



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“ESTADO DEL ARTE Y PROSPECTIVA DE LA  
EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA EN  
PROYECTOS CARRETEROS”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:**

**DIEGO LEOPOLDO CISNEROS COMBONI**

**DIRECTOR: ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ**

**AGOSTO 2013**





## **“Estado del arte y prospectiva de la evaluación socioeconómica en Proyectos Carreteros”**

### ÍNDICE DE CONTENIDO

<i>INTRODUCCIÓN</i> .....	3
<i>1. EL PROBLEMA: LA EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE PROYECTOS CARRETEROS</i> .....	4
1.1.    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
1.2.    OBJETIVOS.....	7
1.3.    JUSTIFICACIÓN. ....	7
1.4.    LIMITACIONES. ....	7
<i>2. HISTORIA DE LAS EVALUACIONES SOCIOECONÓMICAS EN EL SECTOR CARRETERO</i> .....	7
<i>3. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA EN MÉXICO</i> .....	9
<i>4. ESTUDIO DE CASO</i> .....	11
4.1.    RESUMEN EJECUTIVO.....	11
4.3.    DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	35
4.4.    SITUACIÓN CON PROYECTO.....	46
4.5.    EVALUACIÓN DEL PROYECTO .....	47
4.6.    ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD Y RIESGOS .....	52
4.7.    CONCLUSIONES.....	54
<i>5. TENDENCIAS FUTURAS: EVALUACIÓN DE LA COMPETITIVIDAD CARRETERA</i> .....	55
5.1.    INDICADORES DE COMPETITIVIDAD CARRETERA.....	55
5.1.1.    Accesibilidad.....	55
5.1.2.    La seguridad .....	58
5.1.3.    Vulnerabilidad .....	62
5.1.4.    Integración del índice de competitividad. ....	64
<i>6. CONCLUSIONES</i> .....	65
<i>GLOSARIO</i> .....	67
<i>BIBLIOGRAFÍA</i> .....	70



## Introducción

La infraestructura de transporte de un país es el elemento que permite la comunicación física de un país ya que propicia el movimiento de personas y mercancías, contribuyendo de esta manera a la actividad económica, social, política, comercial y familiar. De esta manera, la infraestructura de transporte –las carreteras en este caso concreto–, si bien no genera directamente el desarrollo, es un factor imprescindible para que se realice y a su vez lo estimula. Esto podemos observarlo por los incontables efectos positivos que produce para la población y el territorio.

Una infraestructura carretera bien desarrollada reduce el efecto de la distancia entre las regiones, integra el mercado nacional y permite la conexión a bajo costo con los mercados de otros países y regiones. Además, la calidad y la extensión de las redes de comunicación tienen un impacto significativo en el crecimiento económico y en la reducción de las desigualdades de ingresos y la pobreza. Permite a los empresarios introducir sus productos y servicios al mercado de una manera segura y oportuna, facilita la circulación de los trabajadores a puestos de trabajo más adecuados y muchos otros beneficios.

Estos beneficios nos exhiben el impacto directo que tiene el transporte en el desarrollo social y económico de un país. No obstante, este impacto dependerá directamente de la competitividad específica de la infraestructura de transporte, la cual está determinada tanto por la extensión como por la eficiencia de la misma, factores críticos para el funcionamiento efectivo de una economía.

Del mismo modo, la competitividad de la infraestructura carretera dependerá de la medida en que esta ofrezca un servicio de calidad que cubra las exigencias de la demanda efectiva, la cual está estrechamente ligada al sistema de actividades de la región. Por lo tanto, este servicio debe ajustarse a las circunstancias en las que se encuentra la población ya que su fin es facilitar las actividades humanas que permiten el progreso de la sociedad.

Para poder satisfacer estas exigencias deben actualizarse y modernizarse los modos y las herramientas empleadas para el desarrollo de caminos. Por modos y herramientas nos referimos a todas aquellas que se utilizan en cada una de las 5 etapas de una carretera: planeación, proyecto ejecutivo, construcción, operación y administración estratégica. Actualmente, estas deben estar orientadas a atender la creciente demanda suscitada por el desarrollo tecnológico y por la globalización.

Para tener una infraestructura competitiva se debe iniciar con una metodología de planeación basada en una evaluación socioeconómica de visión sistémica para que la infraestructura se ajuste a la realidad de la actividad del país y así sea verdadero estímulo de desarrollo económico e integración social. El contenido de la presente tesis se centra en esta herramienta de planeación de los proyectos carreteros: la evaluación socioeconómica.

Termino esta introducción invitando al lector a conocer el estado del arte de la evaluación socioeconómica en el sector carretero de México. Con este trabajo aspiro a mostrar la trayectoria histórica y el papel que desempeña actualmente la evaluación socioeconómica en el desarrollo carretero de México. Presentaré como ejemplo ilustrativo el análisis costo-beneficio de la carretera Durango-Mazatlán. Finalmente explicaré a nivel de propuesta algunas áreas



potenciales que pueden enriquecer la evaluación socioeconómica con una visión multivariada para que pueda ser una herramienta efectiva y útil en la planeación de la infraestructura carretera.

