

Metodología para la Evaluación de Proyectos de Carreteras



**GOBIERNO
FEDERAL**

SHCP



www.gobiernofederal.gob.mx
www.hacienda.gob.mx



Vivir Mejor

El presente manual es un documento de carácter exclusivamente informativo y por lo tanto no sustituye ni supe las disposiciones y normas jurídicas que la Secretaría de Hacienda y Crédito Público haya emitido o emita en cumplimiento de sus facultades legales o reglamentarias. Se autoriza la reproducción parcial o total de la presente obra siempre y cuando se cite la fuente de origen y la reproducción se efectúe sin fines de lucro.

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 ANTECEDENTES.....	9
1.2 OBJETIVO DE LA METODOLOGÍA	9
1.3 RESUMEN DE LA METODOLOGÍA.....	10
2. TIPOS DE PROYECTOS	13
3. ANÁLISIS DE UN PROYECTO DE CARRETERAS	15
3.1 SITUACIÓN ACTUAL	15
3.1.1 <i>Oferta</i>	15
3.1.2 <i>Demanda</i>	16
3.1.3 <i>Interacción oferta-demanda y descripción de la problemática</i>	20
3.2 SITUACIÓN SIN PROYECTO.....	23
3.2.1 <i>Optimizaciones</i>	23
3.2.2 <i>Oferta</i>	24
3.2.3 <i>Demanda</i>	24
3.2.4 <i>Interacción oferta-demanda con optimizaciones a lo largo de la vida útil</i>	25
3.2.5 <i>Alternativas de solución</i>	26
3.3 SITUACIÓN CON PROYECTO	26
3.3.1 <i>Descripción del Proyecto</i>	26
3.3.2 <i>Oferta</i>	27
3.3.3 <i>Demanda</i>	27
3.3.4 <i>Interacción oferta-demanda a lo largo de la vida útil</i>	30
3.4 EVALUACIÓN.....	30
3.4.1 <i>Identificación, cuantificación y valoración de los costos del proyecto</i>	30
3.4.2 <i>Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios del proyecto</i>	32
3.4.3 <i>Cálculo de los indicadores de rentabilidad</i>	34
3.4.4 <i>Análisis de sensibilidad</i>	38
3.4.5 <i>Análisis de riesgos</i>	38
3.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
4. ANEXOS	40
4.1 CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS CARRETERAS.....	40
4.2 NIVEL DE SERVICIO.....	40
4.3 NOTA TÉCNICA SOBRE MANTENIMIENTO	44
4.3.1 <i>Asfalto</i>	44
4.3.2 <i>Concreto Hidráulico</i>	47
4.4 ANUALIZACIÓN DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN	48
5. GLOSARIO	50
6. BIBLIOGRAFÍA	52

1. Introducción

1.1 Antecedentes

La asignación de recursos a programas y proyectos de inversión por parte del Gobierno Federal es una tarea sumamente importante. Lo anterior debido a que los recursos que se destinan para cubrir una necesidad identificada conllevan un costo de oportunidad importante sobre la sociedad. Por lo tanto, con el objetivo de maximizar el beneficio social y reducir dicho costo de oportunidad, el Gobierno Federal ha diseñado métodos específicos que coadyuven a la eficiente asignación de los recursos públicos.

La Metodología de Evaluación de Proyectos de Carreteras responde a la necesidad identificada de proporcionar herramientas específicas para el análisis de proyectos de inversión en este sector. El contenido de este documento se desprende de la Metodología Global de las Etapas que Componen el Ciclo de inversión, la cual brinda una perspectiva general del proceso de inversión pública en México.

Además de éste, existen otros dos documentos de apoyo para la evaluación de proyectos de carreteras. El primero es el Manual de Análisis Costo-Beneficio de Proyectos de Carreteras, el cual muestra de forma didáctica la aplicación de la metodología en un ejemplo ilustrativo. El segundo es la Guía de Evaluación de Proyectos de Carreteras, el cual enlista los puntos más importantes para realizar la evaluación de este tipo de proyectos.

1.2 Objetivo de la metodología

El objetivo de esta metodología es presentar la forma en que las Entidades y Dependencias relacionadas con el sector deben evaluar los proyectos de inversión de carreteras. Lo anterior con el fin de coadyuvar al proceso de evaluación y analizar la rentabilidad social del proyecto. El objetivo último es lograr una asignación eficiente de los recursos públicos.

Para alcanzar estos objetivos se muestran herramientas que describen los principales componentes que debe contener un análisis costo-beneficio de proyectos de carreteras. El modelo de evaluación intenta capturar, desde una perspectiva de rentabilidad socioeconómica, los elementos que intervienen en la decisión de implementar un proyecto de inversión en carreteras.

Ahora, el objetivo de los proyectos de carreteras es: “Independientemente del tipo de proyecto carretero que se desee llevar a cabo, estos proyectos tienen como objetivo disminuir los Costos Generalizados de Viaje (CGV).”¹

1.3 Resumen de la metodología

La evaluación de proyectos de carreteras requiere de ciertos pasos que se explican a continuación:

1. **Análisis de la situación actual:** El objetivo de este análisis es describir la problemática que da origen al proyecto. Requiere conocer la oferta y demanda existentes. La oferta está representada por las características físicas y geométricas de la infraestructura actual. Mientras que la demanda se refiere al Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) o número de vehículos promedio que transitan diariamente por la carretera. Esto último debe analizarse por distribución horaria de congestión y tipo de vehículo. También se analiza cómo interactúan la oferta y la demanda en cada tramo de la red relevante, lo cual se refleja en la velocidad, el tiempo de recorrido y el costo en el que incurran los usuarios de la carretera. A este último se le conoce como Costo Generalizado de Viaje o CGV, y se integra por el costo de operar los vehículos más el costo del tiempo de viaje de los pasajeros. Como resultado de la interacción entre oferta y demanda se identifica y describe la problemática a resolver.
2. **Análisis de la situación sin proyecto:** Se refiere a la situación futura en caso de que no se llevara a cabo el proyecto. Para esto es necesario considerar medidas de optimización que ayuden a mitigar la problemática. Se deben describir las características de la oferta tomando en cuenta las optimizaciones y calcular la demanda futura, esta última es la proyección del TDPA con base en el crecimiento de la economía². Finalmente, se analizará cómo se comportan o interactúan la oferta y demanda futuras sin proyecto a lo largo del horizonte de evaluación.
3. **Análisis de la situación con proyecto:** Se realiza de forma similar que en la situación sin proyecto. La diferencia es que en este caso la oferta está dada por las características del proyecto. También se analiza cómo interactúan la oferta y la

¹ CEPEP, 2004.

² La tasa de crecimiento anual de la economía (PIB) que deberá usarse será la que publique el CEPEP en su página de Internet (www.cepep.gob.mx).

demanda que, de la misma forma, se refleja en la velocidad, tiempo de recorrido y CGV.

4. Identificación, cuantificación y valoración de los costos: Deben calcularse los costos de inversión, mantenimiento y operación, y los costos por molestias. Éstos últimos son los costos en que incurren los usuarios como resultado de la reducción de la velocidad y el incremento en tiempo de viaje, y que son consecuencia de las desviaciones o reducción de carriles necesarias durante la construcción.
5. Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios: El principal beneficio de un proyecto carretero es el ahorro en el Costo Generalizado de Viaje ya que para los usuarios debe ser menos costoso transitar por la nueva carretera. Este beneficio es resultado del incremento en la velocidad y la reducción en el tiempo de recorrido.
6. Evaluación del proyecto: Para evaluar la rentabilidad se calculan los flujos netos para cada año del horizonte de evaluación considerando la distribución del TDPA por horario de congestión y tipo de vehículo. Estos flujos netos son la diferencia entre la situación sin proyecto y la situación con proyecto. Con base en esto se calculan los indicadores de Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Tasa de Rendimiento Inmediata (TRI). También debe realizarse un Análisis de Sensibilidad en el cual se observe el comportamiento de los indicadores de rentabilidad al cambio en las variables relevantes del proyecto, como pueden ser el monto de la inversión inicial o la demanda proyectada.

Si bien estos son los pasos para evaluar proyectos de carreteras, se debe distinguir entre los que se analizan a nivel perfil y pre-factibilidad. Para el primero, la información necesaria se obtiene principalmente de fuentes secundarias de información. A nivel pre-factibilidad se debe obtener de estudios diseñados y ejecutados específicamente para el análisis del proyecto que se esté evaluando.

De acuerdo a la Metodología Global de las Etapas que componen el Ciclo de Inversión, los requisitos para el análisis de Programas o Proyectos de Inversión (PPI) a nivel perfil y pre-factibilidad son los siguientes:

Concepto	Evaluación a nivel perfil	Evaluación a nivel pre-factibilidad
Sesión previa de trabajo con la UI	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Opcional 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Debe realizarse una sesión previa de trabajo con la UI para definir conjuntamente: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Los estudios necesarios a realizar para la evaluación del PPI. ▪ El alcance y enfoque de la evaluación.
Tipo de información utilizada	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Información secundaria: Utiliza estudios elaborados para otros PPIs, publicaciones de investigación u otras fuentes. Los datos utilizados pueden haber sido tomados o extrapolados de otros estudios elaborados anteriormente; objetiva, verídica y apropiadamente documentada. ▪ Información primaria: Encuestas de mercado y trabajo en campo básico. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Información primaria: Estudios elaborados específicamente para determinar variables clave del PPI; encuestas de mercado y trabajo en campo con métodos formales.
Estimación de oferta, demanda, costos y beneficios	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se realiza con base en información histórica contrastada con fuentes primarias de información. ▪ Se utiliza información paramétrica. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se realiza con base en cotizaciones específicas de diferentes proveedores con información actual contrastada con datos de información histórica y fuentes primarias de información y se tiene un nivel de incertidumbre menor.
Bibliografía	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bibliografía y referencias de los estudios utilizados como fuente secundaria de información. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anexos con los estudios realizados específicamente para el PPI.

