyectos donde se requiere comprar productos o contratar servicios en el extranjero, se puede registrar un incremento en los costos como resultado de la depreciación de la moneda local frente a la extranjera de interés. Además, esta situación puede complicarse aún más cuando se solicitan créditos en el extranjero, pues si la moneda nacional se deprecia y las tasas aumentan en el país donde se solicitó el préstamo, los costos pueden elevarse de tal forma que el proyecto puede llegar a ser insostenible. Por esta razón es importante contar con una buena administración del riesgo.

Tasa de inflación. Es el riesgo que se tiene en todos los países de un aumento en los precios de los productos básicos, lo cual afecta de manera directa a los ingresos y costos de un proyecto de inversión. Por lo general en México suele considerarse como inflación al aumento que existe en el índice del INPC en un periodo de referencia; sin embargo, los costos para los materiales para la construcción también están indexados por el INEGI, por lo cual la variación de estos en un periodo determinado puede llamarse inflación.

Riesgo país

Riesgo país en términos generales se puede definir como el riesgo que asume un inversionista por un posible impago por operaciones comerciales o préstamos que realiza en otro país diferente al de origen, ya sea en el sector público o el privado. Por ejemplo, en México se emiten Certificados de la Tesorería (CETES) en diferentes plazos, el riesgo país en este caso sería el gobierno no contar con los recursos suficientes al vencimiento del CETE para pagar al inversionista su valor nominal.

Cabe mencionar que los mercados internacionales y los inversores internacionales castigan de forma severa a los países que incumplen con los pagos de su deuda externa, además, el financiamiento dado por el FMI o el Banco Mundial se ve parcial o totalmente restringido en una situación de este tipo.

Entre las instituciones más importantes para asignar calificaciones de riesgo país se encuentran: Standard & Poor's, Moodys, las revistas The Economics, Euromoney e Institutional Investor, entre otras.

Riesgo de liquidez

Se relaciona con la incertidumbre existente de transformar en efectivo los rendimientos que genera una inversión, lo anterior como resultado de la dificultad para vender un activo. Por lo tanto, mientras mayor sea la dificultad para poder vender un activo, mayor será el riesgo de liquidez. Es por esto que se espera que un activo con un riesgo de liquidez alto tenga mayores rendimientos.

El riesgo de liquidez debe ser considerado por los inversionistas que estiman que en el corto plazo tendrán la necesidad de disponer del capital empleado en la inversión. Por el contrario, si el inversionista cuenta con otros medios para poder solventar dichos gastos, no es necesario que se elaboren medidas de prevención hacia este tipo de riesgo.

Riesgo legal

Es el riesgo que proviene de la modificación a las leyes y normativas, lo cual se ve reflejado en impactos a los contratos mercantiles y financieros. Asimismo, también se incluyen riesgos que son resultado de la baja eficiencia o falta de imparcialidad del sistema judicial de alguna nación.

En este tipo de riesgo también debe considerarse el incumplimiento de los contratos por algunas de las contrapartes. A continuación se describen dos posibles situaciones de riesgo legal:

1. Cuando el riesgo legal procede de una empresa o de sus objetivos. Este se puede presentar cuando una empresa es sorprendida actuando de forma ilegal, ya sea por no asegurarse que sus contratos reflejarán sus objetivos comerciales o porque realizó actos ilícitos.
2. Cuando el riesgo legal surge debido a un cambio en la legislación, lo cual conlleva en muchas ocasiones a resultados imprevistos y desagradables.

Riesgo catástrofe

Es el riesgo que se genera por catástrofes naturales y sociales como los son las inundaciones, incendios, sabotajes, huelgas, actos de terrorismo, problemas de telecomunicaciones; así como todos los desastres naturales, humanos y tecnológicos que pueden afectar el rendimiento en los proyectos de inversión.

Hoy en día se ofrece un gran número de seguros contra este tipo de riesgos, además, existen algunos derivados financieros para la cobertura de ciertos eventos climáticos como las sequías o lluvias de gran intensidad. De esta manera se facilita la administración del riesgo ante eventos inesperados.

4.3. Riesgos en proyectos de infraestructura

Los proyectos de infraestructura son propensos a numerosos riesgos durante toda su vida útil, ya que son proyectos en la mayoría de las veces de larga tanto en su etapa de construcción como de operación. Es por esto que resulta de suma importancia identificar todos los riesgos que puedan afectar a este tipo de proyectos, pues de esto depende que los costos de construcción no aumenten al grado de ser mayores que los beneficios adquiridos durante la etapa de operación del proyecto.

Actualmente muchas empresas dedicadas a la construcción de proyectos de infraestructura no realizan un análisis adecuado de los riesgos implicados en el proyecto, y por ende no se tiene una buena administración de los mismos. Lo anterior se traduce en incrementos considerables de deuda, principalmente en las empresas que adquieren la

adquieren en bancos extranjeros, ya que suelen presentarse impactos cambiarios, de tasas de interés, inflación, entre otros. Es importante señalar que no sólo basta con que se realice una buena evaluación de los proyecto de inversión, sino que también deberán de identificarse de la mejor manera posible los riesgos implicados en el proyecto, ya que de lo contrario existe la posibilidad de que el proyecto pierda su valor inicial.

Un proyecto de inversión está sujeto a diferentes riesgos dependiendo de la fase en la que se encuentre (inversión u operación). Cada una de estas fases tiene el mismo grado de importancia, dado que en el caso de la etapa de inversión se tendrá un impacto considerable en los flujos, pues son inversiones que se realizan durante los primeros años del proyecto. Por otro lado, la fase de operación es la que genera los beneficios y/o utilidades del proyecto, un mal desempeño en esta etapa puede ocasionar que no se logre cubrir cuando menos el monto de inversión inicial (Gatti, 2008).

4.3.1. Riesgo en la fase de inversión

Durante la fase inversión se incluyen todas aquellas actividades que tengan como finalidad el inicio de operaciones del proyecto. La mayoría de estos riesgos están relacionados con el incremento en el tiempo de finalización y en los costos finales del proyecto, ya sea por una mala planeación o por la fluctuación de los precios de los materiales necesarios para llevar a cabo un proyecto de inversión.

Riesgo de planeación

En todo proyecto de infraestructura es importante planear el tiempo y los recursos a utilizar en las diferentes actividades del mismo. Para esto se utilizan técnicas como la ruta crítica, la evaluación de proyectos, y el diagrama de Gantt. El riesgo que se tiene es que debido a los retrasos de una mala planeación no se pueden llevar a tiempo las operaciones en la fase operativa, lo cual detendría la generación de flujos de efectivo. Un ejemplo puede ser la construcción de una planta de tratamiento de residuos de petróleo en una termoeléctrica, esta planta tendría como objetivo reducir los costos de operación debido a que los residuos pueden ser empleados como combustible. Si la planta no se construye a tiempo no existiría una reducción en costos, pues no se podría emplear el combustible reciclado y si la empresa tenía planeado invertir en nuevos proyectos con los ahorros en costos, éstos se verían afectados como resultado un posible retraso en su ejecución.

Riesgo tecnológico

En algunos sectores las construcciones pueden necesitar la implementación de tecnología que aún no ha sido aplicada en otros proyectos o no se comprende del todo. En una situación normal el contratista del proyecto elegirá la tecnología adecuada con la asesoría de expertos en el tema, pero en un escenario totalmente desconocido se realizan pruebas antes de emplear una nueva tecnología con la finalidad de conocer su desempeño. Dicho desempeño puede ser tanto favorable como desfavorable para el proyecto de inversión, esto se conoce como riesgo tecnológico.

Por lo tanto, mientras menor información se tenga de la tecnología que se quiere implementar mayor será el riesgo. Un ejemplo es la construcción de plantas de energías alternas, ya que su funcionamiento sólo puede ser probado en prototipos de laboratorio. En caso de que no resulte exitosa la aplicación de dicha tecnología, se perdería la inversión realizada en el proceso de investigación y desarrollo.

Riesgo de construcción

Este riesgo puede presentarse de diversas formas, y el efecto inmediato es que el proyecto no se termine a tiempo o se detenga por un tiempo indeterminado. Lo anterior se traduce en mayores costos y un mal desempeño de las etapas posteriores del proyecto. A continuación se explican de manera más detallada los riesgos implicados en la construcción de un proyecto:

1. **No completar o retrasar el proyecto por causas mayores.** Este riesgo se origina principalmente por situaciones climatológicas en la zona de construcción o por desastres naturales. Por ejemplo, la construcción de hoteles en las costas del Pacífico se ve afectada en el verano debido a las fuertes lluvias y los huracanes que se originan. De la misma manera, un temblor puede llegar a destruir parcial o totalmente la construcción de cualquier tipo de infraestructura, lo cual puede llegar a generar pérdidas totales y la cancelación del proyecto.
2. **Completar el proyecto con sobrecostos.** Esta situación riesgosa surge cuando los materiales necesarios para la construcción de la infraestructura no son cuantificados adecuadamente, y por ende es necesario reajustar los costos del proyecto. Otra situación que puede incrementar los costos son los retrasos en la construcción, ya que esto involucra más horas de mano de obra y

maquinaria. Por otro lado, la situación económica de un país también repercute en los costos totales del proyecto, como resultado de un incremento mayor a lo esperado en los materiales para la construcción, lo cual se puede explicar por el aumento de la demanda en algunos materiales como el acero. Cabe mencionar que los costos pueden verse afectados por situaciones de tipo cambiario, principalmente en los proyectos que requieren de tecnologías extranjeras o de materiales que no son producidos en el mercado nacional.

3. **Completar con un desempeño deficiente.** Este tipo de riesgo suele presentarse cuando por asuntos políticos o por presión del inversionista se apresura el término de los proyectos, descuidando la calidad y seguridad de los mismos. Esto puede llevar a que, en el mejor de los casos, se presenten fallas en la infraestructura que tenga que ser reparadas frecuentemente; sin embargo, en un escenario sumamente pesimista se podrían presentar accidentes por fallas estructurales importantes. Este riesgo también puede explicarse por la falta de experiencia del personal que se encuentre trabajando en la construcción, ya que podría no darse cuenta de que algún procedimiento está siendo ejecutando de manera incorrecta, poniendo en peligro la estabilidad de la estructura.

4.3.2. Riesgo en la fase operación

Los riesgos de operación resultan ser igual de importantes que aquellos en la fase de inversión, ya que éstos dependen la capacidad de generación de efectivo que tenga un proyecto. Dentro de los mayores riesgos en esta etapa se encuentran los riesgos de suministro, operación y demanda.

1. **El riesgo de suministro.** Es cuando no se cuenta con la cantidad o calidad necesaria de insumos para la operación de alguna obra de infraestructura, asimismo, puede presentarse el caso de que el precio de los insumos sea mayor al estimado generando compras limitadas. Lo anterior conlleva a que las plantas funcionen a capacidad baja, por lo cual los flujos de efectivo serán menores a los esperados.
2. **El riesgo de operación.** Sucede cuando el proyecto final presenta un desempeño deficiente, lo cual provoca que el proyecto no pueda cumplir con los objetivos para los que fue diseñado. Para solucionar este tipo problemas

se deben realizar reparaciones y ajustes al proyecto actual, generando mayores costos y extendiendo el tiempo para que el proyecto pueda generar flujo de efectivo.

3. **El riesgo de demanda.** Se presenta cuando el proyecto no tiene los ingresos esperados como consecuencia de proyecciones muy optimistas en cuanto el volumen y los precios de ventas. Además, este tipo de riesgo puede presentarse cuando se producen bienes que pueden ser fácilmente sustituidos, o bien, cuando existen competidores que ofrecen bienes y/o servicios similares a un menor costo.

4.3.3. Riesgos existentes en ambas fases

Existen riesgos que pueden presentarse durante la vida del proyecto, los cuales impactarán en menor o mayor medida dependiendo de la fase en la que se encuentre el proyecto. Muchos de estos riesgos mencionados se relacionan directamente con variables financieras y macroeconómicas (inflación, tipo de cambios, tasa de interés, etc.). A continuación se mencionan algunos de los riesgos que comprometen el desarrollo de un proyecto de infraestructura tanto en la fase de inversión como en la operativa (Gatti, 2008):

Riesgo en tasa de interés

Durante la fase de construcción un proyecto no se genera ingresos y, además, es donde se hacen las mayores inversiones del proyecto. Un porcentaje de las inversiones son costos cubiertos por el capital de los inversionistas, y otro porcentaje corresponde a préstamos que se solicitan a instituciones bancarias, por lo cual deberán pagarse el financiamiento a una tasa interés (fija o variable) pactada en un periodo determinado. Por lo general a corto plazo se ofrecen tasas fijas y a largo plazo tasas variables, ya que si se asignan tasas fijas al largo plazo deberán ser muy altas con la finalidad de que el banco pueda respaldarse ante la incertidumbre de los escenarios futuros.

Las fluctuaciones en las tasas de interés variable es un riesgo al que se encuentran expuestos la mayoría de los proyectos de infraestructura, ya que ésta puede ocasionar que los montos de deuda aumenten de manera extraordinaria llegando incluso a duplicar el monto de deuda. Por esta razón es recomendable que se utilicen estrategias de cobertura en tasas variables durante la vida del proyecto.

Por otro lado, en la fase de operación los inversionistas verifican si los flujos de efectivo resultantes de las operaciones son capaces de afrontar las variaciones negativas en el monto total de la deuda. Para esto se emplea el análisis de correlación entre las variables que ajustan los flujos de efectivo y la tasa de interés. Cuando resulta una correlación alta y positiva, se concluye que las variables que determinan el flujo de efectivo contrarrestan cualquier incremento en la tasa de interés.

Riesgo de tipo de cambio

Este tipo de riesgo suele presentarse en proyectos que registran la mayor parte de sus ingresos en una moneda diferente a la local, además, es un riesgo latente cuando se recurre a financiamientos en monedas extranjera, siendo el dólar la más empleada; así como cuando se realizan adquisiciones de activos y productos en el extranjero.

La mejor manera de evitar este tipo de riesgo es utilizando en la menor medida posible monedas extranjeras para las construcción y operación de los proyectos. Sin embargo, en caso de no ser posible podrían utilizarse una mezcla de diferentes monedas con el fin de que el proyecto tenga la autosuficiencia ante problemas de tipo cambiario, y como alternativa adicional pueden adquirirse algunos de los siguientes instrumentos financieros de cobertura cambiaria: futuros de divisas, opciones de divisas y swaps de divisas.

Riesgo de inflación

Este tipo de riesgo surge como resultado del aumento en los precios de los productos y materiales empleados durante la construcción y la operación de un proyecto. En México la inflación es la variación en un periodo determinado en el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC); no obstante, también puede llamarse inflación a la variación en el Índice Nacional de Precios al Productor (INPP) y sus subpartidas, ya que lo que se busca medir es el incremento de precios de una canasta de diferentes bienes y servicios.

Es importante realizar buenas estimaciones de las posibles variaciones de la inflación durante la vida del proyecto, pues esto permite crear estrategias de cobertura para mantener los precios actuales o en el mejor de los casos menores.