## 1. El problema: La evaluación socioeconómica de proyectos carreteros

Como observamos anteriormente, la infraestructura carretera es una condición necesaria para el desarrollo económico, pero el diseño de las inversiones para el desarrollo carretero debe comprender pruebas de la sostenibilidad financiera del proyecto, así como una demostración de su importancia para la economía en general ya que la inversión de una misma cantidad de capital público puede estar asociada a distintas tasas de crecimiento y tener distintos niveles de impacto para la población de un país. Por ello, es necesario tener información útil para comparar alternativas y así poder realizar una buena inversión.

Esta información podemos obtenerla mediante una evaluación socioeconómica que es el medio indicado para rechazar o aceptar un proyecto según su factibilidad, tanto social como económica, así como para establecer prioridades. Es una herramienta de planeación que ayuda a tomar estas decisiones, al permitir comparar el beneficio social esperado con el costo de oportunidad de la inversión.<sup>1</sup>

Con esta visión un poco más amplia de lo que es una evaluación socioeconómica y reconociendo el papel que cumple en el desarrollo de un proyecto carretero, quisiera hacer un énfasis, para claridad del lector, en la diferencia entre una evaluación financiera y una evaluación socioeconómica. La evaluación financiera es la que permite determinar si el proyecto es capaz de generar un flujo de recursos positivos y alcanzar cierta tasa de rentabilidad esperada. La evaluación socioeconómica es la valoración del proyecto desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto con un acento especial en el beneficio social. En otras palabras, la evaluación socioeconómica responde a la pregunta: ¿qué gana la sociedad, en términos netos cuando se lleva a cabo un proyecto de inversión determinado?

Con esto, la evaluación socioeconómica ya no es simplemente una herramienta para los que intervienen en el proyecto ejecutivo de una carretera –que buscan la optimización en la relación costo-beneficio de un proyecto determinado–, sino que es la herramienta idónea para la toma de decisiones en la planeación del conjunto de la infraestructura carretera de un país. Este es un área de oportunidad grande, ya que la escasez de recursos y la importancia de que los diferentes proyectos estén alineados con la visión del sistema de transporte plantean la necesidad de decidir cuáles son prioritarios, en función del valor agregado y de los beneficios que aportan a la sociedad, así como la manera óptima en que deberán ejecutarse.

---

<sup>1</sup>Rus Mendoza, G., O. Betancor Cruz y J. Campos Méndez (2006). Manual de evaluación económica de proyectos de transporte. Washington D.C.: Departamento de Desarrollo Sostenible, BID.



Para ello, la evaluación socioeconómica debe ser el producto de un trabajo multidisciplinario que siga un análisis multivariado tomando en cuenta múltiples indicadores que representen el impacto social de la infraestructura carretera con el fin de optimizar el beneficio a la sociedad.

## 1.1. Planteamiento del problema

### La necesidad de una metodología de medición del beneficio real a la sociedad

La metodología utilizada en México actualmente para la integración del proyecto ejecutivo de una carretera comprende 4 grandes etapas: planeación, selección de ruta definitiva, proyecto del trazo definitivo y proyecto ejecutivo. La evaluación costo beneficio del proyecto se encuentra en la etapa de planeación como un estudio más junto al Estudio Geotécnico, el Estudio de Tránsito, el Anteproyecto de la Carretera, el Estudio de Factibilidad Técnica, Ambiental y Legal. Este estudio costo-beneficio obtiene como resultado si un proyecto carretero es o no rentable lo cual, para cualquier tipo de proyecto, es imprescindible determinarlo.

Sin embargo, un proyecto carretero –y por lo general cualquier proyecto de infraestructura de transporte–, debido a su naturaleza, será rentable siempre y cuando sea utilizado en un porcentaje determinado de su capacidad de transporte. Esta hipótesis se justifica simplemente –mas no exclusivamente– por el peso de la acumulación de horas hombre rescatadas gracias al ahorro en tiempos de viaje a lo largo de su vida útil. Con esta suposición, podría decirse que la rentabilidad económica de un proyecto carretero se reduce a evaluar si la proyección de la demanda cubrirá un porcentaje determinado de la capacidad del sistema en cuestión.

La estructura de la metodología actualmente utilizada ciertamente determina la factibilidad de un proyecto carretero y su rentabilidad. No obstante, la planeación de un proyecto generalmente parte del supuesto de tener comprobada la efectiva demanda de una determinada infraestructura carretera. Por lo tanto, la evaluación socioeconómica, con el procedimiento actualmente utilizado, no es una herramienta de planeación que brinde información relevante para una toma de decisiones adecuada para la infraestructura carretera.