2. Tipos de Proyectos

Esta metodología fue diseñada para realizar el análisis costo-beneficio de proyectos de construcción, modernización o ampliación de carreteras. Los proyectos de construcción, o también llamados de obra nueva, son aquellos en los que se construirá una vía donde en la actualidad no existe. En tanto que la modernización se refiere a la mejora de las condiciones de operación y seguridad de la carretera actual mediante la rectificación del trazo, ampliación del ancho de corona y calzada, así como con la mejora de la superficie de rodamiento de las mismas. Finalmente, la ampliación consiste en agregar uno o más carriles a la carretera actual, ya sea en uno o ambos sentidos, a todo lo largo o sólo en ciertos tramos.

Las carreteras que deben evaluarse con esta metodología se clasifican en tipos B, A2, A4 y A4S con las siguientes características de acuerdo al Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

Clasificación y Características de Carreteras³

Tipo	TDPA (veh./día)	Ancho de calzada (m)	Ancho de corona (m)
B	1,500 a 3,000	7.0	9.0
A2	3,000 a 5,000	7.0	12.0
A4		2 cuerpos de 7.0 c/u	22.0
A4S	Más de 5,000	2 cuerpos de 7.0 c/u	2 cuerpos separados de 11.0 c/u

Fuente: *Un análisis económico sobre el uso del concepto de confiabilidad, en relación con algunos elementos del proyecto geométrico de carreteras.* IMT, 2008.

Adicionalmente, esta metodología también debe utilizarse para la evaluación socioeconómica de proyectos de construcción de Puentes Inferiores Vehiculares (PIV) y

³ Para mayor detalle se puede consultar el anexo "Clasificación y características de las carreteras".

Tipos de proyectos

Puentes Superiores Vehiculares (PSV), entronques y distribuidores. Los proyectos de libramientos también se contemplan como parte de la construcción, modernización o ampliación de carreteras.

3. Análisis de un Proyecto de Carreteras

En esta sección se muestra la metodología para el análisis y evaluación de los proyectos de carreteras. Para esto, se estudia la situación actual, la situación futura sin proyecto y la situación con proyecto. En los tres casos se analiza la oferta, la demanda y la interacción entre ambas. Posteriormente se obtienen sus costos y beneficios comparando la situación sin proyecto contra la situación con proyecto. Finalmente se evalúa el proyecto, para la cual se utilizan los indicadores de rentabilidad, el análisis de sensibilidad y el análisis de riesgo.

3.1 Situación actual

El objetivo del análisis de la situación actual es describir la problemática a resolver con base en el diagnóstico de la oferta y la demanda.

3.1.1 Oferta

El análisis de la oferta en proyectos de carreteras es la descripción de la infraestructura existente y sus características físicas y geométricas.

a. Red Relevante

La red relevante está formada por todas las carreteras por las que en la actualidad se puede viajar de un extremo al otro o a un punto intermedio de la carretera que es motivo del proyecto. Para definirla es necesario identificar todas las vialidades donde la cantidad de vehículos que transitan por ellas puede incrementarse o reducirse como consecuencia de la realización del proyecto.

b. Tramificación por oferta

Es necesario dividir la red relevante en tramos para posteriormente poder calcular los costos relacionados a cada uno de ellos. El criterio para tramificar la oferta generalmente se basa en las características del terreno, si es plano, lomerío o montañoso. Esto permitirá calcular correctamente la inversión y el CGV ya que ambos cambian dependiendo del tipo de terreno que se trate.

c. Características físicas y geométricas

Para cada tramo que haya sido considerado en la red relevante deben describirse sus características. Éstas se usarán en el programa VOC-MEX 3.0, el cual sirve para calcular el Costo de Operación Vehicular (COV). Las características necesarias para describir la oferta son:

- Longitud del tramo (km)
- Tipo de terreno, si es plano, lomerío o montañoso
- Número de carriles de circulación por sentido
- Ancho de corona (m)
- Ancho de acotamientos (m)
- Tipo de superficie, si es concreto hidráulico, pavimento asfáltico o terracería
- Índice de rugosidad (m/km), se refiere a la condiciones de la superficie, indicando el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) que va de 2 cuando las condiciones son excelentes, hasta 15 cuando son muy pobres
- Pendiente media ascendente (%), suma de la distancia vertical en ascenso entre la longitud total del tramo
- Pendiente media descendente (%), suma de la distancia vertical en descenso entre la longitud total del tramo
- Proporción de viaje ascendente (%), suma de la longitud de los ascensos entre la longitud total del tramo
- Proporción de viaje plano (%), suma de la longitud del recorrido en plano entre la longitud total del tramo
- Altitud promedio (m.s.n.m), promedio de altura sobre el nivel medio del mar
- Curvatura horizontal promedio ponderada (grados / km), promedio ponderado de las curvaturas de los segmentos curvilíneos del camino
- Condiciones actuales de la línea divisoria y laterales, buena mala o regular
- Condiciones del señalamiento (horizontal y vertical) , buena mala o regular
- Descripción de los tramos que pasan por zonas urbanas, si existen topes, semáforos, u otros elementos.
- Descripción de las estructuras como PIV, PSV, túneles, u otras.

3.1.2 Demanda

La demanda en proyectos de carreteras es el número de vehículos que circulan por la carretera y se calcula con base en el TDPA.

a. Tramificación por demanda

Desde el punto de vista de los usuarios, las carreteras de la red relevante deberán dividirse en tramos en los que la cantidad de vehículos no cambia. Lo anterior significa que en un tramo no existen salidas o accesos. De esta forma, cada punto de la ruta en la que se incorporan o desincorporan vehículos es el fin (o inicio) de un tramo y el inicio (o fin) del siguiente. Cuando los accesos o salidas afectan a uno sólo de los sentidos de la carretera

será necesario definir los tramos de forma independiente para cada sentido. Así, la tramificación permitirá el cálculo de la demanda total.

Cuando se trata de una carretera abierta, no es posible realizar la tramificación ya que las incorporaciones se pueden realizar por numerosos puntos y no sólo en los enlaces con otras vías. En este caso se deberá tramificar tomando en cuenta los puntos de acceso y salida más importantes.

b. Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA)

El TDPA representa la cantidad promedio de vehículos que transitan en un día por una carretera o tramo de la misma. Para la situación actual la demanda debe ser estimada con información de estudios de campo, o en su caso información secundaria, en los tramos de la red relevante considerando el TDPA por distribución horaria de congestión y por tipo de vehículo.

La distribución horaria de congestión se realiza contabilizando los vehículos que transitan por la carretera cada hora del día durante las 24 horas. Con base en esto es posible identificar las horas del día en que las que existe o no congestión.

Adicionalmente, el TDPA debe desagregarse por tipo de vehículo. Esto es, el porcentaje de vehículos ligeros (A), autobuses (B), camiones de carga unitarios (CU) y camiones de carga articulados (CA) que transitan por cada tramo en cada horario de congestión.

c. Requisitos de información para el análisis de la demanda

El contenido y características de la información necesaria para el análisis son diferentes dependiendo de si se realiza a nivel perfil o pre-factibilidad.

Contenido y características de la información por tipo de análisis*	
Perfil (Análisis Costo-Beneficio Simplificado)	Pre-factibilidad (Análisis Costo-Beneficio)
<i>La información de la demanda se obtiene de fuentes secundarias y de estudios de campo básicos (TDPA y matriz origen destino)</i>	<i>La información de la demanda se obtiene de estudios de campo detallados que se realicen en semanas completas para distintas épocas representativas (estacionalidad) del año</i>
<i>No es necesario tramificar por sentido de circulación</i>	<i>En caso de ser necesario, se debe tramificar por sentido de circulación</i>

Se debe especificar el tránsito (TDPA) por tramo, por tipo de vehículo (A, B, CU, CA) y por horario de congestión

Se debe especificar el tránsito (TDPA) por tramo y sentido, por tipo de vehículo (A, B, CU, CA) y por horario de congestión (con o sin congestión**), para cada día de la semana de manera que sea posible establecer la estacionalidad de la demanda

*Dependiendo de las características del proyecto podrán requerirse estudios específicos adicionales

** Aquellos proyectos que por su complejidad y/o monto de inversión requieran mayor profundidad de análisis, se podrá solicitar el análisis con niveles de congestión bajo, medio y alto

Con base en lo anterior y de acuerdo al tipo de proyecto, el estudio de demanda deberá incluir la siguiente información.

Requisitos de información para el análisis de la demanda por tipo de proyecto

Requisito ⁴	Construcción, ampliación o mejoramiento	Construcción de PIV o PSV	Entronques o distribuidores	Descripción / Consideraciones
Red relevante para el proyecto	✓			Considera todas aquellas vialidades que, por la dinámica del tránsito y como resultado de la ejecución del proyecto, su TDPA se verá afectado.
Tramificación de la red relevante con base en la demanda	✓			Definición de los tramos de la red en los que no cambia el TDPA, es decir, que a lo largo de un mismo tramo no existen entradas o salidas.

⁴ Tanto la demanda actual como la proyectada deben incluir el tránsito en la red relevante; excepto para la construcción de PIV, PSV, entronques o distribuidores, donde se toma en cuenta exclusivamente el tránsito en la ubicación del proyecto.