Riesgo ambiental

Es el riesgo que se tiene de no cumplir con las normatividad y leyes ambientales vigentes en la región donde se realiza el proyecto. Lo anterior puede traducirse en sobrecostos y pasivos ambientales, ya que por lo general suelen imponerse importantes multas a las empresas que no cumplen con los requisitos que la ley impone. A continuación se mencionan algunos impactos ambientales involucrados en la industria de construcción:

- El ruido es uno de los principales riesgos a considerar cuando las obras se realizan en zonas muy cercanas a asentamientos urbanos, debido a que el tipo de maquinaria que se utiliza genera altos decibeles que pueden dañar la salud de los habitantes de las zonas aledañas.
- Las emisiones de CO₂ es un problema que por lo general se presenta durante la etapa de operación del proyecto, principalmente en las plantas de generación eléctrica o de producción industrial, dado que son proyectos que requieren quemar combustible para llevar a cabo la producción de sus bienes y servicios.
- El daño a la fauna y vegetación suele ser otro impacto presente en obras al momento de retirar la vegetación y hacer actividades de limpieza del terreno.

Cabe mencionar que en los últimos años diversos países han adoptado una conciencia ambiental, lo cual se ha traducido en normatividades y leyes más estrictas. Por esta razón los proyectos de infraestructura se han visto más sensibles a este tipo de riesgo.

Riesgo regulatorio

El riesgo regulatorio se comprende de diferentes facetas, entre las más comunes se encuentran las siguientes:

- Los permisos necesarios para empezar un proyecto que ha sido cancelado o retrasado.
- Las concesiones necesarias para un proyecto son inesperadamente renegociadas.
- La concesión principal de un proyecto es revocada.

Los retrasos en los proyectos por lo general se deben a deficiencias en la administración pública o a la complejidad de todos los procesos burocráticos que requieren llevarse a cabo.

Riesgo político

El riesgo político en la mayoría de los casos se debe a la inestabilidad que existe durante los cambios de gobierno, puesto que las nuevas administraciones que llegan a gobernar un país no están dispuestas a dar continuidad a los proyectos que la administración anterior había planeado ejecutar. Este efecto también recae en los planes de infraestructura nacional, los cuales sufren diversas modificaciones o en ocasiones son cambiados por completo. Esto ocasiona que muchos proyectos importantes que pueden generar valor en la sociedad queden descartados si no son del interés de la nueva administración y lleguen otros que pudieran tener menor importancia desde el punto de vista social.

Riesgo Legal

Un proyecto de infraestructura está sujeto a cambios en las normatividades y leyes de construcción, lo cual obliga a los constructores de tal proyecto a irse ajustando a estos cambios con el fin de evitar problemas en el futuro por no construir de acuerdo a los lineamientos de la ley. Sobra decir que un proyecto de infraestructura también se ve afectado por los cambios de leyes y normativas en diversas áreas (ambientales, sociales, tecnológicos, etc.), pues son proyectos muy complejos que se ven involucrados en diferentes materias.

El riesgo legal en este tipo de proyectos también se relaciona con el hecho de presentar problemas con terceros por una mala ejecución o desarrollo de la construcción del proyecto. Este tipo de riesgo comienza desde la planeación del proyecto, pues un mal diseño estructural o algún otro error en la ingeniería del proyecto ejecutivo puede ser un factor importante en la estabilidad de la estructura. Además, en caso de que no se sigan los procedimientos de construcción adecuados se pueden producir daños al medio ambiente o incluso a construcciones de los alrededores y, en el peor de los casos, se pueden perder vidas humanas que se encuentren trabajando en el sitio o muy próximos al mismo.

Durante la parte de operación estos problemas continúan, pues muchas de estas obras pueden seguir impactando de manera negativa a terceros. Por ejemplo, emisiones de plantas termoeléctricas que no cumplan con las normatividades ambientales vigentes o accidentes en carreteras ocasionados por una mala construcción o diseño de terraplenes.

4.4. Manejo y administración del riesgo

Como se comentó en el primer capítulo, vivimos en un mundo globalizado donde los inversionistas deben enfrentarse a factores tanto internos como externos que generan incertidumbre en cuanto al alcance de sus objetivos. De aquí la importancia de tener una buena administración del riesgo en las inversiones y operaciones de la empresa en general.

Los ingresos y la estabilidad financiera de los inversionistas se han visto afectados como resultado de la volatilidad en el mercado, la cual ha generado incrementos en las tasas de interés, inestabilidad en el tipo de cambio y aumento en la duración de las recesiones financieras-económicas. Para enfrentar a esta situación se han creado técnicas para minimizar el riesgo y maximizar los rendimientos, así como instrumentos financieros que funcionan como coberturas ante resultados indeseables.

De acuerdo con Esteva Fischer (1994) la administración de riesgo se define como: *... "Una disciplina que utiliza diversas técnicas de administración general con el fin de manejar los riesgos que se pueden presentar en alguna organización industrial, comercial o de servicios; así como en los proyectos de inversión o incluso a nivel personal y familiar" ...*

Para poder tener una administración del riesgo adecuada es necesario identificar, anticipar, evaluar y controlar los riesgos que amenazan al proyecto. Asimismo, resulta importante emplear técnicas de administración de riesgo en cada una de las fases del proyecto, ya que de esta forma se llegará a mejores resultados en el mediano y largo plazo. A continuación se mencionan las principales características que debe tener una buena administración de riesgo (Cooper, 2005):

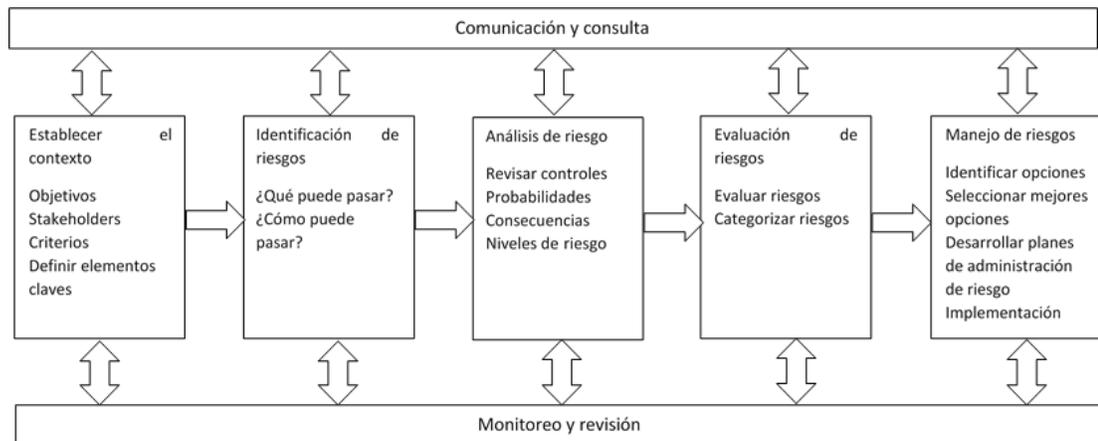
1. La administración de riesgos debe comenzar desde el inicio del proyecto y mantenerse hasta que éste sea finalizado.
2. La administración de riesgos no es único proceso, por lo cual debe estar integrado con otras funciones de administración de proyectos.

3. La implementación de la administración de riesgos es responsabilidad de los tomadores de decisiones del proyecto, es decir, los administradores de proyectos se apoyaron en los stakeholders y las restricciones legales que se tengan.

4.4.1. Proceso de administración de riesgo

Durante la administración del riesgo se debe seguir una metodología adecuada que permita identificar todos riesgos que ponen en peligro la rentabilidad y estabilidad del proyecto. Esta metodología varía de acuerdo al criterio de quién realiza el estudio de riesgo, pero en general suele emplearse el proceso que se muestra en la figura 4.1.

Figura 4.1. Proceso de administración de riesgo



Fuente: Cooper (2005)

El proceso de administración de riesgo (figura 4.1) se compone de cinco etapas, durante las cuales se debe tener en todo momento comunicación entre los participantes del proyecto, con el fin de contar con la información necesaria. Asimismo, en cada una de estas etapas se deberá hacer un monitoreo y revisión de cada una de las medidas que se están implementado para prevenir y combatir el riesgo. A continuación se explica de manera breve cada una de las etapas implícitas en la administración del riesgo (Cooper, 2005).

Establecer el contexto

Cuando se establece el contexto del proyecto se considera el desarrollo de una metodología para la identificación y valuación de riesgos. Para esto hay que analizar las condiciones internas y externas que pueden generar eventos que afecten de manera negativa el cumplimiento de los objetivos del proyecto. Para establecer dicho contexto se proponen los siguientes pasos:

1. Establecer el ambiente del proyecto y las organizaciones en las cuales la evaluación de riesgo debe tomar lugar.
2. Especificar los objetivos principales y resultados requeridos.
3. Identificar un conjunto de criterios de éxito contra las consecuencias de los riesgos identificados medibles.
4. Hacer un análisis de los elementos que juegan un papel clave para los propósitos del proyecto.

Entre los elementos clave en un proyecto de inversión se encuentran: las estrategias de ejecución, características, costos y calendario de pagos, delimitación de los alcances, diseños y estudios de ingeniería, análisis económico y cualquier otro procedimiento relevante para la ejecución del proyecto.

Identificación de riesgos

En esta etapa se deben identificar todas las áreas donde se tengan impactos relevantes en la rentabilidad del proyecto. Por esta razón, es importante asegurarse que se identifiquen todos los riesgos implicados en el proyecto, de lo contrario, los riesgos que no hayan sido identificados no serán analizados ni tratados. Esto puede traer repercusiones importantes en los proyectos de inversión.

Durante esta etapa deberá emplearse únicamente información confiable y genuina, pues ésta permitirá conocer la probabilidad de ocurrencia y las consecuencias que puedan generar cada riesgo identificado. Para esto es conveniente contar con un adecuado equipo de expertos en ciencias de datos, ya que pueden apoyar en la clasificación de la información y en la depuración de la misma.

Algunas de las técnicas empleadas para la identificación de riesgos son las siguientes:

1. Lluvia de ideas entre el personal de diferentes área del proyecto.
2. Comparar con proyectos similares previamente ejecutados, con el objetivo de hacer un análisis de los riesgos y problemas con los que se enfrentaron.
3. Análisis de escenarios.
4. Encuestas.
5. Análisis de la estructura de trabajo.

Análisis de riesgos

Para analizar el riesgo se deberá determinar la probabilidad de ocurrencia de los riesgos identificados en la etapa anterior y las consecuencias que cada uno de estos puedan traer al proyecto. Entonces, el procedimiento para analizar el riesgo es el siguiente (Taylor, 2011):

1. Determinar la probabilidad de riesgo.
2. Determinar las consecuencias implícitas en cada evento.
3. Clasificación del riesgo.
4. Estimar el nivel de riesgo.

Cabe señalar que existen diferentes técnicas para el análisis de riesgo, las cuales dependen directamente del tipo de proyecto que se está analizando y de los riesgos identificados. A continuación se mencionan los tres tipos de análisis de riesgo que más se emplean en las administraciones de riesgo:

1. **Análisis cualitativo.** Se basa en una escala nominal o descriptiva de las probabilidades y consecuencias de los riesgos. Este tipo análisis es usado principalmente cuando no se cuenta con el tiempo suficiente para realizar un análisis detallado.
2. **Análisis semi-cuantitativo.** Extiende el análisis cualitativo a uno numérico al asignar valores a las escalas descriptivas. Estos valores derivan de factores de riesgo cuantitativos.
3. **Análisis cuantitativo.** Usa escalas de relación numéricas para probabilidades y consecuencias en lugar de escalas descriptivas.

Evaluación de riesgos

La evaluación de riesgos mide los niveles de aceptación ante los riesgos que derivan de un proyecto de inversión. De esta forma es posible distinguir entre riesgos aceptables,

tolerables, moderados, importantes o inaceptables. Para esto es conveniente analizar las siguientes situaciones:

1. Los controles de riesgos están implementados en las áreas correctas o incluidos en los planes del proyecto.
2. La efectividad de los controles de riesgo.
3. Beneficios y oportunidades que pueden resultar de los riesgos.
4. Si los riesgos han sido tratados en proyectos anteriores.

Cabe señalar que en esta etapa también se comienzan a cuantificar los costos causados por cada uno de los riesgos identificados, tanto para su manejo como para conocer las pérdidas máximas en caso de no poder controlarlos. Lo anterior debido a que se pueden presentar casos donde resulte más costoso tratar el riesgo que asumir las pérdidas asociadas al mismo.

Además, durante las evaluaciones de riesgo pueden modificarse las prioridades iniciales del proyecto. Esto quiere decir que en algunos casos las actividades pueden ser consideradas de alto riesgo; sin embargo, después de elaborar la evaluación del proyecto podría determinarse que éstas no tendrían consecuencias económicas en el proyecto. Por otro lado, pueden existir actividades que inicialmente se consideraban de bajo riesgo u ocurrencia, pero tienen un impacto significativo en el proyecto desde un punto de vista económico.

Tratamiento del riesgo

Para tratar los riesgos asociados al proyecto se procede a realizar planes de acción, donde se da prioridad a los riesgos que generan el mayor número de impactos. No existe técnicas exactas para tratar el riesgo, ya que todo depende de la naturaleza del proyecto; sin embargo, a continuación se mencionan algunas de las estrategias comúnmente utilizadas en la práctica para hacer frente al riesgo (Taylor, 2011):

1. **Evitar el riesgo.** El objetivo principal es tomar medidas que eviten que el riesgo se materialice, lo cual puede evitar costos futuros. Para esto se deben realizar mejoras en los procesos, rediseños o eliminar a aquéllos que no sean de carácter necesario. En el caso de los proyectos de infraestructura, algunas de las medidas para evitar el riesgo son: el control de calidad, el manejo de los

insumos, mantenimiento a equipos e infraestructura, desarrollo tecnológico, detallar la planeación, revisar operaciones, entre otras.

