



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

PROYECTO “DISTRIBUIDOR GUAYABAL KM 2-500, TRAMO VILLAHERMOSA-TEAPA” Y
SU VALUACIÓN MEDIANTE UNA OPCIÓN REAL DE DIFERIMIENTO

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

PRESENTA:
JUAN DANIEL ORIHUELA BUTANDA

TUTOR:
DRA. MAGNOLIA MIRIAM SOSA CASTRO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., MARZO, 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



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. Ortiz Calisto Edgar
Secretario: Dra. Aguilar Juárez Isabel Patricia
1^{er} Vocal: Dra. Sosa Castro Magnolia Miriam
2^{do} Vocal: Dr. Reyes Zárata Francisco Javier
3^{er} Vocal: M. en I. Rodriguez Rubio Jorge

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

Ciudad Universitaria, Ciudad de México, marzo 2022.

TUTOR DE TESIS:

DRA. MAGNOLIA MIRIAM SOSA CASTRO

FIRMA

A mi mamá, siempre a mi mamá...

Agradecimientos

A mi familia, que siempre ha estado para apoyarme y motivarme. Gracias mamá, papá, Jeni, Estefani, Edgar, Claudio, Azul, Luna, Bianca y Santi.

A mis perritos que me han hecho más humano y más feliz. Gracias Albondigón, McQueen, Blacky, Flash y Rodó.

A Adriana, que su persona no necesita descripción, mi mejor compañera y el amor más bonito.

A mis amigos, que tengo la fortuna de no poder nombrarlos por su cantidad, pero que cada uno de ellos sabe lo importante que son para mí.

A Miriam, que me apoyó incondicionalmente y que sin su ayuda no podría estar escribiendo estos agradecimientos, de verdad te agradezco por apoyarme en alcanzar este objetivo que, sin duda, es uno de los más importantes en mi vida.

A cada uno de los profesores que me han formado desde ya más de 22 años. Agradezco a cada uno que me ha hecho llegar hasta aquí.

Agradezco especialmente al jurado de este trabajo, porque de alguna u otra forma me han hecho trascender y significaron mucho en este camino.

A la UNAM, que me ha dado todo el apoyo y herramientas para desarrollarme no solo académicamente, si no como una persona íntegra. La mejor universidad del mundo. Y por supuesto gracias a la Facultad y al Posgrado de Ingeniería, mi hogar por más de 7 de años.

A Banobras, que me ha permitido desarrollarme como profesionista y como persona y ha sido un magnífico lugar de trabajo. Agradezco a cada uno de mis compañeros que, a la postre, se han convertido en mis amigos.

Agradezco a todos los que ya no están, pero que han ayudado a crecer a esta persona.

Por supuesto a Dios.

Índice general

Introducción.....	5
Capítulo 1. Infraestructura y competitividad	8
1.1. Competitividad en infraestructura.....	10
1.1.1. Índice de Competitividad del Institute Management Development	11
1.1.2. Índice de Competitividad del Foro Económico Mundial.	13
1.1.3. Índice de Competitividad Internacional (ICI) por el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO).....	16
1.2. Infraestructura en México.....	18
1.2.1. Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024	20
1.2.2. Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020-2024...	21
1.2.3. Programa Nacional de Infraestructura Carretera 2018-2024.....	23
1.2.4. Red Nacional de Caminos	25
Capítulo 2. Evaluación de proyectos de inversión.....	26
2.1. Definición y aspectos de un Proyecto de Inversión.....	26
2.2. Ciclo de vida de los proyectos.....	28
2.2.1. Preinversión, Inversión y Operación.....	29
2.3. Proyectos de inversión privada. Métodos de evaluación.....	32
2.3.1. Valor Presente Neto (VPN o VAN)	33
2.3.2. Tasa Interna de Retorno (TIR).....	36
2.3.3. Periodo de Recuperación	37
2.4. Opciones reales como método de evaluación de proyectos de inversión	38
2.4.1. Definición y operación de opciones	39

2.4.2. Opciones Reales y Financieras	40
2.4.3. Tipos de opciones reales	43
2.4.4. Método de valuación de opciones	47
2.5. Proyectos de inversión sociales. Métodos de evaluación	56
2.5.1. Valor Presente Neto Social (VPNS).....	57
2.5.2. Tasa Interna de Retorno Social (TIRS).....	58
2.5.3. Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI).....	59
3. Evaluación del proyecto “Distribuidor Guayabal km 2+500, Tramo Villahermosa- Teapa” mediante opciones reales.	61
3.1. Características del proyecto	61
3.2. Evaluación del proyecto mediante la opción real de diferir.	67
3.2.1. Variables de la metodología	69
Conclusiones.....	81
ANEXO 1.....	83
ANEXO 2.....	86
ANEXO 3.....	94
Bibliografía	97
Referencias bibliográficas	97

Introducción

El presente proyecto de investigación surge a partir de la necesidad de aplicar nuevas metodologías en el ámbito de la evaluación de proyectos de índole social. Asimismo, busca explicar la importancia que los proyectos de infraestructura tienen dentro del desarrollo y competitividad de un país.

Hablando de proyectos de inversión, existe una infinidad de literatura que explica los métodos de evaluación de proyectos con las metodologías tradicionales, no obstante, en los últimos años, se han buscado nuevas herramientas que ayuden a representar el riesgo inmerso en los proyectos, de tal forma que se han introducido nuevos procedimientos. Uno de ellos, que no necesariamente es de nueva creación, es la Teoría de las Opciones Reales. Este concepto nació al final de la década de los ochenta, sin embargo, en los últimos años es cuando se ha desarrollado para la aplicación dentro de proyectos de inversión.

El proyecto que se desarrolla en el presente documento tiene como objetivo demostrar que un proyecto de inversión de carácter social, destinado al desarrollo de infraestructura, puede ser valuado con mayor certeza mediante la metodología de opciones reales y, adicionalmente, se busca demostrar que con la aplicación de una opción real de diferimiento se pueden obtener mejores rendimientos para el proyecto.

En línea con el párrafo anterior, dado que los proyectos de inversión de infraestructura tienen un alto nivel de incertidumbre, es posible obtener resultados cercanos a la realidad utilizando la metodología de opciones reales, toda vez que, este proceso requiere el análisis de beneficios del proyecto que contienen inmersos distintos tipos de riesgo, tales como riesgo de tipo de cambio, riesgo de mercado, riesgo de inflación, entre otros riesgos financieros, los cuales hacen que se tome en cuenta la incertidumbre existente.

Se considera que, la metodología de opciones reales, no solo arroja un resultado más realista, sino que revela información de suma importancia para la toma de

decisión de continuar un proyecto o diferirlo a un periodo de tiempo, es decir, permite tener una visión estratégica con la cual se puede definir qué decisión es la mejor.

Para lograr el objetivo propuesto, la presente tesis se estructura en tres capítulos, como se menciona a continuación:

El primer capítulo está dedicado a la importancia de la infraestructura, por lo que, se explica cómo este rubro afecta en la competitividad y desarrollo de una economía. En este sentido, se describen diversos indicadores que miden la competitividad de los países y el lugar que México ocupa dentro de los mismos. Asimismo, se describe cómo está compuesta la infraestructura carretera en México y cuáles son los planes y programas de desarrollo que el gobierno de México ha establecido para el país, en materia de infraestructura, hasta la conclusión de la administración actual en 2024.

El segundo capítulo, tiene como finalidad la definición de proyectos de inversión, es decir, explica cuáles son las fases de los proyectos, su ciclo de vida, así como los métodos de valuación tradicionales que mayormente se utilizan, tanto en proyectos de inversión privada como de inversión social. En este capítulo se conceptualiza, también, la metodología de opciones, tanto reales como financieras, por lo que es posible identificar las similitudes y diferencias que existen en cada una y, por supuesto, se identifica el procedimiento con el que se desarrolla el proyecto de investigación motivo de la presente tesis, es decir, la evaluación de una opción real mediante el método binomial.

Finalmente, el tercer capítulo contiene las características del proyecto de inversión que se evalúa y el procedimiento que se sigue para la obtención del resultado deseado, con el que es posible tomar una decisión. Este capítulo, detalla con precisión de dónde se obtiene cada variable que interactúa en el modelo y describe paso a paso, con valores propios del proyecto, la metodología que se explica en el segundo capítulo.

Tal como se menciona en los primeros párrafos, existe una gran cantidad de material relacionado a la evaluación de proyectos mediante métodos tradicionales, sin embargo, es necesario explotar nuevas metodologías con la finalidad de encontrar beneficios que las mismas provean o, bien, áreas de oportunidad de estas, para poder mejorarlas y a la postre contar con modelos de valuación más confiables. Por esta razón, esta tesis busca aplicar la metodología de opciones reales en proyectos de inversión social.

En capítulos posteriores, el lector puede ver que el proyecto que se eligió cuenta con indicadores sólidos de origen, es decir, bajo los métodos tradicionales, el proyecto es factible a la realización, sin embargo, esta investigación busca identificar qué tanto puede mejorar un proyecto mediante la aplicación de opciones reales para que esto sea el punto de partida a otras líneas de investigación y verificar si en realidad es factible diferir un proyecto o, bien, dado que el mismo ya es rentable, iniciar su desarrollo evitando fluctuaciones en sus componentes de riesgo.

Capítulo 1. Infraestructura y competitividad

El presente capítulo tiene como finalidad documentar la importancia de la infraestructura dentro de la economía y cómo influye en la competitividad de los países la cual se mide a través de indicadores que múltiples entidades y organismos han implementado. Esta situación se centra en cómo se encuentra México dentro de los indicadores más representativos. Asimismo, contiene cómo se encuentra distribuida la infraestructura carretera en México y qué programas de desarrollo existen relativos al mismo rubro dentro de la administración actual que tiene labores del 2018 al 2024

Diversos estudios y artículos hablan sobre la relación entre el desarrollo de infraestructura (de cualquier tipo) y el desarrollo económico de la región en la que impacta o se establece algún proyecto de infraestructura. El desarrollo se puede dar desde diferentes perspectivas, tanto para potenciar una economía en crecimiento o, bien, para atender brechas en comunidades que se traducen en una mejora a la calidad de vida.

Rozas y Sánchez (2004), en su publicación "*Desarrollo de infraestructura y crecimiento económico: revisión conceptual*", para la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), mencionan que el contar con eficientes servicios de infraestructura es uno de los aspectos más relevantes dentro de las políticas de desarrollo. Esto se ve de forma más representativa en países que han orientado su crecimiento hacia el exterior. Adicionalmente, los países requieren tener una adecuada infraestructura de acuerdo a estándares tecnológicos internacionales, lograr niveles máximos de cobertura dentro de su territorio y satisfacer de forma eficaz las necesidades de servicios dentro de infraestructura de agentes económicos, así como de las personas. Finalmente, se argumenta que la adecuada disponibilidad de infraestructura contribuye al desarrollo de ventajas competitivas.

La mejora en la accesibilidad y provisión de servicios de infraestructura permite optimizar los costos en los agentes económicos. Asimismo, las inversiones en

infraestructura aportan a la mejora de niveles de eficiencia operativa, mayor confiabilidad, calidad y cantidad de servicios de infraestructura.

Dentro del mismo artículo mencionado en el primer párrafo, se menciona que las inversiones en infraestructura impactan sobre cuatro aspectos del desarrollo de las regiones en que se realizan: estructura de costos de las empresas, productividad de los factores, conectividad y accesibilidad territorial, y el bienestar general de la población. En relación al último mencionado, el Banco Mundial fundamenta que a nivel mundial hay 840 millones de personas que viven a más de 2 kilómetros de carreteras de cualquier tipo, mil millones de personas no cuentan con electricidad y 4 mil millones no tienen acceso a internet. El Banco Mundial propone que es posible reducir las brechas mediante el aseguramiento de los siguientes aspectos:

- Caminos rurales y transporte seguro para acceder a las instalaciones de salud y educación;
- Electrificación de clínicas, escuelas y hogares en áreas rurales para mejorar la conectividad digital;
- Mejora de la seguridad vial y cocina limpia para reducir la mortalidad y la morbilidad;
- Habilidades digitales y de otro tipo necesarias para implementar inversiones en infraestructura

Es de observarse que los cuatro puntos anteriores corresponden al desarrollo de infraestructura en diferentes modalidades, las cuales, como se menciona en el primer párrafo del presente apartado, impactarían de forma positiva en las regiones de aplicación.

La infraestructura carretera por sí sola no induce el desarrollo, es decir, una carretera no sustituye algún medio de producción, no obstante, sí se puede decir que durante la construcción de la carretera existe un desarrollo regional temporal, debido a que potencia la actividad laboral de la región, no solamente mediante el sector de la población dedicada a la construcción, si no de pequeños negocios aledaños al sitio donde se desarrolle el proyecto. Por otro lado, el papel de la

infraestructura carretera es disminuir costos de transporte y permitir la satisfacción de necesidades que suponen las interrelaciones socio-económicas, este término incluye los accesos a servicios básicos de una forma más eficiente.

1.1. Competitividad en infraestructura

La infraestructura forma parte esencial en el crecimiento económico y la productividad, especialmente en países en desarrollo.

Se puede apreciar que la infraestructura contribuye en los siguientes campos:

- Ampliación de mercados
- Elevación de inversión privada
- Disminución de costos de producción

Lo anterior genera una vista a lo que se le ha llamado competitividad de una nación; sin embargo, es necesario definir el concepto de competitividad y cómo la infraestructura afecta tal termino.

Competitividad se ha convertido en un termino con mayor uso en la literatura económica que, a partir de la segunda década de los años ochenta, únicamente era formulado como una cuestión centrada en la unión entre el avance económico de los países y su participación en los mercados internacionales.

Rozas y Sánchez (2004) indican que no hay existencia de una definición exacta del concepto de competitividad, además señalan que no se enfatiza de forma adecuada el trabajo para la medición o se destaque la importancia de los indicadores utilizados; no obstante, si se quiere tomar una definición, la más aceptada y conocida se dio por la Comisión Presidencial sobre Competitividad Industrial de Estados Unidos y establece que se refiere a la capacidad de un país para sostener y expandir su participación en los mercados internacionales de bienes y servicios, y simultáneamente, para aumentar los ingresos reales de sus habitantes.

Entre varios esfuerzos por plasmar el objeto de competitividad se han implementado indicadores que establecen criterios para su medición, uno de ellos se presentó como definición operacional en el artículo de Esser, Hillebrand, et al. (1996) para la

CEPAL, en el que se consideran los siguientes aspectos para su determinación: a) participación en el mercado interno y externo; b) productividad; c) precios y costos; d) ambiente económico; e) inversión nacional y extranjera; f) tendencias del desarrollo tecnológico, y f) desarrollo de los recursos humanos; no obstante, esta fue una definición de la segunda mitad de la década de los noventa, por lo que se han realizado propuestas para actualizar el método, una de ellas se propuso dentro de la Revista CEPAL 102 en 2010, por Benzaquen, Del Carpio, et al. en el que se toman en cuenta las siguientes determinantes: i) gobierno e instituciones; ii) desarrollo económico; iii) infraestructura productiva; iv) capital humano, y v) eficiencia de las empresas; no obstante, de forma internacional se cuenta con indicadores que se han dedicado a medir la competitividad desde hace años. Dentro de los mismos se incluye el sector infraestructura como factor de competitividad.

A continuación, se muestran los índices más destacados en materia de competitividad.

1.1.1. Índice de Competitividad del Institute Management Development

Probablemente el índice de competitividad más conocido es el Anuario de Competitividad Mundial (WCY, por sus siglas en inglés) el cual ha sido elaborado por el Institute Management Development (IMD) desde hace más de treinta años.

La medición se realiza mediante la capacidad de los países de crear y mantener un ambiente en el cual se sostenga la competitividad entre empresas. Se indica que es a nivel empresas ya que la creación de riqueza se da principalmente a nivel empresarial, sin embargo, las empresas operan en un entorno nacional que mejora o dificulta su capacidad de competir nacional o internacionalmente, por lo cual esta situación se interpola a una competitividad de países.

La metodología del indicador está representada en la Tabla 1.

Cada sub-factor está formado por diversos criterios que ayudan al cálculo de la calificación final. Para el 2021 se utilizaron un total de 355 criterios.

En la clasificación general, en 2021, México ocupa el lugar 55 de 64, cayendo 2 posiciones con respecto al año previo. En esta posición, México es el segundo país mejor ubicado de Latinoamérica, siendo Chile el mejor posicionado. En la clasificación general, el mejor posicionado es Suiza, seguido de Suecia y Dinamarca.

Tabla 1. Factores y Sub-factores de la Clasificación Mundial de Competitividad

Factores	Desempeño Económico Evaluación Macroeconómica de la economía local, tendencias de empleo y precios	Eficiencia Gubernamental Grado en que las políticas gubernamentales favorecen la competitividad	Eficiencia empresarial Grado en el que el entorno nacional induce a las empresas a actuar de forma innovadora, rentable y responsable	Infraestructura Grado en el que infraestructura básica, tecnológica, científica y recursos humanos satisfacen las necesidades de las empresas
Sub-factores	Economía local	Financiamiento Público	Productividad	Infraestructura Básica
	Comercio Internacional	Política de Impuestos	Mercados	Infraestructura Tecnológica
	Inversión Extranjera	Marco Institucional	Finanzas	Infraestructura Científica
	Empleo	Legislación Empresarial	Prácticas de Administración	Salud y Medio Ambiente
	Precios	Marco Social	Actitudes y Valores	Educación

Fuente: Anuario de Competitividad Mundial 2021

Como se observa en la Tabla 1, uno de los factores influyentes en la clasificación final es el nivel de infraestructura. En este rubro, México ocupa el lugar número 58, descendiendo una posición con respecto al 2020.

Hablando específicamente de los sub-factores del rubro de infraestructura, México ocupa las siguientes posiciones:

- Infraestructura básica: 54°
- Infraestructura en tecnología: 58°
- Infraestructura en ciencia: 45°
- Salud y medio ambiente: 53°
- Educación: 62°

1.1.2. Índice de Competitividad del Foro Económico Mundial.

El índice de Competitividad Global mide los aspectos micro y macroeconómicos de la competitividad nacional. Dicho índice se publica en el Reporte de Competitividad Global que realiza año con año el Foro Económico Mundial (WEF, por sus siglas en inglés).

El WEF define competitividad como “el conjunto de instituciones, políticas y factores que determinan el nivel de productividad de un país”. Derivado de lo anterior, se afirma que el nivel de productividad establece el estado de prosperidad que puede ser alcanzado por una economía y esto es trasladado en tasas de crecimiento. En línea con lo antes descrito, se forman dos componentes básicos:

- i. El estático bajo el cual la productividad de un país determina su habilidad para mantener un nivel alto de ingreso.
- ii. Un componente dinámico mediante el cual la productividad funciona como determinante del rendimiento sobre la inversión.

De la definición previa se forman los 12 pilares que se incluyen en el índice, a partir de los cuales el WEF pretende proveer las herramientas a líderes empresariales y responsables de las políticas económicas, identificar brechas u obstáculos y mejorar la competitividad (Chacón, 2015).

Para los resultados del 2020 no se han emitido los datos como se publican de forma común, únicamente se publicó un reporte especial en el que se visualiza cómo los países se desempeñan en camino a la recuperación de la pandemia provocada por la COVID-19.

De los 12 pilares que comúnmente comprenden el reporte, la edición del 2020 consideró únicamente 8 pilares: instituciones, infraestructura, capacidades, mercado de bienes, mercado laboral, sistema financiero, dinamismo de negocios y capacidad de innovación (México Competitivo, 2020).

Debido a lo anterior, para efectos de mostrar la información relevante y datos a seguir, se tomará como base el reporte de 2019.

En párrafos anteriores se menciona que el indicador está formado por 12 pilares, los cuales se dividen en 4 ámbitos: ambiente adecuado, mercados, capital humano y ecosistema de innovación. A continuación, se muestra la distribución de los pilares dentro de cada ámbito.

Tabla 2. Pilares para Índice de Competitividad Global.

Ámbito	Pilares	Descripción
Ambiente adecuado	Pilar 1. Instituciones	Seguridad, derechos de propiedad, capital social, transparencia y ética, desempeño del sector público y gobierno corporativo.
	Pilar 2. Infraestructura	Calidad y extensión de infraestructura.
	Pilar 3. Adopción de tecnología de información y comunicación.	Grado de difusión de tecnología de información y comunicación
	Pilar 4. Estabilidad macroeconómica	Nivel de la inflación y sostenibilidad de política fiscal.
Capital Humano	Pilar 5. Salud	Número de años que un recién nacido espera vivir con un nivel de salud aceptable
	Pilar 6. Habilidades	Nivel general de habilidades de la fuerza de trabajo, así como el nivel de educación.
Mercados	Pilar 7. Mercado de bienes	Grado de un país para ofrecer igualdad de condiciones para que las empresas participen en sus mercados.
	Pilar 8. Mercado laboral	Abarca la flexibilidad en que se pueden reorganizar los recursos humanos y gestión de talento, es decir, la medida en la que se aprovechan los recursos humanos.
	Pilar 9. Sistema financiero	Disponibilidad de créditos, capital, deuda, seguros y otros productos financieros y la estabilidad, es decir, la mitigación de riesgo y comportamiento oportuno del sistema financiero.
	Pilar 10. Tamaño de mercados.	Tamaño de mercados locales y extranjeros a los cuales las empresas locales tienen acceso.
Ecosistema de innovación	Pilar 11. Dinamismo de negocios	Capacidad del sector privado para generar y adoptar nuevas tecnologías y nuevas formas de organización en el trabajo a través de una cultura que se adapte al cambio, riesgos y nuevos modelos de negocio.
	Pilar 12. Capacidad de innovación	Calidad y cantidad de investigación formal y desarrollo.