<i>Matriz origen-destino por día y por tipo de vehículo</i>	✓			<i>Permite identificar el origen y destino de los vehículos y estimar el tránsito desviado. Esta información se obtiene por medio de encuestas realizadas a los usuarios de la carretera, en la cual se recaban datos del tipo de vehículo, origen y destino, y destinos intermedios.</i>
<i>Movimientos direccionales en el crucero</i>			✓	<i>Similar a la matriz origen-destino pero exclusivamente en el lugar del entronque o distribuidor que se desee construir.</i>
<i>Aforo actual (TDPA)</i>	✓	✓	✓	<i>Con el contenido y características correspondientes al tipo de análisis. Para el caso de vehículos CU y CA, para calcular el CGV se podrá utilizar el de mayor tránsito.</i>
<i>Número de pasajeros promedio por tipo de vehículo</i>	✓	✓	✓	<i>Se refiere al número de personas que, en promedio, viajan dentro de cada tipo de vehículo. Para estudios a nivel perfil puede usarse la información publicada por el IMT, para los de pre-factibilidad se requiere el estudio de campo correspondiente.</i>
<i>Tiempo de recorrido por tipo de vehículo y niveles de congestión</i>	✓	✓	✓	<i>Se recomienda usar el método de seguimiento de las placas o del vehículo flotante. Esta información se usará para calcular la velocidad promedio de la situación actual.</i>

En cuanto a los métodos de estimación del tiempo de recorrido, los métodos sugeridos son⁵:

- **Seguimiento de las placas.** Este método consiste en que equipos de personas se coloquen en los puntos de origen y destino de acuerdo a la tramificación por demanda de la red relevante. Cada equipo registra las placas de los vehículos y la hora en que esto sucede. De esta forma se podrá saber el tiempo que cada vehículo registrado utiliza en ir de un punto a otro.
- **Vehículo flotante.** En este método se registra con cronómetro el tiempo que cada tipo de vehículo tarda en llegar de un punto de origen a otro de destino. Esto se hace siguiendo al vehículo del cual se desea registrar el tiempo de recorrido.

⁵ La descripción de los métodos de estimación de tiempo de recorrido se tomaron del documento "Método de asignación de tránsito en redes regionales de carreteras: Dos alternativas de solución", IMT, 2002.

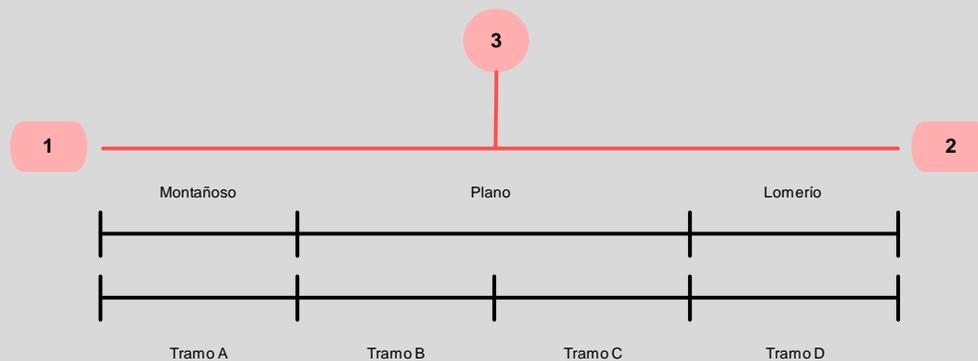
En todas las evaluaciones se deberán especificar las fuentes de la información utilizadas para el análisis de la demanda.

3.1.3 Interacción oferta-demanda y descripción de la problemática

a. Tramificación por oferta y demanda

Para definir claramente la problemática se requiere tramificar la carretera por oferta y demanda simultáneamente. Como ya se explicó, la tramificación por oferta consiste en dividir la carretera en tramos dependiendo el tipo de terreno. La tramificación por demanda se realiza dividiéndola en tramos donde el TDPA no cambia. Para combinar ambas es necesario definir el inicio y fin de un tramo donde exista una entrada o salida, o donde cambie el tipo de terreno. De esta forma será posible determinar las velocidades de operación y calcular el CGV a lo largo de cada uno de los tramos.

Si el proyecto une las ciudades 1 y 2, y tomando en cuenta el entronque con el camino que lleva a 3, la carretera debe dividirse en 4 tramos.



- *Tramo A: Definido por el tipo de terreno (montañoso)*
- *Tramos B y C: Definidos por el tipo de terreno (plano) y delimitado por el entronque con el camino que lleva a 3, por lo que la cantidad de vehículos varía entre el tramo B y el C.*
- *Tramo D: Definido por el tipo de terreno (lomerío)*

Los tramos deben realizarse por sentido en caso de que así se requiera por las condiciones de la red relevante. La tramificación por oferta y demanda se usará para el análisis de la situación actual, la situación sin proyecto y la situación con proyecto.

El principal objetivo de tramificar por oferta la red relevante es que el CGV es distinto para un mismo tipo de vehículo cuando circula por terreno plano, lomerío o montañoso. Además, el costo de inversión por kilómetro también cambia si la carretera se construirá en distintos tipos de terreno. Debido a lo anterior el proyecto se deberá evaluar por tramos.

b. Velocidad de operación

La velocidad de operación es resultado de la interacción de la oferta y la demanda. Se calcula con base en el tiempo de recorrido y la longitud de los tramos de la red relevante, lo cual es información obtenida en el estudio de campo.

La velocidad de operación actual para cada tramo está en relación a la longitud del mismo y al tiempo de recorrido. Se puede calcular por medio de los métodos de seguimiento de las placas o vehículo flotante. Con base en ellos se registra el tiempo promedio de recorrido que, junto con la distancia, permite estimar la velocidad de operación.

Para el año base la velocidad de operación se calcula para cada tramo de la red, por tipo de vehículo y niveles de congestión.

$$V_i = \frac{L}{T_i}$$

Donde:

- *V_i es velocidad para el tipo de vehículo i en cada horario de congestión (con y sin congestión)*
- *L es la longitud del tramo*
- *T_i es el tiempo de recorrido del tipo de vehículo i registrado en el estudio de demanda*

La velocidad de operación se usará posteriormente para calcular los Costos de Operación Vehicular (COV) usando el programa VOC-MEX 3.0.

c. Costo Generalizado de Viaje

La interacción de la oferta y la demanda se refleja en Costo Generalizado de Viaje (CGV), el cual se define como el costo en el que incurren los usuarios del camino. Éste incluye la

valoración del tiempo empleado en el viaje o el costo del tiempo de recorrido (CTR), y el costo de operación de los vehículos (COV) en que se realizan dichos viajes (incluyendo combustibles, neumáticos, lubricantes, etc.).

El CGV de la situación actual debe calcularse por tipo de vehículo para cada tramo, sentido y horario de congestión de acuerdo a la expresión:

$$CGV_{i,j,k} = COV_{i,j,k} + CTR_{i,j,k}$$

Donde:

- i puede ser vehículo ligero (A), autobús (B), camión unitario (CU) o camión articulado (CA)
- j se refiere a cada tramo de la carretera
- k es el horario y día de congestión
- $CGV_{i,j,k}$ es el Costo Generalizado de Viaje calculado para el tipo de vehículo i en el tramo j y horario de congestión k
- $COV_{i,j,k}$ es el Costo de Operación Vehicular o costo variable medio de utilizar un tipo de vehículo i en el tramo j y horario de congestión k
- $CTR_{i,j,k}$ es el Costo por Tiempo de Recorrido de los pasajeros que viajan en el tipo de vehículo i en el tramo j y horario de congestión k

El COV mide en términos monetarios el costo que le representa al usuario circular por una carretera. La unidad con que se expresa es pesos por kilómetro recorrido (\$/km). Para su cálculo se incluye el consumo de combustibles y lubricantes, desgaste de llantas y elementos de frenado, deterioro del sistema de suspensión y de embrague, así como los costos de refacciones, mantenimiento y depreciación del vehículo. El COV es sensible a las características geométricas del camino, tales como pendientes, grados de curvatura, así como a la altitud sobre el nivel del mar.

El CTR representa el valor, en términos monetarios, del tiempo de viaje de las personas que viajan en cada tipo de vehículo i . Está dado por el valor unitario del tiempo de las personas (pesos / hora) multiplicado por el tiempo de recorrido en horas y por el número de pasajeros.

Cálculo del CGV por tipo de vehículo

Se deberá calcular el CGV por tipo de vehículo para cada tramo, sentido de circulación y horario de congestión. Para obtener el COV se recomienda usar el programa VOC-MEX 3.0 y es importante calibrarlo conforme a la velocidad calculada en el estudio de campo y que se incluyó en el análisis de la demanda. El valor del tiempo de las personas se estima con base en una metodología que utiliza el ingreso medio, el cual está en función del salario mínimo general vigente como principal variable, la población ocupada y horas trabajadas a la semana^{6,7}.

d. Problemática

Con la información de la oferta, la demanda y su interacción, se describe la problemática que hay que resolver. En el caso de carreteras, la problemática se refleja en congestión, bajas velocidades de operación o en largos tiempos de viaje. Cualquiera de las tres opciones anteriores presenta oportunidades de reducir los costos en que incurren los usuarios o CGV.

3.2 Situación sin proyecto

Ésta es la proyección de la situación en caso de que el proyecto no se llevara a cabo. Se debe estimar la demanda futura con base en el crecimiento de la economía. La oferta se describe de acuerdo a las mejoras de bajo costo que pudieran hacerse para mantener la infraestructura actual en óptimas condiciones de operación. Finalmente, la interacción entre ambas permitirá estimar el CGV que se usará como línea de base para comparar con la situación con proyecto.