2. **Minimizar el riesgo.** Se relaciona directamente con reducir las consecuencias asociadas al riesgo. Algunas de las estrategias más empleadas para conseguir este objetivo son las siguientes: optimización de los procedimientos, la implementación de controles, planificar contingencias, seguridad en la calidad, supervisar continuamente los procedimientos en el proyecto y detectar amenazas de riesgo.
3. **Compartir el riesgo.** Es cuando se transfiere el riesgo de una organización o persona a otra mediante contratos explícitos. De esta forma, la parte que adquiere el riesgo asumirá las consecuencias y riesgos del proyecto de manera parcial o total, todo dependerá de las condiciones a las que se llegue en un acuerdo previo. Existen tres técnicas muy comunes para compartir o transferir el riesgo:
 - Protección o cobertura. Es cuando se realizan contratos con el fin de mantener fijo el precio de un título financiero o *commodity* durante un periodo determinado. Existen diversos tipos de contratos para las coberturas, los cuales pueden ser adquiridos tanto en bancos como en los mercados organizados y no organizados. Los contratos adquiridos en estos mercados se les conoce como instrumentos derivados.
 - Aseguramiento. En este tipo de contratos transfiere totalmente el riesgo a una aseguradora, la cual debe de responder por todos los daños que surjan del riesgo a cubrir. Para esto se pagará una prima periódicamente que representará un costo para el inversionista, el cual puede llegar a ser un gasto de importancia para el proyecto.
 - Diversificación. Se emplea principalmente en los portafolios de inversión y consiste en distribuir el monto total de una inversión en distintos activos. De esta forma se tiene un sistema donde unos activos estarían absorbiendo el riesgo de otros. En los proyectos de inversión suele hacerse comprando bienes o servicios con diferentes monedas, con el fin de cubrir posibles devaluaciones de la moneda local.
4. Asumir el riesgo. Existen riesgos que no pueden evitados o transferidos, incluso en algunos casos los costos por tomar alguna de las opciones anteriores son

muy altos. No obstante, es recomendable aplicar técnicas para reducir y minimizar el riesgo, en caso de que esto no sea posible, éste deberá ser aceptado para posteriormente buscar otras soluciones que permitan compensar las pérdidas.

4.4.2. Instrumentos derivados en la administración del riesgo

Como se comentó al inicio de este capítulo, la volatilidad y la incertidumbre presentes en los mercados financieros y en los proyectos de inversión han hecho que los inversionistas consideren diferentes herramientas para controlar y administrar los riesgos a los que se encuentran expuestos.

Dentro de las herramientas más empleadas para la administración de riesgo se encuentran los productos derivados como los contratos de futuros y opciones financieras, los cuales se encuentran listados en las Bolsas de Derivados (mercados organizados), en México a esta bolsa se le conoce como MexDer. Asimismo, los productos derivados también se encuentran listados en los mercados extrabursátiles, conocidos como mercados *Over The Counter* (OTC, por sus siglas en inglés).

Un producto derivado se define como un instrumento financiero cuyo valor deriva del valor de un activo, el cual puede ser un *commodity* como el maíz, el oro o el petróleo. Asimismo, puede ser un activo financiero como las acciones, índices bursátiles, divisas o instrumentos de deuda. Con base en lo anterior, se puede decir que los productos derivados son instrumentos de transferencia de riesgo, ya que el riesgo que algunos agentes económicos no desean asumir es transferido a otros agentes económicos que tienen el interés de adquirir dichos riesgo a cambio del pago de una prima.

En la década de los 70's los productos derivados se comenzaron a utilizar de manera importante como resultado de que las variables que antes se caracterizaban por ser muy estables (tipo de cambio, tasas de interés, inflación, etc.) comenzaron a ser muy volátiles como consecuencia de la caída del Acuerdo de Bretton Woods y la globalización. Los productos derivados más simples son conocidos como de primera generación o *plain vanilla* (Lara, 2005):

1. Contratos adelantados o forwards
2. Contratos de futuros
3. Contratos de opciones

4. Contratos swaps

Los contratos listados anteriormente suelen emplearse, principalmente, con las siguientes tres finalidades:

1. **Cobertura de riesgos.** Empleada en la administración del riesgo para transferir los riesgos de las variables con mayor volatilidad en los proyectos de inversión y, de esta forma, poder mitigarlos total o parcialmente. Consiste en asegurar el precio de un activo subyacente durante periodo determinado, a través de algunos de los instrumentos mencionados anteriormente.
2. **Especulación.** Es utilizado por los agentes económicos que realizan una apuesta direccional del precio de un producto derivado (ya sea a la alza o a la baja) para obtener un rendimiento proporcional al riesgo que están tomando. Esta actividad no es muy utilizada en los mercados organizados, ya que a mayor número de agentes económicos, mayor será la liquidez.
3. **Arbitraje.** Se utiliza para obtener un rendimiento aprovechándose de las imperfecciones detectadas en los mercados financieros. Esta imperfección consiste en que el precio de un mismo activo pueda encontrarse más barato en un mercado que en otro. De esta forma se compraría en el mercado donde el activo es más barato y se vendería en el que es más caro, obteniendo un rendimiento igual a la diferencia de los precios.

Contratos adelantados o forwards

Como se mencionó previamente, la mayoría de las actividades económicas están sujetas al riesgo y la incertidumbre. Por esta razón los mercados financieros han desarrollado diferentes formas de contratación y titulación, con el fin de asegurar a un precio fijo la compra o venta de un activo físico o financiero. Los futuros son los títulos financieros más antiguos que se negocian en los mercados organizados, sin embargo, sus antecesores inmediatos son los contratos adelantados o forwards.

Un forward o contrato adelantado se puede definir como un acuerdo entre dos partes para comprar o vender un activo a un precio y una fecha previamente pactados. Este tipo de contratos se operan en los mercados extrabursátiles (OTC, por sus siglas en inglés) o en la banca, por lo cual puede decirse que son contratos hechos “a la medida”, pues se tiene la facilidad de seleccionar el número de lotes a negociar, calidad, formas de pago, etc.

En este tipo de instrumentos el participante se compromete a comprar el activo asume la posición larga, mientras que el participante que asume la posición corta es el que deberá vender el activo acordado previamente. Entonces, si se tiene la posición larga y el precio del futuro aumenta se registrara una ganancia equivalente a la diferencia entre el precio del activo en el mercado y el precio futuro contratado.

A continuación en la figura 4.2 se muestra el perfil de riesgo para el agente económico que asume una posición larga, asimismo, la ecuación del rendimiento esperado queda definida de la siguiente manera:

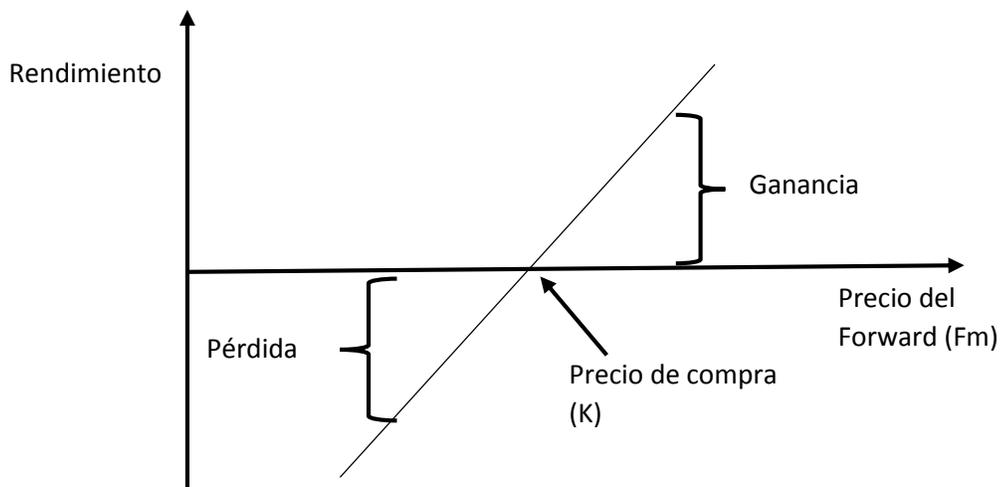
$$\text{Rendimiento} = F_m - K$$

donde:

K es el precio pactado de venta del activo (parámetro variable)

F_m es el precio de mercado del forward (parámetro variable)

Figura 4.2. Posición larga en contratos forwards



Fuente: Lara (2005)

El perfil de riesgo del agente económico que posee la posición corta (figura 4.3) es el inverso del perfil del agente con la posición larga, y la ecuación para determinar el rendimiento esperado se expresa de la siguiente manera:

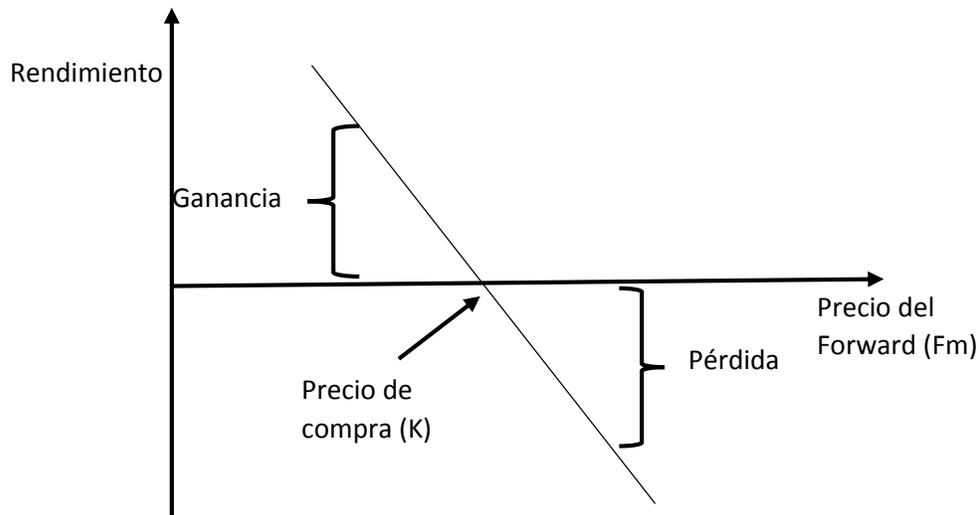
$$\text{Rendimiento} = K - F_m$$

donde:

K es el precio pactado de venta del activo (parámetro variable)

Fm es el precio de mercado del forward (parámetro variable

Figura 4.3. Posición corta en contratos forwards



Fuente: Lara (2005)

Cabe mencionar que en los contratos adelantados se negocian principalmente *commodities*, divisas y tasas de interés. Sin embargo, puede ser negociado cualquier tipo de bien o activo financiero que cumpla con las disposiciones del mercado donde se lleven a cabo las negociaciones de compra-venta.

Contratos Futuros

Los contratos futuros poseen las mismas características que los contratos adelantados o forwards. Es decir, es un acuerdo entre dos partes donde se pacta vender o comprar un activo a un precio y fecha previamente definidos. La diferencia radica en que éstos son contratos estandarizados que se negocian en los mercados organizados, donde existen instituciones que garantizan el cumplimiento de los contratos por las partes involucradas.

Los mercados organizados de futuros son conocidos como mercados de derivados y tienen la ventaja de ser líquidos, lo cual permite cerrar posiciones en cualquier momento de la vigencia del contrato. Es importante señalar que un contrato estandarizado de futuros debe contener al menos las siguientes especificaciones (Lara, 2005):

1. Un activo o bien subyacente a negociar.
2. Un precio fijo de compra-venta.

3. Calidad y lugar de entrega (en particular si el activo es alguna materia prima).
4. Tamaño del contrato.
5. Fecha de vencimiento.

Es necesario mencionar que el precio que se pacta en los contratos de futuros es fijado por el mercado, y no por los agentes que lo negocian como sucede en los contratos adelantados.

En el mercado de derivados existe una Cámara de Compensación, la cual establece márgenes por cada contrato de futuros. Para esto tanto el vendedor como el comprador deben realizar un depósito para garantizar a la cámara de compensación el cumplimiento del contrato en su fecha de vencimiento. A este depósito se le llama margen inicial, conocido como aportación inicial mínima en el Mercado de Derivados (MexDer) mexicano. Además, al final de cada operación la cuenta del margen es ajustada con el fin de que el inversionista conozca su saldo actual, lo cual se le conoce como marcar por mercado (*mark-to-market*).

Resulta importante señalar que los mercados de derivados listados o estandarizados, cuenta con una Cámara de Compensación que tiene la obligación de garantizar el cumplimiento de todas las obligaciones financieras que se generan por las operaciones de productos derivados estandarizados. En México, a la Cámara de Compensación se le conoce como Asigna (Martínez, 2006).

Para asegurar que la cuenta de margen no llegue a un saldo negativo se establece un margen de mantenimiento, el cual establece que si la cuenta llega a ser menor o igual al margen de mantenimiento, el inversionista recibe una llamada conocida como llamada de margen (*margin call*). Esta llamada se hace con el fin de que el cliente restituya el margen inicial al siguiente día hábil, en caso contrario se considera que el inversionista está incumpliendo y se cerraran todas sus posiciones en el mercado.

Contratos de opciones

Una opción financiera es aquella que da a su tenedor el derecho, más no la obligación de vender o comprar un activo subyacente a un precio (precio de ejercicio) y en una fecha determinada, a cambio del pago de una prima (precio de la opción).

De acuerdo al derecho adquirido existen dos tipos de opciones: las opciones de compra (*call option*) y las opciones de venta (*put option*).

1. **Opción de venta (*put option*).** Es aquella que da su poseedor el derecho más no la obligación de vender un activo subyacente a un precio determinado, independientemente de cuál sea el precio de mercado al momento del ejercicio. El poseedor de la opción decidirá venderla si el precio de mercado del bien subyacente se encuentra por debajo del precio de ejercicio, y su ganancia será precisamente la diferencia entre estos dos precios.
2. **Opción de compra (*call option*).** Da a quien la adquiere el derecho, más no la obligación de comprar un activo subyacente. Contrario a las opciones de venta, el tenedor decidirá comprar si el precio de mercado del activo subyacente se encuentra por encima del precio de ejercicio, y su rendimiento es también la diferencia entre estos precios.

Otra clasificación que existe de las opciones financieras es de acuerdo a su ejercicio, donde destacan las siguientes dos opciones (Ortiz, 2017):

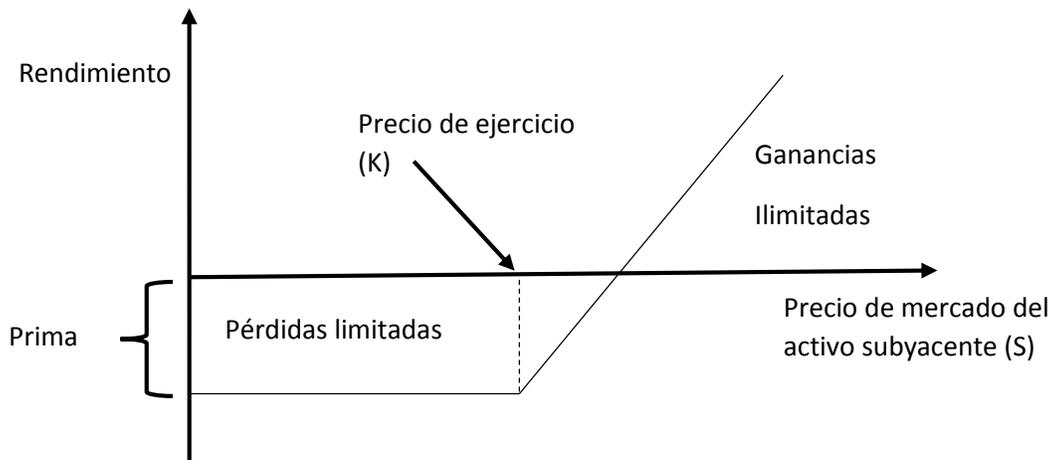
1. **Opciones americanas.** Son aquellas opciones que pueden ejercerse en cualquier momento de la vigencia del contrato, desde que se compra hasta la fecha de vencimiento.
2. **Opciones europeas.** Estas opciones solo se pueden ejercer en su fecha de vencimiento.