Fuente: World Economic Forum, 2019.

Para la edición de 2019, México ocupó la posición 48 de 141, cayendo dos posiciones con respecto a la clasificación del año previo (2018) en el que se ubicó

en el lugar 46. México mejoró su puntuación en 0.3 puntos; sin embargo, algunos países tuvieron mejoras más considerables.

En materia de infraestructura, México se encuentra en el lugar 54 y cuenta con las siguientes calificaciones dentro del mismo ámbito:

Tabla 3. Puntuación en infraestructura México.

Indicador	Puntos	Clasificación
Infraestructura	72.4	54
Infraestructura de transporte	57.4	51
Conectividad de caminos	90.3	22
Calidad de infraestructura de caminos	58.4	49
Densidad de caminos	18.4	60
Eficiencia en servicios de tren	38	58
Conectividad aeroportuaria	92.4	15
Eficiencia de servicios de transportes aéreos	57.4	80
Conectividad de transporte marítimo	49.1	34
Eficiencia de servicios portuarios	55.2	63
Infraestructura de servicios públicos	87.5	63
Acceso a electricidad	100	2
Calidad de suministro eléctrico	91.2	81
Exposición a agua potable no segura	95.1	48
Fiabilidad del suministro de agua	63.7	72

Fuente: World Economic Forum, 2019

Como es de observarse, en materia de infraestructura para transporte, México se posiciona en el lugar 51.

Se considera importante el indicador de infraestructura debido a que la inversión en este sector genera una gran cantidad de empleos y propicia a la apertura de nuevos negocios en la zona de impacto. Asimismo, da apertura de acceso a nuevos servicios en sitios donde no se contaba con la infraestructura suficiente para obtener nuevos o mejores servicios.

1.1.3. Índice de Competitividad Internacional (ICI) por el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO).

El Índice de Competitividad Internacional del IMCO mide la capacidad que tienen los países para generar, atraer y retener talento e inversión y que con esto se detone la productividad y bienestar de sus habitantes. El indicador se calcula cada dos años y el último publicado tuvo sitio en 2019. El ICI se compone de 126 indicadores que se categorizan en 10 subíndices que son: Sistema de derecho confiable y objetivo (Derecho), Manejo sustentable del medio ambiente (Medio Ambiente), Sociedad incluyente, preparada y sana (Sociedad), Sistema político estable y funcional (Sistema Político), Gobiernos eficientes y eficaces (Gobiernos), Mercado de factores eficiente (Mercado de Factores), Economía estable (Economía), Sectores precursores de clase mundial (Precursores), Aprovechamiento de las relaciones internacionales (Relaciones Internacionales) e Innovación y sofisticación en los sectores económicos (Innovación). Dichos subíndices evalúan distintas dimensiones en la competitividad de 43 países considerados.

La versión del 2019 tuvo una serie de modificaciones en su metodología la cual no podía ser comparada con los resultados previos, en este sentido, se realizó una reevaluación de las series de 2001 a 2017, por lo que los resultados publicados aparecen con fecha a 2017.

Dentro de los subíndices no se encuentra un indicador directo de infraestructura, no obstante, sí existen campos relacionados al sector.

Para la versión de 2019, México ocupó el lugar 34 de 43. Los primeros lugares fueron obtenidos por Noruega, Suiza y Dinamarca.

Dentro de la siguiente tabla se observan las posiciones de México por cada subíndice y el mejor país de cada rubro.

Tabla 4. Clasificación por subíndice

Subíndice	2015	2017	El mejor
General	35	34	Noruega
Derecho	36	39	Finlandia
Medio ambiente	37	33	Noruega
Sociedad	40	39	Noruega
Sistema político	34	36	Dinamarca
Gobiernos	34	35	Dinamarca
Mercado de factores	26	25	Irlanda
Economía	27	29	China
Precursores	33	33	Países Bajos
Relaciones internacionales	40	40	Bélgica
Innovación	25	27	Corea del Sur

Fuente: IMCO, 2019

Dentro del subíndice de Sectores Precursores de Clase Mundial (Precursores) se observa el indicador “Transporte intraurbano de alta capacidad”, “Índice calidad de carreteras”, “Flujo de pasajeros aéreos”, “Índice de desempeño logístico (transporte)”, “Índices de infraestructura portuaria” que pueden relacionarse con el nivel de infraestructura del país. En este subíndice, México se posiciona en el lugar 33, siendo el segundo mejor país de Latinoamérica en el rubro, solo por detrás de Chile.

En la siguiente tabla se aprecian los resultados de México dentro de los indicadores relacionados con infraestructura y su comparativo con el promedio general y con los mejores tres países calificados.

En los cinco indicadores, México se encuentra muy cerca al promedio de los países evaluados, pero se localiza relativamente lejos de los mejores países calificados.

Tabla 5. Resultado por indicador relacionado con infraestructura.

Indicador	2015	2017	Promedio países evaluados	Promedio tres mejores
Transporte intraurbano de alta capacidad Índice (1-∞)	0.2	0.2	0.5	2
Índice de calidad de carreteras Índice (1-7)	4	4	5	6
Flujo de pasajeros aéreos Pasajeros por persona económicamente activa	0.8	1	4	27
Índice de desempeño logístico (transporte) Índice (1-5)	3.12	3.08	3.5	4
Índice de infraestructura portuaria Índice (1-7)	4	4	5	6

Fuente: IMCO, 2019

Dentro de las recomendaciones del IMCO se indica la necesidad de inversión pública en infraestructura económica de largo plazo. Asimismo, se explica que, para el caso de México, existió una gran incertidumbre dentro de la inversión extranjera por la cancelación de un proyecto cuyo avance se encontraba en un 31.5% de manera global. Por otro lado, se habla de los principales proyectos de la actual administración que se centran en el sureste del país; sin embargo, se explica que de acuerdo a la literatura y a la experiencia nacional e internacional, en relación al tipo de proyectos referidos, solo uno de cada mil logra ser exitoso.

1.2. Infraestructura en México

Durante parte del siglo XX, el Estado fungió como agente principal dentro del desarrollo de la infraestructura de México, especialmente porque se consideraba a la inversión pública un aspecto importante para el desarrollo del país.

A inicios de la década de los ochenta, dentro del marco de la crisis de deuda del 1982¹ y un desequilibrio fiscal, la participación del sector público en el desarrollo de

¹ En 1982 se agudizó la crisis de la economía mexicana debido a que se vencían algunos préstamos y las reservas se terminaron, por lo que el gobierno se vio obligado a solicitar una prórroga involuntaria del pago del principal de su deuda externa por tres meses (Reyes, 1988)

infraestructura disminuyó. A partir de este acto, dicha retirada del Estado en diversos sectores de la economía se ha mantenido y ha aumentado. Esta acción puso fin a la época de crecimiento que se había consolidado en el país desde 1950 y que había acarreado consigo consecuencias de bienestar para la población.

Dentro de la retirada del sector público trajo consigo una participación importante del sector privado en el desarrollo de infraestructura. Entre 1980 y 2004, la participación que tuvo el Estado en la formación bruta de capital fijo del país se redujo a más de la mitad y el gobierno paso de aportar 43% a 20% al final del periodo.

Hablando en específico de la inversión en comunicación y transportes, el sector también se vio disminuido en niveles de inversión, especialmente en la década de los noventa, dentro del aumento de participación del sector privado. No obstante, a partir de los primeros años del presente siglo, se vio un aumento gradual debido al rescate de concesiones en 1995; sin embargo, para finales de la primera década del siglo en mención, los niveles de inversión representaron una tercera parte de la inversión que se tenía en 1980.

Para la segunda década del presente siglo, en promedio 74% del financiamiento en transportes proviene de recursos públicos y el 26% del sector privado. Con respecto a lo último mencionado, la Presidencia de la República en 2019 expresó que para el 2020 se esperaba que la iniciativa privada destinara un total de 114 mil 703 millones de pesos para un total de 50 proyectos (Centro de Investigación Económica y Presupuestaria, A.C, 2020).

Se ha observado que, en el caso de comunicaciones, la inversión se ha encontrado en disminución desde 2015, llegando a un punto mínimo, en los últimos 11 años, en 2020. En sector transporte se tiene una visión similar con una tendencia a la baja.

Para la elaboración de la presente sección se utilizaron datos del texto “Infraestructura en México: Prioridades y deficiencias del Gasto Público” publicado por el Centro de Investigación Económica y Presupuestaria, A.C. (CIEP) en junio del 2020 y publicaciones del Gobierno de la República Mexicana del 2019.

1.2.1. Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024

Para la gestión de la administración en México del 2018 al 2024 se presentaron diversos documentos relacionados a la planificación del desarrollo de infraestructura. El documento más general es el Plan Nacional de Desarrollo (PND) para el periodo 2019 a 2024. En dicho Plan no se presenta una sección dirigida al sector infraestructura; no obstante, dentro de la sección dirigida al ámbito de economía se describen los principales proyectos regionales a los que se tiene planeado dirigir un gran porcentaje de inversión.

En uno de los rubros del sector economía se habla sobre el programa de construcción de caminos rurales, programa que ya se encuentra en curso y que permite comunicar 350 cabeceras municipales de Oaxaca y Guerrero con carreteras de concreto.

Los principales proyectos regionales que se presentan son el Tren Maya que aparece como el proyecto de infraestructura, desarrollo socioeconómico y de turismo más importante del periodo. Dicho proyecto tendrá una longitud de 1,525 kilómetros que recorrerán los estados de Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo y conectará las principales ciudades turísticas de la Península de Yucatán. Otro de los proyectos es el Programa para el Desarrollo del Istmo de Tehuantepec el cual tiene como objetivo el crecimiento de la economía regional. El proyecto tiene como eje el Corredor Multimodal Interoceánico, que aprovechará el posicionamiento del Istmo para generar competencia en los mercados mundiales de movilización de mercancías. Se planea la modernización del ferrocarril del Istmo de Tehuantepec, los puertos de Coatzacoalcos, Veracruz y Salina Cruz, Oaxaca. Asimismo, se planea fortalecer infraestructura carretera y de caminos rurales, así como la red aeroportuaria.

Finalmente, se planteó la construcción del Aeropuerto Internacional “Felipe Ángeles” en Santa Lucía, el cual se encuentra en el Estado de México, el cual se unirá a la infraestructura portuaria del centro del país y que conformará una terna junto al Aeropuerto Internacional Benito Juárez y el Aeropuerto Internacional de

Toluca. Se espera que el Aeropuerto en Santa Lucía permita realizar 190 mil operaciones aéreas anuales y atenderá alrededor de 20 millones de pasajeros por año (Presidencia de la República, 2019).

1.2.2. Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020-2024

En materia de infraestructura, México establece una estrategia definida en la que se le ofrece a los inversores una visión de mediano y largo plazo dentro del desarrollo de proyectos mediante una serie de planes y programas de alcance nacional que ofrecen cobertura a cada uno de los sectores de infraestructura.

Los documentos de planeación establecen la estrategia para el desarrollo de infraestructura del país, la situación actual de los sectores, su posicionamiento en el mercado internacional, necesidades, metas y objetivos.

Uno de los programas de alcance es el Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes (PSCyT) para el periodo 2020 al 2024.

El PSCyT es un programa que se deriva del PND y se realiza en cumplimiento con lo establecido en el artículo 26, apartado A, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en el que se establece que el Estado organizará un sistema de planeación democrática del desarrollo nacional que imprima solidez, dinamismo, competitividad, permanencia y equidad al crecimiento de la economía para la independencia y la democratización política, social y cultural de la nación.

La responsable de la coordinación de publicación, ejecución y seguimiento es la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

En la situación actual descrita en el PSCyT, se hace mención de proyectos que la SCT debe atender, algunos de ellos son: la conservación, mantenimiento y modernización de la infraestructura actual que abarca alrededor de 400 mil kilómetros de carreteras, 27 mil kilómetros de vías férreas, 77 aeropuertos, 117 puertos, 2 satélites de comunicación y 2 estaciones de control, asimismo, se insta a la continuación para conclusión de obras útiles en proceso que asciende a no menos de 200 obras inconclusas. Por otra parte, se habla sobre la pavimentación

de caminos que comuniquen las cabeceras municipales que no cuentan con ello, este aspecto en específico es mencionado dentro del PND y de lo cual se escribió dentro del apartado correspondiente. El resto de los proyectos importantes son los también mencionados en el PND como el Proyecto del Tren Maya, el Desarrollo Integral del Istmo de Tehuantepec y el Aeropuerto Internacional “Felipe Ángeles”.

Dentro del PSCyT se plantean 4 objetivos prioritarios con el que se pretende que el cumplimiento contribuya a mejorar el nivel de vida de la población y al bienestar social mediante construcción, modernización y conservación de una red intermodal de comunicaciones y transportes. Los objetivos son los siguientes:

- a) Contribuir al bienestar social mediante la construcción, modernización y conservación de infraestructura carretera accesible, segura, eficiente y sostenible, que conecte a las personas de cualquier condición, con visión de desarrollo regional e intermodal.
- b) Contribuir al desarrollo del país mediante el fortalecimiento del transporte con visión de largo plazo, enfoque regional, multimodal y sustentable, para que la población, en particular las regiones de menor crecimiento, cuenten con servicios de transporte seguros, de calidad y cobertura nacional.
- c) Promover la cobertura, el acceso y el uso de servicios postales, de telecomunicaciones y radiodifusión, en condiciones que resulten alcanzables para la población, con énfasis en grupos prioritarios y en situación de vulnerabilidad, para fortalecer la inclusión digital y el desarrollo tecnológico.
- d) Consolidar la red de infraestructura portuaria y a la marina mercante como detonadores de desarrollo regional, mediante el establecimiento de nodos industriales y centros de producción alrededor de los puertos y; mejorando la conectividad multimodal para fortalecer el mercado interno regional.

Dentro de los objetivos prioritarios los dos que cuentan con mayor relevancia en relación al presente trabajo, se encuentran en el inciso a) y b).

Al respecto, dentro del Programa Sectorial, se muestran algunas acciones puntuales para cumplir con los objetivos los cuales se pueden apreciar en el Anexo 1 en el cual se muestran específicamente las acciones del objetivo prioritario 1

correspondiente al inciso a), dado que en el objetivo prioritario 2 correspondiente al inciso b) se observan proyectos puntuales que, si bien tienen relación al tema no la tienen de forma directa como el inciso a).

En vista hacia el futuro, se establece que la SCT contribuirá con metas a cumplir para el 2024, de las cuales, en materia de caminos, destacan:

- Mantenimiento y conservación de 10,148 km de red carretera federal libre, pasar de 65% en estado bueno y regular al 90% con esa calidad
- Construcción y mantenimiento de 2,000 km de carreteras y autopistas
- Pavimentación de 300 accesos a igual número de cabeceras municipales indígenas en el país
- Concluir 5 desdoblamientos carreteros a través de esquemas de Asociaciones Público Privadas, agrupados a 7 obras por 20,800 millones de pesos, 4 proyectos prioritarios por 30,700 millones de pesos y 14 obras por 54,300 millones de pesos, con una inversión estimada de 105,800 millones de pesos.

Se observa que el PSCyT tiene planes y metas ambiciosas a sabiendas que el sector de Comunicaciones y transportes juega un papel crucial para el desarrollo regional y general del país.

Para la elaboración de la presente sección se tomó información directamente del PSCyT publicado por el Diario Oficial de la Federación el 2 de julio del 2020.

1.2.3. Programa Nacional de Infraestructura Carretera 2018-2024

El programa en mención tiene una relación directa con el PSCyT, pero dirigido directamente al sector carretero, por lo que algunos de los aspectos tratados en dicho programa se observan en el PSCyT.

De esta forma, se cita a continuación los objetivos de la estrategia nacional en el plazo antes referido:

- Lograr el desarrollo regional y el ordenamiento territorial de la nación, con visión de largo plazo.
- Transitar hacia una red intermodal de comunicaciones y transportes integral, eficiente, sustentable, segura y moderna.
- Lograr un sistema de verdadero respaldo a la competitividad nacional y superar la posición de nuestro país en este rubro, que nos ubica en el lugar 54 de 141 países calificados en el orbe (datos del WEF en 2019).
- Garantizar una infraestructura carretera que se vincule -sin cuellos de botella ni sitios de conflicto sin solución de continuidad- con las infraestructuras de puertos, vías férreas y aeropuertos y sin zonas de riesgo, y que incorpore el equipamiento conveniente para la conectividad de las telecomunicaciones modernas.
- Resolver los puntos de conflicto con la infraestructura de las zonas urbanas, que permita el tránsito ágil y seguro de personas y bienes por el territorio nacional y que dé a todos la posibilidad personal, comercial, cultural y política de conectarse con el resto de los mexicanos y con el mundo.

Asimismo, en materia del Plan Nacional de Carreteras Federales (PNCF), el cual se encuentra dentro del mismo documento, se indica que se cuenta con alrededor de 400 mil kilómetros de carreteras en las que pertenecen a la federación cerca de 40 mil en las que transita el 95% del pasaje y el 56 por ciento de la carga que circula en el país.

Al respecto de lo anterior, se establecen una serie de acciones para el PNCF de las que destaca que se atenderán los 40 mil kilómetros de carreteras federales, la construcción de 5,500 kilómetros de carretera, que representa una inversión de más de 14 mil millones de pesos, atención de 600 caminos dentro del Programa de Conservación y Rehabilitación de caminos rurales y en términos de inversión público-privada se establece el trabajo de 20 carreteras concesionadas (Presidencia de la Republica, 2018).

1.2.4. Red Nacional de Caminos

El Gobierno de México cuenta con un programa enfocado al ámbito de infraestructura vial, el cual lleva por nombre Red Nacional de Caminos (RNC). El mismo es el resultado de una colaboración entre la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y el Instituto Mexicano del Transporte con el INEGI.

La RNC es una representación cartográfica digital y georreferenciada de la infraestructura vial del país el cual tiene un alto grado de detalle y precisión. Dicha red conglomerada el total de la red pavimentada y gran parte de caminos no pavimentados en México, así como vialidades de localidades urbanas y rurales las cuales se intersectan con otro tipo de vías de transporte.

Cabe mencionar que la última actualización de la red se dio en el 2020 de donde se obtuvieron los siguientes resultados:

- 174,779 km carreteras pavimentadas²
- 50,685 km-Carreteras federales
- 102,719 km-Carreteras estatales
- 21,375 km-Otros (municipales, particulares)
- 10,767 km-Carreteras de cuota
- 1,261 Plazas de cobro
- 78,385 km vialidades urbanas e infraestructura de enlace
- 527,345 km caminos NO pavimentados
- 21,989 km de Veredas

Lo anterior se resume en una longitud total de la RNC de 780,511 km.

² La suma de kilómetros simplifica aquellas líneas paralelas modeladas por existencia de camellón o barra separadora (flujo y contraflujo de un solo sentido de circulación vehicular), dividiendo el total de kilómetros entre dos, para obtener un valor unificado en longitud. La información fue tomada de la página del Gobierno de México: <https://www.gob.mx/imt/acciones-y-programas/red-nacional-de-caminos>.

Capítulo 2. Evaluación de proyectos de inversión

El tema de proyectos de inversión esta comúnmente ligado al emprendimiento, a la iniciación de una empresa o de algún negocio; no obstante, un proyecto de inversión puede ser aplicado, inclusive, a actividades de la vida cotidiana.

El presente capitulo está enfocado a definir qué es un proyecto de inversión y que aspectos generales y particulares lo rodean con el objetivo de poder identificar cuál es la dinámica para evaluar un proyecto.

2.1. Definición y aspectos de un Proyecto de Inversión

Un proyecto puede ser definido como la planificación y ejecución de un conjunto de acciones que se van a llevar a cabo y un conjunto de recursos que se usarán para conseguir un fin determinado o, bien, para concretar los objetivos establecidos.

Un proyecto se puede clasificar de diferentes formas, unos pueden ser productivos o empresariales, es decir, que buscan beneficios económicos y, por otro lado, se pueden encontrar proyectos públicos o sociales; no obstante, esta clasificación es un tanto general debido a que a diario podemos establecer proyectos de distinta índole. Dicho lo anterior, todos los proyectos tienen una característica en común y es dar respuesta a una necesidad (Perez, 2021).

La formulación y evaluación de proyectos de inversión se originan a partir del plan de negocios que crea el interesado empresarial con el objetivo de aprovechar una oportunidad de producir bienes y servicios que satisfagan necesidades o solucionen problemas. Este plan toma forma cuando se realiza un estudio de mercado que investiga la viabilidad de la demanda por parte de la sociedad a la que se pretende dirigir el bien o servicio, así como un estudio técnico que determina la posibilidad de producir los mismos y la elaboración de estados financieros que ordenan, numéricamente, los resultados que se obtuvieron del estudio de mercado y del estudio técnico (Aranday, 2018).