3.2.1 Optimizaciones

Las optimizaciones son medidas administrativas o inversiones de bajo costo que se realizarían en caso de no llevar a cabo el proyecto. Las optimizaciones son la base a partir de la cual se evalúa el proyecto para no atribuirle beneficios que no le corresponden⁸ y así no sobrevalorarlo. En el caso de carreteras, algunas de las optimizaciones posibles son:

- Restringir el acceso de vehículos pesados en ciertos horarios y días de congestión

⁶ Instituto Mexicano del Transporte, Publicación Técnica 291, 2006

⁷ El valor por hora del tiempo de las personas será el que publique el CEPEP en su página de Internet (www.cepep.gob.mx).

⁸ CEPEP, 2008.

- Mejorar la superficie para reducir el IRI y por lo tanto incrementar la velocidad promedio de recorrido
- Mejorar el señalamiento, tanto horizontal como vertical, o semaforización
- Mejorar ciertos tramos pequeños como podrían ser una curva o un tramo desnivelado
- Cambio de sentido de circulación en tramos que crucen zonas urbanas

En relación con lo anterior y para fines de la evaluación, la situación optimizada se convierte en la situación sin proyecto. Por lo tanto, las características físicas y geométricas de la oferta deberán reflejar las optimizaciones definidas.

3.2.2 Oferta

La descripción de la oferta debe incluir los mismos conceptos de la oferta en la situación actual tomando en cuenta las optimizaciones.

3.2.3 Demanda

La proyección de la demanda se realiza tomando en cuenta las siguientes consideraciones.

- *Para proyectar el tránsito de cada tipo de vehículo se utiliza la tasa de crecimiento promedio del PIB⁹ para los años de vida útil.*

$$TDPA_t = TDPA_{t-1} * (1 + r)$$

Donde:

- *TDPA de la situación sin proyecto incluye sólo el tránsito normal*
- *t es el año durante la vida útil*
- *r es la tasa de crecimiento anual del PIB*

Completando, los siguientes requisitos son indispensables para calcular la demanda futura.

⁹ La tasa de crecimiento anual del PIB para el horizonte de evaluación será la que publique el CEPEP en su página de Internet (www.cepep.gob.mx). En caso de que se requiera utilizar una tasa distinta, ésta deberá ser correctamente justificada.

Requisitos para la proyección de la demanda sin proyecto

Requisito	Construcción, ampliación o mejoramiento	Construcción de PIV o PSV	Entronques o distribuidores	Descripción / Consideraciones
Tránsito en la red relevante (TDPA y composición vehicular), para cada año del horizonte de evaluación por niveles de congestión (con o sin congestión) y por tramo	✓	✓	✓	Con base en el tránsito actual y proyectado utilizando la tasa de crecimiento promedio del PIB.
Tiempo de recorrido por tipo de vehículo, tramo y niveles de congestión	✓	✓	✓	Se calculará de acuerdo a la velocidad promedio proyectada en la situación sin proyecto, dependiendo de las características físicas y geométricas de las optimizaciones. La velocidad puede estimarse con base en estudios de campo en carreteras de especificaciones similares.

3.2.4 Interacción oferta-demanda con optimizaciones a lo largo de la vida útil

Como ya se mencionó, la interacción entre oferta y demanda se refleja en la velocidad de operación y, como resultado de esta y las características de la infraestructura, en el Costo Generalizado de Viaje.

El CGV por tipo de vehículo se calcula de la misma forma que en la situación actual. Sin embargo, para la velocidad de operación deberán tomarse en cuenta las optimizaciones planteadas. Para el año base se puede estimar con información de estudios realizados en carreteras de características similares. Adicionalmente, para los años de vida útil la velocidad se debe calcular con modelos de Ingeniería de Tránsito. Dichos modelos consideran la disminución de la velocidad de operación promedio conforme aumenta el número de vehículos que transitan por la carretera, lo cual tiene un impacto en el CGV¹⁰.

El CGV de la situación sin proyecto (CGV0) se calcula por tramo de la red relevante de cada año en el horizonte de evaluación. Es decir, para cada tramo deben sumarse todos los vehículos de un mismo tipo que circulan en un año bajo un mismo nivel de congestión y multiplicarlo por el CGV correspondiente. Posteriormente se suma el CGV de todos los tipos de vehículo y todos los horarios de congestión en cada tramo.

El hacer este cálculo por cada tramo de la red relevante permitirá evaluarlos de forma independiente y evaluar la contribución de cada uno a la rentabilidad del proyecto.

3.2.5 Alternativas de solución

Se deberán describir las alternativas de solución consideradas para atender la problemática identificada, así como los criterios utilizados para seleccionar la mejor. Se incluirán las características de cada una y se expondrán las razones por las que se eligió el proyecto.

3.3 Situación con proyecto

Ésta es la proyección de la situación cuando el proyecto sí se lleva a cabo. Se debe estimar la demanda futura con base en el crecimiento de la economía, que es la misma que en la situación sin proyecto. La oferta se describe de acuerdo al diseño del proyecto. Finalmente, la interacción entre ambas permitirá estimar el CGV correspondiente.

3.3.1 Descripción del Proyecto

La descripción establece las bases para el análisis de la situación con proyecto y permite conocer las principales características del mismo. Debe contener la siguiente información:

¹⁰ Para proyectos a nivel perfil se puede utilizar la misma velocidad para todo el horizonte de evaluación.

- **Descripción general:** detalles de las características físicas del proyecto y los componentes que resultarían de su realización.
- **Localización geográfica:** ubicación geográfica donde se desarrollará el proyecto y su zona de influencia. Incluir un croquis y un diagrama para señalar su ubicación exacta.
- **Calendario de actividades:** incluir la programación de las principales actividades que serían necesarias para generar los componentes del proyecto.
- **Monto total de inversión,** que para el análisis costo-beneficio debe utilizarse el monto sin impuestos. Adicionalmente, para fines del registro en la cartera de la Unidad de Inversiones deberá indicarse el monto con impuestos.
- **Fuentes de financiamiento de los recursos,** indicando la procedencia del financiamiento del proyecto.
- **Vida útil,** es el tiempo de operación del proyecto expresado en años.
- **Descripción de los aspectos técnicos, legales, ambientales, de mercado, entre otros, que tengan un impacto significativo en el resultado del proyecto.** De igual manera, deberá describir los elementos, que la entidad o dependencia de la APF considere necesarios, para garantizar su ejecución.
- **Identificación de los principales agentes económicos involucrados:** enlistar los actores que participan o que son afectados de algún modo por el proyecto.

3.3.2 Oferta

La descripción de la oferta debe incluir los mismos conceptos que en la situación actual y situación sin proyecto, pero incluyendo las características de diseño del propio proyecto.

3.3.3 Demanda

Para el primer año de operación la demanda debe estimarse tomando en cuenta el tránsito normal, atraído y generado. Y la demanda futura (TDPA) debe proyectarse con base en el crecimiento de la actividad económica (PIB¹¹).

- **Tránsito actual o normal,** se refiere al TDPA que transita por la carretera actualmente.
- **Tránsito atraído o desviado,** se refiere a los vehículos que actualmente transitan por otros tramos de la red relevante distintos al proyecto con el mismo origen y destino y que utilizarán la carretera nueva, mejorada o ampliada. Esto implica que

¹¹ La tasa de crecimiento anual del PIB para el horizonte de evaluación será la que publique el CEPEP en su página de Internet (www.cepep.gob.mx). En caso de que se requiera utilizar una tasa distinta, ésta deberá ser correctamente justificada.

los otros tramos de la red relevante distintos a los del proyecto conservarán el **tránsito remanente**, que es aquel que continúa usando dichos tramos y no se desvía hacia el proyecto.

- **Tránsito generado**, se refiere a los viajes que actualmente no suceden y que surgen exclusivamente por la realización del proyecto. El tránsito generado puede ser resultado del incremento en número de viajes de los usuarios actuales o del incremento en actividades productivas. En caso de que se decida incluir este tipo de demanda es necesario justificarla y valorar sus beneficios detalladamente.

Para calcular el tránsito desviado se utiliza la matriz origen-destino que forma parte de los requisitos de información para el análisis de la demanda. Esta matriz registra cuáles son los puntos de origen y destino de los usuarios dentro de la red relevante. Esta información será útil para calcular qué proporción del tránsito potencialmente se desviará al proyecto o se mantendrá circulando por su ruta actual.

Con base en la matriz origen-destino se definen los tipos de itinerario. Éstos se refieren a la distancia recorrida por los usuarios y pueden ser:

- Corto itinerario, recorridos menores a 50 kilómetros
- Mediano itinerario, recorrido de entre 50 y 100 kilómetros
- Largo itinerario, recorridos mayores a 100 kilómetros

Una de las alternativas para calcular el tránsito desviado es el método del costo generalizado de viaje. El cual considera que los usuarios elegirán por una ruta u otra dependiendo del CGV. Esto es, si la nueva carretera implica que los usuarios de cierta ruta, de acuerdo a la matriz origen destino, reducirán su CGV como resultado del uso de la nueva carretera entonces se desviarán hacia la misma. Es importante considerar que en los casos de carreteras que cuenten con peaje, éste deberá incluirse como parte del costo generalizado de viaje para calcular el tránsito desviado con base en este método.

Otra forma para calcular la asignación de tránsito es el método AASHTO¹², se emplea exclusivamente en proyectos que incluyen peaje. Este método analiza los itinerarios de los usuarios de la carretera para calcular la asignación de tránsito en cada tramo de la red relevante.