Para tener derecho a un contrato de opciones hay que pagar una prima, la cual está en función del periodo de vencimiento del contrato, la volatilidad, el precio de ejercicio y la tasa de interés libre de riesgo. Asimismo, la prima es la ganancia máxima a la que aspira el vendedor del contrato, mientras que para el comprador es la pérdida máxima.

Desde el punto de vista del comprador se dice que una opción se encuentra dentro del dinero (*In The Money, ITM*) cuando al ejercer la opción se tienen rendimientos. Por el contrario, se dice que la opción está fuera del dinero (*Out of The Money, OTM*) si al ejercer la opción se obtienen resultados desfavorables; sin embargo, cuando el valor de la opción se iguala al valor de la prima se dice que la opción está en el dinero (*At The Money, ATM*) (Ortiz, 2017).

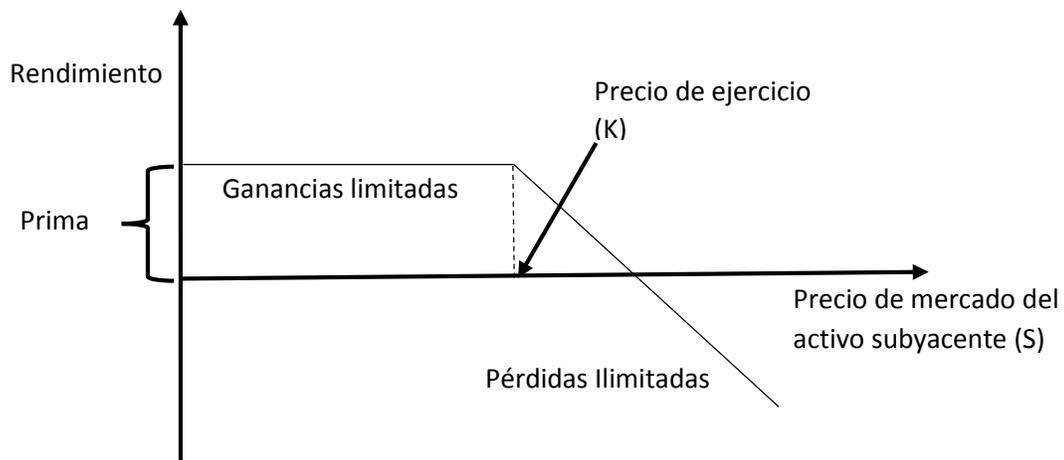
En la figura 4.4 se muestra el perfil de riesgo-rendimiento de una opción de compra (*call option*) desde el punto de vista del comprador, mientras que en la figura 4.5 se aprecia el perfil para el mismo tipo de opción, pero desde la perspectiva del vendedor.

Figura 4.4. Perfil riesgo-rendimiento de una opción de compra (comprador)



Fuente: Lara (2005)

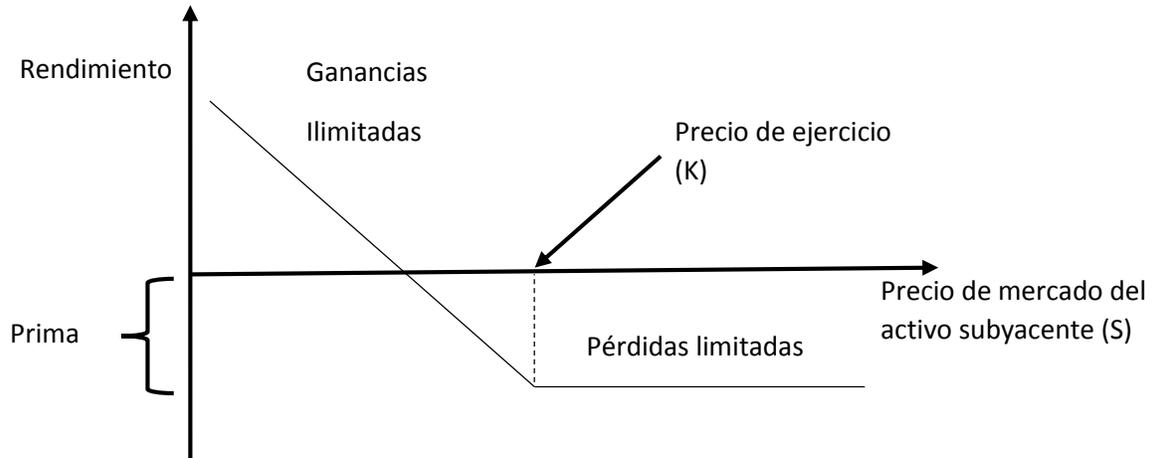
Figura 4.5. Perfil riesgo-rendimiento de una opción de compra (vendedor)



Fuente: Lara (2005)

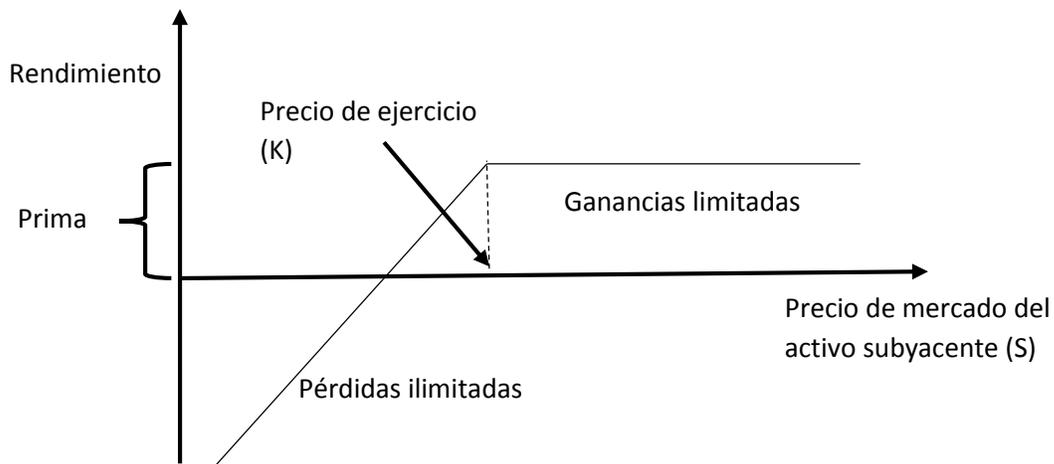
De la misma manera se pueden obtener los perfiles riesgo-rendimiento para una opción de venta (*put option*). A continuación en la figura 4.6 se muestra el perfil riesgo-rendimiento del comprador y en la figura 4.7 el correspondiente al vendedor.

Figura 4.6. Perfil riesgo-rendimiento de una opción de venta (comprador)



Fuente: Lara (2005)

Figura 4.7. Perfil riesgo-rendimiento de una opción de venta (vendedor)



Fuente: Lara (2005)

Contratos de Swaps

El *swap* o permuta financiera es un contrato en el que dos agentes económicos intercambian simultáneamente flujos de efectivo que se encuentran en diferentes divisas o tasas de interés. Entonces, de acuerdo a lo anterior existen dos tipos de swaps: de tasas de interés (*IRS, Interest Rate Swaps*) y de monedas (*CCURS, Cross Currency Interest Swaps*). Estos instrumentos se emplean comúnmente para manejar los perfiles de riesgo de los activos y pasivos del balance general de las empresas.

Dadas las necesidades actuales de las empresas se han creado diferentes tipos de swaps de tasas de interés. A continuación, se mencionan algunos de los más comunes (Lara, 2015):

- Swap simple o Plain Vanilla. Es un swap de intercambios periódicos de pagos de tasa fija de interés.
- Swap a tasa flotante. En este swap la tasa con la que se realizan los pagos periódicos es variable, y se le suma un número de puntos porcentuales adicionales que se determinan en una negociación previa.
- Swap redimible por tasa fija o flotante. Es un swap donde los pagos pueden hacerse a tasa fija o flotante, y tienen como ventaja el poder terminar este contrato antes de su fecha de vencimiento.
- Swap amortizable. Puede ser a tasa fija o flotante, y se realiza con referencia a un monto notional que es decreciente durante la vida del swap.
- Swap de cupón cero por flotante. El agente económico que tiene la tasa fija realiza un solo pago en la fechas de vencimiento del swap, mientras que el agente que tiene la tasa flotante realiza los pagos periódicamente durante la duración del swap.
- Swap con techo de tasas. Se refiere al intercambio de pagos a tasas fijas por pagos a tasas flotantes que tienen un límite superior, es decir, el agente que paga a tasa flotante conocerá cual será el pago máximo que deberá realizar.

Es importante mencionar que para la elaboración de este capítulo se emplearon principalmente las obras de Cooper (2005), Del Capiro (2006), Esteva (1994), Lara (2005), Martínez (2006), Morgan (2013), Rodríguez (2011) y Zapata (2016).

5. Evaluación de un proyecto de Ingeniería Civil

En este capítulo se presenta la aplicación de la metodología de opciones reales para el manejo de la incertidumbre que existe en los proyectos de ingeniería civil. Este proyecto consiste en la ampliación de línea A del Sistema del Transporte Colectivo (STC), la cual tiene como finalidad apoyar en los problemas de movilidad y transporte en los municipios de Ixtapaluca, Los Reyes, Chalco y Valle de Chalco del Estado de México. Además, este proyecto forma parte de la lista de proyectos clave dentro del Programa Nacional de Infraestructura.

El estudio costo-beneficio del proyecto fue tomado del catálogo de proyectos de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público⁸. Este estudio se realizó en diciembre de 2013 con el objetivo de que fuera presentado ante el Gobierno Federal para su autorización y ejecución.

Hasta el día de hoy no se ha realizado el proyecto, ya que factores económicos-financieros como la depreciación del peso y el incremento en el precio de los materiales para la construcción han ocasionado que los costos se eleven de forma importante. Lo anterior aunado a la caída de los precios del petróleo en el 2014, situación que derivó en la cancelación y/o postergación de diversos proyectos que formaban parte del PNI.

5.1. Características generales del proyecto

La ampliación de la línea A contemplaba una longitud aproximada de 13 km de recorrido con 6 estaciones intermedias (4 superficiales y 2 elevadas); así como la construcción de una nueva terminal en el Municipio de Chalco. Para facilitar las operaciones en la línea se planeaba construir infraestructura adicional como cocheras, fosas de inspección y vías de lavado.

El trazo previsto para el proyecto es a través de la autopista México-Puebla desde el Municipio de Chalco hasta la actual estación de La Paz, ubicada en el Oriente de la Zona Metropolitana del Valle de México (Figura 5.1), recorriendo las zonas más pobladas de los Municipios de Chalco, Ixtapaluca y Valle de Chalco. Por esta razón se consideró que éste

⁸ La información fue tomada de la siguiente página de internet:
<https://www.sistemas.hacienda.gob.mx/mippi/nuevapub/inicio.jsp>

sería un proyecto con grandes beneficios sociales, pues reduciría los tiempos de traslado y, por ende, mejoraría la calidad de vida de los habitantes de la región

Figura 5.1 Trazo de la ampliación de la línea A



Fuente: SHCP

Cabe mencionar que antes de ser seleccionado el proyecto de ampliación de la línea A como una solución definitiva al problema de transporte de la zona, se analizaron otras dos posibles soluciones: la construcción de un tranvía y una nueva línea del MexiBus. La selección del proyecto óptimo se determinó con base en el Costo Generalizado de Viaje (CGV) de cada una de las opciones, seleccionado aquél proyecto que obtuvo el menor CGV.

Un CGV bajo quiere decir que habría menores costos de operación, por lo cual las personas que utilicen el sistema de transporte con el menor CGV tendrán mayores ahorros de tiempo y dinero en comparación a otros proyectos. En la tabla 5.1 se muestra el CGV obtenido para cada una de las soluciones mencionadas con anterioridad.

De acuerdo la tabla 5.1 el mayor CGV a lo largo del horizonte de evaluación (30 años) se obtendría mediante la construcción del tranvía, mientras que el menor CGV se registraría si se realiza la ampliación de la línea A del STC. Sin embargo, el CGV entre el MexiBus y la ampliación de la línea A son muy similares, pero por cuestiones ambientales, operativas y de capacidad resulta conveniente la ampliación de la línea A.

Además, la ampliación de la línea A reduciría los tiempos de trasbordo y de espera en la estación La Paz, ya que en los otros dos casos (Tranvía y Mexibus) se tendrían realizar traslados de cambio modal y, en consecuencia, aumentarían el CGV y los usuarios podrían optar por otros modos de transporte convencionales.

Tabla 5.1. Comparativo de los CGV entre Tranvía, Mexibus y Metro

Año	Tranvia CGV	Mexibus CGV	Metro CGV
1	\$ 5.529.673.984	\$ 2.571.347.509	\$ 2.462.484.368
2	\$ 5.637.787.962	\$ 2.571.347.509	\$ 2.462.484.368
3	\$ 5.988.539.433	\$ 3.265.426.533	\$ 3.118.919.946
4	\$ 6.131.631.301	\$ 3.309.997.212	\$ 3.169.158.893
5	\$ 6.277.744.370	\$ 3.353.848.732	\$ 3.209.506.496
6	\$ 6.426.996.807	\$ 3.487.921.994	\$ 3.253.349.123
7	\$ 6.579.380.281	\$ 3.530.236.499	\$ 3.292.282.524
8	\$ 6.734.937.596	\$ 3.571.710.087	\$ 3.330.442.201
9	\$ 6.772.261.602	\$ 3.612.291.241	\$ 3.367.780.755
10	\$ 7.055.979.659	\$ 3.651.927.844	\$ 3.404.250.230
11	\$ 7.221.595.664	\$ 3.720.887.482	\$ 3.453.434.005
12	\$ 7.342.038.950	\$ 3.758.484.101	\$ 3.488.026.500
13	\$ 7.458.292.806	\$ 3.795.017.699	\$ 3.521.640.913
14	\$ 7.575.802.506	\$ 3.830.465.204	\$ 3.554.256.016
15	\$ 7.694.609.998	\$ 3.864.767.787	\$ 3.585.817.682
16	\$ 7.814.881.152	\$ 3.928.414.724	\$ 3.620.661.166
17	\$ 7.936.672.759	\$ 3.960.948.756	\$ 3.650.595.595
18	\$ 8.078.269.793	\$ 3.992.297.124	\$ 3.679.439.099
19	\$ 8.203.014.732	\$ 4.022.424.196	\$ 3.716.506.781
20	\$ 8.329.187.293	\$ 4.051.670.442	\$ 3.743.416.131
21	\$ 8.456.866.619	\$ 4.079.633.302	\$ 3.769.144.644
22	\$ 8.548.169.421	\$ 4.166.926.065	\$ 3.797.844.640
23	\$ 8.638.204.569	\$ 4.192.226.339	\$ 3.821.123.318
24	\$ 8.728.651.842	\$ 4.216.150.125	\$ 3.843.135.495
25	\$ 8.819.768.712	\$ 4.239.057.459	\$ 3.864.212.439
26	\$ 8.911.210.101	\$ 4.260.537.744	\$ 3.883.976.360
27	\$ 8.956.657.273	\$ 4.280.565.375	\$ 3.902.403.702
28	\$ 8.996.962.231	\$ 4.298.326.939	\$ 3.918.746.043
29	\$ 8.996.962.231	\$ 4.298.326.939	\$ 3.918.746.043
30	\$ 8.996.962.231	\$ 4.298.326.939	\$ 3.918.746.043

Fuente: SHCP

Inicialmente se tenía previsto que la construcción de este proyecto fuera iniciada durante el primer semestre del 2014 para finalizarla en el segundo semestre del 2017. En enero de 2014 la SHCP realizó una evaluación para un horizonte de 30 años con una Tasa

Social de Descuento (TSD) del 10%. Para esto se consideró que las inversiones se realizarían durante los primeros dos años del proyecto, además, se analizó una situación con proyecto y otra sin proyecto considerando todos los costos y beneficios sociales involucrados en cada una de éstas (las tablas correspondientes a los flujos de efectivo se incluyen en el Apéndice A.1). A partir de estas consideraciones los resultados que se obtuvieron en la evaluación inicial fueron los siguientes:

- El VPN resultó positivo (P\$1,797,233,228), y de acuerdo con el criterio del VPN el proyecto es aceptado, ya que basta con que el VPN sea positivo para no rechazar el proyecto.
- De la misma manera, el proyecto es aceptado de acuerdo al criterio de la TIR (11.87%) y la TRI (12.18%), pues estas tasas resultaron ser mayores a la TSD (10%). Cabe mencionar que la TRI resulta ser mayor a la TSD hasta el tercer año del proyecto, lo cual significa que es aceptable comenzar las operaciones del proyecto en dicho año.