Las actividades de un proyecto de inversión generalmente se refieren a los siguientes temas: plan de negocios, estudio de mercado, estudio técnico y

evaluación del proyecto en condiciones de riesgo e incertidumbre. Por las características del proyecto descrito en el presente documento, se utiliza la evaluación de proyecto en condiciones de riesgo.

De forma específica, para la etapa de evaluación de un proyecto de inversión se contemplan cinco estudios particulares que deben realizarse: viabilidad comercial, técnica, legal, de gestión y financiera, siendo estos mencionados de forma enunciativa más no limitativa (Vélez, 2014).

A continuación, se detallan algunos de los aspectos más importantes en cuanto a los estudios que son fundamentales en la evaluación de proyectos de inversión.

Aspectos de mercado: La viabilidad comercial se obtiene mediante un estudio mercado en el que se indica si este último es sensible al bien o servicio objeto del proyecto y si este tendría aceptación.

Aspectos técnicos: El estudio de viabilidad técnica, estudia las posibilidades materiales, físicas y químicas para la producción del bien o desarrollo del servicio que se desea generar con el proyecto. En este sentido, de forma práctica, este estudio te permite saber, por ejemplo, si el material requerido para el producto tiene existencia en el área de desarrollo, si existe mano de obra especializada disponible, e incluso, si existen condiciones geográficas para la instalación de un negocio específico, por ejemplo, un puerto.

Aspectos legales: El aspecto legal a pesar de no parecer tener relevancia dentro de la toma de decisión en materia de evaluación tiene alto impacto. Un proyecto puede ser viable en el mercado y de forma técnica; sin embargo, si existen restricciones de carácter legal que impidan el funcionamiento, no será recomendable llevar a cabo la ejecución.

Aspectos organizacionales: El estudio de viabilidad de gestión (también llamado de organización) pretende determinar la capacidad administrativa disponible para llevar a cabo el proyecto. Se busca definir si existen condiciones necesarias para garantizar la viabilidad de la implementación de forma estructural y funcional.

Aspectos Económico-Financieros, sociales y ambientales: Los siguientes aspectos se tratan de evaluaciones y son las puntas de los estudios de viabilidad. Estos reúnen la información de los estudios previos y evalúan de forma sólida la factibilidad de llevar a cabo la ejecución del proyecto. La evaluación financiera mide la rentabilidad que retorna a la inversión, es decir, en términos monetarios, cuánto se espera en utilidad con la ejecución del proyecto. La evaluación económica busca identificar la contribución que tendría el proyecto en el desarrollo de la comunidad, es decir, cómo impacta el proyecto en la economía local, regional o nacional. La evaluación social define la distribución de beneficios del proyecto en los diferentes estratos de la sociedad. Finalmente, la evaluación ambiental busca asegurar que el proyecto no tendrá impactos negativos sobre el medio ambiente.

En proyectos de inversión privados, de forma general, no se realizan los estudios económicos y sociales, debido a que su finalidad no es, en sí, obtener beneficios dentro de una comunidad, si bien, se busca un desarrollo de bienestar, la finalidad de la inversión privada es obtener remuneraciones del proyecto (Fontaine, 2008).

2.2. Ciclo de vida de los proyectos

Un proyecto de inversión, de forma general, pasa por un ciclo de vida que está conformado por tres etapas fundamentales: preinversión, inversión y la etapa de operación.

Diversas fuentes dividen cada etapa en sub-etapas o procesos que son necesarios para direccionar el proyecto.

De forma general, estas etapas se observan en Tabla 6.

Tabla 6. Etapas de un proyecto de inversión.

Fases	Preinversión				Inversión			Operacional
	1	2	3	4	1	2	3	1
Sub-etapas	Idea. Identificación de oportunidades de inversión. Surge la idea del proyecto.	Perfil.	Etapa de la selección preliminar. Para abordar esta etapa, es necesario realizar un estudio de prefactibilidad.	Etapa de formulación del proyecto. Es necesario realizar un estudio de factibilidad	Etapa de estudios técnicos detallados. Se considera el diseño del proyecto.	Elaboración de programa detallada para la ejecución del proyecto.	Construcción y suministro. Se considera la ejecución del programa de ejecución.	Comienzan operaciones.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente sección se detallará el enfoque que representa cada fase.

2.2.1. Preinversión, Inversión y Operación

Preinversión

La etapa de *preinversión* surge de la identificación de una situación en la que se puede plantear la inmersión de un servicio o producto que atienda una problemática o una oportunidad de negocio que no está siendo atendida. No obstante, la idea solo es el inicio del proyecto, ya que es necesario contemplar una serie de elementos que se deberán analizar para establecer si es posible convertir la idea en un proyecto. A continuación, se detallan las etapas que constituyen la fase de preinversión (Vélez, 2014), mismas que se observan en el cuadro 1:

Idea. Identificación de oportunidades: Surge de la caracterización ordenada para identificar problemas que puedan resolverse y oportunidades de negocio que puedan aprovecharse. La diversidad de soluciones a un problema o la variedad de aprovechamiento de una oportunidad, constituirán las ideas del proyecto. Debido a lo anterior, se afirma que la idea de un proyecto, más que ser una ocurrencia, es la representación de un diagnóstico que identifica distintas vías de solución.

Perfil: Durante esta etapa se reúne toda la información disponible. En términos monetarios se presentan estimaciones generales de las inversiones, costos o ingresos, debido a que no se han realizados estudios a fondo.

Durante dicho proceso se pueden efectuar consideraciones sobre la situación “sin proyecto”.

En este estudio, más que el cálculo de la rentabilidad del proyecto, se busca identificar si hay razones que justifiquen la no realización del proyecto previamente a destinar más recursos (no solo monetarios) para el cálculo de la rentabilidad, ya sea en la fase de prefactibilidad o factibilidad.

Prefactibilidad: Durante este estudio se profundiza la investigación. De forma general, se estiman las inversiones probables, costos de operación e ingresos que demandará y generará el proyecto.

Esta etapa es caracterizada por eliminar o descartar soluciones con un mayor grado de análisis, es decir, se profundizan los aspectos señalados como críticos en el estudio de perfil; sin embargo, este estudio aún está basado en información secundaria y no demostrativa. Es posible utilizar datos paramétricos que se asimilen a los datos reales, pero no que necesariamente sean directos del proyecto a ejecutar.

El resultado del estudio de prefactibilidad es la recomendación de aprobación, la continuación de investigación a un nivel más profundo de estudios, la postergación hasta que se cumplan las condiciones mínimas o, en su defecto, el abandono.

Factibilidad: Este es el estudio con más detalle y desarrollo dentro de la preinversión y se elabora sobre los antecedentes precisos, pero esta vez en fuentes primarias de información que permitan un adecuado análisis con datos lo más cercanos posibles a la realidad.

Los estudios de Factibilidad deben proporcionar una base técnica, financiera, económica, comercial, social y ambiental para la decisión de invertir en el proyecto.

Dado que esta etapa constituye el paso final de la fase de preinversión, la responsabilidad de la persona encargada de la evaluación, más allá de realizar un estudio de viabilidad, es la de cuidar y revisar la optimización de los aspectos que dependen de la decisión de tipo económico.

Inversión

La etapa de *inversión* corresponde al momento en el que el proyecto se ejecuta. Se inicia cuando se toma la decisión de invertir en el proyecto y concluye cuando el proyecto entra en operación.

En este punto, se da continuidad a la etapa previa, se toman como base los aspectos tomados en cuenta de forma inicial y se comienza a materializar la toma de decisiones.

En la etapa de inversión se observan actividades como la selección de la tecnología, estudios técnicos con mayor grado de detalle del proyecto, como proyectos estructurales, diseño de instalaciones, estudios de tecnología. También es posible observar la negociación de contratos, la obtención del financiamiento, adquisición de terrenos y por supuesto la ejecución del proyecto.

Durante esta etapa, se presenta la mayor carga presupuestal del proyecto, debido a las necesidades del mismo.

Es importante mencionar que existen casos en los que las etapas de inversión y operación ocurren de forma simultánea durante un periodo de tiempo. Tal es el caso de carreteras en las que ciertos tramos aún se encuentran siendo construidas, mientras que un tramo de la misma ya se encuentra en operación.

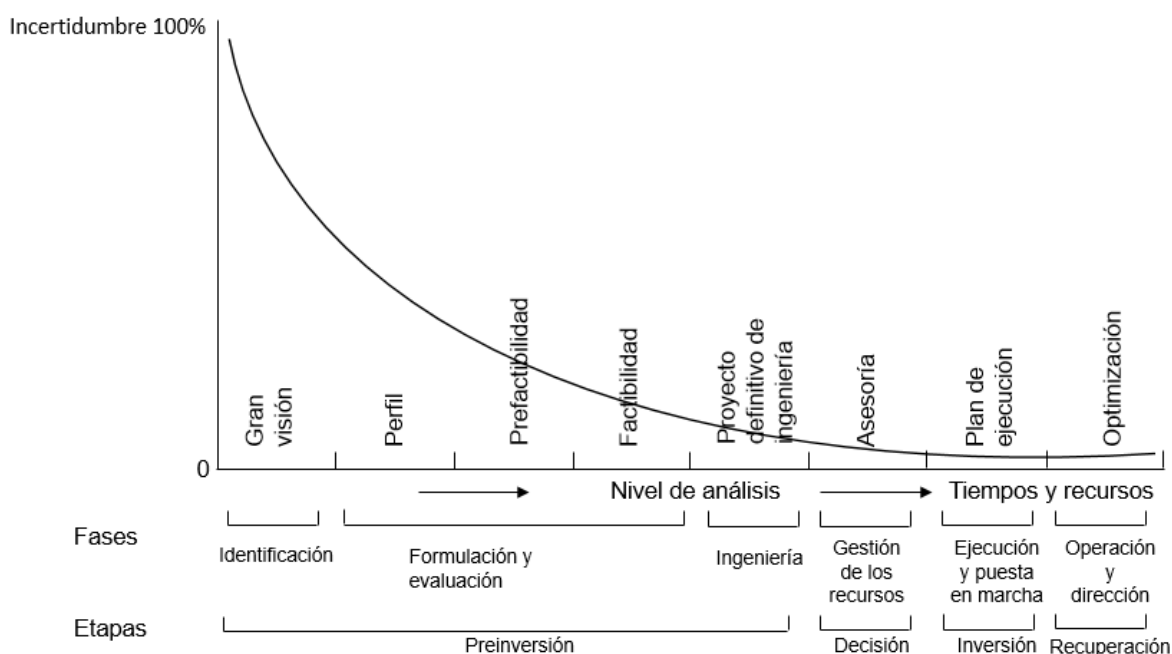
Operación

Una vez concluida la etapa de inversión, se puede comenzar la marcha del proyecto, es decir, la etapa de operación. Esta etapa proveerá los ingresos por la adquisición de un bien o servicio desprendidos del proyecto. Esta fase tiene como objetivos operar de forma eficiente la unidad de producción o de prestación de servicios,

optimizar los recursos humanos y materiales disponibles, mantenimiento al bien o servicio, así como un adecuado seguimiento al programa de ventas.

En la siguiente gráfica se puede apreciar el grado de incertidumbre conforme a las etapas antes descritas. En el eje de las ordenadas, se aprecia el grado de incertidumbre durante el análisis del proyecto, mientras que en el orden de las abscisas las fases del proyecto.

Gráfica 1. Nivel de análisis de estudios sobre proyectos de inversión.



Fuente: Nacional Financiera, S.N.C. 1999

El tema de ciclo de vida de los proyectos del presente documento se tomó de forma recopilatoria del libro antes mencionado de Vélez (2012), así como el libro de Ross (2012).

2.3. Proyectos de inversión privada. Métodos de evaluación

La evaluación financiera de proyectos de inversión tiene como objetivo observar los factores involucrados en su realización. Sin la evaluación, una entidad no tiene la información necesaria para tomar una decisión sobre los alcances y riesgos de un proyecto (Ponce, 2019).

Los estudios de los que se escribió en la sección pasada, son un punto de referencia para el análisis de evaluación financiera, es decir, con la información obtenida mediante los diversos estudios, es posible realizar proyecciones en cuanto ingresos y gastos en la vida del proyecto para obtener los beneficios netos de forma monetaria que otorga el funcionamiento del proyecto (estos podrían ser negativos inclusive). A estos beneficios, de forma general, se les llaman Flujos Netos de Efectivo. Dichos valores son utilizados para evaluar el proyecto en materia financiera; no obstante, la valuación va más allá de únicamente encontrar los flujos, ya que a estos se les aplican diversos métodos para identificar la viabilidad del proyecto.

A continuación, se enuncian los métodos más utilizados en este tema.

2.3.1. Valor Presente Neto (VPN o VAN)

En este punto, sabemos que el valor del dinero es su poder adquisitivo, la capacidad que tiene de compra o, bien, de intercambio. Dicho lo anterior, se hace notar que el valor del dinero cambia con el paso del tiempo. Esto puede ser explicado por las siguientes razones:

- a) El dinero se puede invertir en el presente para ganar interés y por lo tanto más dinero en el futuro. Esto introduce a las tasas de interés en el valor del dinero a través del tiempo.
- b) El poder adquisitivo puede cambiar con el tiempo gracias a la inflación.

Para la comprensión del VPN es necesario tener conocimiento de dos aspectos previos los cuales dan apertura a un mayor entendimiento del indicador, estos son el Valor Presente y el Valor Futuro, mismos que se explican a continuación:

Valor Presente (VP)

Es el valor de un activo que tiene el día de hoy, pero que recibiremos en el futuro, es decir que este concepto nos permite conocer cuánto vale el flujo de dinero, al día de hoy, que recibiremos, por ejemplo, en un año (Nacional Financiera, 2004).

Para el cálculo de esta variable, necesitamos conocer el flujo a recibir, o bien a pagar, la tasa a la que se descontará el monto y el tiempo en el que recibiremos el o los flujos.

La fórmula para el VP está determinada por la siguiente expresión:

$$\text{Ecuación 1}$$
$$VP = x_0 + \frac{x_1}{1+r} + \frac{x_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{x_n}{(1+r)^n}$$

Valor Futuro (VF)

El VF se conceptualiza y mide de una forma inversa al VP. El VF es el valor que tendrá un activo en un lapso de tiempo, es decir, nos permite saber cuánto valdrá un monto de dinero que se posee al día de hoy, dentro de un cierto periodo de tiempo. Al igual que para el VP, se necesita conocer el o los flujos de dinero, la tasa de interés que se está ofreciendo y que se aplicará al flujo para saber su valor en el futuro, así como el tiempo al que se mantendrá invertido el monto de dinero (Nacional Financiera, 2004).

Para el cálculo de este concepto se pueden utilizar tres tipos de interés: simple, compuesto y continuo; sin embargo, para estar en sintonía con la fórmula de VP referida en el apartado anterior, se manejará interés compuesto, cuya fórmula es la siguiente:

$$\text{Ecuación 2}$$
$$VF = VP(1+r)^n$$

Lo anterior en el entendido que conocemos el VP de los flujos.

Valor Presente Neto

Ya con el conocimiento de los conceptos anteriores, es posible tener una mayor noción de la utilidad y funcionamiento del VPN, que no es más que el valor del dinero al día de hoy. Dicho de otra forma, el VPN es el equivalente en unidades monetarias actuales de los ingresos y egresos, presentes y futuros, que constituyen un proyecto.

La finalidad o idea es que, si una inversión puede generar valor para los propietarios, vale la pena efectuarla (Perez, 2021).

La diferencia entre el valor de mercado de una inversión y su costo se denomina Valor Presente Neto y la fórmula matemática para su determinación es la siguiente:

Ecuación 3

$$VPN = -X_0 + \frac{X_1}{(1+r)} + \frac{X_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{X_n}{(1+r)^n} = -X_0 + \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{(1+r)^i}$$

Donde:

X_i = Flujo de efectivo en el tiempo i .

r = Tasa de interés efectiva (tasa de descuento o de oportunidad)³

El VPN puede asumir valores positivos, nulos o negativos y se puede tomar decisiones con base en el resultado de este conforme a los siguientes escenarios:

- a) $VPN < 0$ el proyecto no es atractivo para desarrollar
- b) $VPN = 0$ el proyecto es atractivo⁴
- c) $VPN > 0$ el proyecto es muy atractivo para desarrollar

Una de las principales desventajas del VPN es que es muy sensible al valor de la tasa de descuento utilizado, por lo que se requiere de una buena estimación de la tasa esperada con la que se descontarán los flujos de efectivos futuros (Ross, 2012).

³ La tasa de descuento de un proyecto es el rendimiento que se pretende ganar sobre un activo financiero de riesgo comparable. Esta tasa también se puede denominar como costo de oportunidad, debido a que la inversión corporativa en un proyecto le quita la oportunidad de invertir el dividendo en otro activo financiero.

⁴ Se considera que el proyecto es atractivo debido a que al menos el proyecto genera valor igual a la tasa de descuento.

2.3.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Este indicador proporciona otra medida de la rentabilidad de un negocio y está directamente relacionada con el VPN.

La TIR es la tasa de interés que hace que el valor presente del flujo de efectivo operativo neto sea igual al valor presente de la inversión neta, en otras palabras, es la tasa de interés que hace que el VPN sea igual a cero.

La TIR se determina seleccionando de forma arbitraria una tasa de interés con la que se calcula el VPN. Este último es una razón aritmética, como se vio en el apartado anterior, en donde el numerador de la razón es el dinero (flujos de efectivo) y el denominador es una tasa de interés.

A través del algebra sabemos que si el denominador de una fracción, en este caso la tasa de interés, aumenta, el valor de la fracción, que es el Valor Presente, disminuye, por lo que, si el denominador disminuye su valor, el valor de la fracción aumenta. En este sentido, si la tasa de interés seleccionada se traduce en un VPN positivo, se tiene que seleccionar una tasa de interés mayor y volver a calcular el VPN (Nacional Financiera, 2014).

Por el contrario, si con la tasa seleccionada, el VPN resulta negativo, se debe seleccionar una tasa de interés menor.

Este proceso debe ser repetitivo hasta encontrar un VPN igual a cero y la tasa que se haya utilizado para llegar a este valor será la TIR del proyecto.

En términos matemáticos, la fórmula de la TIR debe ser calculada conforme a la siguiente expresión:

Ecuación 4

$$VPN = -X_o + \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{(1+r)^i} = 0$$

En dicha expresión, la tasa de interés “r” será el valor de la TIR.

Para que un proyecto sea factible, la TIR debe ser mayor que la tasa utilizada para descontar los flujos de efectivo en la valuación del proyecto.

2.3.3. Periodo de Recuperación

El tiempo de recuperación de la inversión es el periodo que necesita el inversor o el interesado del proyecto para poder recuperar el monto del dinero que invirtió inicialmente en un negocio o proyecto. Se puede tomar este indicador como el tiempo que le toma a la operación del proyecto generar el flujo de efectivo para cubrir la inversión realizada (Martinez, 2006).

Para su cálculo simplemente se compara de forma directa los flujos de efectivo operativos netos que se generaron por el proyecto con la inversión neta, con lo que se determina el periodo (generalmente años) que es requerido para que el dinero generado por el negocio, sea igual al dinero invertido para iniciar y mantener operando el negocio. Un proyecto factible, sería aquel en el que el tiempo de recuperación fuera menor a la vida útil del proyecto.

Las principales ventajas del indicador es que es de fácil entendimiento y de cálculo, adicionalmente, da una medida en tiempo del riesgo del negocio o proyecto; sin embargo, la principal desventaja del método es que no se toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo. Asimismo, este método no considera los flujos de efectivo generados después de la fecha de corte para el cálculo.

Para la mitigación de la no consideración del valor del dinero en el tiempo, se complementó el modelo con flujos descontados, es decir, se descuentan los flujos operativos del proyecto con una tasa de descuento determinada y con esto es posible obtener un periodo de recuperación con el valor presente de los flujos operativos del proyecto.

Este ajuste aún mantiene la desventaja de no considerar flujos posteriores a la fecha de corte en la que se realizó el cálculo.

Para la elaboración del presente apartado se empleó el libro antes referido de Ross (2012), así como las publicaciones de Fundamentos de Negocio realizadas por Nacional Financiera en asesoría de la UNAM⁵.

2.4. Opciones reales como método de evaluación de proyectos de inversión

La incertidumbre y la volatilidad se encuentran presentes en la cotidianidad y uno de los sitios en donde se hace más frecuente su visualización es dentro de los mercados financieros, es por lo anterior que inversionistas, empresarios, administradores y cualquier involucrado en el campo, consideren diversas alternativas para controlar, mitigar y administrar los riesgos a los que se encuentran expuestos.

En las últimas décadas, la administración de riesgos es un área que ha tomado un gran auge gracias al beneficio que lleva el medir y monitorear las causas que llevan a un evento no fortuito, lo cual ayuda también a una planeación más eficiente.

Para poder tener un mayor control y administración de riesgos se desarrollaron los llamados instrumentos derivados los cuales son un conjunto de instrumentos financieros cuya característica principal es que están vinculados a un valor subyacente o de referencia. Estos instrumentos derivados surgieron a partir de la necesidad de cubrir fluctuaciones de precio en productos agroindustriales (commodities) cuando existen condiciones de elevada volatilidad (MexDer, 2007).