¹² Para conocer la aplicación del método AASHTO se puede consultar el documento "Métodos de Asignación de tránsito en redes regionales de carreteras: dos alternativas de solución", publicación técnica no. 214 del Instituto Mexicano del Transporte.

Una vez que se ha estimado el tránsito desviado y generado, la proyección de la demanda se calcula con la misma fórmula que en la situación sin proyecto:

$$TDPA_t = TDPA_{t-1} * (1 + r)$$

Requisitos para la proyección de la demanda con proyecto

Requisito ¹³	Construcción, ampliación o mejoramiento	Construcción de PIV o PSV	Entronques o distribuidores	Descripción / Consideraciones
Tránsito total del proyecto ¹⁴ (TDPA y composición vehicular), para cada año de la vida útil por niveles de congestión (con o sin congestión) y por sentido	✓	✓	✓	Incluyendo el tránsito normal, atraído y generado. La tasa de crecimiento del TDPA debe ser la misma del PIB.
Tránsito remanente en los tramos de la red relevante diferentes al del proyecto (TDPA y composición vehicular), para cada año de la vida útil por niveles de congestión (con o sin congestión).	✓			El tránsito remanente se refiere a aquel que, a pesar de la existencia del proyecto, se mantiene circulando por su ruta original en la red relevante.
Tiempo de recorrido por tipo de vehículo y niveles de congestión	✓	✓	✓	Se calculará de acuerdo a la velocidad promedio proyectada en la situación con proyecto, dependiendo de las características físicas y geométricas del diseño del proyecto. La velocidad puede estimarse con base en estudios de campo en carreteras de especificaciones similares.

¹³ La información de la demanda debe cumplir con las mismas características que para la situación actual descritas en la sección 3.1.2.c.

¹⁴ La demanda proyectada debe incluir el tránsito en la red relevante; excepto para la construcción de PIV, PSV, entronques o distribuidores, donde se toma en cuenta exclusivamente el tránsito en la ubicación del proyecto.

3.3.4 Interacción oferta-demanda a lo largo de la vida útil

La interacción de la oferta y demanda en la situación con proyecto se analiza de la misma forma que en la situación actual y sin proyecto. Es necesario considerar la tramificación por oferta y demanda en toda la red relevante, las velocidades de operación y su cambio en el futuro conforme se incrementa el tránsito y la congestión. Lo anterior da como resultado el cálculo del CGV anual total por tramo de la situación con proyecto (CGV1).

3.4 Evaluación

La evaluación de proyectos de carreteras requiere de la estimación de los costos y beneficios totales. Una vez que se tienen los costos y beneficios se calculan los indicadores de rentabilidad (VPN, TIR y TRI). Posteriormente se realiza un análisis de sensibilidad y finalmente se identifican los principales riesgos asociados.

3.4.1 Identificación, cuantificación y valoración de los costos del proyecto

Los costos en proyectos de carreteras son: inversión inicial, mantenimiento y operación, y costos por molestias¹⁵.

a. Inversión

Se refiere a todos los recursos necesarios para construir, modernizar o ampliar la carretera hasta su puesta en operación. Como parte de la inversión inicial se deben considerar también todos aquellos costos en los que se incurrirá previo a la contratación o inicio de la obra.

Los costos a incluir en la inversión inicial son:

- El costo de realizar los Estudios Básicos: mercado, técnicos, ambientales y legales
- El costo de realizar el Proyecto Ejecutivo: Proyecto Conceptual, Terracerías, Pavimentos, Obras de Drenaje, Estructuras, Señalamiento
- Costo del terreno
- Costo de obra, que debe incluir:
 - Costo de cada uno de los componentes y estructuras, presentados por separado
 - Costo de supervisión de obra
 - Costo de mitigación y reposición por impacto ambiental

¹⁵ Todos los costos se deben expresar en pesos constantes del año de evaluación.

- Costo de modificación y reposición de servicios afectados
- Costo de evitar impactos arqueológicos

b. *Mantenimiento y Operación*

El costo de mantenimiento y operación es lo que se destina a la conservación de la infraestructura con el fin de conservarla en niveles óptimos de operación. Existen tres tipos de mantenimiento¹⁶:

- Mantenimiento rutinario
- Mantenimiento periódico
- Reconstrucción

Estos costos deben calcularse para toda la red relevante como la diferencia entre la situación sin y con proyecto. Para su cuantificación y valoración se toman en cuenta las siguientes características:

- Tipo de terreno
- Geometría
- Tipo de carpeta
- Clima
- TDPA estimado (% de vehículos ligeros y pesados)

c. *Costos por molestias*

Los costos por molestias son resultado del incremento temporal del CGV provocado por la congestión existente durante la construcción del proyecto. Se calculan de la misma forma en que se hace para las situaciones sin y con proyecto. Es el incremento en el costo generalizado de viaje derivado de la construcción del proyecto.

$$\text{Costos por Molestias} = CGV_c - CGV_0$$

Donde

- CGV_c es el costo generalizado de viaje durante la ejecución incluyendo los efectos de la congestión

¹⁶ El anexo "Nota Técnica sobre Mantenimiento" se puede consultar para obtener más información sobre los tipos de mantenimiento y su periodicidad por tipo de superficie.

- CGV_0 es el costo generalizado de viaje de la situación sin proyecto para los mismos periodos de construcción

Es posible que en algún momento durante la construcción, los tramos del proyecto que hayan sido terminados y puestos en operación ofrezcan beneficios por disminución del CGV. En este caso dichas mejoras se consideran un beneficio anticipado que hay que valorar.

Si bien, los costos por molestias pueden ser difíciles de estimar, éstos deberán calcularse considerando el mejor escenario posible del programa de construcción. Es decir, aquel que minimice las molestias durante la ejecución del proyecto.

3.4.2 Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios del proyecto¹⁷

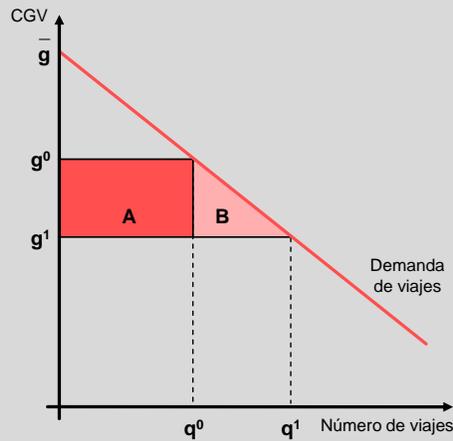
El principal beneficio obtenido por la ejecución de proyectos de construcción, modernización o ampliación de carreteras es el ahorro en CGV. Adicionalmente, debido a que la vida útil de la carretera normalmente supera el último periodo del horizonte de evaluación, el valor de rescate de la infraestructura construida debe considerarse como un beneficio.

a. Cuantificación y Valoración del beneficio por ahorro en CGV¹⁸

Este beneficio corresponde a la reducción del CGV que experimentan los usuarios al usar la carretera nueva, modernizada o ampliada. Como se muestra en la figura, el CGV sin proyecto es g^0 y el número de viajes es q^0 . Con la construcción de la nueva carretera el costo generalizado se reduce a g^1 y el beneficio de los usuarios se representa con las áreas A y B de la siguiente gráfica.

¹⁷ Todos los beneficios se deben expresar en pesos constantes del año de evaluación.

¹⁸ Al ahorro en CGV también se le conoce como excedente del consumidor.



Donde:

- A es el beneficio por reducción del CGV de usuarios actuales (tránsito normal de la red relevante)
- B es el beneficio por menor CGV de usuarios nuevos (tránsito generado)

Es necesario estimar el beneficio por la reducción del CGV, tanto el directo como el indirecto.

- 1) **Directo:** el ahorro que obtienen los usuarios de la carretera del proyecto. Corresponde al tránsito normal en el proyecto y el tránsito desviado.
- 2) **Indirecta:** la reducción del CGV de los usuarios del resto de la red relevante como resultado de la reducción de la congestión por el desvío de tránsito a la nueva carretera. Corresponde al tránsito remanente en los tramos de la red relevante distintos a los del proyecto.

Los beneficios por ahorro en CGV, tanto directos como indirectos, se calculan usando los CGVs obtenidos para la situación sin proyecto (CGV_0) y la situación con proyecto (CGV_1). Estos representan el CGV anual total por tramo j . Por lo tanto, el costo generalizado de viaje total para cada año t en toda la red relevante, tanto para la situación sin proyecto ($CGV_{0,t}$) como con proyecto ($CGV_{1,t}$), se calcula de la siguiente forma:

$$CGV0_t = \sum_{j=1}^n CGV0_{t,j}$$

$$CGV1_t = \sum_{j=1}^n CGV1_{t,j}$$

Donde:

- $CGV_{t,j}$ es el costo generalizado de viaje total para el año t en tramo j

Finalmente, el beneficio total por ahorro en CGV para cada año es:

$$\Delta CGV_t = CGV0_t - CGV1_t$$

b. Cuantificación y Valoración del valor de rescate

El valor de rescate de un proyecto de infraestructura carretera es equivalente al 100% del costo total de inversión, a precios constantes, al final del último año del horizonte de evaluación.

3.4.3 Cálculo de los indicadores de rentabilidad

Para evaluar proyectos de carreteras se utilizan los indicadores de Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Tasa de Rendimiento Inmediata (TRI).