La construcción del proyecto no ha iniciado como resultado de la inestabilidad económica que se ha presentado en el país en los últimos años. Además, el proyecto es muy sensible a los cambios en el precio de los materiales para la construcción, el salario mínimo, el tipo de cambio y la inflación. Estas variables han registrado un comportamiento muy volátil en los últimos años, por lo cual se hizo un ajuste al proyecto con las variaciones que se presentaron desde enero de 2014 hasta septiembre de 2017. En la tabla 5.2 se aprecian los cambios que se han registrado en las variables económicas y financieras anteriormente mencionadas durante este periodo (en el Apéndice A.2 se muestra el comportamiento en los últimos 5 años de cada variable).

Tabla 5.2. Variación en las variables financieras y económicas

Variable	Diciembre 2013	Septiembre 2017	Variación
Tipo de cambio (promedio anual)	P\$12.90 por dólar	P\$19.1816 por dólar	+48.69%
Índice de precios de Materiales para la construcción (puntos)	98.4704	125.4005	+27.35%
INPC (puntos)	111.5080	127.9120	+14.71%
Salario mínimo	P\$63.77 por jornada	P\$88.04 por jornada	+38.56%

Fuente: Elaboración propia

Los ajustes mencionados en el párrafo anterior se aplicaron en las diferentes partidas que componen el proyecto (inversiones, costos de operación y mantenimiento, y beneficios), las cuales involucran diferentes conceptos para su estimación. Por lo tanto, no todas las variables económicas y financieras impactarán de la misma manera en cada partida. A continuación se da una breve descripción de los principales conceptos que componen cada partida.

Las inversiones involucran la construcción de obra civil, el montaje de instalaciones (electrificación y de señalización) y los costos relacionados con el equipamiento, como los trenes y el equipo necesario para su operación (pilotaje automático, mando centralizado, comunicaciones, etc.).

Los costos de operación y mantenimiento incluyen algunas reinversiones en compra de trenes, piezas electromecánicas, vías y trabajos de nivelación que surjan por el asentamiento del suelo con el tiempo. Asimismo, se involucran los costos por reparación de las instalaciones en las estaciones, líneas eléctricas, subestaciones, talleres, etc.

Los beneficios nominales se obtienen mediante un análisis anual de un escenario con proyecto (primer escenario) y otro sin proyecto (segundo escenario), el flujo resultante de la diferencia del primer escenario con el segundo es el beneficio nominal. Para esto se considera la liberación de recursos que se obtiene al reducir el número de unidades de transporte público, así como los ahorros de tiempo y operación resultantes de ambas situaciones (con y sin proyecto).

Con las variaciones de la tabla 5.2 se ajustaron los costos de obra civil, material rodante, costos por energía eléctrica, combustibles, beneficios por ahorro de tiempo y todas las partidas directamente dependientes de la volatilidad de dichas variables (en el Apéndice A.1 se aprecian los flujos de efectivo obtenidos bajo esta actualización). A continuación se muestran de manera resumida los resultados obtenidos bajo los criterios anteriores:

- El VPN resultó negativo (-P\$791,553,728), por lo cual el proyecto no resulta rentable, y de acuerdo con la metodología del VPN debe ser rechazado.
- La TIR fue de 9.35% siendo menor a la TSD (10%); por lo tanto, el proyecto de igual forma se rechaza según el criterio de la TIR.
- La TRI da un valor superior a la TSD (10%) hasta al año número 8

- , por lo cual convendría iniciar las operaciones del proyecto hasta el octavo año, es decir, la construcción del proyecto comenzaría en el año número 5.

Cabe mencionar que para verificar si es conveniente el diferir el proyecto hasta el quinto año se aplicará la metodología de opciones reales.

5.2. Metodología de opciones reales

Cálculo de la volatilidad

Para aplicar la metodología de opciones reales es necesario encontrar el valor de algunas variables implícitas en el método, una de estas variables es la volatilidad de los flujos de efectivo. Para determinar esta variable se establecieron tres escenarios (base, pesimista y optimista), los cuales se emplearon para realizar una simulación y conocer el coeficiente de variación de los flujos de efectivo. Es importante señalar que el escenario base es el que se calculó con el ajuste en las inversiones, los costos y beneficios netos a septiembre de 2017.

Para obtener el escenario pesimista se utilizó la variación máxima anual que se ha presentado en los últimos cinco años (tiempo de vida de la opción) en el tipo de cambio, el precio de los materiales para la construcción y la inflación; ya que estas variables incrementarían tanto los costos de operación y mantenimiento como las inversiones iniciales. Para el caso del salario mínimo se considera que este permanece constante, pues no es una variable que disminuya con el tiempo.

En el caso del escenario optimista se consideró la variación mínima anual en 5 años que se ha registrado en los precios de materiales para la construcción y el tipo de cambio. Para la inflación se consideró que esta se mantiene constante, ya que históricamente no se han presentado inflaciones negativas anuales; mientras que para el salario mínimo se consideró la variación máxima que se ha tenido en los últimos cinco años.

En la tabla 5.3 se muestran de manera resumida las variaciones obtenidas con las consideraciones anteriores para los escenarios pesimista y optimista (en el Apéndice A.2 se muestra el comportamiento histórico de las variables en los últimos 5 años).

Tabla 5.3. Variaciones para escenarios pesimista y optimista

Variable	Pesimista	Optimista
Tipo de cambio	+19.51% (P\$22.9269 por dólar)	-2.10% (P\$18.7782 por dólar)
Índice de precios de materiales para la construcción	+8.71%	-0.69%
INPC	+4.08%	Se mantiene el base
Salario mínimo	Se mantiene el base	+ 9.5838% (P\$87.71 por jornada)

Fuente: Elaboración propia

Detallando un poco más la tabla 5.3, en el escenario optimista se registró una variación máxima en el tipo de cambio de +19.51%, lo anterior quiere decir que el tipo de cambio podría pasar de P\$19.1816 por dólar (escenario base) hasta P\$22.9269 por dólar (escenario pesimista). Respecto a las variaciones de INPC y precios de materiales para la construcción, se pueden traducir como un aumento máximo a las partidas del escenario base actual. De la misma manera este criterio se utiliza para el escenario optimista, empleando sus variaciones correspondientes.

Cabe mencionar que en el escenario base se contempló que las variables ajustadas continuarían constante durante todo el proyecto, por ejemplo, el tipo de cambio a usar fue de P\$19.1816 por dólar, el cual se consideró que se mantendría fijo durante todo el proyecto. Lo mismo aplica para los escenarios optimista y pesimista, los cuales se agregaron con el fin de obtener un modelo dinámico y poder realizar una simulación que permita conocer la volatilidad de los flujos.

Con las variaciones máximas y mínimas mencionadas anteriormente, se obtuvo el VPN, así como la TIR y TRI para cada uno de los escenarios (optimista y pesimista). A continuación en la tabla 5.4 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla. 5.4. Resultados por escenario

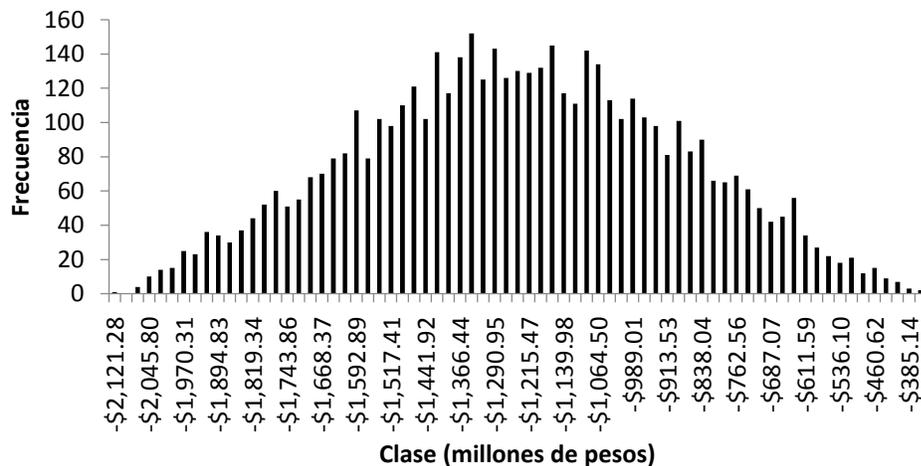
Parámetro	Pesimista	Base	Optimista
VPN	-P\$2,490,676,166.08	-P\$ 791,553,728	-P\$ 545,012.24
TIR	8.13%	9.35%	10.0%
TRI	10.05% en el año 18	10.06% en el año 8	10.14% en el año 4

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5.4 se aprecia que con el criterio del VPN, el proyecto no es aceptado en ningún escenario, mientras que con el método de la TIR únicamente se acepta el proyecto bajo un escenario optimista. Por otro lado, según la metodología de la TRI es conveniente diferir el proyecto en todos los escenarios, aunque en el escenario optimista sólo sería un año más respecto a la evaluación inicial (Enero 2014).

Con los escenarios optimistas, base y pesimista se procedió a realizar una simulación. Para esto se consideró que los escenarios siguen una distribución triangular⁹, ya que es una distribución que comúnmente es utilizada en proyectos donde se tiene información limitada. Este es el caso de los proyectos de infraestructura, puesto que no se cuenta con proyectos idénticos que puedan proporcionar información del comportamiento de los flujos de efectivo. Con base a lo anterior, se realizó una simulación de 5,000 pruebas con el fin de conocer la variación en los flujos de efectivo (Figura 5.2).

Figura 5.2. Histograma de simulación



Fuente: Elaboración propia

De manera resumida los resultados obtenidos de la simulación fueron los siguientes:

- El rango del flujo de efectivo va de -P\$2,362.87 millones a P\$276.22 millones
- La media geométrica es de -P\$1,439.42 millones
- La desviación estándar es de P\$368.96 millones
- El coeficiente de variación (CV) es de 0.2563

⁹ Para información de las bases teóricas de esta metodología consultar la bibliografía de Johnson (1997)

Es necesario señalar que el coeficiente de variación es precisamente la volatilidad de los flujos, ya que nos indica cual es la variabilidad de los flujos de efectivo respecto a la media.

Tasa libre de riesgo

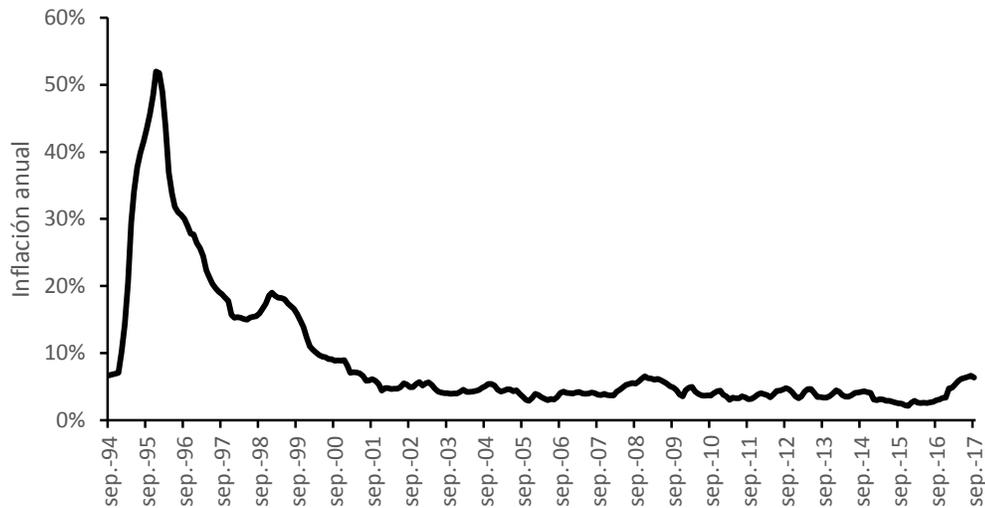
Para la tasa libre de riesgo se consideró la tasa de CETES a 364 días, ya que es la tasa más representativa para este proyecto y el mercado financiero mexicano en general. Para encontrar el valor de la tasa a emplear en la metodología de opciones reales, se obtuvo la media geométrica de los rendimientos de los CETES a 364 días (Apéndice A.2) en 5 años, ya que es el tiempo de vida de la opción de diferir el proyecto.

De acuerdo al párrafo anterior, se obtuvo una media geométrica de la tasa de CETES a 364 días de 4.01%. Además, la tasa a utilizar fue la nominal, ya que de acuerdo con Damodaran (2002) es conveniente utilizar las tasas reales solo cuando se tienen condiciones de inflación elevada e inestable.

Tómese en cuenta que desde 1999 México ha adoptado políticas que tienen como objetivo controlar los niveles de inflación en el país (BANXICO, 2017). Con base en los niveles de inflación que se han presentado en México en los últimos 17 años, puede considerarse que se tiene una inflación alta e inestable cuando la inflación tiene niveles de fluctuación por arriba del 10%.