Los principales derivados financieros son los futuros, opciones y swaps, no obstante, para efectos del presente documento, se detallará únicamente lo relacionado a las opciones.

⁵ Nacional Financiera desarrolló una serie de publicaciones en las cuales tratan temas para el inicio y formalización de un negocio, estas publicaciones se realizaron con la asesoría de la UNAM y se pueden encontrar de forma libre en la página electrónica de NAFIN en el siguiente enlace: https://www.nafin.com/portalInf/content/desarrollo-empresarial-y-asistencia-tecnica/herramientas-de-negocio/fundamentos_negocio.html

2.4.1. Definición y operación de opciones

En un contrato de opciones, el comprador de estas, a través de un monto llamado prima, adquiere del emisor de la opción el derecho, pero no la obligación, de comprar (opción de compra o Call) o vender (opción de venta o Put) un activo subyacente real o financiero a un precio de contrato que se establece de forma inicial (precio de ejercicio) en una fecha determinada. El vendedor o emisor de la opción sí está obligado a cumplir el compromiso del contrato (Statistics Department International Monetary Fund, 1998).

El mercado de opciones ha tenido una evolución relativamente rápida. Se sabe que desde tiempos remotos se ha utilizado este método para el intercambio o compra de bienes, sin embargo, fue hasta 1973 que la Bolsa de Opciones de Chicago comenzó a comerciar opción de acciones individuales. A partir de entonces, se comenzó a comerciar con nuevos tipos de contratos de opciones.

Los contratos de opciones son unilaterales porque solo una parte tiene el derecho (no la obligación) de exigir que se cumpla el contrato.

En los mercados de opciones, los activos subyacentes pueden ser activos financieros como acciones, índices bursátiles, divisas, títulos de deuda y otros o, bien, pueden ser activos reales como productos agrarios, metales o productos energéticos. A estos activos reales, se les denominan *commodities*.

Por otra parte, las opciones se pueden clasificar de acuerdo a su Derecho Adquirido, es decir de compra y venta de un activo subyacente. A continuación, se describe brevemente su función (Martinez, 2006):

- Opción de compra (Call option): Le otorga a la persona que adquirió la opción de compra, el derecho, pero no la obligación, de comprar un activo subyacente en una fecha establecido y a un precio determinado.
- Opción de venta (Put option): Le otorga a la persona que adquirió la opción de compra, el derecho, pero no la obligación, de vender un activo subyacente en una fecha establecida y a un precio determinado.

Las opciones también se pueden clasificar basándose en el momento en el que son ejercidas como se indica a continuación:

- Opciones americanas: Se pueden ejercer en cualquier momento, desde la fecha en que son adquiridas y hasta su vencimiento.
- Opciones europeas: Están limitadas a ejercerse solo en la fecha de vencimiento.

En relación a la negociación de las opciones, éstas se hacen por medio de un sistema de intermediación. Los costos de esta intermediación se cubren a través de comisiones pagadas por los inversionistas.

Finalmente, es menester mencionar que las opciones negociadas en los mercados organizados y regulados, se liquidan mediante una Cámara de Compensación. En el caso de México, la Cámara de Compensación lleva por nombre *Asigna*.

Una Cámara de Compensación es una institución financiera que ofrece servicios de compensación de pagos y liquidación a sus miembros mediante transacciones de derivados financieros. En este caso, facilita y compensa la ejecución de contratos. Además, recogen las garantías inherentes a los derivados financieros y garantizan el cumplimiento de las obligaciones (MexDer, 2007).

2.4.2. Opciones Reales y Financieras

El análisis de Opciones Reales surge como respuesta al contexto dinámico del mercado y a la flexibilidad en la toma de decisiones de inversión en respuesta a la incertidumbre de acontecimientos, acción que no se prevé en los métodos tradicionales de valuación de proyectos.

La esencia de las opciones financieras, se pueden aplicar a activos reales, en este sentido Myers (1977) indicó que cada empresa puede tomar la opción de aplicar decisiones estratégicas en el momento de evaluar sus oportunidades de inversión, por lo que dichas empresas, pueden tener el derecho, más no la obligación, de invertir en un determinado proyecto y beneficiarse de sus flujos futuros en caso de encontrar una oportunidad de inversión. La ventaja en esta situación es que no se

debe de tomar de inmediato, si no que se puede esperar el momento en el que se presente el escenario deseado. Esto es lo que se conocería como una opción de diferimiento. Más adelante se indican algunos tipos de opciones reales existentes.

Dicho lo anterior, si se desea definir una opción real, esta tendría el mismo significado de una opción financiera, pero enfocada a activos reales, por lo que se puede decir que una opción real es el derecho, más no la obligación, de ejercer una acción dentro de una decisión de inversión relacionada a activos reales y la cual lleva consigo un costo predeterminado en un periodo de tiempo establecido.

De las opciones financieras, se sabe que son función de una serie de variables para determinar su valor. Las variables se indican a continuación (Mascareñas, 2007):

- i. Precio del activo subyacente (S): Dentro de la opción financiera representa el precio del activo subyacente en el presente. En el caso de la opción real, representa el Valor Presente de los flujos futuros de caja del proyecto.
- ii. Precio de ejercicio (K): Para la opción financiera es el precio al que el poseedor de la opción puede ejercer esta, en el caso de ser una opción de compra (call), es el precio al que tiene el derecho de comprar el activo o, bien, si es una opción de venta (put), el precio al que al poseedor de la opción le pagaran por vender el activo. Para el caso de la opción real, es el precio a pagar para obtener el activo real subyacente, se puede decir que en el caso de un proyecto de inversión es la inversión inicial. Lo anterior es tratándose de una opción de compra, si fuese el caso de una opción de venta, el precio de ejercicio se refiere al precio al que el propietario del activo subyacente tiene derecho a venderlo.
- iii. Tiempo al vencimiento (t): Para ambos tipos de opciones hace referencia al tiempo de vencimiento de la opción.
- iv. Riesgo o volatilidad (σ): Se refiere a la varianza de los rendimientos del activo subyacente, es decir, la volatilidad que tiene el activo el cual tiene un valor medio S, pero que puede variar en el futuro, a esa medida de la variación se le conoce como la desviación típica de los rendimientos. En la opción real es la volatilidad del activo operativo. Para un proyecto de inversión son las variaciones del Valor Presente de los flujos de caja.

- v. Tasa de interés libre de riesgo (r_f): Refleja el valor del dinero en el tiempo.
- vi. Dividendos (D): Dentro de las opciones financieras, los dividendos representan el dinero líquido generado por el activo subyacente que se generó mientras el propietario de la opción la tuvo en posesión y no la ejerció. En caso de ser una opción Call, el propietario de esta pierde este dinero, toda vez que mientras la opción no sea ejercida, el propietario de la opción no es accionista y no tiene derecho a los dividendos. Para una opción real de compra, son los flujos generados por el proyecto a los cuales se está renunciando en tanto el propietario no ejerza la opción.

Dentro de la siguiente tabla se aprecia de forma resumida la relación entre las opciones financieras y reales.

Tabla 7. Relación entre opciones financieras y reales.

Variable	Opción financiera	Opción real
S	Valor Presente de los flujos de caja que genera el activo financiero.	Valor de los activos que se van a adquirir, es decir, el Valor Presente de los flujos de caja generados por el activo real.
K	Precio de ejercicio al que se tiene el derecho de adquirir el activo financiero.	Desembolsos necesarios para adquirir el activo real. Costo inicial de inversión del proyecto.
t	Tiempo de vigencia de la opción.	Periodo de tiempo que se puede demorar la decisión de realizar el proyecto de inversión.
σ	Variación en los rendimientos del precio del activo.	Variación de los rendimientos del valor del proyecto.
r_f	Tasa libre de riesgo.	Valor temporal del dinero (misma tasa libre de riesgo).
D	Dividendos del activo.	Flujos de caja a los que se renuncia debido a no ejecutar el proyecto en el presente.

Fuente: Mascareñas, 2007

Las variables antes mencionadas, impactan en el valor de las opciones en diferentes sentidos, es decir, mientras que unas al aumentar su valor hacen que el valor de la opción también aumente, otras variables toman un camino diferente. Esto se puede resumir en la Tabla 8.

La Tabla se lee de la siguiente forma: cuando el precio del activo subyacente aumenta, el valor de la opción de compra aumenta, sin embargo, tratándose de una opción de venta, si el precio del activo subyacente aumenta, el valor de la opción disminuye

Tabla 8. Movimiento del valor de las opciones.

Variable	Opción de compra	Opción de venta
S	+	-
K	-	+
t	+	+
σ	+	+
r_f	+	-
D	-	+

Fuente: Mascareñas, 2007.

Concluyendo las comparaciones, es notable observar que las opciones financieras sí pueden ser negociadas en mercados competitivos e incluso regulados, mientras que, en el caso de las opciones reales, estas no se negocian en mercados, su función, como ya se mencionó, es la ayuda de toma de decisiones.

2.4.3. Tipos de opciones reales

Las opciones reales se clasifican principalmente por la flexibilidad que ofrecen. Existen opciones simples que marcan un evento en los proyectos, algunos de los tipos son de diferimiento, expansión, contracción o abandono; no obstante, hay tipos de opciones con mayor complejidad como las opciones de cambio, por ejemplo, entre procesos o métodos de producción, uso de tecnologías y otras. También se tienen las opciones compuestas que funcionan como una opción sobre otra opción. Otro tipo son las que cuentan con múltiples fuentes de incertidumbre (Zapata, 2020),

sin embargo, en el presente trabajo solo se hará explicación de las opciones simples, mismas que se detallan a continuación:

- *Opción de diferir*: Las opciones de diferir le otorgan al propietario de un proyecto la posibilidad de aplazar la realización de este durante un periodo determinado de tiempo. Con esto se pretende reducir la incertidumbre relacionada al proyecto. Generalmente el diferimiento es el cambio de un costo determinado dado que mientras no se realice el proyecto, no se recibirán ningún tipo de flujos en entrada (aunque esto también implica que no se erogan gastos). Esta opción está relacionada con el aprendizaje, debido a que al aplazar el proyecto se obtiene mayor información del mismo o, bien, del mercado en el que se establecerá (Lamonthe y Méndez, 2013). La empresa o los inversionistas toman la decisión de esperar un tiempo determinado si el VPN del proyecto es negativo o si la incertidumbre continúa en un alto nivel, en este caso, Zapata (2020) explica que este tipo de opción tiene la forma de una opción Call americana, toda vez que el proyecto se logrará poner en marcha si el valor que se puede obtener en un momento determinado (V_t) es mayor a la inversión requerida (K), es decir, solo cuando $V_t > K$, así que la función de pagos este dada por la ecuación 5:

Ecuación 5

$$OR_{diferir} = \max(V_t - K, 0)$$

Las opciones de diferimiento se aprecian más cuando los proyectos cuentan con derechos de explotación o propiedad y uso exclusivo en el que las barreras de entrada son altas, esto hace que el tiempo de espera del proyecto no se enfrente a escenarios de pérdida de ingresos por competencia.

- *Opción de expandir*: Esta opción se da en proyectos que tienen oportunidad de alto crecimiento. Antes del uso de la opción de expandir, un VPN puede mantenerse bajo o negativo, sin embargo, en caso de crecimiento, esta situación se puede revertir y alcanzar mayores niveles en cuanto a la valuación gracias a las sinergias producidas mediante economías de escala o de alcance. En este caso, una empresa se puede expandir o ampliar la

capacidad del proyecto en una proporción n y esta se da gracias a una inversión adicional (I_{exp}), la cual representa el precio de ejercicio. En consecuencia, de la expansión el valor presente (V_i) se verá incrementado (Zapata, 2010). En esta situación, la opción se ejercería si se da el siguiente escenario:

Ecuación 6

$$Vt(1 + n) - I_{exp} > Vt$$

La opción de expandir, también tiene similitud con una opción *Call* tipo americana, es decir, se puede ejecutar, por ejemplo, cuando las condiciones en el mercado favorecen el proyecto. La función de pagos se da mediante la ecuación 7.

Ecuación 7

$$OR_{exp} = \max(Vt, Vt(1 + n) - I_{exp})$$

De forma alternativa también es utilizada la ecuación 8.

Ecuación 8

$$OR_{exp} = Vt + \max(Vt(1 + n) - I_{exp}, 0)$$

Esta última expresión permite obtener el VPN con flexibilidad.

- *Opción de reducción*: Funciona de forma similar, pero en sentido contrario a la opción de expandir. Aquí se le da al propietario de la opción, el derecho a renunciar a una parte del proyecto a cambio de un ahorro, este último funge como el precio de ejercicio. Si se presenta un escenario en el que la empresa pueda contraer su capacidad de producción o tamaño, esta puede acceder a un factor de reducción γ .

La opción de reducción se puede tomar como una opción put americana que se puede ejercer en periodo de tiempo específico, con un precio de ejercicio que es igual al ahorro de los costos (N) y su función de pagos es la siguiente:

Ecuación 9

$$OR_{reducción} = \max(Vt; Vt(1 - \gamma) + N)$$

- *Opción de abandono:* Proporciona al propietario de la opción el derecho de vender, liquidar, cerrar o abandonar un proyecto si las condiciones ameritan tal acción. Se puede presentar que los ingresos ya no sean suficientes para cubrir costos fijos, por lo que la mejor decisión es abandonar el proyecto. Para este tipo de opción, se hace una comparación entre el resultado del valor del proyecto y un valor de rescate o de liquidación. También se realiza una comparación con una opción Put americana. Su función de pagos es la siguiente:

Ecuación 10

$$OR_{abandono} = \max(V_t; L)$$

Y también se puede utilizar de forma alternativa:

Ecuación 11

$$OR_{abandono} = V_t + \max(L - V_t; 0)$$

Cuando $L > V_t$, lo mejor para la empresa es abandonar el proyecto, por lo que resulta más atractivo liquidar y vender los activos.

- *Opción de escoger:* Es la posibilidad de escoger entre múltiples combinaciones de opciones simples en una sola. La combinación, generalmente puede darse entre las opciones de abandono, expansión y reducción. Esta opción permite al propietario continuar con el proyecto en condiciones originales (V_t), mantener la opción vigente o escoger entre las opciones de abandonar, expandir o reducir. A diferencia del resto de las opciones, esta opción puede ser *call* o *put* dependiendo la estrategia a seguir, por ejemplo, se considera una opción *put* si se utiliza la opción de abandono y reducción, y se considera *call* si se decide expandir. La función de pagos se da por la siguiente expresión:

Ecuación 12

$$OR_{escoger} = \max(V_t; V_t(1 + n) - I_{exp}; V_t(1 - \Upsilon) + N; L)$$

De forma específica en el método de un árbol binomial de varios periodos, la función de pagos permite identificar en cada nodo del árbol, el mayor valor de cada opción que se puede elegir bajo la siguiente estrategia:

$$Vt > Vt(1 + n) - Iexp; Vt(1 - Y) + N; L \rightarrow \text{Continúa}$$

$$Vt(1 + n) - Iexp > Vt; Vt(1 - Y) + N; L \rightarrow \text{Expande}$$

$$Vt(1 - Y) + N > Vt; Vt(1 + n) - Iexp; L \rightarrow \text{Reduce}$$

$$L > Vt; Vt(1 - n) - Iexp; Vt(1 + Y) + N \rightarrow \text{Abandona}$$

- *Opciones compuestas*: En proyectos del tipo de investigación y desarrollo o infraestructura, entre otros, requieren fases o etapas para su desarrollo, por lo que es posible evaluar en cada fase la posibilidad de evaluar el proyecto para saber si continuar o abandonar el proyecto. La evaluación de estos proyectos que cuentan con múltiples fases, se pueden evaluar como opciones compuestas.

La opción en esta situación se utiliza en cada fase en la que el éxito de cada etapa hace posible poner en marcha la siguiente, por lo que cada fase se puede tomar como una opción en la que el valor de esta depende de la etapa previa.

2.4.4. Método de valuación de opciones

De forma previa se explicó el funcionamiento de las opciones las cuales le dan al poseedor de la misma el derecho, pero no la obligación, de comprar (opción Call) o vender (opción Put) un activo subyacente dentro de un periodo de tiempo y a un precio pactado que se denomina precio de ejercicio. En este sentido, el tenedor de una opción call la ejercerá si el precio pactado (K) es menor al precio *spot* de la acción (S). En el caso de una opción put se aplica el razonamiento inverso en donde

el poseedor ejercerá su opción si el precio pactado (K) es mayor al precio *spot* de la acción (S). Lo anterior se representa en las siguientes expresiones:

$$Call = \text{Max}(S - K; 0)$$

$$Put = \text{Max}(K - S; 0)$$

Para que se pueda adquirir el derecho de compra o venta otorgado por la opción se requiere el pago de una prima. El cálculo de la prima ha representado un reto dentro de la valoración de opciones, por lo que se han desarrollado diferentes teorías para que se fundamenta en el principio de no arbitraje. Asimismo, existen reglas de valoración vistas desde dos enfoques, los métodos analíticos y métodos numéricos. Los métodos analíticos contemplan el modelo Black-Scholes, mientras que los métodos numéricos contemplan el modelo binomial (Zapata, 2020).

Es importante recalcar que, los métodos mencionados anteriormente se indican de forma enunciativa, más no limitativa, toda vez que existes métodos adicionales clasificados en los analíticos y numéricos, no obstante, para efectos del presente documento se detallan los ya escritos, Black and Scholes debido a la importancia que tiene el método dentro de la valoración de opciones y el método binomial debido a que tal método se utiliza para el desarrollo de la presente investigación.

2.4.4.1. Método de Black and Scholes

Existe una infinidad de artículos y publicaciones que han citado y explicado el modelo de Black and Scholes, el cual se publicó en 1973, algunos de estos trabajos, de forma reciente, se pueden ver en Bello y Castro (2019), Camargo (2018), Cruz, (2007) y Liu, Oosterlee y Bohte (2019), por lo que para mayor detalle de la descripción del modelo en mención se puede consultar cualquiera de las publicaciones antes citadas.

Dentro del modelo, se establecieron una serie de condiciones ideales que se asumen para el funcionamiento de la formula. A continuación, se indican las condiciones (Mascareñas, 2007)

- La tasa de interés a corto plazo es conocida y constante en el tiempo.

- El precio del activo sigue una caminata aleatoria en tiempo continuo con una tasa de variación proporcional al cuadrado del precio del activo, por lo que la distribución del posible precio del activo al final de cualquier intervalo finito es lognormal.
- El activo no paga dividendos o cualquier otra distribución.
- El tipo de opción es “europea”.
- No existen costos de transacción en la compra o venta de la opción o del activo.
- Es posible tomar prestada una fracción del precio de un valor para comprar o mantenerlo, a una tasa de interés de corto plazo.
- No hay penalizaciones para ventas en corto.

Bajo estas condiciones se establece que el valor de la opción depende únicamente del precio del valor del activo y el tiempo, asimismo, las variables utilizadas, se toman como constantes.

Una de las condiciones indica que el precio del activo subyacente se distribuye de forma log-normal, por lo que el comportamiento del precio de la acción (S) en un horizonte de tiempo sigue un proceso estocástico del tipo Movimiento Geométrico Browniano y se rige por la ecuación diferencial estocástica:

Ecuación 13

$$dS/S = \mu dt + \sigma dW$$

En donde μ es la tasa esperada de retorno instantánea del activo subyacente, σ es la volatilidad y W es un proceso estándar de Wiener⁶. Se asume que μ y σ son constantes conocidas.

⁶ La ecuación 13 es un ejemplo de un proceso derivado del lema de Ito, en el que la tasa de retorno y la volatilidad solo dependen de la variable del precio del activo y el tiempo. De forma general, la Ecuación Diferencial Estocástica que sigue un proceso de Ito es:

$$dS = \mu(S, t)dt + \sigma(S, t)dW$$

En donde $\mu(S, t)$ y $\sigma(S, t)$ son funciones generales para la tasa de retorno y la volatilidad.

Ahora bien, sea $V(S,t)$ el precio de una opción del tipo europea en un instante t en el que el precio del activo es S , se considera un portafolio P libre de riesgo $\Pi_u = \Delta S_u - V_u$ cuando el valor del activo se encuentra en ascenso y $\Pi_d = \Delta S_d - V_d$ cuando va en descenso. De esta forma la idea es que se tenga $\Pi_u = \Pi_d$, para encontrar un Δ tal que el portafolio tenga un riesgo nulo. Así que, al igualar ambas expresiones, se tiene:

Ecuación 14

$$\Delta S_u - V_u = \Delta S_d - V_d$$

Despejando Δ :

Ecuación 15

$$\Delta = \frac{V_u - V_d}{S_u - S_d} = \frac{\delta V}{\delta S}$$

Al tomar el límite:

Ecuación 16

$$\lim_{\delta S \rightarrow 0} \frac{\delta V}{\delta S} = \frac{\partial V}{\partial S} = \Delta$$

Lo anterior es la variación del valor del derivado con respecto a S y es una medida de correlación entre los movimientos del derivado y los del activo subyacente.