Se asume que este tipo de proyectos tienen una demanda y beneficios crecientes en el tiempo. Por lo tanto en estos proyectos el VPN y la TIR serán más rentables conforme se amplíe el horizonte de evaluación. Por esta razón **la TRI se convierte en el indicador más importante**, ya que indicará el momento óptimo para ejecutar el proyecto.

a. Valor Presente Neto (VPN)

El VPN es la suma de los flujos netos anuales, descontados por la tasa social. Para el cálculo del VPN, tanto los costos como los beneficios futuros del proyecto son descontados, utilizando la tasa social para su comparación en un punto en el tiempo o en el "presente". Si el resultado del VPN es positivo, significa que los beneficios derivados del proyecto son mayores a sus costos. Alternativamente, si el resultado del VPN es negativo, significa que los costos del proyecto son mayores a sus beneficios.

La fórmula del VPN es:

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

- B_t son los beneficios totales en el año t
- C_t son los costos totales en el año t
- $B_t - C_t$ es el flujo neto en el año t
- n es el número de años en el horizonte de evaluación
- r es la tasa social de descuento
- t es el año calendario, en donde el año 0 será el inicio de las erogaciones

Dependiendo del valor que se obtenga para el VPN se pueden tomar distintas decisiones.

- Cuando el VPN es negativo el proyecto no debe llevarse a cabo, ya que la suma actualizada de sus beneficios no resulta suficiente para compensar la suma descontada de sus costos.
- Cuando el VPN es positivo el proyecto debe realizarse. En este caso debe evaluarse la TRI para decidir el momento óptimo de inicio. Adicionalmente es necesario decidir si el proyecto se realiza con financiamiento público o bajo algún esquema de Asociación Público Privada.

b. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR se define como la tasa de descuento que hace que el VPN de un proyecto sea igual a cero. Lo anterior es económicamente equivalente a encontrar su punto de equilibrio, es decir, el valor presente de los beneficios netos del proyecto son iguales a cero y se debe comparar contra una tasa de retorno deseada.

La TIR se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula¹⁹:

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

Dónde:

- B_t son los beneficios totales en el año t
- C_t son los costos totales en el año t
- $B_t - C_t$ es el flujo neto en el año t
- n es el número de años en el horizonte de evaluación
- TIR es la Tasa Interna de Retorno
- t es el año calendario, en donde el año 0 será el inicio de las erogaciones

c. Tasa de Rendimiento Inmediata (TRI)

La TRI es un indicador de rentabilidad que permite determinar el momento óptimo para la entrada en operación de un proyecto con beneficios crecientes en el tiempo. A pesar de que el VPN sea positivo, en algunos casos puede ser preferible postergar su ejecución.

La TRI para cada año se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula²⁰:

$$TRI_t = \frac{B_{t+1} - C_{t+1}}{I_t}$$

¹⁹ Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión.

²⁰ Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión.

Dónde:

- B_{t+1} son los beneficios totales en el año $t+1$
- C_{t+1} son los costos totales en el año $t+1$
- I_t es el monto total de inversión valuado al año t (inversión acumulada hasta el periodo t)
- t es el año anterior al primer año de operación
- $t+1$ es el primer año de operación

Se asume que el proyecto se lleva a cabo en un sólo año. Por lo tanto, para el caso de proyectos con duración mayor se deben actualizar los montos de inversión al año inmediato anterior a la puesta en operación utilizando la tasa de descuento social de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$I_0 = I_1(1+r)^n + I_2(1+r)^{n-1} + I_3(1+r)^{n-2} + \dots + I_n$$

En caso de que el proyecto se ejecute en n años.

Para calcular correctamente la TRI puede ser necesario realizar la anualización de los costos²¹. Esto es con el fin de evitar que los beneficios netos calculados no sean crecientes en el tiempo. Cuando los costos de mantenimiento se elevan de forma importante en algún periodo, como suele suceder con las reconstrucciones, los beneficios netos podrían decrecer de un año al siguiente. Lo anterior provocaría errores en la estimación de la TRI.

Finalmente, el momento óptimo para la entrada en operación de un proyecto cuyos beneficios son crecientes en el tiempo, es el primer año en que la TRI es igual o mayor que la tasa social de descuento.

En el ejemplo siguiente, el primer año en el que la TRI es mayor a la tasa de descuento (12%) es en 2015; si la carretera está planeada para construirse en 3 años, entonces el mejor momento para iniciar es en 2012.

Año | TRI

²¹ En el anexo "Anualización de los costos de mantenimiento y operación" se puede consultar el método de cálculo.

2013	11.2%
2014	11.7%
2015	12.1%
2016	12.4%

3.4.4 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad consiste en evaluar en qué proporción cambian los resultados del proyecto como consecuencia del cambio en las variables relevantes del modelo. Ésto se hace modificando los valores de las variables más relevantes del modelo y ver el efecto que producen en los indicadores de rentabilidad. De esta forma se puede evaluar la magnitud del impacto en la rentabilidad que resulte de una desviación.

El análisis de sensibilidad debe hacerse cambiando una variable a la vez y observando los efectos en el VPN, TIR y TRI. Para proyectos de carreteras se recomienda hacer los siguientes análisis aunque, dependiendo de las particularidades del proyecto y a consideración del evaluador, podrían realizarse otros adicionales.

- Incremento en el monto de inversión
- Extensión del periodo de ejecución del proyecto en un año
- Incremento en los costos de mantenimiento y operación
- Reducción en el TDPA anual proyectado
- Porcentaje de incremento en el monto de inversión que hace que el VPN sea igual a cero
- Porcentaje de reducción en los beneficios que hace que el VPN sea igual a cero

El incremento o reducción de la variable en cuestión debe hacerse en proporciones de 10%, 20% y 30%.

3.4.5 Análisis de riesgos

Deberán identificarse los principales riesgos asociados al proyecto a fin de analizar sus impactos en las etapas de ejecución y operación. Dichos riesgos, se clasificarán con base en la factibilidad de su ocurrencia y se analizarán sus impactos sobre la ejecución y la operación del proyecto en cuestión.

Los riesgos deben incluir, por lo menos, aquellos que resulten del análisis de sensibilidad y del análisis de los agentes económicos involucrados. Adicionalmente, deberán enlistarse las medidas de mitigación de los riesgos identificados.

3.5 Conclusiones y recomendaciones

Las conclusiones y recomendaciones buscan exponer de forma clara y precisa la conveniencia de realizar el proyecto, son el resultado de la evaluación y se relacionan principalmente con dos aspectos:

- Indicadores de rentabilidad: ¿Cuáles son los valores obtenidos del VPN, TIR y TRI? ¿Qué representan para el proyecto? ¿Cómo se comportan en el análisis de sensibilidad? ¿Cuál es el momento ideal para ejecutar el proyecto de acuerdo a la TRI? Considerando lo anterior ¿es conveniente llevar a cabo el proyecto?
- Análisis de riesgos: ¿Cuáles deberían ser las medidas de mitigación necesarias o aspectos a observar durante las etapas de ejecución y operación?

4. Anexos

4.1 Clasificación y Características de las Carreteras

De acuerdo al Instituto Mexicano del Transporte, la clasificación de las carreteras de acuerdo a sus características es la siguiente. Se considera que los tipos E y D son caminos rurales, C son alimentadores, B y A corresponde a carreteras.

Concepto		Unidad	Tipos de carreteras																													
			E					D					C					B					A									
TDPA en el horizonte de proyecto		Veh/día	Hasta 100					100 a 500					500 a 1,500					1,500 a 3,000					más de 3,000									
Terreno	Montañoso		■					■					■					■					■									
	Lomerío		■					■					■					■					■									
	Plano		■					■					■					■					■									
Velocidad de proyecto	Km/h		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70	40	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100	110	60	70	80	90	100	110
Distancia de visibilidad de parada	m		30	40	55	75	95	30	40	55	75	95	40	55	75	95	115	135	155	55	75	95	115	135	155	175	75	95	115	135	155	175
Distancia de visibilidad de rebase	m		Na	Na	Na	Na	Na	135	100	225	270	315	180	225	270	315	360	405	450	225	270	315	360	405	450	495	270	315	360	405	450	495
Grado máximo de curvatura	°		60	30	17	11	7.5	60	30	17	11	7.5	30	17	11	7.5	5.5	4.25	3.25	17	11	7.5	5.5	4.25	3.25	2.75	11	7.5	5.5	4.25	3.25	2.75
Curvas verticales	K cresta	m/%	4	7	12	23	36	3	4	8	14	20	4	8	14	20	31	43	57	8	14	20	31	43	57	72	14	20	31	43	57	72
	K columpio	m/%	4	7	10	15	20	4	7	10	15	20	7	10	15	20	25	31	37	10	15	20	25	31	37	43	15	20	25	31	37	43
	Longitud mínima	m	20	30	30	40	40	20	30	30	40	40	30	30	40	40	50	50	60	30	40	40	50	50	60	60	40	40	50	50	60	60
Pendiente gobernadora	%		9					8					6					5					4									
			7					6					5					4					3									
			Na					Na					Na					Na					Na									
Pendiente máxima	%		13					12					8					7					6									
			10					9					7					6					5									
			7					6					5					4					4									
Ancho de calzada	m	4.0					6.0					6.0					7.0					A2	A4	A4S								
		7.0					2 x 7.0					2 x 7.0					7.0	2 x 7.0	2 x 7.0													
Ancho de corona	m	4.0					6.0					7.0					9.0					12.0	22.0	2 x 11.0								
Ancho de acotamientos	m	Na					Na					0.5					1.0					2.5	2.0	5								
Ancho de faja separadora central	m	Na					Na					Na					Na					Na	Na	ND								
Bombeo	%	3					3					2					2					ND	ND	ND								
Sobrelevación máxima	%	10					10					10					10					ND	ND	ND								

Fuente: *Un análisis económico sobre el uso del concepto de confiabilidad, en relación con algunos elementos del proyecto geométrico de carreteras.* IMT, 2008.