En la figura 5.3 se aprecia que durante la crisis del peso mexicano se registraron niveles de inflación muy altos que llegaron a estar por encima del 50%, por lo cual en este periodo resultaba conveniente utilizar tasas reales. Por otro lado, se observa que a partir del 2000 se han mantenido niveles más estables de inflación; sin embargo, desde 2016 existió una ligera alza en la inflación más allá de la meta de $\pm 3.5\%$ (inflación cercana a la EE.UU. y Canadá) por parte de Banxico. Ante esta situación Banxico ha emitido acciones que permitan que hacia finales del 2018 la inflación corresponda a los límites establecidos por la misma institución.

Figura 5.3. Inflación anual histórica



Fuente: INEGI

Por último, el valor del activo subyacente en el año cero corresponde al valor presente de los beneficios netos del proyecto, el cual fue por un monto de P\$11,585,878,670; mientras que el valor presente de las inversiones es de P\$12,377,432,397.80. Entonces, de acuerdo a los criterios anteriores, los parámetros necesarios para emplear la metodología de opciones reales son los siguientes:

- Inversión= P\$12,377 millones
- S_0 =P\$11,586 millones
- σ = 25.63%
- r =4.01%
- t = 5 años

Con los parámetros anteriores se construyó el árbol binomial del activo subyacente para los cinco años de vida de la opción, ya que es el primer paso para poder emplear la metodología de opciones reales. Para la construcción del árbol se obtuvieron los coeficientes de ascenso y descenso, conforme a las expresiones del capítulo 3. A continuación se muestra los resultados obtenidos para cada coeficiente:

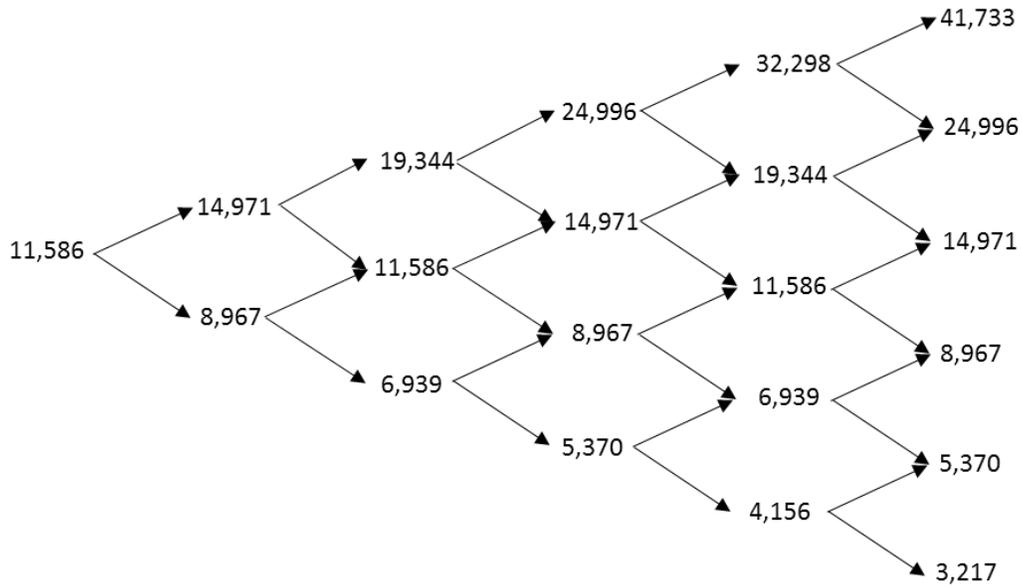
$$u = e^{0.2563\sqrt{1}} \quad u = 1.2921$$

$$d = \frac{1}{2.0826} \quad d = 0.7739$$

Una vez calculados coeficientes de ascenso y descenso, se construyó el árbol binomial que corresponde al activo subyacente (figura 5.4). Para esto se realizó el producto entre el valor

del activo subyacente en el año cero por el coeficiente de ascenso ($u=1.2921$) y descenso ($d=0.7739$). De esta forma, para el primer año se puede ascender a un valor de $S_u= P\$14,971$ millones y descender a $S_d= P\$8,967$ millones, partiendo desde un $S_0=P\$11,586$ millones. Para calcular los valores del segundo año se multiplican los resultados del primer año por los coeficientes de ascenso y descenso. Este mismo procedimiento se emplea para los años subsecuentes.

Figura 5.4. Árbol binomial del activo subyacente (Cifras en millones de pesos)



Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que al tomar la decisión de diferir el inicio de un proyecto se renuncia tanto a los beneficios como a los costos, es decir, se renuncia a los beneficios netos¹⁰ que se tenían en los años que se pretende diferir el inicio. Bajo este criterio se ajustó el árbol del activo subyacente (figura 5.4), para lo cual se empleó el Valor Presente de los Beneficios Netos del proyecto base (tabla 5.5.) durante cada año que se difiere el inicio de operaciones.

¹⁰ Mascareñas en su trabajo “Opciones reales en la valoración de proyectos de inversión” menciona que durante el tiempo de espera en un proyecto de inversión se pierde el valor de los beneficios netos que se puedan tener durante ese periodo

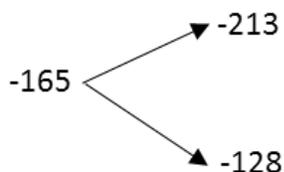
Tabla 5.5. Beneficios Presentes Netos

Año	Beneficios Netos	Valor Presente de los Beneficios Netos
1	-\$181,487,029	-\$164,988,208
2	-\$165,278,270	-\$136,593,612
3	\$1,385,470,100	\$1,040,924,192
4	\$1,461,647,541	\$998,324,938
5	\$1,475,310,973	\$916,052,041

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se proyectó el Valor Presente de los Beneficios Netos con un árbol binomial hasta el año de ajuste correspondiente, utilizando los coeficientes de ascenso ($u=1.2921$) y descenso ($d=0.7739$). Por ejemplo, para el año 1 el Beneficio Presente Neto de -\$P\$164.988 millones se proyectó en un árbol de un periodo (figura 5.5) mediante el producto con los coeficientes de ascenso y descenso; mientras que el para el Beneficio Presente Neto de 2 años se hizo una proyección hasta el segundo periodo, y así sucesivamente.

Figura 5.5. Proyección del beneficio presente neto en el año 1

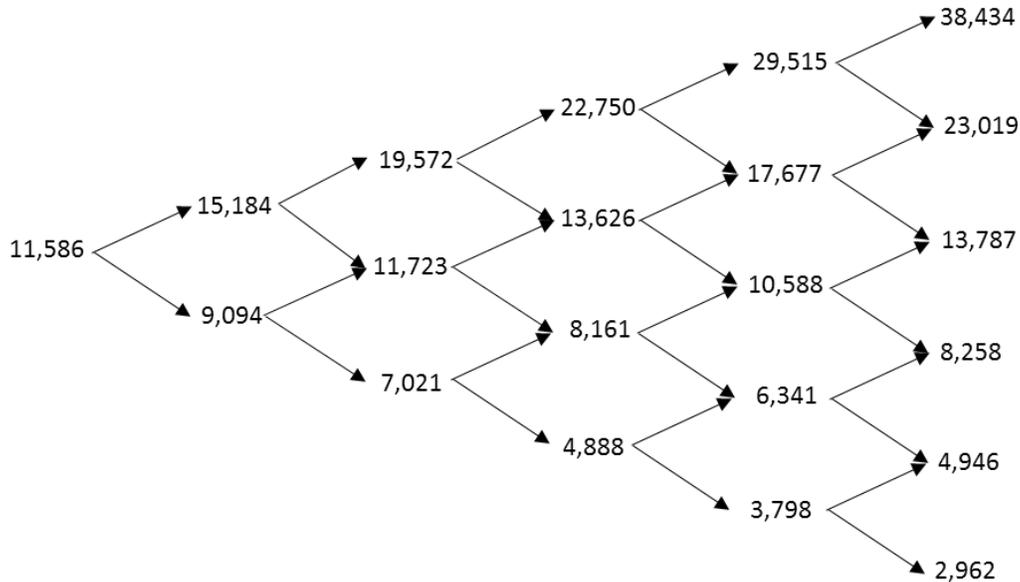


Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso fue ajustar el árbol del activo subyacente (figura 5.4), descontando los beneficios netos a los que se renuncia en cada año. En la figura 5.5 se aprecia que durante los primeros dos años se tienen beneficios netos negativos, lo cual se debe a que en dichos años los costos son mayores a los beneficios. La situación anterior otorga valor agregado al proyecto en dichos años, ya que al renunciar a los beneficios también se renuncia a los costos implícitos en el periodo que se difiere el proyecto. Por ejemplo, en el primer año se tienen beneficios adicionales por P\$213 millones y P\$128 millones, es decir, los beneficios totales serían de $P\$14,971 + P\$213 = P\$15,184$ millones, y $P\$8,967 + P\$128 = P\$9,094$ millones, respectivamente. De la misma manera se hizo en el resto de árbol, siguiendo la metodología de proyectar mediante un árbol binomial los Beneficios Netos Presentes hasta el año correspondiente para posteriormente ajustar el

árbol del activo subyacente. En la figura 5.6 se muestra el árbol binomial ajustado a los beneficios netos que se renuncia al considerar la opción de diferir.

Figura 5.6. Árbol binomial del activo subyacente ajustado (Cifras en millones de pesos)



Fuente: Elaboración propia

Por último, se obtuvo el árbol binomial de la opción de diferir, para esto fue necesario trasladar el monto de la inversión inicial al año de vigencia de la opción (año 5). Para hacer esta proyección se consideró que la inversión inicial crecería cuando menos la tasa libre de riesgo durante cada año. De esta forma, en el año 5 se obtuvo una inversión equivalente a P\$12,377 millones $\times (1+0.0401)^5 =$ P\$15,066 millones.

Además, se calcularon las probabilidades neutras al riesgo mediante las expresiones que se mencionaron en el capítulo 3, obteniendo los siguientes resultados:

$$a = e^{0.0401 \times 1} \quad a = 1.0409$$

$$p = \frac{1.0409 - 0.7739}{1.2921 - 0.7739} \quad p = 0.5152$$

Posteriormente se calculó el valor de la opción a en cada nodo del árbol binomial, comenzando con los nodos del último año. Para esto se obtuvo la diferencia entre el valor de los beneficios netos y la inversión en el año cinco, con la finalidad de seleccionar el máximo entre cero y el resultado de la diferencia mencionada. El procedimiento para obtener el valor de la opción en cada nodo final fue el siguiente:

$$C_{5,1} = \text{Máx} \{P\$38,434 - P\$15,066, P\$0\} = P\$23,368$$

$$C_{5,2} = \text{Máx} \{P\$23,019 - P\$15,066, P\$0\} = P\$7,953$$

$$C_{5,3} = \text{Máx} \{P\$13,787 - P\$15,066, P\$0\} = P\$0$$

$$C_{5,4} = \text{Máx} \{P\$8,258 - P\$15,066, P\$0\} = P\$0$$

$$C_{5,5} = \text{Máx} \{P\$4,946 - P\$15,066, P\$0\} = P\$0$$

$$C_{5,6} = \text{Máx} \{P\$2,962 - P\$15,066, P\$0\} = P\$0$$

Para obtener los valores de la opción en los nodos del cuarto año se utilizó la probabilidad neutra al riesgo y la tasa libre de riesgo, tal y como se mencionó en el capítulo 3. Con base en lo anterior se obtuvieron los siguientes resultados:

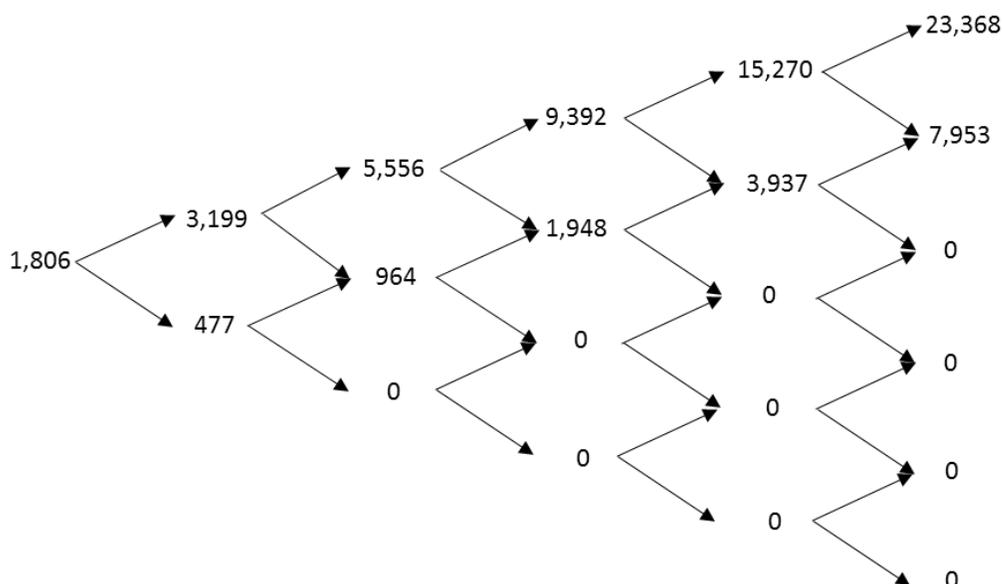
$$C_{4,1} = \frac{0.5152 * 23,368 + (1 - 0.5152) * 7,953}{e^{0.0401}} = 15,270$$

$$C_{4,2} = \frac{0.5152 * 7,953 + (1 - 0.5152) * 0}{e^{0.0401}} = 3,937$$

$$C_{4,3} = \frac{0.5152 * 0 + (1 - 0.5152) * 0}{e^{0.0401}} = 0$$

De manera similar se hizo hace en los nodos faltantes del año 4, lo cuales tienen un valor igual a cero. Además, esta misma metodología se empleó para los nodos restantes de los años faltantes. Los resultados finales obtenidos mediante al procedimiento anterior se muestran en la figura 5.7.

Figura 5.7. Árbol binomial de la opción (Cifras en millones de pesos)



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el árbol de la figura 5.7, el Valor Presente Neto Expandido (VPNE) del proyecto es P\$1,806 millones. Entonces, el valor de la opción de diferir cinco años el proyecto se obtiene mediante la diferencia entre el Valor Presente Neto Expandido y el Valor Presente Neto del proyecto original:

Valor de la opción de diferir=P\$1,806 millones-(-P\$792 millones)

Valor de la opción de diferir= P\$1,806 millones+P\$792 millones

Valor de la opción de diferir= **P\$2,598 millones.**

Con base en el valor de la opción resulta conveniente postergar el proyecto cinco años, ya que se tendría un valor agregado por P\$2,598 millones. Además, durante el periodo que se difiera el proyecto, los recursos destinados al mismo podrían emplearse para financiar otros proyectos que en ese momento generen más valor a la sociedad o, en su caso, buscar nuevas fuentes de financiamiento antes de comenzar con su construcción.