De acuerdo a lo anterior expuesto, se toma como forma general el valor del portafolio como:

Ecuación 17

$$\Pi = \Delta S - V$$

Tomando diferenciales:

Ecuación 18

$$d\Pi = \Delta dS - dV$$

Al sustituir dS de la ecuación 18:

Ecuación 19

$$d\Pi = \Delta(S\mu dt + S\sigma dZ) - dV$$

En este punto se asume que V cumple con las condiciones ideales y satisface el lema de Ito, por lo que se puede sustituir dV junto con Δ , así que la ecuación se determina de la siguiente forma:

Ecuación 20

$$d\Pi = -\left(\frac{\partial V}{\partial S} + \frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2}\right) dt$$

Dado que se tiene la hipótesis de no arbitraje y como P es un portafolio libre de riesgo, su rendimiento es igual al de un bono con tasa r :

Ecuación 21

$$d\Pi = \Pi r dt$$

Se igualan ecuaciones 20 y 21, se simplifica dt y se sustituye $\Pi = \Delta S - V$ con lo que se obtiene la ecuación de Black and Scholes:

Ecuación 22

$$\frac{\partial V}{\partial S} + \frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} + rS \frac{\partial V}{\partial S} = rV$$

La ecuación diferencial anterior se resuelve mediante la ecuación física de transferencia de calor y la solución es dada por Churchill y Bernstein (1978). El cambio de variables con el que se transforma la ecuación puede ser visualizado dentro de los textos citados al inicio de la presente sección.

La solución se muestra como a continuación:

Ecuación 23

$$C(S, t) = SN(d1) - Ke^{-rT}N(d2)$$

En donde:

Ecuación 24

$$d1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{K}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

Ecuación 25

$$d2 = d1 - \sigma\sqrt{T}$$

De acuerdo a esta teoría, un inversionista racional nunca ejercería su opción de compra antes del término de su vigencia, por lo que el valor de una opción americana coincidiría con el de una europea. Asimismo, las opciones de venta americanas tienen la ventaja de poder emplearse en el momento que se desee durante la vida de la opción, siendo el límite el valor de la opción europea. Tal límite se calcula a través de la paridad *call-put* mediante la expresión:

Ecuación 26

$$P = C - S - Ke^{-rT}$$

Al despejar el valor de *C* en la ecuación anterior, es como se obtiene la ecuación 23.

2.4.4.2. Método Binomial

De forma similar al modelo de Black and Scholes, existen múltiples escritos en donde se cita y utiliza el método binomial para valuación de opciones, algunos son Mascareñas (2007), Hoek (2006), Zapata (2020), Bokamba (2018), entre otros.

El método binomial para valuación de opciones fue desarrollado por Cox, Ross y Rubinstein. Este método tiene la ventaja de ser intuitivo y utilizar una matemática simple (Mascareñas, 2007).

Actualmente, el método binomial es el más utilizado y el que más se adapta a la valoración de opciones reales (Bokamba, 2018).

Como su nombre lo establece, este modelo supone que el precio subyacente tiene un comportamiento binomial, es decir, que el precio del activo solo tiene dos posibles comportamientos, uno al alza y uno a la baja. Este aspecto, demuestra el principio de Black and Scholes, que menciona que es posible replicar los pagos de la opción mediante la construcción de una cartera libre de riesgo (mediante bonos

libres de riesgo). La diferencia es que la valuación, para este caso, es mediante una distribución binomial⁷.

En el caso del periodo único la dinámica es que el precio de un activo (S) puede elevarse a un precio S_u con una probabilidad (q) o, bien, bajar a un precio S_d con una probabilidad ($1-q$).

Así que, para obtener el valor de la opción de compra de un periodo se debe obtener el valor máximo entre cero, que significa no ejercer la opción, y la resultante de restar el valor del activo subyacente y el precio de ejercicio, en este caso S_u y S_d .

Ecuación 27

$$C_u = \text{máx}(0, S_u - K)$$

Ecuación 28

$$C_d = \text{máx}(0, S_d - K)$$

Posteriormente, es necesario formar un portafolio que replique el monto específico del activo subyacente (δ) y bonos sin riesgo (B). Con este proceso, al final del periodo, el valor del portafolio será de $S\delta+rB$, por lo que los posibles valores pueden ser $S_u\delta+rB$ o $S_d\delta+rB$. El valor de r es el resultado de aumentar en una unidad la tasa libre de riesgo. Así que para cumplir la condición de que no exista arbitraje, el valor de la opción deberá ser igual al del portafolio replicador, es decir:

Ecuación 29

$$C_u = S_u\delta + rB$$

Ecuación 30

$$C_d = S_d\delta + rB$$

Es posible obtener los valores de δ y B al resolver simultáneamente las ecuaciones anteriores:

⁷ El método de Black-Scholes es obtenido mediante una distribución normal.

Ecuación 31

$$\delta = \frac{Cu - Cd}{S(u - d)}$$

Ecuación 32

$$B = \frac{uCd - dCu}{r(u - d)}$$

Adicionalmente, en el origen del cálculo se puede saber que el valor inicial de la opción y del portafolio, obedece a lo siguiente:

Ecuación 33

$$S\delta + rB = C$$

Sustituyendo valores de δ y B :

Ecuación 34

$$C = \frac{pCu + (1 - p)Cd}{r}$$

En donde:

Ecuación 35

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

Ecuación 36

$$a = e^{rf(t)}$$

La variable t hace referencia a la periodicidad anual.

Es necesario hacer notar que las variables u y d son coeficientes que hacen variar en forma ascendente y descendente a las expresiones anteriores y son obtenidas de la siguiente forma:

Ecuación 37

$$u = e^{\sigma\sqrt{t}}$$

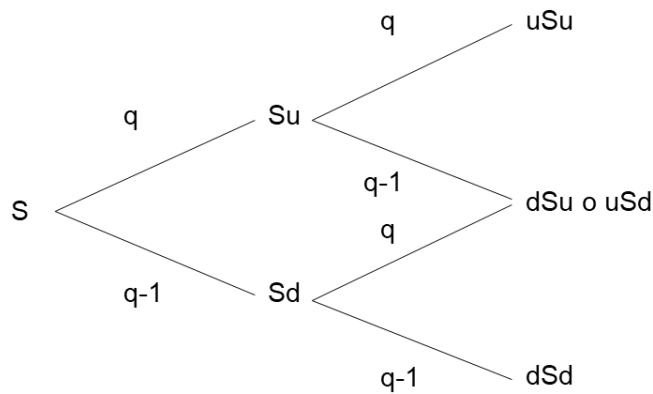
Ecuación 38

$$d = \frac{1}{u}$$

El valor de σ es la desviación estándar de los rendimientos del valor del activo para un determinado periodo de tiempo.

Una vez visto lo anterior, es posible determinar el método binomial para dos o más periodos, el cual se vuelve sencillo debido a que se debe replicar el mismo proceso que para un árbol binomial de un periodo. En este caso, se debe de considerar como valor del activo del siguiente periodo, el resultado obtenido en ambos nodos del primer periodo, situación que se puede observar en la siguiente figura:

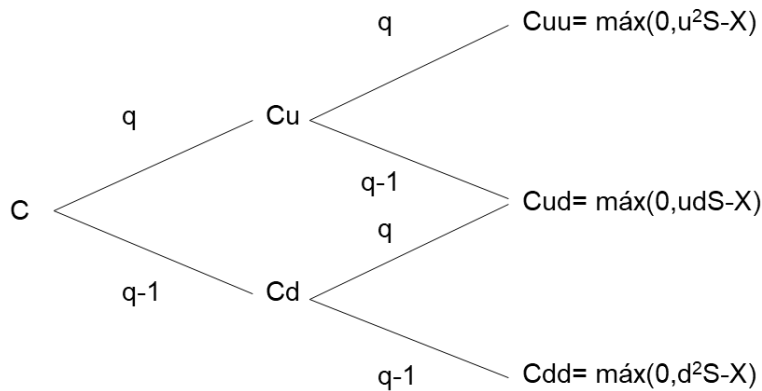
Figura 1. Árbol binomial para el valor de un activo en más de un periodo.



Fuente: Elaboración propia

Se tiene el mismo árbol para la determinación del precio de la opción:

Figura 2. Árbol binomial para el valor de una opción de venta en más de un periodo.



Fuente: Elaboración propia

Y al igual que en el proceso para un periodo, se deben calcular los valores C_u y C_d a través de las probabilidades ajustadas al riesgo y la tasa libre de riesgo.

Ecuación 39

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

Ecuación 40

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

Finalmente se obtiene el valor inicial de la opción mediante la ecuación que se presentó previamente:

Ecuación 41

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

Como puede observarse, es posible realizar tantos periodos como se deseen para obtener el valor inicial de la opción de compra.

Asimismo, es importante mencionar que el proceso de cálculo considera múltiples supuestos, los cuales se mencionan a continuación (Cox, Ross y Rubinstein, 1979):

- La distribución de los precios de los activos es una binomial multiplicativa.
- Los multiplicadores U y D son los mismos en todos los periodos.
- No existen costos de transacción, así que se puede establecer cobertura sin riesgo para cada periodo entre la opción y el activo.
- Las tasas de interés sin riesgo se suponen constantes.

Es necesario hacer mención que este método es el utilizado para efectos del desarrollo de la investigación motivo del presente escrito.

2.5. Proyectos de inversión sociales. Métodos de evaluación

La finalidad de la evaluación de proyectos es comparar costos y beneficios para decidir si es factible llevar a cabo la ejecución del proyecto. En este sentido, se hace

mención que existen dos corrientes en la evaluación de proyectos, la evaluación en el sector privado y la evaluación con fines sociales.

La evaluación privada se enfoca en la riqueza como el interés único del inversionista, por lo que, en este sector, es primordial la determinación del flujo de ingresos en cada periodo de estudio generados por el proyecto.

De forma esencial, un proyecto es rentable siempre y cuando la riqueza generada sea mayor a los costos que se utilizaron para generar los ingresos, sin embargo, para una aproximación más real, se utiliza un costo de capital que refleja el uso de los fondos (si se desea ver más a fondo el detalle de indicadores que miden la rentabilidad o factibilidad de un proyecto del sector privado, se recomienda leer el numeral 2.3 del presente trabajo o, bien, los trabajos de Ross (2012), Vélez (2014) y Fontaine (2019).

Para el caso de la evaluación social de proyectos, en lugar de comparar riqueza (dinero), se visualizan los beneficios que los proyectos generan sobre la sociedad.

El bienestar social depende de múltiples factores, algunos de los que se pueden mencionar son la cantidad de bienes y servicios disponibles (producto o ingreso nacional), bienes y servicios recibidos por cada miembro de la comunidad, libertades políticas, respeto al derecho de la propiedad, instituciones y al ejercicio de otros derechos humanos; movilidad social, entre otros. En este sentido, se puede aceptar que la evaluación social de proyectos considera el efecto que tiene el proyecto sobre el monto y la distribución del ingreso nacional a lo largo del tiempo comparado con lo que hubiera sucedido en una situación sin proyecto (Fontaine, 2019).

A continuación, se presentan los indicadores más representativos en la evaluación social de proyectos.

2.5.1. Valor Presente Neto Social (VPNS)

La metodología tiene las mismas bases que en la evaluación de proyectos del sector privado debido a que considera el impacto del tiempo en el valor de costos y

beneficios. De forma esencial, la diferencia es en la tasa de descuento utilizada en la obtención de los beneficios netos, ya que en el caso de la evaluación en el sector público se emplea una Tasa Social de Descuento⁸. A continuación, se muestra la formula con la que se obtiene el VPNS:

Ecuación 42

$$VPNS = -X_0^* + \sum_{i=1}^n \frac{X_i^*}{(1+r^*)^i}$$

Donde:

X_0^* = Inversión inicial del proyecto

X_i^* = Beneficios netos generados por el proyecto

r^* = Tasa Social de Descuento

Si el VPNS es mayor que cero, se considerará que el proyecto es rentable socialmente, por lo que es conveniente realizarlo. En caso de que el objetivo sea jerarquizar entre distintas alternativas independientes de inversión, se debe elegir el proyecto que tenga un mayor VPNS. Para el caso en que el VPNS sea igual a cero, es indiferente realizar el proyecto o invertir los recursos en la alternativa y, finalmente, si el VPNS es menor a cero, entonces el proyecto no es rentable y no se debe realizar (CEPEP, 2017).

2.5.2. Tasa Interna de Retorno Social (TIRS)

De forma similar al indicador anterior, la TIRS respeta el procedimiento de cálculo tanto en el sector privado como en proyectos del sector público, por lo que, se entiende que esta tasa ocasiona que el VPNS del proyecto sea igual a cero. Se hace el recordatorio que, la TIR es la tasa máxima que un proyecto soporta para ser rentable, por lo que cualquier tasa de descuento mayor que la TIR ocasionaría que

⁸ La Tasa Social de Descuento en México, es definida por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Según el portal del Gobierno de México, la tasa actual es del 10%, no obstante, este valor puede cambiar derivado de la caída o alza de tasas de interés del ahorro interno y externo.

el VPN del proyecto se vuelva negativo. Como ya se ha mencionado, la tasa utilizada en proyectos encaminados al beneficio social es una tasa determinada para este tipo de proyectos⁹.

La fórmula para la determinación de la TIRS es la siguiente:

Ecuación 43

$$VPNS = -X_0^* + \sum_{i=1}^n \frac{X_i^*}{(1 + TIRS)^i} = 0$$

Para el caso de la TIRS, también se presentan los mismos escenarios que en la TIR, como el caso en el que existan cambios de signos en los flujos netos, lo que implicaría que existiera más de una TIRS.

2.5.3. Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI)

La TRI representa el momento óptimo de inicio de operación de un proyecto y parte de los siguientes escenarios (CEPEP, 2017):

- a) Los beneficios del proyecto son crecientes en el tiempo calendario, independientemente de la fecha en que se ejecute el proyecto. Por ejemplo, en un proyecto de agua potable con mayor capacidad para satisfacer la demanda existente en la situación actual puede tener beneficios crecientes cuando la población presenta una tasa de crecimiento positiva, los beneficios se incrementarán año con año, en función del crecimiento poblacional y seguirá así, independientemente del año en que se construya el proyecto.
- b) La oferta del proyecto está controlada por el gobierno, de manera que por lo general este criterio se aplica para proyectos públicos, por ejemplo, carreteras, distribución y conducción de agua potable y energía eléctrica. Se aplica para los bienes y servicios conocidos como monopolios naturales, donde es muy costoso tener distintas alternativas y sólo se presenta una opción, es decir, sería muy costoso para el país contar con tres líneas de

⁹ Revisar referencia 7.

distribución de energía eléctrica disponibles para cada vivienda y para que cada usuario decidiera qué compañía utiliza.

Para calcular el momento óptimo de inicio de operación se utiliza la siguiente expresión:

Ecuación 44

$$TRI_n = \frac{BN_n}{I}$$

Donde:

TRI_n = Tasa de Rentabilidad inmediata en el año n.

BN_n = Beneficios Netos generados por el proyecto en el año n.

I = Inversión del proyecto.

Cuando el TRI sea igual a la tasa de descuento (para este caso la Tasa de Descuento Social), se considera que es el momento óptimo para iniciar la operación del proyecto, sin embargo, si la TRI es menor a la tasa de descuento, el proyecto debe postergarse. Finalmente, si el valor es mayor, el proyecto debe construirse o ejecutarse a la brevedad, debido a que el momento óptimo ya sucedió.

La determinación de la TRI, así como su fundamento, tal como los indicadores de evaluación de proyectos del sector privado, tiene una amplia línea de investigación y una extensa bibliografía en la cual se puede acudir para investigar de forma más profunda. Dado que el presente trabajo no se centra en la demostración de este tema, se recomienda seguir los trabajos de Fontaine (2019), CEPEP (2017) y Martinez, (2006) si es que se desea ahondar más en el tema.

3. Evaluación del proyecto “Distribuidor Guayabal km 2+500, Tramo Villahermosa-Teapa” mediante opciones reales.

La finalidad del presente proyecto de investigación es la aplicación del método de opciones reales en un proyecto de inversión de infraestructura pública. El proyecto al cual se le aplica la opción real de diferimiento es el “Distribuidor Guayabal km 2+500, Tramo Villahermosa-Teapa” el cual es un proyecto ubicado en el Estado de Tabasco y que se registró en el año 2012.

La información utilizada fue tomada de la cartera de inversión de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público¹⁰

3.1. Características del proyecto

El proyecto consiste en la construcción de un distribuidor vial dentro de la entidad federativa de Tabasco, específicamente en el cruce dentro de la carretera federal número 195 y el Periférico Carlos Pellicer Cámara.

Sobre la carretera federal número 195 se proyecta una estructura compuesta de dos cuerpos, uno de ellos marca la circulación de suroriente a norponiente y tiene una longitud de 850 metros y rampas de 250 metros cada una. Los cuerpos cuentan con dos carriles de 3.50 metros. La altura que alcanza el cuerpo es de 12.50 metros. El segundo cuerpo está conformado por dos carriles de 3.50 metros de ancho y cuenta con una ramificación de vuelta a izquierda que se incorpora a su Periférico norte. La pendiente de las rampas se considera de 5%.

A continuación, se muestra la vista en planta del proyecto:

¹⁰ El enlace para el acceso a toda la cartera pública de inversión de la SHCP es el siguiente: https://www.secciones.hacienda.gob.mx/work/models/sci/cartera_publica. No obstante, es posible que a través del tiempo se modifique el vínculo; sin embargo, dado que la información es de acceso público, la información deberá permanecer al alcance de cualquier ciudadano, por lo que se recomienda que, si el enlace se encuentra no disponible, se utilicen otros recursos de búsqueda.

Ilustración 1. Vista en planta del proyecto.





Fuente: SHCP.

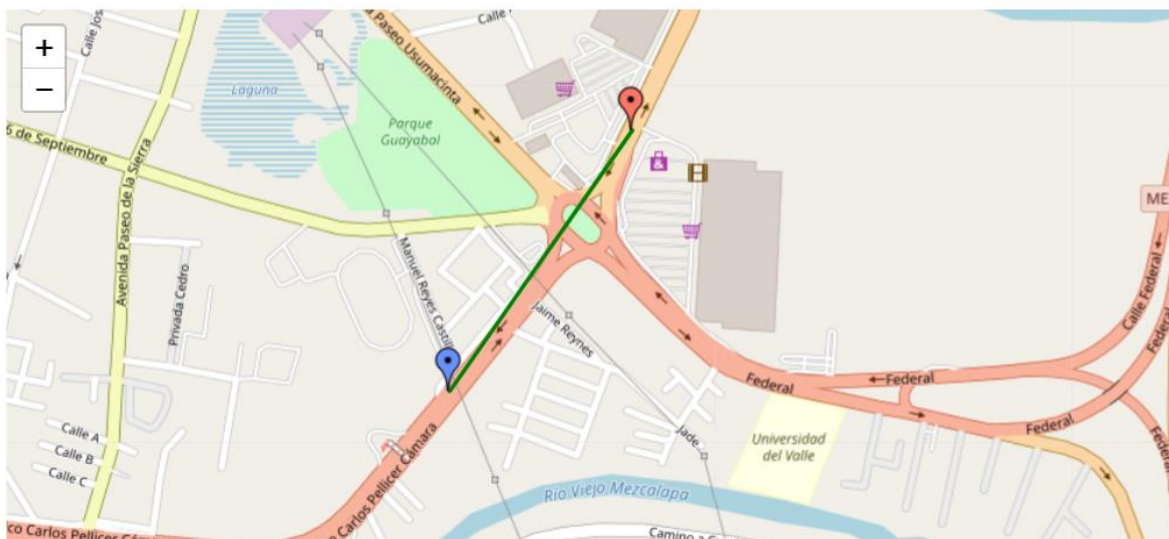
El objetivo del proyecto es generar un distribuidor con una adecuada capacidad para la circulación continua de automóviles, autobuses y vehículos de carga considerando sus diferentes movimientos direccionales, que se traduzcan en ahorros a los usuarios en tiempos de recorrido, así como costos de operación y mantenimiento.

Dentro del cruce de interés hay una intersección de tres avenidas importantes y, por lo tanto, se generan múltiples movimientos direccionales en un terreno plano, es decir, no existe un desnivel en el que se genere un flujo continuo. En este caso, el movimiento se encuentra organizado por semáforos; no obstante, dado que circula un gran volumen vehicular se generan largas filas en los accesos a la intersección. Adicionalmente, existe riesgo de accidentes tanto para vehículos como para peatones.

Asimismo, como se observa en la ilustración 2, las condiciones geométricas han quedado obsoletas para el tránsito que circula por la intersección.

Ilustración 2. Georreferenciación del proyecto.

Coordenada	Latitud	Longitud
 Inicial	17.969042000000000	-92.926449000000000
 Final	17.972857000000000	-92.923629000000000



Fuente: SHCP.

Con la elaboración del proyecto, se prevé mejorar el nivel de servicio a los usuarios locales al proporcionar una mejor eficiencia en la comunicación, además de una operación más segura. Adicionalmente, se visualiza mejorar las velocidades de operación y reducción en los tiempos de recorrido, con lo que se reducirían los costos de operación de los distintos vehículos.

El proyecto presenta diferentes riesgos, los principales son la falta de recursos presupuestales para concluir en tiempo y forma previstos, adicionalmente se tiene que atender la demanda social de obras adicionales al momento de la construcción. Asimismo, la rentabilidad del proyecto se puede ver afectada por fenómenos inflacionarios que aumenten el costo de la inversión y el tiempo de ejecución.