### La limitación del índice de competitividad carretera.

Hasta el día de hoy la competitividad de la infraestructura carretera se ha medido exclusivamente con un indicador: km de carretera por kilómetro cuadrado de superficie. Como es evidente, este indicador mide exclusivamente la densidad de infraestructura carretera pero no mide el tipo de servicio que esta provee, es decir no considera la calidad del sistema carretero, la accesibilidad, ni la seguridad que esta provee. Este hecho hace que el indicador no sea representativo y por lo tanto poco útil a la hora de medir la competitividad carretera.

Se requiere tener ciertos indicadores estándares cuyos valores representen realmente la calidad que ofrece la infraestructura en una región en términos de seguridad, de eficiencia, de accesibilidad, conectividad, etc. Si se tuvieran unos indicadores estándares que midan estas características, podría hablarse objetivamente de la competitividad de la infraestructura en un lenguaje accesible a todo tipo de personas independientemente de su formación específica.



Además permitiría hacer comparaciones entre el funcionamiento de distintos sistemas carreteros.

### **La cobertura del rezago carretero**

La demanda de infraestructura carretera es un factor que aumenta a una tasa cada vez mayor, sin embargo la construcción de infraestructura carretera no es equivalente a esta demanda. Esto provoca que exista una brecha cada vez mayor entre demanda y cobertura. La problemática relacionada con nuestro tema es el hecho de que la planeación de la inversión en infraestructura carretera sea correctiva a falta de una planeación preventiva, lo cual provoca que no se siga un esquema de programación sistémica incluyente y tenga una alta vulnerabilidad a las presiones políticas en vez de seguir un lineamiento racional basado en resultados.

Es necesario desarrollar una metodología de evaluación socioeconómica que junto a una proyección de demanda cuidadosamente obtenida, brinde también niveles de importancia de proyectos basados en indicadores cuantitativos y cualitativos de beneficio a la sociedad. Con esta especificación de importancia basada en indicadores se puede desarrollar una programación sistémica de la infraestructura carretera con proyectos prioritarios.

### **Características de la red carretera**

Otra problemática que existe en la planeación de la infraestructura carretera es el mantenimiento de las mismas, ya que el nivel de operación de una carretera es el que determina el funcionamiento de las mismas. El beneficio social y económico de una carretera está directamente relacionado con las características físicas de la misma. Parte importante de la agenda de proyectos públicos es el mantenimiento y la modernización de los tramos carreteros, que si bien son parte del ciclo de vida de la carretera deben evaluarse por sí mismos ya que las circunstancias del proyecto no permanecen iguales a las que se tenían inicialmente. La evaluación socio económica de este tipo de proyectos es también fundamental para la planeación de la infraestructura carretera.

### **Accidentabilidad**

Otro factor importantísimo a tomar en cuenta es el índice de accidentabilidad carretero, el cual –se explicará con mayor profundidad más adelante- está relacionado con el punto anterior ya que, si bien la principal causa de accidente automovilístico se encuentra en el conductor (sueño, efectos del alcohol, etc.), las características físicas de la carretera son un factor que también influye y pueden evitar un buen de estos accidentes. El índice de accidentes, por razones obvias, tiene un peso mucho mayor que la afectación económica y debe estudiarse individualmente.



## 1.2. Objetivos.

El objetivo principal de la presente tesis es analizar y presentar el estado del arte de la evaluación socioeconómica de proyectos carreteros en México. Cabe aclarar que la evaluación socioeconómica que será tratada está orientada a proyectos públicos.

Se expondrá como ejemplo caso de estudio el análisis costo-beneficio de la carretera Durango – Mazatlán.

Mencionaré nuevas tendencias de alternativas de indicadores para la evaluación socioeconómica en el sector carretero, daré una breve explicación de los mismos y propondré una metodología para integrar los indicadores con la visión de establecer un índice de competitividad que pueda ser útil para poder priorizar, con fundamentación cuantitativa, los proyectos de inversión.

## 1.3. Justificación.

La presente tesis servirá como base teórica para conocer el estado del arte de la evaluación socioeconómica de proyectos carreteros.

También servirá para fomentar el desarrollo de este campo, la evaluación socioeconómica de proyectos carreteros, útil para la planeación de la infraestructura con una mayor fundamentación social, técnica y económica.

Plantear los fundamentos de un sistema que permita medir con una mayor representatividad la competitividad de la infraestructura carretera.

## 1.4. Limitaciones.

No se desarrollará exhaustivamente la metodología para medir los indicadores propuestos, sino que simplemente se expondrá un esquema general de cada indicador y su forma de medirlo. Una mayor profundización en este campo podría ser objeto de una tesis de maestría o doctorado en ingeniería de sistemas con orientación al análisis multivariado.

## 2. Historia de las evaluaciones socioeconómicas en el sector carretero

El estudio de la evaluación de proyectos de inversión pública se remonta a finales del siglo XIX, cuando el ingeniero y matemático francés, Jules Dupuit abordó la problemática de los ferrocarriles en Francia y el grado de intervención del Estado en este sector, al hacer una comparación entre las concesiones privadas y la gestión del Estado, por medio de las tarifas aplicadas a los usuarios y la eficiencia de la organización estructural.