Por otro lado, para administrar el riesgo implicado en la construcción de este proyecto y en general en los proyectos de infraestructura, se pueden utilizar instrumentos derivados o fondos de cobertura que permitan disminuir el impacto de las depreciaciones del peso (en el caso de proyectos que requieren de la compra de bienes y/o servicios con moneda extranjera), cambios en los precios de los materiales, cambios en la economía

mexicana y otros eventos que puedan afectar las operaciones del proyecto. No obstante, también existen métodos de cobertura como la adquisición de contratos anticipados o a largo plazo con proveedores, donde se pacte un precio fijo durante un periodo determinado, algo muy similar a los derivados.

Por último, otra alternativa para reducir el riesgo implícito por las variables económicas y financieras dependientes del proyecto, es mediante la diversificación de proveedores y divisas de transacción. De esta forma sin necesidad de realizar la compra de algún producto derivado se logra disminuir el riesgo de variaciones extraordinarias que pueden surgir durante la vida del proyecto. Para esto se podría hacer una nueva línea de investigación elaborando estrategias para la administración del riesgo en proyectos de infraestructura.

6. Conclusiones

El objetivo principal de la presente tesis fue comprobar si la metodología de opciones reales es idónea para evaluar proyectos de ingeniería civil. Su aplicación en el proyecto de ampliación de la línea A del Sistema del Transporte Colectivo (STC) confirma la validez de esta metodología, particularmente porque este proyecto es muy sensible a la incertidumbre y a los cambios económicos-financieros, ya que la vida útil de estos proyectos suele ser mayor a 20 años. De ahí que estos proyectos deben ser valuados tomando en cuenta el riesgo asociado y la posibilidad de ajustar el proyecto a diferentes situaciones con la flexibilidad inherente. Es importante mencionar que todos estos aspectos (riesgo, rendimiento, cambios, estrategia y flexibilidad) son características de la metodología de opciones reales.

Considerando que el proyecto se retrasó y es conveniente retomarlo desde un punto de vista social, se realizó una actualización de los precios de la evaluación inicial a precios de septiembre de 2017, tanto para los materiales de construcción como para el equipo y material rodante. Asimismo, se hizo una actualización del salario mínimo y de la inflación acumulada con el fin de ajustar los beneficios sociales. Para esto se consideró que el precio de los materiales aumentó en la misma proporción que el índice de precios de materiales para la construcción, mientras que en el caso del equipo y material rodante se consideró que los precios aumentaban de la misma manera que el tipo de cambio, ya que la mayoría de este tipo de insumos son importados.

Cabe mencionar que el caso de estudio se enfocó en estudiar la flexibilidad existente de diferir el proyecto cinco años, ya que las condiciones económicas y financieras durante la reevaluación del proyecto daban como resultado un proyecto con un VPN negativo. No obstante, de acuerdo con la metodología de la TRI resultaba conveniente iniciar operaciones en el octavo año, es decir, comenzar la construcción del proyecto hasta el quinto año.

La volatilidad del proyecto se calculó mediante una simulación matemática bajo tres escenarios (base, optimista y pesimista). Para construir estos escenarios se utilizaron las variaciones máximas y mínimas en los últimos cinco años de las variables de mayor impacto en el proyecto. Es importante señalar que se consideró que las variaciones en cada uno de los escenarios se mantendrían constantes durante el tiempo de vida del proyecto con la

finalidad de crear un modelo dinámico entre dos escenarios extremos (pesimista y optimista). Lo anterior podría darle cierta debilidad al proyecto, ya que estrictamente las variaciones en el futuro podrían diferir de las que se obtuvieron de manera histórica.

De acuerdo al proceso de evaluación mediante el empleo de opciones reales se observó que si el proyecto se difiere cinco años es posible obtener resultados favorables, ya que la opción de diferir obtuvo un valor de P\$2,598 millones dada la flexibilidad del proyecto. Por lo tanto, se puede concluir que resulta importante la aplicación de opciones reales dentro de los proyecto de ingeniería civil, ya que como se mencionó en el primer capítulo la infraestructura es uno de los principales pilares para la competitividad y el desarrollo económico de un país.

A.1. Cálculo del VPN, TRI y TIR bajo diferentes escenarios

Tabla A.1. Flujos de efectivo del proyecto

Año	Inversión		Costos de mantenimiento y operación		Beneficios Nominales		Beneficio Neto		VPN		TIR (%)	
	Base		Base		Base		Base		Base		Base	
0	\$	120,000,000	\$	-	\$	-	\$	120,000,000				
1	\$	4,961,222,012	\$	144,595,550	\$	-	\$	5,105,817,562	\$	4,761,652,329		
2	\$	5,676,541,086	\$	144,595,550	\$	14,340,142	\$	5,806,796,494	\$	9,560,657,696		
3	\$		\$	40,922,624	\$	1,352,606,341	\$	1,311,683,717	\$	8,575,170,306		
4	\$		\$	40,922,624	\$	1,408,646,336	\$	1,367,723,712	\$	7,640,996,607		
5	\$		\$	40,922,624	\$	1,422,267,000	\$	1,381,344,376	\$	6,783,290,430		-32.15%
6	\$		\$	247,274,006	\$	1,445,192,213	\$	1,197,918,207	\$	6,107,096,832		-21.47%
7	\$		\$	453,625,388	\$	1,463,549,924	\$	1,009,924,536	\$	5,588,845,857		-14.95%
8	\$		\$	40,922,624	\$	1,485,672,245	\$	1,444,749,621	\$	4,914,859,496		-8.42%
9	\$		\$	40,922,624	\$	1,507,361,006	\$	1,466,438,382	\$	4,292,946,471		-3.93%
10	\$		\$	40,922,624	\$	1,528,578,737	\$	1,487,656,113	\$	3,719,390,640		-0.66%
11	\$		\$	40,922,624	\$	1,549,304,028	\$	1,508,381,404	\$	3,190,712,160		1.79%
12	\$		\$	247,274,006	\$	1,555,870,553	\$	1,308,596,547	\$	2,773,752,972		3.43%
13	\$		\$	40,922,624	\$	1,575,525,323	\$	1,534,602,699	\$	2,329,233,233		4.94%
14	\$		\$	40,922,624	\$	1,594,628,775	\$	1,553,706,150	\$	1,920,093,844		6.14%
15	\$		\$	40,922,624	\$	1,613,159,497	\$	1,572,236,873	\$	1,543,712,837		7.10%
16	\$		\$	40,922,624	\$	1,631,096,081	\$	1,590,173,457	\$	1,197,644,762		7.89%
17	\$		\$	453,625,388	\$	1,644,336,700	\$	1,190,711,312	\$	962,068,876		8.37%
18	\$		\$	40,922,624	\$	1,661,347,283	\$	1,620,424,659	\$	670,621,258		8.92%
19	\$		\$	40,922,624	\$	1,677,742,316	\$	1,636,819,691	\$	402,988,159		9.38%
20	\$		\$	40,922,624	\$	1,684,141,796	\$	1,643,219,172	\$	158,734,100		9.77%
21	\$		\$	40,922,624	\$	1,699,434,192	\$	1,658,511,568	\$	65,381,516		10.09%
22	\$		\$	247,274,006	\$	1,709,875,399	\$	1,462,601,393	\$	245,056,208		10.33%
23	\$		\$	40,922,624	\$	1,723,808,233	\$	1,682,885,608	\$	432,997,772		10.57%
24	\$		\$	40,922,624	\$	1,737,034,523	\$	1,696,111,898	\$	605,196,547		10.77%
25	\$		\$	40,922,624	\$	1,749,543,563	\$	1,708,620,939	\$	762,895,422		10.95%
26	\$		\$	40,922,624	\$	1,761,522,696	\$	1,720,600,072	\$	907,263,150		11.10%
27	\$		\$	40,922,624	\$	1,772,752,464	\$	1,731,829,840	\$	1,039,363,120		11.23%
28	\$		\$	40,922,624	\$	1,783,222,162	\$	1,742,299,538	\$	1,160,180,006		11.35%
29	\$		\$	40,922,624	\$	1,792,508,934	\$	1,751,586,309	\$	1,270,598,971		11.44%
30	\$		\$	40,922,624	\$	9,230,375,579	\$	9,189,452,955	\$	1,797,233,228		11.87%
												11.34%
												TRI

Fuente: SHCP

Tabla A.2. Flujos de efectivo (Caso Base)

Año	Inversión		Costos de mantenimiento y operación		Beneficios Nominales		Beneficio Neto		VPN		TIR (%)		TRI (%)	
	Base		Base		Base		Base		Base		Base		Base	
0	\$	171,522,960	\$	-	\$	-	\$	-	\$	-				
1	\$	6,472,358,263	\$	181,487,029	\$	-	\$	6,653,845,291	\$	6,220,473,225				
2	\$	7,649,556,331	\$	181,487,029	\$	16,208,759	\$	7,814,834,601	\$	12,679,014,218				
3	\$		\$	52,114,307	\$	1,437,584,407	\$	1,385,470,100	\$	11,638,090,025				9.03%
4	\$		\$	52,114,307	\$	1,513,761,848	\$	1,461,647,541	\$	10,639,765,088				9.53%
5	\$		\$	52,114,307	\$	1,527,425,280	\$	1,475,310,973	\$	9,723,713,046				9.62%
6	\$		\$	358,947,669	\$	1,552,368,540	\$	1,193,420,871	\$	9,050,058,077				7.78%
7	\$		\$	665,781,031	\$	1,571,789,503	\$	906,008,472	\$	8,585,132,474				5.91%
8	\$		\$	52,114,307	\$	1,595,859,195	\$	1,543,744,888	\$	7,864,964,091				10.06%
9	\$		\$	52,114,307	\$	1,619,457,161	\$	1,567,342,854	\$	7,200,257,719				10.22%
10	\$		\$	52,114,307	\$	1,642,542,633	\$	1,590,428,326	\$	6,587,078,751				10.37%
11	\$		\$	52,114,307	\$	1,665,092,318	\$	1,612,978,011	\$	6,021,739,798				10.51%
12	\$		\$	358,947,669	\$	1,670,457,456	\$	1,311,509,787	\$	5,603,852,362				8.55%
13	\$		\$	52,114,307	\$	1,691,842,384	\$	1,639,728,077	\$	5,128,881,546				10.69%
14	\$		\$	52,114,307	\$	1,712,627,463	\$	1,660,513,156	\$	4,691,616,533				10.82%
15	\$		\$	52,114,307	\$	1,732,789,397	\$	1,680,675,090	\$	4,289,276,279				10.96%
16	\$		\$	52,114,307	\$	1,752,304,891	\$	1,700,190,584	\$	3,919,265,272				11.08%
17	\$		\$	665,781,031	\$	1,766,158,319	\$	1,100,377,288	\$	3,701,561,491				7.17%
18	\$		\$	52,114,307	\$	1,784,666,299	\$	1,732,551,992	\$	3,389,946,787				11.29%
19	\$		\$	52,114,307	\$	1,802,504,544	\$	1,750,390,237	\$	3,103,743,996				11.41%
20	\$		\$	52,114,307	\$	1,808,255,194	\$	1,756,140,887	\$	2,842,704,843				11.45%
21	\$		\$	52,114,307	\$	1,824,893,740	\$	1,772,779,433	\$	2,603,148,146				11.56%
22	\$		\$	358,947,669	\$	1,835,701,330	\$	1,476,753,661	\$	2,421,734,905				9.63%
23	\$		\$	52,114,307	\$	1,850,860,635	\$	1,798,746,328	\$	2,220,854,229				11.72%
24	\$		\$	52,114,307	\$	1,865,251,201	\$	1,813,136,894	\$	2,036,774,421				11.82%
25	\$		\$	52,114,307	\$	1,878,861,380	\$	1,826,747,073	\$	1,868,172,977				11.91%
26	\$		\$	52,114,307	\$	1,891,895,005	\$	1,839,780,697	\$	1,713,805,344				11.99%
27	\$		\$	52,114,307	\$	1,904,113,300	\$	1,851,998,993	\$	1,572,539,149				12.07%
28	\$		\$	52,114,307	\$	1,915,504,618	\$	1,863,390,311	\$	1,443,325,424				12.15%
29	\$		\$	52,114,307	\$	1,925,608,880	\$	1,873,494,573	\$	1,325,221,434				12.21%
30	\$		\$	52,114,307	\$	9,364,296,785	\$	9,312,182,478	\$	791,553,728				60.70%

Fuente: SHCP

Tabla A.3. Flujos de efectivo para el Caso Pesimista

Año	Inversión	Costos de mantenimiento y operación	Beneficios Nominales	Beneficio Neto	VPN	TIR (%)	TRI (%)
0	\$ 191,822,359	\$ -	\$ -	\$ 191,822,359	\$ -		
1	\$ 7,238,348,918	\$ 181,487,029	\$ -	\$ 7,419,835,947	\$ 6,937,127,766		
2	\$ 8,554,866,024	\$ 181,487,029	\$ 17,322,891	\$ 8,719,030,161	\$ 14,142,937,817		8.06%
3		\$ 56,652,004	\$ 1,435,902,187	\$ 1,379,250,183	\$ 13,106,686,740		8.47%
4		\$ 56,652,004	\$ 1,506,807,690	\$ 1,450,155,686	\$ 12,116,210,894		8.55%
5		\$ 56,652,004	\$ 1,520,097,332	\$ 1,463,445,328	\$ 11,207,526,485		6.55%
6		\$ 423,366,044	\$ 1,545,048,549	\$ 1,121,682,504	\$ 10,574,365,953		4.52%
7		\$ 790,080,085	\$ 1,564,302,328	\$ 774,222,243	\$ 10,177,067,524	-24.57%	
8		\$ 56,652,004	\$ 1,588,379,698	\$ 1,531,727,694	\$ 9,462,505,250	-16.59%	8.95%
9		\$ 56,652,004	\$ 1,611,985,191	\$ 1,555,333,187	\$ 8,802,892,150	-11.29%	9.09%
10		\$ 56,652,004	\$ 1,635,078,029	\$ 1,578,426,024	\$ 8,194,340,588	-7.46%	9.22%
11		\$ 56,652,004	\$ 1,657,634,907	\$ 1,600,982,903	\$ 7,633,205,848	-4.57%	9.36%
12		\$ 423,366,044	\$ 1,662,440,792	\$ 1,239,074,748	\$ 7,238,398,447	-2.81%	7.24%
13		\$ 56,652,004	\$ 1,683,832,543	\$ 1,627,180,539	\$ 6,767,062,206	-0.95%	9.51%
14		\$ 56,652,004	\$ 1,704,624,252	\$ 1,647,972,248	\$ 6,333,099,607	0.54%	9.63%
15		\$ 56,652,004	\$ 1,724,792,618	\$ 1,668,140,614	\$ 5,933,760,007	1.74%	9.75%
16		\$ 56,652,004	\$ 1,744,314,338	\$ 1,687,662,334	\$ 5,566,475,511	2.74%	9.86%
17		\$ 790,080,085	\$ 1,757,998,805	\$ 967,918,720	\$ 5,374,977,953	3.22%	5.66%
18		\$ 56,652,004	\$ 1,776,512,689	\$ 1,719,860,685	\$ 5,065,645,891	3.96%	10.05%
19		\$ 56,652,004	\$ 1,794,356,624	\$ 1,737,704,620	\$ 4,781,517,300	4.58%	10.15%
20		\$ 56,652,004	\$ 1,799,725,990	\$ 1,743,073,986	\$ 4,522,420,459	5.11%	10.19%
21		\$ 56,652,004	\$ 1,816,369,843	\$ 1,759,717,839	\$ 4,284,628,783	5.55%	10.28%
22		\$ 423,366,044	\$ 1,827,007,501	\$ 1,403,641,456	\$ 4,112,197,081	5.86%	8.20%
23		\$ 56,652,004	\$ 1,842,171,642	\$ 1,785,519,638	\$ 3,912,793,538	6.20%	10.43%
24		\$ 56,652,004	\$ 1,856,566,798	\$ 1,799,914,794	\$ 3,730,056,112	6.50%	10.52%
25		\$ 56,652,004	\$ 1,870,181,319	\$ 1,813,529,315	\$ 3,562,674,613	6.76%	10.60%
26		\$ 56,652,004	\$ 1,883,219,102	\$ 1,826,567,097	\$ 3,409,415,674	6.98%	10.67%
27		\$ 56,652,004	\$ 1,895,441,294	\$ 1,838,789,290	\$ 3,269,157,085	7.18%	10.75%
28		\$ 56,652,004	\$ 1,906,836,246	\$ 1,850,184,242	\$ 3,140,859,112	7.36%	10.81%
29		\$ 56,652,004	\$ 1,916,943,732	\$ 1,860,291,728	\$ 3,023,587,422	7.51%	10.87%
30		\$ 56,652,004	\$ 9,355,634,875	\$ 9,298,982,871	\$ 2,490,676,166	8.13%	54.34%