Es importante mencionar que el proyecto se encuentra alineado con el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, a través de la directriz 3 de Desarrollo económico incluyente del cual se habla en la sección 1.2.1 del presente documento

y, por lo tanto, también entra se encuentra en línea con el Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020-2024 del cual se trata la sección 1.2.2.

El proyecto fue originalmente evaluado en 2012 el cual contempló un periodo de inversión de 12 años, que concluye en 2023. Asimismo, la tasa de descuento utilizada fue de 10% que es la tasa social de descuento que establece la SHCP¹¹.

Es menester mencionar que, de acuerdo al último modelo con el que se cuenta, los valores de la inversión, costos y beneficios se actualizaron a precios del 2020, por lo que la información que se muestra en los próximos párrafos se encuentran actualizados al año en mención. Asimismo, las cifras que se indiquen, no contienen IVA incluido.

Se proyectó un monto total de inversión de \$470,286,205.71 durante los 12 años proyectados para esta fase.

Por otra parte, el horizonte de evaluación se establece en 30 años para su evaluación económica.

Es necesario recordar que el proyecto en estudio es un proyecto de inversión de carácter social, por lo que los beneficios o ganancias no son necesariamente producto de la venta de un bien o que se cobre la retribución del servicio, en este caso, la finalidad es mejorar la calidad de recorrido de las personas que utilizan la vía para distintas finalidades.

Para el cálculo de los beneficios nominales del proyecto, se realizó una situación sin proyecto que identificara los costos generados para los usuarios en las condiciones actuales. Asimismo, se generó una proyección de los costos de los usuarios dentro de la vía cuando el proyecto se concluya, por lo que la diferencia de costos entre las dos situaciones, funge como los beneficios del proyecto, los cuales pueden ser evaluados anualmente.

¹¹ Revisar nota de pie 8.

Dicho lo anterior, es posible realizar una evaluación económica - social del proyecto para conocer los indicadores que verifiquen la viabilidad de realizar la ejecución del proyecto.

Los indicadores arrojados por la evaluación son los siguientes:

- Se obtuvo un VPN de \$1,496,755,890.29.
- La TIR del proyecto resultó ser de 38.5%.
- La TRI se ubicó en 91.4%.
- En conclusión, el proyecto fue aceptable debido a que el VPN resultó positivo y la TIR, así como la TRI, tienen un mayor valor que la Tasa de Descuento (10%).

Dentro del Anexo 2, se muestra con más detalle los valores por año con los que se determinaron los indicadores antes mencionados.

Cabe mencionar que, se propusieron dos alternativas de solución. La primera consistía en la construcción de una Puente Inferior Vehicular (PIV) con la finalidad de ofrecer mejores condiciones de circulación y cruce, lo que generaría un incremento en las velocidades de operación de los distintos tipos de vehículos. La obra tendería un costo de 275.00 mdp sin IVA, sin embargo, esta alternativa no solucionaría los problemas a largo plazo. La segunda opción es la construcción del Distribuidor Vial Guayabal, motivo de la presente investigación

Ambas opciones tendrían beneficios similares de forma operativa, sin embargo, el criterio que sirvió para determinar la alternativa más conveniente fue el VPN en donde la alternativa dos fue la seleccionada.

Tabla 9. Alternativas de solución

Alternativas	VPN
Alternativa 1	822,364,634.14
Alternativa 2	1,496,755,890.00

Fuente: SHCP

Con el motivo de actualizar la información a precios de 2022 se contemplan una serie de acciones necesarias para conocer la situación del proyecto en materia de su evaluación económica, las cuales se indican a continuación:

- El modelo fue actualizado en enero de 2020, es decir, que hasta 2019 se contaba con información conocida y de 2020 en adelante se realizaron proyecciones. En este sentido, el monto de la inversión únicamente puede ser actualizado para los años a partir del 2020, toda vez que, como ya se mencionó, los valores anteriores a este año ya son conocidos e inamovibles.
- Para la actualización de la inversión del año 2020 en adelante, se utilizó el Proyecto de Presupuesto de Egresos de la Federación 2022 para Programas y Proyectos de Inversión. Este documento permite ver el flujo estimado de dinero que se solicita para el año próximo (2022), así como para el último año de inversión (2023). Por otra parte, menciona cuál es el monto total que se ha erogado en años anteriores y, dado que los valores hasta 2019 son conocidos, solamente se distribuyó de acuerdo a su ponderación original, para los años de 2020 y 2021.
- Asimismo, se actualizaron los precios de todo el modelo del proyecto al año 2022. Para esto se utilizó el Índice Nacional de Precios al Consumidor del año 2012 y la proyección del 2022 obtenida mediante la encuesta realizada por Banxico¹².

Con la actualización en mención a precios del 2022, se obtuvieron los siguientes indicadores:

- Se obtuvo un VPN de \$1,641,536,206.15.
- La TIR del proyecto resulto ser de 39.1%.
- La TRI se ubicó en 85.5%.

¹² Encuesta sobre las Expectativas de los Especialistas en Economía del Sector Privado. Encuesta realizada en octubre del 2021. El documento puede consultarse en:

<https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/encuestas-sobre-las-expectativas-de-los-especialis/%7B3F253BAE-901E-AD7A-EA53-695023080F5F%7D.pdf>

- A pesar de que los indicadores disminuyeron de sus valores reportados en la actualización de 2020, excepto por el VPN, el proyecto sigue siendo rentable.

Derivado de la información antes expuesta, es notorio que el proyecto mantiene números sólidos en cuanto a la evaluación económica, sin embargo, el objetivo de la presente investigación es verificar si el proyecto pudo tener una mayor rentabilidad si se hubiese diferido, lo cual se puede definir mediante la evaluación a través de la opción real de diferir.

3.2. Evaluación del proyecto mediante la opción real de diferir.

Para verificar la metodología propuesta, se establece un plazo de 5 años para diferir el proyecto.

Como se mencionó en capítulos anteriores, para poder desarrollar la metodología, es necesario conocer diversas variables. La primera de ellas, es la volatilidad, la cual se obtiene a través de la variación en los flujos de efectivo; no obstante, para considerar posibles problemáticas o beneficios del proyecto, se establecieron tres escenarios con los que se llevó a cabo una simulación para conocer la variación de los flujos de efectivo. Cabe mencionar que, el escenario base es el que se obtuvo al actualizar los valores de la inversión a precios del 2022.

Antes de continuar con la explicación del escenario optimista y pesimista, es necesario indicar que dentro de los valores encontrados en el proyecto, se encuentran índices y variables que pueden modificar el curso de los precios, ejemplo de ello es el tipo de cambio, los precios de materiales de la construcción e inclusive el salario mínimo, por tal motivo, se creó una muestra de las variables antes mencionadas a partir del 2012 y hasta el mes de octubre de 2021, las cuales sirven para elaborar los escenarios.

Las variables usadas para la elaboración de escenarios no son utilizadas de forma arbitraria, es decir, no todas las variables afectan de igual forma a los campos que forma la evaluación del proyecto, por ejemplo, para la partida de las inversiones, es posible utilizar el Índice de Precios de Materiales de la Construcción, debido a la fluctuación que pueden tener los costos de la construcción. Asimismo, el valor del

Salario Mínimo puede fluctuar y aumentar, lo que generaría cambios en los costos de mano de obra.

Dentro del Anexo 3, se observan las variaciones de cada uno de los indicadores y conceptos que se utilizaron para la elaboración de escenarios con un comportamiento histórico desde el año 2012 y hasta octubre del año 2021.

Para el caso del escenario pesimista se utilizaron las variaciones máximas que se reportaron en los años de la muestra dentro de las variables del tipo de cambio, el precio de los materiales para la construcción y el salario mínimo, debido a que, como se mencionó, estas variables incrementan el costo de las inversiones, así como de los costos de operación y mantenimiento.

Para el escenario optimista, se toma como base la variación mínima del tipo de cambio, sin embargo, para la variable de la inflación se mantiene los valores base, debido a que no se registraron variaciones negativas. En relación al salario mínimo, se considera que es constante, ya que no es una variable que disminuya con el tiempo.

La siguiente tabla muestra en resumen las variables utilizadas.

Tabla 10. Variaciones por escenarios.

Variable	Pesimista	Optimista
INMC	11.34%	0.15%
Tipo de cambio	19.38%	Escenario base
Salario mínimo	20.00%	Escenario base

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, para el escenario pesimista, y derivado de la contingencia que atraviesa el mundo por la contingencia sanitaria de la COVID-19, se considera que la construcción demora un año más, por lo que los costos del último año de inversión, se dividen entre el año 11 y 12 de la inversión. Esto implica que los beneficios por ahorro generados por el proyecto no se obtengan al 100% por lo que se considera que, durante el primer año, únicamente se obtiene el 50% de los beneficios netos y durante los próximos 4 años, es decir, del año 13 al 16 del

proyecto, se obtienen únicamente el 90% de los beneficios, bajo el supuesto que la pandemia permita el bajo aforo del distribuidor.

Dentro del Anexo 2 se pueden apreciar los flujos del proyecto para los distintos escenarios, mismos que fueron utilizados para el cálculo de la volatilidad del proyecto.

3.2.1. Variables de la metodología

Inversión

La obtención del valor de la inversión es muy sencilla, únicamente se debe llevar a Valor Presente la suma de todas las inversiones que recibió el proyecto. En este caso, se toman en cuenta los 12 años de inversión del proyecto los cuales arrojan el siguiente valor:

$$K = 257,345.50 \text{ miles de pesos}$$

Valor de los beneficios (ahorros) del proyecto

De forma similar a la inversión, en este caso el único proceso es obtener el valor presente de los beneficios del proyecto los cuales ascienden al siguiente valor:

$$S_0 = 1,931,387.68 \text{ miles de pesos}$$

Volatilidad

Esta es la variable que, posiblemente, más detalle demanda en cuanto a la determinación de un resultado, esto es debido a que es una variable que surge de la incertidumbre de cada proyecto.

Para el caso de la metodología de opciones reales, la volatilidad se toma con base en la variación de los flujos de efectivo del proyecto. Para la determinación de la variable, se establecieron tres escenarios, uno base, un pesimista y uno optimista. Dichos escenarios, sirvieron para realizar una simulación bajo diferentes niveles de estrés y con ello determinar la variación en cuanto a flujos de efectivo.

Escenario pesimista

En cuanto al escenario pesimista se tomaron diferentes consideraciones. Cabe mencionar que, dado que la evaluación del proyecto se comenzó en 2012 y, de hecho, ya se han erogado montos para la inversión, los valores para los años 0 al 9 (2012 a 2021) no pueden ser modificados debido a que son montos confirmados.

En este escenario se tomaron las variables mencionadas en la tabla 10 y estas afectaron de la siguiente forma:

- El INMC se utilizó para afectar el costo de los materiales de la construcción, en este sentido, dado que el modelo ofrecido por la SHCP no cuenta con el detalle de los costos para este rubro, se hizo una revisión de presupuestos en 5 proyectos carreteros en México, dentro del sector privado, con lo que se determinó que en promedio el 25% del costo total corresponde al costo por materiales. En este sentido, se aplicó este porcentaje de forma adicional tanto a los montos de la inversión, como a los costos por mantenimiento asumiendo que podría haber un aumento del peor escenario visto en los últimos 10 años.
- Para el caso del salario mínimo, este se utilizó dentro de la inversión y costos de mantenimiento de forma similar al INMC solo que en este caso se tomó considerando que afectaría el costo de la mano de obra en la construcción y mantenimiento. Dentro de la misma revisión de proyectos carreteros, mencionados en el punto anterior, se determinó que, en promedio, el costo de mano de obra en un proyecto es de 15%, por lo que se utilizó este porcentaje adicional.
- El tipo de cambio se utilizó de forma completa dado que puede afectar todas las partidas del proyecto en diferente forma y no se determinó un porcentaje en específico.
- Adicionalmente, se consideró que, debido a la pandemia por la COVID-19, la construcción demoraría un año más, por lo que la inversión se aplaza un año más, no obstante, se considera que de forma parcial el distribuidor se abre al público generando únicamente el 50% de beneficios durante el primer año.

Asimismo, debido a que la pandemia puede favorecer las labores en el hogar, se considera que durante los siguientes 4 años a que concluya la inversión, únicamente se percibe el 90% de los beneficios proyectados.

Escenario positivo

El escenario positivo tiene menores implicaciones. Como se observa en la tabla 10, únicamente una variable toma valor negativo la cual es el tipo de cambio y, como se mencionó en el escenario pesimista, este se aplica de forma unitaria en los costos del proyecto, por lo cual existe muy poca variación en cuanto al escenario base.

Dentro del Anexo 2, se pueden observar a detalle las variables con las que se obtuvieron los indicadores bajo los tres escenarios, sin embargo, en la siguiente tabla se muestra el resumen de indicadores por escenario.

Tabla 11. Resultados por escenario.

Escenario	VPN	TIR	TRI
Base	1,641,536	39.14%	85.5%
Pesimista	1,455,294	34.49%	32.5%
Optimista	1,651,655	39.56%	88.8%

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la tabla 11 indican que el proyecto es viable bajo cualquier escenario, inclusive en el pesimista en el que se consideraron los peores casos posibles. Esta situación indica que el proyecto tiene bases sólidas.

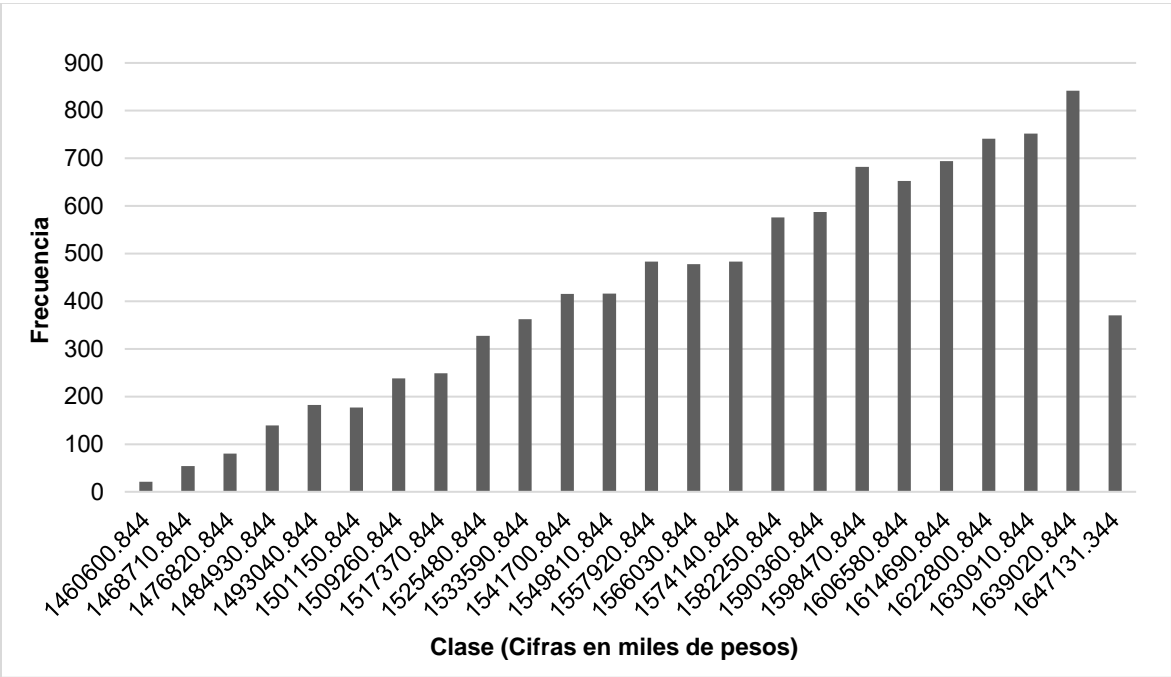
Es notorio que el escenario base y optimista tienen valores muy cercanos, esto es debido a que las variaciones en el escenario optimista, con respecto al escenario base, fueron mínimas como ya se detalló.

Para el caso de la TIR y la TRI, ambos indicadores en los tres escenarios cumplen con los requerimientos mínimos para continuar con un proyecto, inclusive en el escenario pesimista en el que la TRI disminuyó a menos de la mitad.

Una vez que se cuenta con los tres escenarios desarrollados, se realiza una simulación. Para lo anterior, se estableció que los escenarios indicados, siguen una distribución triangular¹³.

Se realizó una simulación de 10,000 pruebas las cuales fueron agrupadas en el histograma de la siguiente gráfica:

Gráfica 2. Histograma de la simulación.



Fuente: Elaboración propia

La distribución triangular indica que la tendencia es que la mayor parte de las simulaciones se ubiquen al centro de la distribución, por lo que utiliza una función de densidad basada en el área de un triángulo en el que la altura está determinada

¹³ La metodología de la distribución triangular se puede observar en Johnson (1997), sin embargo, de forma más resumida y aplicada a proyectos de inversión se puede visualizar en el artículo de Boulanger (2006) dentro de la revista Tecnología en Marcha, volumen 19-1.

por los valores más probables y los extremos son los valores de los escenarios pesimistas y optimistas.

En la gráfica 2, se observa que el centro está cargado a la derecha, lo cual significa que los valores del escenario base son cercanos al escenario optimista, situación que se mencionó anteriormente, lo cual indica que la distribución arrojó resultados realistas.

- Se observa que, el rango de los beneficios netos simulados va desde los 1,456,549.52 miles de pesos a 1,651,183.17 miles de pesos. Desde este punto se puede ver que la volatilidad tendrá un valor pequeño debido a que no existe una diferencia marcada en los flujos obtenidos dentro de la simulación. Lo anterior se explica debido a que las variaciones que se hicieron en los escenarios fueron pequeñas y ya se tiene certidumbre de la mayor parte del periodo de inversión.
- La media geométrica resulto ser de 1,583,010.97 miles de pesos.
- La desviación estándar es de 44,926.87 miles de pesos.
- De los resultados anteriores, se define que el Coeficiente de Variación (CV) es de 2.84%. Este resultado es la volatilidad del proyecto que se utiliza para el cálculo de la opción de diferir.

Tasa libre de riesgo

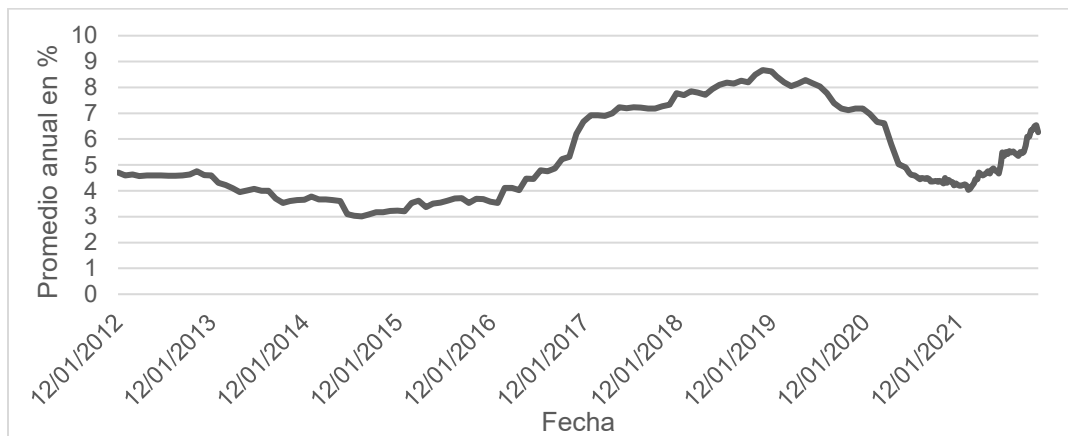
En el caso de la presente variable, se utilizó la tasa CETES a 364 días, debido a que se adapta a las condiciones del proyecto y del mercado financiero mexicano.

El valor utilizado se obtuvo de la media geométrica de los rendimientos de CETES a 364 días de los últimos 10 años, la cual es de 4.26% de forma anual.

De acuerdo con Damodaran (2002), se recomienda utilizar tasas reales cuando se tienen condiciones de inflación al alza o cuando no se presenta estabilidad. En este sentido, en la gráfica 3, se puede observar el comportamiento de los últimos 10 años de la tasa CETES que ha mantenido inestabilidad. Adicionalmente, a partir del 2020,

el mundo experimentó una pandemia la cual ha generado inestabilidad en diversos indicadores.

Gráfica 3. Promedio anual tasa CETES 364 días.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, dentro de las variables que se utilizan para la metodología, se establece que el tiempo de diferimiento sea de 5 años y se elaboran intervalos de forma anual para la realización del proceso, por lo que el diferencial de tiempo es de 1.