Dupuit, planteaba que la decisión sobre la conveniencia de apoyar la intervención gubernamental en la economía, debía basarse en un criterio imparcial: “La utilidad pública”. No obstante, que la aportación en materia de evaluación de proyectos cobró importancia en el



**Diego Leopoldo Cisneros Comboni**

sector de ferrocarriles, ésta tuvo un desarrollo lento y con adopción exclusiva a la política de precios de los ferrocarriles y de otros servicios públicos afines (Philippe Poinso, 2012).

El primer impulso formal a la evaluación de proyectos públicos surge en Estados Unidos de Norteamérica con la introducción de la Federal Navigation Act (1936), la cual requería que fuera el Cuerpo de Ingenieros los que llevaran a cabo los proyectos financiados por la Federación, para la mejora de los canales hidráulicos y la justificación de los mismos, donde los beneficios deberían exceder a sus costos.

Por lo que, fue hasta mediados del siglo XX, que los análisis costo-beneficio se comenzaron a utilizar en diversas ciudades estadounidenses para justificar la realización de obras hidráulicas; sin embargo, la realización de estudios costo-beneficio (como se conoce actualmente) se desarrollaría a partir de la Segunda Guerra Mundial, motivado por la necesidad de asignar eficientemente los recursos escasos como consecuencia de los gastos ocasionados por la guerra.

En 1946, el Federal Inter-Agency River Basin Committee designó un subcomité de beneficios y costos para que se formulase principios y procedimientos aceptables para determinar los beneficios y los costos de los proyectos de aprovechamiento de recursos hidráulicos. El subcomité entregó un informe en 1950, llamado Libro Verde, el cual es la base de la evaluación económica de proyectos para el aprovechamiento de las cuencas fluviales en los Estados Unidos (Ministerio de Agricultura Caja de Crédito Agrario Industrial y Minero. Colombia, 1979).

En la década de los 70's del siglo XX, Arnold S. Harberger, profesor de la Universidad de Chicago, considerado como el pionero y padre de las evaluaciones socioeconómicas, desarrolló las bases metodológicas de los análisis costo-beneficio que actualmente se llevan a cabo a nivel mundial, con una fuerte influencia en América Latina en la década de los 80's.

El uso del análisis costo beneficio (ACB) en los Estados Unidos de Norteamérica aumentó significativamente a nivel federal, con la emisión de una orden ejecutiva en 1981 por el presidente Reagan que declaró la inclusión de los análisis del impacto normativo.

En el ámbito de infraestructura carretera España fue uno de los primeros países en aplicar esta metodología, basada en las referencias aplicadas por Francia y Estados Unidos, en un esfuerzo por desarrollar la infraestructura de servicios públicos; el cual se ve concretado con la aplicación de las técnicas del estudio costo-beneficio en el sector transporte, que propone una evaluación de proyectos, para la asignación eficiente de recursos, basado en su rentabilidad económica. Saldaña, Adalberto, (1977).

De esta manera, la metodología para evaluar proyectos no ha tenido grandes cambios con respecto de sus predecesores, así el estudio costo beneficio nace con la idea de demostrar que un proyecto puede realizarse con los recursos financieros disponibles y evaluar la responsabilidad de comprometer dichos recursos en la realización de una obra.



### 3. Situación actual de la evaluación socioeconómica en México

En México, para la evaluación de los proyectos carreteros se utiliza la técnica de estudio costo-beneficio que determina los beneficios y costos asociados a los proyectos obteniéndose a través de los indicadores de rentabilidad (valor presente neto y tasa interna de retorno).

En 1993, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y el Instituto Mexicano del Transporte publicaron el Manual de diseño geométrico del tercer carril de ascenso en carreteras mexicanas de dos carriles, con el fin de generar los criterios y procedimientos a seguir en el análisis del comportamiento operacional de cualquier tramo carretero con las siguientes características: con pendiente igual o superior al 3% y una longitud mayor a 800 metros, con un TDPA de entre 1,500 a 8,000 vehículos (Flores Hernández: 1999), lo anterior funcionó como un primer intento de generar una metodología para la evaluación de proyectos carreteros.

En este primer manual se propone una metodología para determinar la rentabilidad económica de un tramo carretero y se toman en consideración los siguientes elementos:

- a) Un horizonte de evaluación de 10 años.
- b) Sólo se consideran aquellos beneficios obtenidos de la reducción en los costos de operación vehicular por el incremento en la velocidad media de operación de los vehículos automotores.

Esta metodología, excluía otro tipo de beneficios como lo son; las reducciones en los tiempos de viaje de los usuarios y costo de oportunidad en la transportación de productos. Debido a que dentro de la evaluación de la rentabilidad de los proyectos se deben tener muy presente aquellos factores que influyen en la determinación de la velocidad media de operación, mismos como el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), la presencia de baches, topes y otros reductores de velocidad, que obligan a considerar diferentes segmentos, para obtener la rentabilidad de un proyecto (Flores Hernández, 1999).