Fuente: SHCP

Tabla A.4. Flujos de efectivo para el Caso Optimista

Año	Inversión	Costos de mantenimiento y operación	Beneficios Nominales	Beneficio Neto	VPN	TIR (%)	TRI (%)
0	\$ 168,116,514	\$ -	\$ -	\$ 168,116,514	\$ -		
1	\$ 6,343,817,227	\$ 198,878,402	\$ -	\$ 6,542,695,630	\$ 6,116,021,632		
2	\$ 7,497,636,142	\$ 198,878,402	\$ 16,088,758	\$ 7,680,425,787	\$ 12,463,480,960		9.54%
3		\$ 51,754,875	\$ 1,489,731,282	\$ 1,437,976,407	\$ 11,383,108,002		10.14%
4		\$ 51,754,875	\$ 1,581,308,727	\$ 1,529,553,852	\$ 10,338,402,140		10.24%
5		\$ 51,754,875	\$ 1,595,929,743	\$ 1,544,174,869	\$ 9,379,591,037	-36.13%	8.42%
6		\$ 352,135,531	\$ 1,621,814,972	\$ 1,269,679,441	\$ 8,662,890,093	-25.70%	6.56%
7		\$ 652,516,187	\$ 1,642,162,070	\$ 989,645,883	\$ 8,155,045,275	-19.50%	10.71%
8		\$ 51,754,875	\$ 1,667,140,741	\$ 1,615,385,867	\$ 7,401,455,846	-12.34%	10.87%
9		\$ 51,754,875	\$ 1,691,629,872	\$ 1,639,874,997	\$ 6,705,988,765	-7.47%	11.03%
10		\$ 51,754,875	\$ 1,715,587,156	\$ 1,663,832,281	\$ 6,064,509,395	-3.94%	11.19%
11		\$ 51,754,875	\$ 1,738,988,418	\$ 1,687,233,543	\$ 5,473,144,331	-1.28%	9.24%
12		\$ 352,135,531	\$ 1,745,183,580	\$ 1,393,048,048	\$ 5,029,276,292	0.43%	11.38%
13		\$ 51,754,875	\$ 1,767,376,099	\$ 1,715,621,224	\$ 4,532,321,934	2.10%	11.52%
14		\$ 51,754,875	\$ 1,788,946,115	\$ 1,737,191,240	\$ 4,074,865,186	3.43%	11.66%
15		\$ 51,754,875	\$ 1,809,869,454	\$ 1,758,114,580	\$ 3,653,986,534	4.51%	11.79%
16		\$ 51,754,875	\$ 1,830,121,941	\$ 1,778,367,066	\$ 3,266,962,046	5.39%	7.91%
17		\$ 652,516,187	\$ 1,844,691,248	\$ 1,192,175,061	\$ 3,031,096,566	5.89%	12.02%
18		\$ 51,754,875	\$ 1,863,898,172	\$ 1,812,143,298	\$ 2,705,166,665	6.52%	12.14%
19		\$ 51,754,875	\$ 1,882,410,069	\$ 1,830,655,195	\$ 2,405,839,912	7.06%	12.18%
20		\$ 51,754,875	\$ 1,888,807,760	\$ 1,837,052,885	\$ 2,132,773,707	7.50%	12.30%
21		\$ 51,754,875	\$ 1,906,074,652	\$ 1,854,319,777	\$ 1,882,198,417	7.88%	10.38%
22		\$ 352,135,531	\$ 1,917,483,096	\$ 1,565,347,565	\$ 1,689,901,771	8.16%	12.48%
23		\$ 51,754,875	\$ 1,933,214,885	\$ 1,881,460,010	\$ 1,479,783,783	8.44%	12.57%
24		\$ 51,754,875	\$ 1,948,148,903	\$ 1,896,394,028	\$ 1,287,251,245	8.69%	12.67%
25		\$ 51,754,875	\$ 1,962,273,063	\$ 1,910,518,189	\$ 1,110,918,062	8.90%	12.76%
26		\$ 51,754,875	\$ 1,975,798,896	\$ 1,924,044,021	\$ 949,480,277	9.09%	12.84%
27		\$ 51,754,875	\$ 1,988,478,609	\$ 1,936,723,734	\$ 801,751,475	9.25%	12.92%
28		\$ 51,754,875	\$ 2,000,300,114	\$ 1,948,545,239	\$ 666,632,822	9.39%	12.99%
29		\$ 51,754,875	\$ 2,010,785,959	\$ 1,959,031,084	\$ 543,136,661	9.51%	62.32%
30		\$ 51,754,875	\$ 9,449,857,206	\$ 9,398,102,331	\$ 4,545,012	10.00%	

Fuente: SHCP

A.2. Datos históricos del tipo de cambio, inflación, índice de costos para los materiales de la construcción y salario mínimo

Tabla B.1. Tasa de CETES de 364 días

Año	Rendimiento 364 días (%)
2010	4.85
2011	4.66
2012	4.62
2013	3.98
2014	3.37
2015	3.53
2016	4.57
Promedio últimos 5 años	4.01

Fuente: Banxico

Tabla B.2. Tipo de cambio (dólar-peso)

Año	Promedio anual (Dólar/MxPeso)	Variación anual
2010	12.6422	
2011	12.4686	-1.37%
2012	13.1423	5.40%
2013	12.8659	-2.10%
2014	13.3703	3.92%
2015	15.9809	19.53%
2016	18.7193	17.14%
Oct-16 a Sep-17	19.1816	
	Var. Max=	19.53%
	Var. Min=	-2.10%
	Var. Dic-13 a sep-17	48.69%

Fuente: Banxico

Tabla B.3. Índice de precio de materiales para la construcción

Año	Índice de precios de materiales para la construcción (Puntos)	Variación anual
2010	90.3567	
2011	98.7536	9.29%
2012	99.1543	0.41%
2013	98.4705	-0.69%
2014	102.8593	4.46%
2015	107.3596	4.38%
2016	116.7076	8.71%
Sep-2017	125.4005	
	Var. Max=	8.71%
	Var. Min=	-0.69%
	Var. Dic-13 a sep-17	27.35%

Fuente: INEGI

Tabla B.4. Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC)

Año	Índice Nacional de Precios al Consumidor (Puntos)	Variación anual
2010	99.7421	
2011	103.5510	3.82%
2012	107.2460	3.57%
2013	111.5080	3.97%
2014	116.0590	4.08%
2015	118.5320	2.13%
2016	122.5150	3.36%
Sep-2017	127.9120	
	Var. Max=	4.08%
	Var. Min=	2.13%
	Var. Dic-13 a sep-17	14.71%

Fuente: INEGI

Tabla B.5. Salario mínimo en México

Año	Salario mínimo (Pesos por jornada)	Variación anual
2010	57.4600	
2011	59.8200	4.11%
2012	62.3300	4.20%
2013	64.7600	3.90%
2014	67.2900	3.91%
2015	70.1000	4.18%
2016	73.0400	4.19%
Sep-2017	80.0400	
	Var. Max=	9.58%
	Var. Min=	3.90%
	Var. Dic-13 a sep-17	25.51%

Fuente: INEGI

Referencias

- Mun, J. (2002). *Real Options Analysis*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Presidencia de la República. (2014). *Plan Nacional de Infraestructura 2014-2018*. México.
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2014). *Inversión en infraestructura sinónimo de desarrollo económico y social*. México.
- A. S. (2015). *Globalization, Poverty and Role of Infrastructures*. Journal of Economics and Political Economy.
- A. W. (2014). *Globalization, Infrastructure, and Inclusive Growth*. Tokyo, Japan: ADBI Working Paper Series.
- Aguilera, R. (2011). *Evaluación Social de Proyectos: Orientaciones para su aplicación*. Uruguay: dECON.
- Berk, J., & DeMarzo, P. (2008). *Finanzas Corporativas*. México: Pearson, Addison-Wesley.
- Black, F., & Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy* Vol. 81, No. 3, 637-654.
- Chain, N. S. (2001). *Evaluación de proyectos de inversión en la empresa*. Argentina: PEARSON.
- Chain, N. S. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos*. Colombia: McGrawHill.
- Chain, N. S. (2011). *Proyectos de inversión: Formulación y Evaluación*. Chile: PEARSON.
- CONSEJO CIVIL MEXICANO PARA LA SILVICULTURA SOSTENIBLE, A.C. (s.f.). Obtenido de http://www.ccmss.org.mx/descargas/Reporte_Comparativo_Fiscal_Maderables_SKATT_CMSS.pdf
- Cooper, D., Grey, S., Raymond, G., & Walker, P. (2005). *Project Risk Management Guidelines*. Southern Gate: John Wiley & Sons, Ltd.
- Cortina, F. I. (2012). *Infraestructura para el crecimiento y la competitividad, visión 2030*. México: Instituto México de Ejecutivos de Finanzas.
- Coss Bu, R. (1995). *Análisis y evaluación de proyectos de inversión*. México: Limusa.
- Damodaran, A. (2002). *Estimating Riskfree Rates*. New York: Stern School of Business.
- De Lara, A. (2005). *Productos derivados financieros*. México: Limusa.
- Del Angel, R. J. (s.f.). *Infraestructura y Competitividad*. México: Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM.
- Del Capio Gallegos, J. (2006). *Análisis del riesgo en la administración de proyectos de tecnología de la información*. Obtenido de <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/viewFile/5852/5060>

- Esteva Fischer, E. (1994). *Guía básica de Administración de riesgos*. México: SHCP.
- Garmendia, J. M., & Cruz, M. P. (2008). *Metodología general para la evaluación de proyectos*. México: Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C.
- Gatti, S. (2008). *Project Finance in Theory and Practice. Designing, Structuring, and Financing Private and Public Projects*. London, UK: ELSEVIER.
- Gatti, S. (2008). *Project Finance in Theory in Practice*. San Diego, California: ELSEVIER.
- IMD. (2016). *Methodology and principles of analysis*. WORLD COMPETITIVENES YEARBOOK.
- Instituto Mexicano de Competitividad. (2016). Obtenido de <http://imco.org.mx/>
- Johnson, D. (1997). The triangular distribution as a proxy for the beta distribution in risk analysis. En *The Statistician* (págs. 387-398). UK: Loughborough University.
- K. S. (2015). *The Global Competitiveness Report 2015–2016*. Geneva: World Economic Forum.
- Lamothe Fernández, P., & Méndez Suárez, M. (2013). *Opciones Reales: Métodos de simulación y valoración*. Madrid: EcoBOOK.
- Limited, E. &. (2015). *Estimating risk-free rates for valuations*. United King.
- Martínez Miranda, E. A. (2006). Metodologías de manejo de riesgo utilizando productos derivados en proyectos de inversión pública. Distrito Federal, México.
- Mascareñas, J. (1999). *Opciones reales en la valoración de proyectos de inversión*. Madris, España: Universidad Complutense de Madrid.
- Mascareñas, J. (2005). *Opciones Reales: Introducción*. Universidad Complutense de MADrid.
- Mascareñas, J. (2007). *Opciones reales en la valoración de*. Madrid: Universidad Computense de Madrid.
- Mascareñas, J. (2010). *Opciones Reales: Instroducción*. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.
- MexDer. (s.f.). *MexDer una instroducción*. Obtenido de www.mexder.com
- México, B. d. (2000). *Informe Anual 1999*. BANXICO.
- Morales Castro, A., & Morales Castro, J. A. (2009). *Proyectos de Inversión. Evaluación y formulación*. México: McGrawHill.
- Morgan, J. (2013). *Derivates and Risk Managment Made Simple*. London: NAPF.
- Ortiz, E. (2017). Apuntes de Ingeniería Financiera. UNAM.
- Pérez, S. M. (2008). *La infraestructura y la Competitividad en México*. México: Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública.

- Perú, S. (s.f.). Obtenido de <http://orientacion.sunat.gob.pe/index.php/empresas-menu/impuesto-a-la-renta-empresas/regimen-general-del-impuesto-a-la-renta-empresas/calculo-anual-del-impuesto-a-la-renta-empresas/2900-03-tasas-para-la-determinacion-del-impuesto-a-la-renta-anual>
- Prontuario Actualizado Fiscal*. (s.f.). Obtenido de <http://e-paf.com/tasas-historicas-del-impuesto-sobre-la-renta/>
- Rodríguez Taylor, E. (2011). *Guía para la administración del riesgo*. Bogotá: Departamento de la Administración de la Función Pública.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2013). *Programa de Inversiones en Infraestructura de Transporte y Comunicaciones 2013-2018*.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2016). Obtenido de <http://www.gob.mx/sct>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2016). Obtenido de <http://www.gob.mx/shcp>
- Siglo 21. (s.f.). Obtenido de <http://www.s21.gt/2017/04/bajaran-tasa-impuestos-a-empresas-estados-unidos/>
- Solórzano Vargas, F. E. (2002). *Valuación de proyectos de Inversión a través de Opciones Reales*. Comisión Nacional de Seguros y Finanzas.
- Weterfield, R. (2012). *Finanzas computacionales*. México: McGrawHill.
- World Competitiveness Center. (2016). Obtenido de <http://www.imd.org/wcc/news-wcy-ranking/>
- World Economy Forum. (2016). Obtenido de <https://www.weforum.org/>
- Zapata Quimbayo, C. A. (16 de Diciembre de 2016). *Análisis de riesgos y modelacion financiera en proyectos de infraestructura*. Obtenido de SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2919426>