A continuación, se coloca el valor de las variables con la finalidad de tener una mejor visibilidad para el lector:

$$r = 4.26\%$$

$$K = 257,345.50 \text{ miles de pesos}$$

$$S_0 = 1,931,387.68 \text{ miles de pesos}$$

$$\sigma = 2.84\%$$

$$t = 5 \text{ años}$$

Ya explicados los parámetros, se construye el árbol binomial del activo subyacente para el periodo expuesto, por lo cual se requiere obtener los coeficientes de ascenso y descenso, mismos que se obtienen con las expresiones indicadas en el numeral 2.4.4.2 del presente documento.

$$u = e^{0.0284\sqrt{1}} = 1.0287$$

$$d = \frac{1}{1.0287} = 0.9720$$

Una vez que se cuenta con los coeficientes de ascenso y descenso, es posible comenzar a construir el árbol binomial de todos los periodos comenzando, desde luego, con el primer año. Por ejemplo, para el primer periodo, se toma el valor del activo subyacente (beneficios del proyecto) de 1,931,387.68 miles de pesos y se le aplican los coeficientes (en una operación de producto simple), entonces, el valor puede tomar un valor al ascenso de 1,986,986.94 miles de pesos y al descenso de 1,877,344.18 miles de pesos. Este proceso se replica para los siguientes periodos con lo cual se construye el árbol binomial para los próximos 5 años quedando de la siguiente forma:

Tabla 12. Árbol binomial del activo subyacente (Cifras en miles de pesos).

				\$2,225,856.91
			\$2,163,573.66	
		\$2,103,033.19		\$2,103,033.19
	\$2,044,186.76		\$2,044,186.76	
\$1,986,986.94		\$1,986,986.94		\$1,986,986.94
\$1,931,387.68	\$1,931,387.68		\$1,931,387.68	
\$1,877,344.18		\$1,877,344.18		\$1,877,344.18
	\$1,824,812.90		\$1,824,812.90	
		\$1,773,751.54		\$1,773,751.54
			\$1,724,118.96	
				\$1,675,875.19

Fuente: Elaboración propia.

Adicional al árbol de la tabla 12, es importante mencionar que Mascareñas (2007) indica que, durante el tiempo de espera en un proyecto de inversión, se renuncia a los beneficios netos del proyecto durante el periodo de diferimiento (sin incluir desde luego a los costos de inversión). Por tal motivo, para efectos del presente proyecto, se obtienen los beneficios netos de los primeros 5 años y se calcula su valor presente para poder sumarlos o restarlos del árbol binomial del activo subyacente.

Tabla 13. Valor presente de los beneficios del proyecto.

Año	Beneficios netos (miles de pesos)	Valor presente de los beneficios netos (miles de pesos)
1	\$74.54	-\$67.77
2	\$237.26	-\$196.08
3	\$19.67	-\$14.78
4	\$1,695.64	-\$1,158.14
5	\$0.00	\$0.00

Fuente: Elaboración propia

Contando con el valor presente de los beneficios netos de los primeros 5 años se ajusta el árbol binomial de la tabla 12. Por ejemplo, para el primer año se cuenta con un valor presente de -\$74.54 miles de pesos los cuales al aplicarle los coeficientes de descenso y ascenso u y d se convierten en -68.03 miles de pesos y -67.50 miles de pesos. Para el segundo año, el valor presente del año 2 se debe proyectar a dos periodos y los resultados se deben restar al árbol original en la posición correspondiente. El resultado de los dos primeros periodos se observa en la tabla 14.

Tabla 14. Árbol binomial de beneficios netos del proyecto (cifras en miles de pesos).

AÑO 1		
	-\$69.72	
-\$67.77		
	-\$65.87	
AÑO 2		
		-\$207.53
	-\$201.73	
-\$196.08		-\$196.08
	-\$190.60	
		-\$185.26

Fuente: Elaboración propia.

Se debe realizar el mismo proceso para los 5 años.

Es de resaltar que los valores obtenidos son negativos, esto significa que, al renunciar a estos costos negativos, se está obteniendo valor agregado al proyecto.

Una vez obtenidos los resultados anteriores, es posible ajustar el árbol binomial del activo subyacente bajo el siguiente proceso. En el primer año se observa que se

tienen beneficios por \$1,986,986.94 miles de pesos y por \$1,877,344.18 miles de pesos, por lo que los beneficios en los nodos del primer periodo deben ser por \$1,986,986.94 miles de pesos – (-\$69.72 miles de pesos) = \$1,987,056.66 miles de pesos para el valor de ascenso y \$1,877,344.18 miles de pesos – (-\$65.87 miles de pesos) = \$1,877,410.05. Para el segundo periodo se realiza el mismo proceso en cada nodo, por ejemplo, para el valor de mayor ascenso se tiene \$2,044,186.76 miles de pesos – (-\$207.53 miles de pesos) = \$2,044,466.02 miles de pesos y así sucesivamente hasta concluir los 5 periodos de diferimiento, quedando de la siguiente forma:

Tabla 15. Árbol binomial ajustado.

				\$2,227,512.74
			\$2,165,183.15	
		\$2,103,336.59		\$2,104,597.66
	\$2,044,466.02		\$2,045,707.44	
\$1,987,056.66		\$1,987,273.60		\$1,989,623.22
\$1,931,387.68	\$1,931,651.53		\$1,932,824.45	
\$1,877,410.05		\$1,877,615.01		\$1,878,740.75
	\$1,825,062.19		\$1,826,170.39	
		\$1,774,007.43		\$1,775,071.05
			\$1,725,401.55	
				\$1,677,121.89

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se obtiene el árbol binomial de la opción de diferir el proyecto. Este proceso es de forma contraria a la elaboración del árbol binomial del activo subyacente, toda vez que se inicia por el último periodo y se va en retroceso hasta llegar al valor en el periodo cero.

Principalmente, se considera que el valor de la inversión inicial tiene un crecimiento al menos igual a la tasa libre de riesgo de forma anual, por lo que, para el quinto periodo, el monto de la inversión equivalente es de \$257,345.50 miles de pesos * (1 + 0.0426)⁵ = \$317,094.39 miles de pesos.

El siguiente paso es calcular las probabilidades neutras al riesgo, a través de las expresiones mencionadas en el numeral 2.4.4.2 del presente documento las cuales arrojan los siguientes resultados:

$$a = e^{4.26\%(1)} = 1.043$$

$$p = \frac{1.0435 - 0.9720}{(1.0287 - 0.9720)} = 1.2602$$

Con los valores obtenidos, se debe calcular el valor de la opción en cada nodo del árbol comenzando, como se mencionó en párrafos anteriores, por el último periodo, es decir, el año 5. En cada nodo se debe calcular la diferencia del valor del activo subyacente y el valor de la inversión actualizado al quinto año y verificar si este valor es mayor a cero, en dado caso que este sea menor, se deja el monto en cero dado que interesa el valor máximo.

Por ejemplo, para el nodo más alto del árbol binomial se tiene la siguiente expresión (cifras en miles de pesos):

$$C_{5,1} = \max(\$2,227,512.74 - \$317,094.39, 0) = \$1,910,418.35$$

Este valor se coloca en el nodo más alto del último periodo y se calcula de la misma forma el resto de los nodos para el quinto periodo. Se sigue el mismo procedimiento para el resto de los nodos como se muestra en el siguiente grupo de ecuaciones:

$$C_{5,2} = \max(\$2,104,597.66 - \$317,094.39, 0) = \$1,787,503.26$$

$$C_{5,3} = \max(\$1,989,623.22 - \$317,094.39, 0) = \$1,672,528.83$$

$$C_{5,4} = \max(\$1,878,740.75 - \$317,094.39, 0) = \$1,561,646.35$$

$$C_{5,5} = \max(\$1,775,071.05 - \$317,094.39, 0) = \$1,457,976.66$$

$$C_{5,6} = \max(\$1,677,121.89 - \$317,094.39, 0) = \$1,360,027.49$$

Para los casos del periodo cuarto hasta el año 0, se utilizan las probabilidades neutras al riesgo, así como la tasa libre de riesgo, dando como resultado los siguientes valores para el cuarto periodo:

$$C_{4,1} = \frac{1.2602 * \$1,910,418.35 + (1 - 1.2602) * \$1,787,503.26}{e^{0.0426}} = \$1,861,325.47$$

$$C_{4,2} = \frac{1.2602 * \$1,787,503.26 + (1 - 1.2602) * \$1,672,528.83}{e^{0.0426}} = \$1,741,560.91$$

$$C_{4,3} = \frac{1.2602 * \$1,672,528.83 + (1 - 1.2602) * \$1,561,646.35}{e^{0.0426}} = \$1,630,365.41$$

$$C_{4,4} = \frac{1.2602 * \$1,561,646.35 + (1 - 1.2602) * \$1,457,976.66}{e^{0.0426}} = \$1,522,312.70$$

$$C_{4,5} = \frac{1.2602 * \$1,457,976.66 + (1 - 1.2602) * \$1,360,027.49}{e^{0.0426}} = \$1,421,543.86$$

El mismo proceso se debe seguir para el resto de los periodos hasta llegar al año de origen. Los resultados de todos los nodos del árbol se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 16. Árbol binomial de la opción (cifras en miles de pesos).

\$1,910,418.35					
	\$1,861,325.47				
\$1,787,503.26		\$1,813,496.16			
	\$1,741,560.91		\$1,766,949.57		
\$1,672,528.83		\$1,696,593.90		\$1,721,723.88	
	\$1,630,365.41		\$1,652,541.82		\$1,677,882.75
\$1,561,646.35		\$1,589,256.29		\$1,609,334.23	
	\$1,522,312.70		\$1,549,191.36		
\$1,457,976.66		\$1,483,897.51			
	\$1,421,543.86				
\$1,360,027.49					

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenido el Valor Presente Neto Expandido, que corresponde a \$1,677,882.75 miles de pesos, se debe obtener el valor de la opción de diferimiento a 5 años, esto se logra realizando la diferencia entre el Valor Presente Neto Expandido y el Valor Presente Neto del proyecto original como se muestra en la siguiente expresión (cifras en miles de pesos):

$$V_{\text{opción}} = \$1,677,882.75 - \$1,641,536.21 = \mathbf{\$36,346.55}$$

La expresión anterior indica que el valor de la opción de diferimiento es de \$36,346,548.10 que, al ser un valor positivo, significa que es conveniente aplazar el

proyecto durante 5 años lo cual le daría un valor agregado de alrededor de 36 millones de pesos.

Este resultado mantiene múltiples implicaciones, sin embargo, la que más resalta es el hecho de que el proyecto por sí mismo en las condiciones actuales ya es rentable, es decir, ya cuenta con indicadores sólidos para que continúe su ejecución, por lo tanto, se debe estudiar, dentro de otra línea de investigación, si es conveniente postergar el proyecto y utilizar los recursos de la obra para otros proyectos, o bien asegurar el bienestar de la zona a la que se destina el distribuidor a la brevedad posible, considerando que el proyecto es rentable y evitando que se generen mayores movimientos en las partidas de la construcción que pudieran elevar el costo de la misma. Sin embargo, como ya se mencionó, esto se atacaría en una línea de investigación distinta.

Para mitigar el riesgo de incremento de precios que afectan las partidas de construcción (visible a través de los indicadores mencionados en el presente capítulo), es posible utilizar instrumentos de cobertura que ayuden a mitigar el riesgo, lo anterior en caso de que se desee postergar el proyecto.

Conclusiones

El objetivo del presente trabajo fue demostrar que un proyecto de inversión de carácter social, destinado al desarrollo de infraestructura, puede ser valuado con mayor certeza mediante la metodología de opciones reales y, adicionalmente, demostrar que con la aplicación de una opción real de diferimiento se pueden obtener mejores rendimientos para el proyecto, por lo que, como resultado de la investigación y aplicación del método a un proyecto de infraestructura, se puede afirmar que se ha cumplido con el propósito inicial.

El ejercicio práctico realizado, destinado a un proyecto de infraestructura carretera demostró que al diferir un proyecto por cinco años se obtiene un valor agregado, el cual se traduce en un mayor beneficio total para la comunidad a la cual está destinado el proyecto, esto cumple con la hipótesis planteada que se especificó al inicio del proyecto. No obstante, uno de los principales artífices de esta investigación es servir como origen para otras líneas de investigación, con la finalidad de que se demuestre si, efectivamente, es viable diferir el proyecto a pesar de que genere mayores beneficios.

Como se indicó en el resultado del ejercicio, el diferimiento genera mejores indicadores, con lo que es viable esperar un periodo de tiempo para el desarrollo del proyecto, sin embargo, es necesario que se defina si el hecho de diferir el proyecto tenga resultados positivos, en diversos sectores, es decir, si con el diferimiento se puede aprovechar el monto de la inversión que no se está utilizando en otro proyecto y si este también cuenta con indicadores sólidos. Adicionalmente, es necesario verificar si es factible aceptar el riesgo de diferir un proyecto que ya es rentable, considerando que los factores que detonen alza en costos del mismo se activen y los indicadores obtenidos cambien.

El desarrollo de la metodología toma diversos supuestos, que en un futuro deben ser desarrollados para mejorar la viabilidad del uso del método, uno de ellos y que se considera el de mayor importancia es la volatilidad, en primer instancia porque se considera que durante todo el periodo diferido se mantiene constante, lo cual en

economías como la de México es difícil que se logre, ya que el país se encuentra en constante transición en diversos aspectos, por lo que, la incertidumbre no tiene un valor constante. Adicionalmente, en relación con el mismo rubro, la determinación del valor de la volatilidad varía dependiendo los autores, por lo que es posible que no se obtengan resultados estandarizados, en este sentido, sería prudente que se desarrolle el modelo, estableciendo un método general para el cálculo de la volatilidad en modelos de proyectos de inversión.

De forma concluyente, la metodología de opciones reales ofrece un panorama con mayor apertura a la introducción de la incertidumbre, sin embargo, es necesario una mayor estandarización y delimitación de uso en proyectos de inversión que ayuden a los inversores y valuadores de proyectos a tomar mejores decisiones bajo modelos bien establecidos y confiables.

Es preciso finalizar las conclusiones haciendo énfasis en que el presente proyecto se realiza buscando emplear técnicas y métodos que puedan tener un impacto positivo en la sociedad dentro del campo de aplicación correspondiente. El presente proyecto, por ejemplo, indica que, con la adecuada administración y análisis, se puede beneficiar a la comunidad que utiliza de forma cotidiana el distribuidor en estudio, y no solo eso, dados los resultados, se pueden obtener beneficios para otras comunidades al emplear los recursos de forma óptima.

ANEXO 1

Objetivo prioritario 1.- Contribuir al bienestar social mediante la construcción, modernización y conservación de infraestructura carretera accesible, segura, eficiente y sostenible, que conecte a las personas de cualquier condición, con visión de desarrollo regional e intermodal.				
Estrategia prioritaria 1.1 Mejorar el estado físico de la Red Carretera Federal a través de la conservación y reconstrucción para aumentar el bienestar, la conectividad y seguridad de los usuarios de la infraestructura carretera.	Estrategia prioritaria 1.2 Mejorar la seguridad vial en la Red Carretera Federal para el bienestar de todos los usuarios	Estrategia prioritaria 1.3 Transparentar todo el proceso de gestión de obra pública para disminuir la corrupción y garantizar la calidad de la obra.	Estrategia prioritaria 1.4 Incrementar la cobertura y accesibilidad de las vías de comunicación para impulsar el desarrollo regional y disminuir la marginación.	Estrategia prioritaria 1.5 Mejorar la planeación y prospectiva de la infraestructura carretera, para contar con procesos sólidos y ágiles de terminación de obra y detectar oportunamente las necesidades futuras de la infraestructura carretera.
1.1.1 Concluir la pavimentación de los caminos de acceso a cabeceras municipales en zonas indígenas del Estado de Oaxaca.	1.2.1 Atender los puntos de conflicto en la Red Carretera Federal.	1.3.1 Mejorar el mecanismo de integración del proyecto ejecutivo.	1.4.1 Incrementar la cobertura de la red rural en zonas de alta y muy alta marginación.	1.5.1 Desarrollar nuevos esquemas de financiamiento para complementar la inversión pública.
1.1.2 Atender prioritariamente los puentes y los tramos carreteros en regular y mal estado de la Red Carretera Federal.	1.2.2 Diseñar e implementar un programa preventivo de seguridad vial en la Red Carretera Federal.	1.3.2 Continuar con el desarrollo de un padrón único de contratistas.	1.4.2 Incrementar la accesibilidad de puentes y cruces fronterizos.	1.5.2 Gestionar el aseguramiento de la Red Carretera Federal libre de peaje y la red rural federal (Chiapas).
1.1.3 Consolidar la evaluación del estado físico de la Red Carretera Federal, a través de estándares de desempeño, es decir, migrar de un esquema subjetivo por puntos a calificación por estándares de desempeño.	1.2.3 Reforzar los programas de señalamiento horizontal, vertical y barreras de protección en la Red Carretera Federal, conforme a la normatividad vigente.	1.3.3 Capacitar a los servidores públicos que participan en los procedimientos de contratación, con el fin de obtener una integración sólida de propuestas.	1.4.3 Desarrollar Planes Maestros vinculados a regiones y corredores específicos tanto para la frontera norte como sur del país.	1.5.3 Reforzar el procedimiento de liberación del derecho de vía para el consenso social.

Objetivo prioritario 1.- Contribuir al bienestar social mediante la construcción, modernización y conservación de infraestructura carretera accesible, segura, eficiente y sostenible, que conecte a las personas de cualquier condición, con visión de desarrollo regional e intermodal.

<p>Estrategia prioritaria 1.1 Mejorar el estado físico de la Red Carretera Federal a través de la conservación y reconstrucción para aumentar el bienestar, la conectividad y seguridad de los usuarios de la infraestructura carretera.</p>	<p>Estrategia prioritaria 1.2 Mejorar la seguridad vial en la Red Carretera Federal para el bienestar de todos los usuarios</p>	<p>Estrategia prioritaria 1.3 Transparentar todo el proceso de gestión de obra pública para disminuir la corrupción y garantizar la calidad de la obra.</p>	<p>Estrategia prioritaria 1.4 Incrementar la cobertura y accesibilidad de las vías de comunicación para impulsar el desarrollo regional y disminuir la marginación.</p>	<p>Estrategia prioritaria 1.5 Mejorar la planeación y prospectiva de la infraestructura carretera, para contar con procesos sólidos y ágiles de terminación de obra y detectar oportunamente las necesidades futuras de la infraestructura carretera.</p>
<p>1.1.4 Fortalecer la auscultación de la Red Carretera Federal y la verificación de la calidad de las obras en ejecución.</p>	<p>1.2.4 Incorporar tecnologías de punta y mejores prácticas internacionales para incrementar la seguridad vial.</p>	<p>1.3.4 Supervisar y cumplir las especificaciones y términos contenidos en los Títulos de Concesión.</p>	<p>1.4.4 Continuar con la construcción y modernización de la Red Carretera Federal.</p>	<p>1.5.4 Fortalecer el capital humano especializado en infraestructura del transporte.</p>
<p>1.1.5 Consolidar en CAPUFE el nuevo esquema de prestación de servicios de operación y mantenimiento de autopistas, con base en estándares de desempeño.</p>	<p>1.2.5 Establecer lineamientos y criterios para que los proyectos ejecutivos de construcción y modernización de carreteras, se diseñen atendiendo la seguridad vial de todos los usuarios, desde la fase de anteproyecto.</p>	<p>1.3.5 Contar con las herramientas y el personal técnico adecuado para los cálculos de aforos y los Análisis Costo-Beneficio (ACB).</p>	<p>1.4.5 Continuar con la pavimentación de caminos rurales y alimentadores en zonas de alta y muy alta marginación.</p>	<p>1.5.5 Aumentar la investigación científica y capacidad tecnológica vinculadas a las necesidades del sector.</p>
<p>1.1.6 Actualizar los sistemas de gestión de los activos carreteros como mecanismo de preservación del patrimonio vial.</p>	<p>1.2.6 Implementar las auditorías de seguridad vial en la Red Carretera Federal.</p>	<p>1.3.6 Crear nuevos lineamientos y alcances internos, para seguimiento y control de obra, con la aprobación del Comité de Obra Pública de la SCT.</p>	<p>1.4.6 Construir y modernizar la infraestructura carretera para el desarrollo regional.</p>	<p>1.5.6 Mejorar y fortalecer el marco normativo en términos de interoperabilidad.</p>
<p>1.1.7 Impulsar la suficiencia presupuestal para la conservación y reconstrucción de la Red Carretera Federal.</p>	<p>1.2.7 Realizar campañas informativas para difundir entre la población los aspectos fundamentales de seguridad vial y crear progresivamente una cultura vial.</p>		<p>1.4.7 Impulsar la inversión privada para ampliar la cobertura de la Red Carretera Federal.</p>	<p>1.5.7 Realizar los estudios y proyectos y gestionar los permisos pertinentes para desarrollar infraestructura carretera.</p>

Objetivo prioritario 1.- Contribuir al bienestar social mediante la construcción, modernización y conservación de infraestructura carretera accesible, segura, eficiente y sostenible, que conecte a las personas de cualquier condición, con visión de desarrollo regional e intermodal.