A partir del 2003, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público introdujo cambios, en el Manual de Normas Presupuestarias de la Administración Pública Federal, cambios mediante los cuales se crea la Unidad de Inversiones de la SHCP, una unidad estratégica y de alto nivel, encargada de evaluar las propuestas de inversión de los proyectos de la administración pública, con lo cual se cumplen dos objetivos; primero vigilar la correcta ejecución del gasto público y dos, vigilar que la ejecución de los proyectos de inversión se lleve a cabo en un contexto de planeación estratégica y de largo plazo (Ramírez-Soberanis, 2010).

Así mismo, se introduce la Cartera de Programas y Proyectos de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, portal aplicativo, mediante el cual se lleva un registro de los proyectos de inversión de la administración pública, que ya han sido evaluados y cuyas rentabilidades han sido probadas.

Actualmente, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público dispone de los “Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 27 de abril del 2012, los cuales establecen la metodología propuesta para el análisis costo beneficio de los proyectos públicos de inversión en México y que involucra:



- a) Realizar un diagnóstico de la situación actual que motiva la realización del proyecto, resaltando la problemática que se pretende resolver; es decir, se realiza un análisis comparativo para cuantificar la diferencia entre la oferta y la demanda del mercado en el cual se llevará a cabo el proyecto.
- b) Analizar la situación esperada en ausencia del proyecto de inversión, el cual incluye optimizaciones, que serían realizadas en caso de no llevar a cabo el proyecto, llevando a cabo un análisis comparativo para cuantificar la diferencia entre la oferta y la demanda con las optimizaciones consideradas y las alternativas que pudieran resolver la problemática, y las razones por las que estas no fueron seleccionadas.
- c) Para la estimación de los beneficios se requiere analizar:
  1. Las velocidades de operación para determinar los tiempos de recorrido en las situaciones con y sin proyecto.
  2. El valor económico del tiempo de los usuarios, de acuerdo con los estudios realizados por el Instituto Mexicano del Transporte; y,
  3. Los beneficios por ahorro en tiempo de viaje de personas y mercancías, y,
  4. Los costos de operación vehicular unitarios empleando el submodelo denominado Vehicle Operating Cost (VOC) que es parte del modelo Highway Development and Management (HDM4) desarrollado por el Banco Mundial.
- d) Obtener los indicadores de rentabilidad, que se calculan a partir de los flujos netos a lo largo de horizonte de evaluación, siendo este de 30 años, con el fin de determinar el beneficio neto y la conveniencia de realizar el proyecto de inversión.

El cálculo de los indicadores de rentabilidad incluye: VPN, TIR, y la TRI; así mismo, se considera un análisis de sensibilidad, a través del cual, se identifican los efectos que ocasionaría la modificación de las variables relevantes sobre los indicadores de rentabilidad del proyecto, comparándolo con una tasa de descuento del 12%.
- e) Análisis de sensibilidad, a través del cual, se deberán identificar los efectos que ocasionaría la modificación de las variables relevantes sobre los indicadores de rentabilidad del programa o proyecto de inversión: el VPN, la TIR y, en su caso, la TRI; y,
- f) Análisis de riesgos para identificar los principales riesgos asociados al programa o proyecto de inversión en sus etapas de ejecución y operación, dichos riesgos deberán clasificarse con base en la factibilidad de su ocurrencia y se deberán analizar sus impactos sobre la ejecución y la operación del programa o proyecto de inversión en cuestión, así como las acciones necesarias para su mitigación.

Por lo anterior, queda claro que en México como muchos países en vías de desarrollo, cada día será necesario realizar análisis más precisos para cada uno de los proyectos, a fin de contar con mayor certidumbre al momento de decidir la aplicación de los recursos públicos.

## 4. Estudio de caso

### 4.1. Resumen Ejecutivo

El presente proyecto de inversión, la autopista Durango-Mazatlán, en el tramo de Durango a Villa Unión sujeto a la evaluación de Costo-Beneficio, se trata de un proyecto de infraestructura económica para la producción de servicios en el sector comunicaciones y transportes.

La autopista Durango-Mazatlán es un proyecto estratégico del gobierno federal que formará parte del corredor Mazatlán-Matamoros, el cual permitirá conectar la zona norte del país y del Golfo de México con la zona del pacífico mexicano, siendo este tramo de 230 km el único faltante para establecer la comunicación completa en este corredor con carreteras de altas especificaciones.

El corredor transversal número 6, Mazatlán-Matamoros<sup>2</sup>, tiene una longitud total de 1,241 kilómetros de carreteras y comunica la costa del Océano Pacífico con la del Golfo de México, y en su recorrido pasa por ciudades importantes del norte del país, entre las que destacan Reynosa, Monterrey, Saltillo, la conurbación de La Laguna, Durango y el puerto de Mazatlán. Ver figura 1.



Figura 1. Corredor Mazatlán-Matamoros.