4.2 Nivel de Servicio

Para medir la calidad del flujo vehicular se usa el nivel de servicio, el cual es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación del flujo vehicular, y la percepción de los automovilistas y/o pasajeros. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad, el tiempo de recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial. Los análisis se realizan bajo condiciones prevalecientes en el tramo en estudio, es decir, el estado del tiempo, las condiciones del pavimento y la familiaridad de los usuarios con la red vial.

De los factores que afectan el nivel de servicio se distinguen tres tipos:

1. **Condiciones de la infraestructura vial:** Son las características físicas de la infraestructura, tales como el número y ancho de carriles, control de accesos, si está o no dividida, la distancia libre lateral, el ancho de acotamientos, el tipo de terreno (pendientes), etc.
2. **Condiciones del tránsito:** Son los factores relacionados con el flujo vehicular, tales como la velocidad, el volumen, la composición vehicular, los movimientos de entrecruzamiento o direccionales, la distribución direccional en carreteras de dos carriles, la distribución por carril en carreteras de carriles múltiples, etc.
3. **Condiciones de los controles:** Hace referencia a los dispositivos para el control de tránsito, tales como los semáforos, las señales restrictivas y las velocidades límites.

El Manual de Capacidad Vial 2000 (HCM por sus siglas en inglés) editado por el Departamento de Investigación del Transporte (TRB por sus siglas en inglés) ha establecido seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E y F, que van del mejor al peor, los cuales se definen según las condiciones de operación.

En función del nivel de servicio estará definido el número de vehículos por unidad de tiempo que puede admitir la carretera, al cual se le denomina flujo de servicio. Este flujo va aumentando a medida que el nivel de servicio va siendo de menor calidad, hasta llegar al nivel E, o capacidad del tramo. Más allá de este nivel se registrarán condiciones más desfavorables y el flujo de servicio ya no podrá aumentar más. Un indicador primordial para valorar el grado de utilización de la capacidad de un sistema vial, así como su nivel de servicio, es la relación volumen capacidad (v/c).

El análisis que comúnmente se realiza, sirve para determinar el efecto de los factores sobre la capacidad del tramo carretero, y para determinar el flujo de servicio que corresponde a un nivel de servicio dado. Los análisis de capacidad se realizan aislando diversas partes del sistema vial o dividiendo los tramos de acuerdo con sus características físicas, es decir, se trata de buscar en cada una de las partes, condiciones uniformes, por lo tanto, segmentos con condiciones prevalecientes diferentes tendrán capacidades diferentes.

Para determinar el nivel de servicio, se utiliza el software especializado del TRB (HCS por sus siglas en inglés), al cual se alimentan las condiciones del tramo y arroja como resultado el nivel de servicio en el que opera. Para conocer el funcionamiento del HCS se sugiere referirse al Manual del Usuario del sistema.

Con este modelo computacional se pueden analizar carreteras de carriles múltiples, carreteras de dos carriles, calles urbanas, intersecciones sin semáforos e intersecciones con semáforos. Según el tipo de infraestructura, los niveles de servicio se definen como sigue:

Nivel de Servicio	Carreteras de carriles múltiples	Carreteras de dos carriles (Adicional a carreteras de carriles múltiples)	Intersecciones con semáforos
A	<i>Representa circulación a flujo libre. Los usuarios están exentos de la presencia de otros en la circulación. Poseen altísima libertad para elegir su velocidad y maniobrar dentro del tránsito. El nivel de comodidad y conveniencia es excelente.</i>	<i>Los conductores pueden viajar a la velocidad deseada. La frecuencia de rebase es alta.</i>	<i>Operación con demoras muy bajas, menores a 10 segundos por vehículo. Sincronía favorable y ciclos cortos. La mayoría de los vehículos llegan durante la fase verde y no se detienen.</i>
B	<i>Está dentro del rango de flujo libre, aunque se empiezan a observar otros vehículos en la circulación. La libertad de selección de velocidad no se afecta, aunque disminuye un poco la libertad de maniobra. El nivel de comodidad y conveniencia es bueno.</i>	<i>La demanda por rebase es más significativa. Por encima de esta tasa de flujo, el número de grupos vehiculares se incrementa significativamente.</i>	<i>Operación con demoras entre 10 y 20 segundos por vehículo. Buena sincronía y ciclos cortos. Algunos vehículos comienzan a detenerse.</i>

Nivel de Servicio	Carreteras de carriles múltiples	Carreteras de dos carriles (Adicional a carreteras de carriles múltiples)	Intersecciones con semáforos
C	<i>Significa que el flujo es estable pero marca el comienzo de afectaciones significativas en la operación, la velocidad se ve afectada por la presencia del tránsito y la libertad de maniobra comienza a ser restringida, y el nivel de comodidad y conveniencia desciende notablemente.</i>	<i>Aumenta notablemente la formación de grupos de vehículos. Existen más zonas de no rebase, por lo que la capacidad de rebase disminuye. El flujo es estable pero se presenta congestión debido a vehículos que realizan maniobras de vuelta o a la circulación de vehículos lentos.</i>	<i>Operación con demoras entre 20 y 35 segundos por vehículo. La progresión del tránsito es regular y algunos ciclos empiezan a malograrse.</i>
D	<i>Representa elevadas densidades de tránsito, velocidades y libertad de maniobra seriamente restringidas, un nivel de comodidad y conveniencia bajo para el usuario y formación de pequeñas colas.</i>	<i>El flujo vehicular es inestable. Los volúmenes de tránsito son altos y las maniobras de rebase se tornan difíciles.</i>	<i>Operación con demoras entre 35 y 55 segundos por vehículo. Sincronía regular y ciclos largos. Las demoras pueden deberse a llegadas en fase roja o relaciones v/c altas. Muchos vehículos se detienen.</i>
E	<i>Significa que el funcionamiento está cerca del límite de su capacidad, la velocidad de operación es baja, las maniobras son difíciles, los niveles de comodidad y conveniencia son extremadamente bajos y la circulación es inestable, produciéndose colapsos frecuentes.</i>	<i>El rebase es prácticamente imposible y los grupos vehiculares son intensos a medida que se encuentran vehículos lentos u otras interrupciones.</i>	<i>Operación con demoras entre 55 y 80 segundos por vehículo. Las demoras son causadas por sincronías pobres, ciclos muy largos y relaciones v/c muy altas.</i>

Nivel de Servicio	Carreteras de carriles múltiples	Carreteras de dos carriles (Adicional a carreteras de carriles múltiples)	Intersecciones con semáforos
<i>F</i>	<i>Significa que existen condiciones de flujo de tránsito forzado, los rebases se vuelven muy difíciles, las velocidades de operación son extremadamente bajas y se forman colas, por lo que la mayor parte del recorrido transcurre siguiendo grupos de vehículos.</i>	<i>Representa flujo congestionado con demandas vehiculares que exceden la capacidad. Las velocidades son muy variables.</i>	<i>Operación con demoras superiores a los 80 segundos por vehículo. Sincronía muy pobre y ciclos demasiado largos. Los flujos de llegada exceden la capacidad de los accesos de la intersección, lo que ocasiona congestionamiento y saturación.</i>

Fuente: Cal y Mayor, y Cárdenas, 2007

4.3 Nota Técnica sobre Mantenimiento

Mantenimiento y conservación por tipo de superficie de pavimento²².

4.3.1 Asfalto

Nivel de Mantenimiento	Descripción	Periodicidad
<i>Rutinario</i>	<i>Mantenimiento básico que incluye la limpieza general y reparación de pequeños desperfectos de la superficie de rodamiento del tramo.</i>	<i>Anual desde el inicio de operaciones.</i>
<i>Periódico</i>	<i>Aplicación periódica de dos tipos de conservación:</i> 1) <i>Bacheo general y riego de sello</i> 2) <i>Tendido de carpeta.</i>	1) <i>Cada 4 años</i> 2) <i>Cada 8 años</i>

²² Fuente: SCT

Nivel de Mantenimiento	Descripción	Periodicidad
<i>Reconstrucción</i>	<i>Consiste en reparar y reponer toda la estructura del pavimento.</i>	<i>Cada 15 años aproximadamente.</i>

Principales conceptos a considerar

<i>Rutinario</i>	<i>Terracerías</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Desyerbe</i> ▪ <i>Relleno de deslaves</i> ▪ <i>Derrumbes</i>
	<i>Obras de drenaje</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Limpieza de alcantarillas</i> ▪ <i>Retiro de animales muertos</i> ▪ <i>Recolección de basura</i> ▪ <i>Reposición de alcantarilla</i> ▪ <i>Reposición y limpieza de colectores</i> ▪ <i>Concreto hidráulico en reparaciones</i>
	<i>Pavimentos</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Bacheo profundo aislado</i> ▪ <i>Bacheo superficial aislado</i> ▪ <i>Riego de protección</i> ▪ <i>Renivelaciones aisladas</i> ▪ <i>Tratamiento superficial monocapa</i> ▪ <i>Sellado de grietas</i>
<i>Periódico (bacheo y riego de sello)</i>	<i>Señalamiento</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Pintado de raya y reposición de señales</i>
	<i>Obras de drenaje y señalamiento</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Pintado de raya</i> ▪ <i>Violetas e indicadores de alineamiento</i>
	<i>Pavimentos</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Bacheo profundo aislado</i> ▪ <i>Bacheo superficial aislado</i> ▪ <i>Carpeta de un riego con emulsión modificada con polímeros</i>