<p>Estrategia prioritaria 1.1 Mejorar el estado físico de la Red Carretera Federal a través de la conservación y reconstrucción para aumentar el bienestar, la conectividad y seguridad de los usuarios de la infraestructura carretera.</p>	<p>Estrategia prioritaria 1.2 Mejorar la seguridad vial en la Red Carretera Federal para el bienestar de todos los usuarios</p>	<p>Estrategia prioritaria 1.3 Transparentar todo el proceso de gestión de obra pública para disminuir la corrupción y garantizar la calidad de la obra.</p>	<p>Estrategia prioritaria 1.4 Incrementar la cobertura y accesibilidad de las vías de comunicación para impulsar el desarrollo regional y disminuir la marginación.</p>	<p>Estrategia prioritaria 1.5 Mejorar la planeación y prospectiva de la infraestructura carretera, para contar con procesos sólidos y ágiles de terminación de obra y detectar oportunamente las necesidades futuras de la infraestructura carretera.</p>
<p>1.1.8 Incorporar e integrar la gestión de riesgos de desastres para preservar el patrimonio vial de la Red Carretera Federal.</p>			<p>1.4.8 Continuar con el desarrollo regional de la zona sur sureste del país.</p>	<p>1.5.8 Instrumentar mediante un proceso de reingeniería, la reestructura organizacional de CAPUFE a nivel central y regional, en atención a las responsabilidades de las tareas encomendadas por el E</p>
<p>1.1.9 Incorporar esquemas de participación privada en la conservación de la red federal libre de peaje.</p>			<p>1.4.9 Contribuir al desarrollo de modos de transporte multimodal e intermodal.</p>	
<p>1.1.10 Redefinir mecanismos como contratos APP de conservación y MRO's (Mantenimiento, Reconstrucción y Operación de autopistas), a fin de aplicarlos para el mejoramiento de la Red Carretera Federal libre y de peaje.</p>			<p>1.4.10 Impulsar la suficiencia presupuestal para la construcción, modernización y conservación de la Red Carretera Federal.</p>	

ANEXO 2

Modelo de evaluación inicial (valores en miles de pesos)

Escenario base (precio 2020)

AÑO	AHORROS	INVERSIÓN Y COSTOS	COSTOS POR MOLESTIAS	BENEFICIOS TOTALES	VPN (MDP)	TIR (%)
0	-	96	18	(114)		
1	-	347	67	(414)	(491)	
2	-	1,105	214	(1,319)	(1,581)	
3	-	93	18	(110)	(1,664)	
4	-	8,105	1,531	(9,635)	(8,245)	
5	-	0	0	(0)	(8,245)	
6	-	73,367	12,797	(86,164)	(56,882)	
7	-	0	0	(0)	(56,882)	
8	-	187,830	23,234	(211,064)	(155,345)	
9	-	133,322	7,605	(140,928)	(215,112)	
10	-	44,255	-	(44,255)	(232,175)	
11	-	21,766	-	(21,766)	(239,804)	
12	568,240	1,635		566,605	(59,266)	2.4%
13	558,272	269		558,003	102,368	18.8%
14	577,652	269		577,383	254,411	26.6%

AÑO	AHORROS	INVERSIÓN Y COSTOS	COSTOS POR MOLESTIAS	BENEFICIOS TOTALES	VPN (MDP)	TIR (%)
15	591,497	269		591,228	395,946	31.0%
16	589,274	20,969		568,305	519,626	33.5%
17	566,668	269		566,399	631,685	35.1%
18	567,246	269		566,977	733,660	36.1%
19	586,287	269		586,018	829,479	36.8%
20	604,181	1,635		602,545	919,044	37.3%
21	618,276	269		618,007	1,002,555	37.7%
22	628,700	269		628,431	1,079,756	37.9%
23	636,566	269		636,297	1,150,816	38.1%
24	640,740	7,266		633,474	1,215,130	38.2%
25	639,480	269		639,211	1,274,126	38.3%
26	630,517	269		630,248	1,327,008	38.4%
27	636,532	269		636,263	1,375,540	38.4%
28	641,484	1,635		639,848	1,419,910	38.4%
29	641,776	269		641,507	1,460,350	38.5%
30	635,534	269		635,265	1,496,756	38.5%
					TRI	91.4%

Escenario base (actualizado a precios 2022)

AÑO	AHORROS	INVERSIÓN Y COSTOS 2022	COSTOS POR MOLESTIAS	BENEFICIOS TOTALES	VPN (MDP)	TIR (%)
0	-	87.55	20.48	(108.03)		
1	-	316.95	74.54	(391.50)	(463.93)	
2	-	1,009.60	237.26	(1,246.86)	(1,494.40)	
3	-	84.52	19.67	(104.20)	(1,572.68)	
4	-	7,404.04	1,695.64	(9,099.68)	(7,787.88)	
5	-	0.00	0.00	(0.00)	(7,787.88)	
6	-	67,026.11	14,177.36	(81,203.47)	(53,625.12)	
7	-	0.00	0.00	(0.00)	(53,625.13)	
8	-	171,595.08	25,740.85	(197,335.92)	(145,683.79)	
9	-	121,798.97	8,425.91	(130,224.88)	(200,911.85)	
10	-	165,897.25	-	(165,897.25)	(264,872.43)	
11	-	49,971.72	-	(49,971.72)	(282,387.21)	
12	629,549.42	1,811.74		627,737.68	(82,370.64)	
13	618,506.12	298.13		618,207.99	96,702.19	18.0%
14	639,976.79	298.13		639,678.66	265,149.58	26.6%
15	655,316.38	298.13		655,018.25	421,955.74	31.3%

AÑO	AHORROS	INVERSIÓN Y COSTOS 2022	COSTOS POR MOLESTIAS	BENEFICIOS TOTALES	VPN (MDP)	TIR (%)
16	652,852.70	23,231.54		629,621.17	558,979.65	33.9%
17	627,807.96	298.13		627,509.83	683,129.12	35.6%
18	628,448.79	298.13		628,150.65	796,107.54	36.7%
19	649,544.13	298.13		649,246.00	902,264.45	37.4%
20	669,367.93	1,811.74		667,556.19	1,001,492.42	37.9%
21	684,983.90	298.13		684,685.76	1,094,014.40	38.3%
22	696,533.23	298.13		696,235.09	1,179,544.08	38.6%
23	705,247.24	298.13		704,949.10	1,258,271.49	38.7%
24	709,871.70	8,049.62		701,822.07	1,329,524.40	38.9%
25	708,476.45	298.13		708,178.32	1,394,886.43	39.0%
26	698,545.60	298.13		698,247.46	1,453,473.19	39.0%
27	705,209.69	298.13		704,911.56	1,507,242.22	39.1%
28	710,695.85	1,811.74		708,884.11	1,556,398.61	39.1%
29	711,019.74	298.13		710,721.61	1,601,202.08	39.1%
30	704,104.45	298.13		703,806.32	1,641,536.21	39.1%
					TRI	85.5%

Escenario pesimista

AÑO	AHORROS	INVERSIÓN Y COSTOS 2022	COSTOS POR MOLESTIAS	BENEFICIOS TOTALES	VPN (MDP)	TIR (%)
0	-	87.55	20.48	(108.03)		
1	-	316.95	74.54	(391.50)	(463.93)	
2	-	1,009.60	237.26	(1,246.86)	(1,494.40)	
3	-	84.52	19.67	(104.20)	(1,572.68)	
4	-	7,404.04	1,695.64	(9,099.68)	(7,787.88)	
5	-	0.00	0.00	(0.00)	(7,787.88)	
6	-	67,026.11	14,177.36	(81,203.47)	(53,625.12)	
7	-	0.00	0.00	(0.00)	(53,625.13)	
8	-	171,595.08	25,740.85	(197,335.92)	(145,683.79)	
9	-	121,798.97	8,425.91	(130,224.88)	(200,911.85)	
10	-	207,723.35	-	(207,723.35)	(280,998.20)	
11	-	31,285.31	-	(31,285.31)	(291,963.51)	
12	314,774.71	33,097.05		281,677.66	(202,212.32)	
13	556,655.51	373.30		556,282.21	(41,077.18)	6.1%
14	575,979.11	373.30		575,605.81	110,497.82	17.6%
15	589,784.74	373.30		589,411.44	251,598.23	23.6%

AÑO	AHORROS	INVERSIÓN Y COSTOS 2022	COSTOS POR MOLESTIAS	BENEFICIOS TOTALES	VPN (MDP)	TIR (%)
16	587,567.43	29,088.68		558,478.75	373,139.48	27.0%
17	627,807.96	373.30		627,434.66	497,274.08	29.4%
18	628,448.79	373.30		628,075.49	610,238.98	30.9%
19	649,544.13	373.30		649,170.83	716,383.60	31.9%
20	669,367.93	2,268.52		667,099.41	815,543.68	32.7%
21	684,983.90	373.30		684,610.60	908,055.50	33.2%
22	696,533.23	373.30		696,159.93	993,575.94	33.6%
23	705,247.24	373.30		704,873.94	1,072,294.96	33.9%
24	709,871.70	10,079.10		699,792.60	1,143,341.82	34.0%
25	708,476.45	373.30		708,103.15	1,208,696.91	34.2%
26	698,545.60	373.30		698,172.30	1,267,277.37	34.3%
27	705,209.69	373.30		704,836.39	1,321,040.66	34.4%
28	710,695.85	2,268.52		708,427.33	1,370,165.39	34.4%
29	711,019.74	373.30		710,646.44	1,414,964.12	34.5%
30	704,104.45	373.30		703,731.15	1,455,293.93	34.5%
					TRI	32.5%

Escenario optimista

AÑO	AHORROS	INVERSIÓN Y COSTOS 2022	COSTOS POR MOLESTIAS	BENEFICIOS TOTALES	VPN (MDP)	TIR (%)
0	-	87.55	20.48	(108.03)	-	
1	-	316.95	74.54	(391.50)	(463.93)	
2	-	1,009.60	237.26	(1,246.86)	(1,494.40)	
3	-	84.52	19.67	(104.20)	(1,572.68)	
4	-	7,404.04	1,695.64	(9,099.68)	(7,787.88)	
5	-	0.00	0.00	(0.00)	(7,787.88)	
6	-	67,026.11	14,177.36	(81,203.47)	(53,625.12)	
7	-	0.00	0.00	(0.00)	(53,625.13)	
8	-	171,595.08	25,740.85	(197,335.92)	(145,683.79)	
9	-	121,798.97	8,425.91	(130,224.88)	(200,911.85)	
10	-	146,223.24	-	(146,223.24)	(257,287.24)	
11	-	44,045.50	-	(44,045.50)	(272,724.92)	
12	629,549.42	1,700.92		627,848.50	(72,673.04)	0.8%
13	618,506.12	279.90		618,226.22	106,405.07	18.9%
14	639,976.79	279.90		639,696.89	274,857.26	27.3%
15	655,316.38	279.90		655,036.48	431,667.78	31.9%
16	652,852.70	21,810.55		631,042.16	569,000.94	34.5%

AÑO	AHORROS	INVERSIÓN Y COSTOS 2022	COSTOS POR MOLESTIAS	BENEFICIOS TOTALES	VPN (MDP)	TIR (%)
17	627,807.96	279.90		627,528.06	693,154.03	36.1%
18	628,448.79	279.90		628,168.89	806,135.72	37.2%
19	649,544.13	279.90		649,264.24	912,295.61	37.9%
20	669,367.93	1,700.92		667,667.01	1,011,540.06	38.4%
21	684,983.90	279.90		684,704.00	1,104,064.50	38.8%
22	696,533.23	279.90		696,253.33	1,189,596.42	39.0%
23	705,247.24	279.90		704,967.34	1,268,325.87	39.2%
24	709,871.70	7,557.26		702,314.44	1,339,628.77	39.3%
25	708,476.45	279.90		708,196.56	1,404,992.47	39.4%
26	698,545.60	279.90		698,265.70	1,463,580.77	39.4%
27	705,209.69	279.90		704,929.80	1,517,351.19	39.5%
28	710,695.85	1,700.92		708,994.93	1,566,515.27	39.5%
29	711,019.74	279.90		710,739.84	1,611,319.89	39.5%
30	704,104.45	279.90		703,824.55	1,651,655.06	39.6%
					TRI	88.8%

ANEXO 3

Datos históricos del tipo de cambio, Índice Nacional de Precios al Consumidor, Índice de Costos para los Materiales de la Construcción y Salario Mínimo.

Tabla 17. Variaciones del Índice de Costos para los Materiales de la Construcción

Periodo	Promedio anual	Variación
2012	70.01911968	
2013	70.12324471	0.15%
2014	72.04747473	2.74%
2015	75.52184784	4.82%
2016	81.72242821	8.21%
2017	90.59832834	10.86%
2018	97.25852	7.35%
2019	99.94233733	2.76%
2020	102.9104719	2.97%
2021	114.5762541	11.34%
	Variación máxima	11.34%
	Variación mínima	0.15%

Fuente: INEGI

Tabla 18. Variación del INPC.

Periodo	Promedio anual	Variación
2012	79.02812419	
2013	82.03624266	3.81%
2014	85.33296522	4.02%
2015	87.65456908	2.72%
2016	90.12792486	2.82%
2017	95.57296362	6.04%
2018	100.25541853	4.90%
2019	103.90066667	3.64%
2020	107.43000000	3.40%
2021	114.52038000	6.60%
2022	119.02103093	3.93%
	Variación máxima	6.60%
	Variación mínima	2.72%

Fuente: INEGI

Tabla 19. Variaciones del tipo de cambio.

Año	Promedio anual	Variación
2012	13.16894881	
2013	12.76956813	-3.03%
2014	13.30317968	4.18%
2015	15.88100359	19.38%
2016	18.68861865	17.68%
2017	18.90659004	1.17%
2018	19.23726614	1.75%
2019	19.25739044	0.10%
2020	21.49760635	11.63%
2021	20.18267444	-6.12%
	Variación máxima	19.38%
	Variación mínima	-6.12%

Fuente: Banxico

Tabla 20. Variaciones el salario mínimo.

Año	Promedio anual	Variación
2012	59.08	
2013	61.38	3.89%
2014	63.77	3.89%
2015	66.45	4.20%
2016	73.04	9.92%
2017	80.04	9.58%
2018	88.36	10.39%
2019	102.68	16.21%
2020	123.22	20.00%
2021	141.7	15.00%
	Variación máxima	20.00%
	Variación mínima	3.89%

Fuente: INEGI

Tabla 21. Variaciones de la tasa CETES 364 días.

Año	Promedio anual	Variación
2012	4.61846	
2013	3.97923	-13.84%
2014	3.37000	-15.31%
2015	3.53308	4.84%
2016	4.57154	29.39%
2017	7.09615	55.22%
2018	8.06462	13.65%
2019	7.89000	-2.17%
2020	4.78794	-39.32%
2021	5.07065	5.90%
	Variación máxima	55.22%
	Variación mínima	-39.32%

Fuente: Elaboración propia

Bibliografía

- Mascareñas, J. (2000). El Método binomial de valoración de opciones. Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de:
<http://www.gacetafinanciera.com/teoriariesgo/valoreopciones.pdf>
- Mendoza Estrada, M. C., & Montoya Duque, N. (2019). Opciones reales en el sector de la construcción (Doctoral dissertation, Universidad EAFIT).
- Salas, J. (2017). Análisis de la calendarización y asignación presupuestal de los proyectos de una compañía especializada en la propulsión de motores utilizando simulación Monte Carlo [tesis para obtener el grado de licenciatura]. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Tarifa, E. E. (2001). Teoría de modelos y simulación. Facultad de Ingeniería, Universidad de Jujuy.

Referencias bibliográficas

- Aranday, F. R. (2018). Formulación y evaluación de proyectos de inversión.: Una propuesta metodológica. IMCP.
- Banco de México. (2021). Recuperado de: <https://www.banxico.org.mx>
- Banco Mundial (2021). Recuperado de: <https://www.bancomundial.org>
- Bello, J. R. T., & Castro, M. S. (2019). Valuación de opciones financieras sobre acciones de la Bolsa Mexicana de Valores: el modelo Black Scholes con costos de transacción y pago de dividendos. Estocástica: finanzas y riesgo, 9(2), 205-228.
- Benzaquen, J., Del Carpio, L., Zegarra, L. y Valdivia, C. (2010). Un Índice Regional de Competitividad para un país. Revista CEPAL.
- Black, F. y Scholes, M. (1973). The Pricing of options and corporate liabilities. Journal of Political Economy Vol. 81, No. 3, 637-654.
- Bokamba Malonga, L. (2018). Utilidad del método binomial para la valoración de proyecto de inversión como opción real.

- Boulanger, F. J. (2006). Evaluación económica de proyectos de inversión utilizando simulación. *Tecnología en Marcha*, 19(1), 87-99.
- Camargo Carrillo, S. (2018). Valoración de opciones y teoría de juegos (Bachelor's thesis, Uniandes).
- Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP). (2017). Indicadores de rentabilidad. Recuperado de: https://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/boletines/indicadores_rentabilidad.pdf
- Centro de Investigación Económica y Presupuestaria, A.C. (2020). Infraestructura en México: Prioridades y deficiencias del gasto público. Recuperado de: https://ciep.mx/wp-content/uploads/2020/06/Gasto-en-Infraestructura-CIEP-Jun_22_2020-v2.pdf
- Chacón, F. (2015). Índice de Competitividad Global. Serie de indicadores.
- Churchill, S. W., & Bernstein, M. (1977). A correlating equation for forced convection from gases and liquids to a circular cylinder in crossflow.
- Cox, J., Ross, S. y Rubinstein, M. (1979). Option Pricing. A Simplified Approach. *Journal of Financial Economics*.
- Cruz Moreno, C. (2017). Metodología Valoración Black-Scholes Para Opciones Cuyo Subyacente Es Una Divisa (Black Scholes Methodology for Options Pricing Whose Underlying Is a Currency).
- Damodaran, A. (2002). Estimating Riskfree Rates. New York: Stern School of Business.
- Diario Oficial de la Federación. (2020). Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020-2024. Recuperado de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5596042&fecha=02/07/2020
- Fontaine, E. R. (2019). Evaluación social de proyectos
- Hoek. J., Elliot, R. (2006). *Binomial Models in Finance*. Springer Science+Business Media, Inc.
- IMD. (2021). Anuario de Competitividad Mundial.

- Instituto Mexicano de Competitividad. (2019), Índice de Competitividad Internacional 2019.
- Johnson, D. (1997). The triangular distribution as a proxy for the beta distribution in risk analysis. *The statistician* (páginas 387-398. UK: Loughborough University.
- Esser, K., Hillebrand, W., Messner, D. y Meyer-Stamer, J. (1996). Competitividad sistémica: nuevo desafío para las empresas y la política. *Revista CEPAL*.
- Lamothe Fernández, P., & Méndez Suárez, M. (2013). Opciones reales: Métodos de simulación y valoración. Ecobook.
- Liu, S., Oosterlee, C. W., & Bohte, S. M. (2019). Pricing options and computing implied volatilities using neural networks. *Risks*, 7(1), 16.
- Martínez Miranda, E. A. (2006). Metodologías de manejo de riesgo utilizando productos derivados en proyectos de inversión pública. Distrito Federal, México.
- Mascareñas, J. (2007). Opciones reales en la valoración de proyectos de inversión. *Monografías sobre Finanzas Corporativas*.
- MexDer. (2007). Una Introducción. Recuperado de: <http://www.mexder.com.mx/>
- México Competitivo. (2020). El Foro Económico Mundial dio a conocer el Reporte de Competitividad Global Edición Especial 2020. México Competitivo. Recuperado de: <https://www.gob.mx/se/mexicocompetitivo/articulos/el-foro-economico-mundial-dio-a-conocer-el-reporte-de-competitividad-global-edicion-especial-2020>.
- Myers, S. C. (1977). Determinants of corporate borrowing. *Journal of Financial Economics* 5, 147–176.
- Nacional Financiera. (2004). Fundamentos del Negocio. Recuperado de: https://www.nafin.com/portalfn/content/desarrollo-empresarial-y-asistencia-tecnica/herramientas-de-negocio/fundamentos_negocio.html

- Nacional Financiera, Organización de los Estados Americanos. (1999). Guía para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión. Nacional Financiera, S. N. C.
- Perez, A. (2021). Qué es un proyecto. Una definición práctica. OBS Business School. Recuperado de: <https://www.obsbusiness.school/blog/que-es-un-proyecto-una-definicion-practica>
- Ponce, A. A. C. (2019). Evaluación financiera de proyectos de inversión para la PYMES. Dominio de las Ciencias, 5(3), 375-390.
- Presidencia de la República. (2019). Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. México.
- Presidencia de la República. (2018). Programa Nacional de Infraestructura Carretera 2018-2024.
- Reyes Hernández, R., Tovías García, A., & Villarreal, J. (1989). La crisis de la deuda. Momento Económico, (44), 11-15.
- Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jordan, B. D. (2012). *Fundamentos de finanzas corporativas*.
- Rozas, P., & Sánchez, R. (2004). *Desarrollo de infraestructura y crecimiento económico: revisión conceptual*. CEPAL.
- Statistics Department International Monetary Fund. (1998). Financial Derivatives. Recuperado de: <https://www.imf.org/external/bopage/pdf/98-1-20.pdf>
- Vélez, G. A. (2014). *Proyectos-Identificación, formulación, evaluación y gerencia*. Alfaomega Grupo Editor.
- World Economic Forum. (2019). Reporte de Competitividad Global. Recuperado de: <http://www3.weforum.org/>.
- Zapata Quimbayo, C. A. (2020). Opciones reales: una guía teórico-práctica para la valoración de inversiones bajo incertidumbre mediante modelos en tiempo discreto y simulación de Monte Carlo.