<sup>2</sup>Anuario Estadístico 2007, Dirección General de Planeación, S.C.T México, 2007

A la fecha, el corredor 6 Mazatlán-Matamoros está modernizado en la mayor parte de su longitud con autopistas en su mayoría de 4 carriles, desde la ciudad de Matamoros hasta la ciudad de Durango. Como parte de este proyecto fue puesto en operación el tramo de autopista Durango-El Salto, llegando a esta población de cerca de 30,000 habitantes, pasando por el libramiento de Durango.

Es por ello que la autopista Durango-Mazatlán, además de servir a los usuarios del norte y noreste del país, también atraerá tránsito de la zona del Golfo de México, así como de la zona centro de la república mexicana, al ofrecer una carretera de altas especificaciones, que reduzca los costos de operación vehicular, aumente la seguridad y la calidad del servicio ofrecido a los usuarios y reduzca sustancialmente los tiempos de recorrido.

La implementación de este proyecto traerá los siguientes beneficios:

- Enlazar la zona nororiente del país con la zona turística del pacífico mexicano.
- Reducirá la distancia de 305 a 230 km y el tiempo de recorrido de 6 a 2.5 hrs.
- Inducir tránsito que hoy no circula por esta carretera por aspectos de seguridad.
- Generar tránsito de tipo turístico al tener facilidad de llegar a las playas de Mazatlán.
- Atraer tránsito de macrorutas desde el centro del país que actualmente evitan este tramo conflictivo.

La autopista Durango-Mazatlán, en su tramo Durango-Villa Unión, inicia en la ciudad de Durango, en el km 0+000, en el entronque 5 de Mayo con la autopista Durango-Gómez Palacio y termina en el km 230+000, en el entronque con la autopista Tepic-Villa Unión. Ver figura siguiente.



Figura 2. Ubicación regional de la autopista Durango-Villa Unión

Para su construcción esta autopista fue dividida en los siguientes 7 tramos



TRAMO	KM	KM	LONGITUD EN KM	LONGITUD A EVALUAR
a. Libramiento de Durango.	0+000.000	21+650.000	21.65	
b. Entr. Libram. de Durango-Otinapa	21+650.000	44+500.000	22.85	
c. Otinapa-Llano Grande	44+500.000	75+600.000	31.10	31.10
d. Llano Grande-El Salto	75+600.000	91+800.000	16.20	
e. El Salto-Pánuco	91+800.000	186+300.000	94.50	94.50
f. Pánuco-Concordia	186+300.000	204+600.000	18.30	18.30
g. Concordia-Villa Unión.	204+600.000	230+000.000	25.40	
			<b>230.00</b>	<b>143.90</b>

Tabla 1 – Tramos de la Autopista Durango-Villa Unión

Como antecedente de esta obra, se tiene la primera etapa de modernización de la Autopista Durango-Mazatlán, en los tramos Otinapa-Llano Grande, El Salto Pánuco, y Pánuco-La Concordia.

El alcance del estudio del año 2005 consistió en evaluar la construcción de una nueva carretera de altas especificaciones tipo A2, con una sección de 12 metros de ancho de corona, para alojar 2 carriles de circulación, uno para cada sentido, de 3.50 metros cada uno y 2 acotamientos laterales de 2.50 metros, en una longitud de 143.9 kilómetros, en los tres tramos mencionados:

En esa ocasión, como resultado del estudio de Costo-Beneficio del proyecto para construir la autopista de 143.9 km se obtuvieron los siguientes resultados:

Concepto	Horizonte a 30 años VP @ 12%
<b>VP BENEFICIOS TOTALES</b>	<b>7,210.9</b>
<b>VP COSTOS TOTALES</b>	<b>6,305.9</b>
<b>Valor Presente Neto</b>	<b>905.0</b>
<i>Otros Indicadores de Rentabilidad</i>	
<b>Tasa Interna de Retorno Económica (TIR)</b>	<b>13.58%</b>
<b>Relación Beneficio/Costo (B/C)</b>	<b>1.14</b>
<b>Tasa de Rendimiento Inmediato (TRI)</b>	<b>12.5%; Año 6</b>

VP: Valor Presente.

Cifras en millones de pesos de diciembre de 2004.

Tabla 2. Resultado del estudio de Costo-Beneficio

La Autopista Durango-Villa Unión además ha obtenido otros 3 registros ante la SHCP, los cuales son el tramo Villa Unión-Ent. Concordia, el tramo Libramiento Durango-Ent. Otinapa y el tramo



Llano Grande-El Salto. A continuación se presentan los registros de la Autopista Durango-Villa Unión y los montos otorgados a precios del 2010.