Periódico (sobrecarpeta)	Obras de drenaje y señalamiento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mampostería de 3a clase ▪ Cunetas de concreto hidráulico de F'C= 150 Kg./Cm² ▪ Pintado de raya ▪ Vialitas e indicadores de alineamiento
Pavimentos		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bacheo profundo aislado ▪ Bacheo superficial aislado ▪ Carpeta de concreto asfáltico con asfalto grado PG
Reconstrucción	Terracerías	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Arrope de taludes ▪ Formación y compactación de terraplenes ▪ Compactación de la cama de los cortes
Obras de drenaje y señalamiento		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mampostería de 3a clase ▪ Cunetas de concreto hidráulico de F'C= 150 Kg./Cm² ▪ Concreto hidráulico de F'C= 200 Kg./Cm² en reparaciones ▪ Pintado de raya ▪ Vialitas e indicadores de alineamiento
Pavimentos		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Construcción de subbase ▪ Recuperación y formación de base ▪ Construcción de base estabilizada con cemento Portland ▪ Carpeta de concreto asfáltico con asfalto grado PG ▪ Carpeta de un riego con emulsión modificada con polímeros

4.3.2 Concreto Hidráulico

<i>Tipo de Mantenimiento</i>	<i>Descripción</i>	<i>Periodicidad</i>
<i>Rutinario</i>	<i>Tiene como objetivo corregir rápidamente con trabajos de mantenimiento menor daños ligeros en la superficie de rodamiento, retiro de derrumbes en la misma, azolve de drenaje y crecimiento de la hierba al costado del camino, con el fin de evitar que los daños progresen e incrementen el deterioro y fatiga natural de la superficie.</i>	<i>Anual desde el inicio de operaciones.</i>
<i>Periódico</i>	<i>Comprende la limpieza de juntas, calafateo de agrietamientos y el fresado de superficie para remarcar la macrotextura a la misma, a fin de eliminar el pulido de la superficie y mejorar la seguridad al usuario.</i>	<i>Cada 5 años.</i>
<i>Reconstrucción</i>	<i>Lo integran los trabajos de reparación mayor de losas de concreto hidráulico, entre los cuales se consideran rebajar orillas de la losa cuando se alabea con la concavidad hacia arriba, inyecciones de mortero fluido para llenar huecos en caso de haber indicios de fenómenos de socavación, bombeo o, en caso necesario, sustitución de losas cuando tramos específicos presenten daños severos ya que es más conveniente demolerlas y construir una nueva losa.</i>	<i>Cada 10 años</i>

Principales conceptos a considerar

Reparación superficial de losas de concreto hidráulico	Obras de drenaje y señalamiento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cunetas de concreto hidráulico de F'C= 150 Kg./Cm² ▪ Pintado de raya ▪ Vialitas e indicadores de alineamiento
	Pavimentos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Limpieza de juntas ▪ Sellado de grietas ▪ Inyecciones de mortero fluido en tramos aislados ▪ Fresado superficie para remarcar macrotextura ▪ Sustitución de losas en tramos aislados

4.4 Anualización de los costos de mantenimiento y operación

La anualidad de los costos de mantenimiento y operación se calcula utilizando la siguiente fórmula.

$$VPC = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

- t es el año, 1 se refiere al primer año de operación
- n es el número de años de la etapa de operación del proyecto
- C_t es costo de mantenimiento y operación en el año t
- r es la tasa social de descuento

Una vez que se tiene el VPC, se calcula la anualidad (A) de la siguiente manera:

$$A = \frac{VPC}{\frac{1 - \frac{1}{(1+r)^n}}{r}}$$

De acuerdo a lo anterior, el flujo neto en cada año es igual a los beneficios totales menos la anualidad de los costos (A). Los flujos netos calculados de esta forma se usan para obtener la TRI.

5. Glosario

Para efectos del presente documento se entenderá por:

- i. **Beneficio social:** es el incremento en el bienestar de la sociedad derivado de la ejecución de un PPI.
- ii. **Costo de Operación Vehicular (COV):** mide en términos monetarios el consumo que le representa al usuario circular por una carretera. La unidad con que se expresa es pesos por kilómetro recorrido (\$/km).
- iii. **Costo de oportunidad:** se define como lo que se deja ganar en la mejor alternativa desechada²³.
- iv. **Costos directos:** son aquellos costos relacionados con la producción y el consumo de bienes y/o servicios producidos por el programa o proyecto de inversión.
- v. **Costos indirectos:** son aquellos costos derivados de la ejecución y operación de un PPI y que tienen un impacto en la producción y consumo de bienes y/o servicios en mercados relacionados con el mismo.
- vi. **Costo Generalizado de Viaje (CGV):** es el costo en que incurre el usuario en transportarse de un lugar a otro. El método de cálculo incluye la valoración del tiempo empleado en el viaje o el tiempo de recorrido, así como los costos de operación de vehículos (COV).
- vii. **Distribuidor vial:** es la intersección de dos o más vías en la que se utilizan puentes.
- viii. **Entronque vial:** es la intersección a nivel de dos o más vías, es decir, sin la existencia puentes.

²³ CEPEP, Metodología General para la Evaluación de Proyectos, pg. 17.

- ix. **Etapa de ejecución:** lapso en el cual se desarrolla el PPI, incluyendo la totalidad de sus componentes, el cual inicia con la licitación y contratación y concluye con la puesta en operación del proyecto de inversión.
- x. **Etapa de operación:** lapso en el cual se generan los costos de operación y beneficios de un PPI. El periodo que comprende a la etapa de operación es equivalente a la vida útil.
- xi. **Horizonte de Evaluación:** se refiere a la vida útil del proyecto de inversión más el tiempo de inversión expresado en años.
- xii. **Libramiento.** carretera perimetral a una zona urbana cuya función es evitar que los vehículos que no lo requieren transiten a través de dicha zona.
- xiii. **Proyecto de inversión:** son las acciones que implican erogaciones de gasto de capital destinadas a obra pública en infraestructura, así como la construcción, adquisición y modificación de inmuebles, las adquisiciones de bienes muebles asociadas a estos proyectos, y las rehabilitaciones que impliquen un aumento en la capacidad o vida útil de los activos de infraestructura e inmuebles²⁴.
- xiv. **Tasa social de descuento:** es la tasa a la cual se descuentan los flujos de efectivo futuros de un programa o proyecto de inversión públicos.
- xv. **VOC-MEX 3.0:** es un programa de cómputo basado en el modelo VOC desarrollado por el Banco Mundial, el cual fue adaptado a las características de los vehículos que circulan por la red carretera de México. Se utiliza para el cálculo del COV.
- xvi. **Vida útil:** es la duración estimada que un activo puede tener, cumpliendo correctamente con las funciones para las que fue creado. Es equivalente al período de la etapa de operación.

²⁴ Lineamientos para la Elaboración y Presentación de los Análisis Costo y Beneficio de los Programas y Proyectos de Inversión, Definiciones

6. Bibliografía

Campos, Javier, and Ginés de Rus. "Evaluación Económica de Proyectos de Transporte: El Modelo de Referencia." *Evaluación Económica de Proyectos de Transporte*. CEDEX, 6 Feb 2009. Web. 20 Ene 2010. <www.evaluaciondeproyectos.es>.

Guide to Cost Benefit Analysis in Transport Canada. Economic Evaluation and Cost Recovery, 1994.

de Rus Mendoza, Ginés, Ofelia Betancor Cruz, and Javier Campos Méndez. *Manual de evaluación económica de proyectos de transporte*. Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo, 2006.

Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos. *Guía general para la preparación y presentación de estudios de evaluación socioeconómica de proyectos carreteros*. Segunda Edición. México: Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C., Nov 2004.

Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos. *Guía general para la presentación de estudios de evaluación socioeconómica de programas y proyectos de inversión*. México: Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C., Sep 2008.

Guide to cost-benefit analysis of investment projects. Evaluation Unit, DG Regional Policy, European Commission, 2008.

Torres, Guillermo, y Hernández, Salvador. "Estimación del valor del tiempo de los ocupantes de los vehículos que circulan por la red carretera de México, 2010." NOTAS, Instituto Mexicano del Transporte. 123 (2010).

Cal y Mayor, Rafael, y Cárdenas, James. *Ingeniería de Tránsito*. 8a. Alfaomega, 2007

Rivera, César, y Mendoza, Alberto. "Costo-beneficio de medidas de seguridad." NOTAS, Instituto Mexicano del Transporte 117. (2009). 1 Jun 2010.

Torres, Guillermo, y Hernández, Salvador. "Propuesta metodológica para la estimación del valor del tiempo de los usuarios de la infraestructura carretera en México, el caso del transporte de pasajeros". 291. Sanfandila, Qro.: Instituto Mexicano del Transporte, 2006.

Soto, Rafael, Mendoza, Alberto, y Gutiérrez, José Luis. *Un análisis económico sobre el uso del concepto de confiabilidad, en relación con algunos elementos del proyecto geométrico de carreteras*. México. Instituto Mexicano del Transporte, 2008.

Torres, Guillermo, Salvador Hernández, José Arturo Pérez, and Martha Lelis. "Modernización de Caminos Rurales: La Evaluación Económica como Herramienta en la Toma de Decisiones." 216. Sanfandila, Oro.: Instituto Mexicano del Transporte, 2002.

Torres, Guillermo, y Pérez, Jose A. "Métodos de asignación de tránsito en redes regionales de carreteras: dos alternativas de solución". 214. Sanfandila, Oro.: Instituto Mexicano del Transporte, 2002.