Registro SHCP	Tramo	Monto (mdp)
02096450238	Villa Unión-Ent. Concordia	\$346.8
03096300022	Libramiento Durango-Ent. Otinapa	\$557.5
04096300001	Llano Grande – El Salto	\$274.6
05096300001	Ent. Otinapa- Llano Grande El Salto – Panuco Panuco- La Concordia	\$9,924.7

**Tabla 3 – Registros de SHCP para la Autopista Durango-Villa Unión**

A efecto de contar con un solo registro para todo el proyecto, en el año 2010 se integraron todos los tramos en el registro 05096300001, el cual a la fecha tiene un monto modificado de 18,748.9 mdp, de los cuales hasta el 2011 se habían erogado 15,287.9 mdp, a precios constantes de 2012. Considerando que el monto total de la obra será 23,342.4 mdp, quedan por erogar 8,054.5 mdp durante el año 2012.

Actualmente, se puede circular por la nueva autopista desde la Ciudad de Durango hasta la población de El Salto en una longitud de 91.8 kilómetros, con una sección de 12 metros de corona. Ver figura siguiente.



Fotografía núm. 1. Autopista Durango-Villa Unión, tramo Llano Grande-El Salto

Sin embargo, en el tramo de El Salto a Villa Unión solo se puede circular por la carretera actual de 7 metros de ancho y sin acotamientos, la cual tiene un trazo antiguo, con altos grados de curvatura horizontal y pendientes longitudinales muy pronunciadas debido a la zona montañosa por la que atraviesa.



Fotografías núm. 2 y 3. Carretera Durango-Mazatlán, tramo El Salto-Villa Unión

Es por ello que esta carretera registraba velocidades de operación muy bajas (45 km/hr), lo que incrementa significativamente los tiempos de recorrido y, por consecuencia, los costos de operación vehicular, además del alto grado de inseguridad existente por lo sinuoso del camino y por la dificultad para efectuar las maniobras de rebase.

Los principales problemas de operación que se presentan en el tramo actual son las bajas velocidades, los elevados tiempos de recorrido, debidos a lo sinuoso del camino. Esto se verá incrementado debido al crecimiento económico y la gran afluencia de vehículos que transitarán por el Corredor Troncal Mazatlán-Matamoros, que lo convertirá en un polo de atracción de la zona. Además de lo anterior, el tránsito de largo itinerario que viaja entre el centro y el oriente del país hacia el noroeste del país y a ciudades como Tepic, Culiacán, Hermosillo, Tijuana y La Paz entre otras, tiene que cruzar forzosamente por la ciudad de Guadalajara, desarrollando una mayor longitud de recorrido y por lo tanto mayor consumo de combustible.

La Autopista Durango-Villa Unión tiene una longitud total de 230.0 kilómetros, de los cuales están en funcionamiento 117.2 kilómetros, del Libramiento de la ciudad de Durango hasta el entronque El Salto y de la Concordia hasta Villa Unión, esto es en los tramos de terreno plano y lomerío suave, quedando 112.8 kilómetros pendientes de concluir en el tramo con terrenos montañosos, de la población de El Salto, en el estado de Durango, a la población de La Concordia, en el estado de Sinaloa.

La SCT ha realizado varios trabajos en este tramo en estudio, desde el año 2001, estos trabajos se han visto retrasados por diferentes motivos, como el aumento en el precio de los insumos (acero y cemento), las condiciones climáticas desfavorables, el difícil acceso a los frentes de trabajo y la inseguridad en la zona.

El proyecto de la autopista Durango-Mazatlán cruza la Sierra Madre Occidental en una zona particularmente difícil, por lo que a lo largo de sus 230 kilómetros requiere la construcción de 57 túneles con una longitud conjunta de más de 18 kilómetros, el más largo de los cuales, el túnel "El Sinaloense" que tendrá una longitud de 2.6 kilómetros.

De igual forma, se requiere construir 118 estructuras entre puentes y viaductos que suman una longitud aproximada total de 13 km. De este total 8 puentes son del tipo doble voladizo, uno el Puente Baluarte es del tipo atirantado y los restantes del tipo tradicional a base de travesaños preesforzados.



El proyecto de construcción de la Autopista Durango-Villa Unión se encuentra dentro del Presupuesto de Egresos de la Federación aprobado por el H. Congreso de la Unión desde el año 2005.

La alternativa elegida, de construir una nueva carretera tipo A2, de 12.0 metros de ancho de corona, para alojar 2 carriles de circulación de 3.5 metros cada uno y acotamientos laterales de 2.5 metros es la más conveniente dado que permitirá mejorar el nivel de servicio de la carretera actual, lo que implica una mayor capacidad, mayores velocidades de operación, una operación más segura y confort para los usuarios del corredor Mazatlán-Matamoros. En términos económicos, con esta alternativa se obtienen los mejores beneficios para los usuarios a un costo adecuado.

El costo total de las obras de este proyecto asciende a 23,342.4 mdp sin IVA, de los cuales se han ejercido 15,287.9, quedando pendientes de ejercer 8,054.5 mdp, a precios constantes de 2012. Está planeado ejercerlo en un periodo de 12 años. Las fuentes de recursos son el Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF) y el Fondo Nacional de Infraestructura (Fonadin).

De acuerdo con la actualización del estudio de asignación de tránsito realizado por la SCT en el año 2005, se obtuvo un TDPA asignado al proyecto para el año 2012 para el tramo Durango-El Salto de 3,506 vehículos, con una composición vehicular de 72.4% de autos, el 2.4% de autobuses y el 25.2% de camiones de carga, y para el tramo El Salto-La Concordia de 2,225 vehículos, con una composición vehicular de 60.0% autos, 3.7% autobuses y 36.3% camiones de carga.

Con base en la metodología de evaluación para este tipo de proyectos, se determinó que el proyecto es económicamente rentable al presentar una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 12.4%, un Valor Presente Neto (VPN) de 729.3 millones de pesos y una Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI) de 8.1%.

El principal riesgo que presenta este proyecto es el de la disponibilidad de la totalidad de recursos presupuestales para concluir la obra en el tiempo previsto, otros riesgos asociados al proyecto son la demanda social de obras adicionales al momento de la construcción, así como fenómenos inflacionarios que pueden provocar incrementos en los costos del proyecto.

La realización de la Autopista Durango-Villa Unión en el tramo: El Salto-La Concordia se justifica porque cumple su propósito de hacer más seguro y eficiente el movimiento de bienes y personas que circulan a través de la red carretera de la región, principalmente se concluirá el corredor troncal Mazatlán-Matamoros conectando entre sí a los estados de Sinaloa, Durango, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas.

Además, se tendrán beneficios para los usuarios al lograrse mayores velocidades de desplazamiento, lo que contribuye a la disminución de los costos de operación vehicular y los tiempos de recorrido y se traduce en una mayor competitividad del transporte de la región. En términos económicos, con esta alternativa se obtienen los mayores beneficios para los usuarios a un costo adecuado.

Es por ello que la modernización de esta carretera tiene un gran futuro por el tránsito potencial que está en espera de una autopista de altas especificaciones que reduzca el tiempo de recorrido con la mayor seguridad vial y de integridad de los viajeros.

## 4.2. Situación sin proyecto y posibles soluciones

### Diagnóstico de la situación actual

La carretera Durango-Mazatlán, en su tramo El Salto-La Concordia, registra varios problemas de circulación, entre ellos las bajas velocidades de circulación, que oscilan entre los 40 y 45 km/hr para vehículos ligeros y de 30 a 35 km/hr para vehículos pesados. Esto se debe a que la carretera actual es muy estrecha y presenta una gran cantidad de curvas forzadas y pendientes longitudinales muy pronunciadas, sobre todo en la zona montañosa de la Sierra Madre Occidental, lo cual eleva los tiempos de recorrido.



Fotografía 3. Carretera en la zona montañosa denominada “El espinazo del diablo”

Es frecuente observar que cuando circula un camión pesado, una gran cantidad de autos circula tras el camión porque es imposible rebasarlo, por lo que el tránsito en general debe circular a la velocidad del camión.



Fotografías núm. 4 y 5. Acumulación del tránsito tras un vehículo pesado en zonas de curvas

Por ser una zona de paso obligado del Corredor Troncal Mazatlán-Matamoras esta carretera tiene una gran importancia para el tránsito proveniente del noreste del país y de los estados Unidos de América, principalmente del estado de Texas, viajes que han sido registrados en las encuestas realizadas de los estudios previos. Además de lo anterior, el tránsito de largo itinerario que viaja entre el centro y oriente del país y el noroeste del país, entre otras regiones, tiene que cruzar forzosamente por la ciudad de Guadalajara, realizando una vuelta con mayor longitud y por lo tanto con mayor consumo de combustible y mayor tiempo invertido (denominadas macrorutas).



**Figura 4 – Rutas actuales hacia el Noroeste del país.**

El Corredor Troncal Mazatlán-Matamoras, conecta importantes ciudades industriales a nivel nacional, como Monterrey, Saltillo, Torreón y Gómez Palacio, con las ciudades fronterizas de Matamoras y Reynosa, y todas estas se conectan directamente con el puerto de Mazatlán, de ahí la importancia del presente estudio.

La Autopista Durango-Villa Unión, ya cuenta con tramos en operación actualmente, el Libramiento de Durango, el tramo de Durango a El Salto y La Concordia-Villa Unión, esta última fue construida por el Gobierno del Estado de Sinaloa hace varios años, dando un total de 117.2 kilómetros de autopista en funcionamiento.



**Figura 5 – Tramo en funcionamiento Libramiento de Durango y de Durango a El Salto.**



**Figura 6 – Tramo en funcionamiento La Concordia-Villa Unión.**

A su paso por la Sierra Madre Occidental, el tránsito de largo itinerario se mezcla con el tránsito local, además de que la carretera actual tiene solo 7.0 metros de sección, sin acotamientos, que cuando un vehículo realiza maniobras de incorporación o desincorporación se detiene el flujo vehicular, ya que no hay espacio para rebase, lo que genera problemas de capacidad que resultan en bajas velocidades de operación, altos tiempos de recorrido, accidentes y contaminación ambiental.

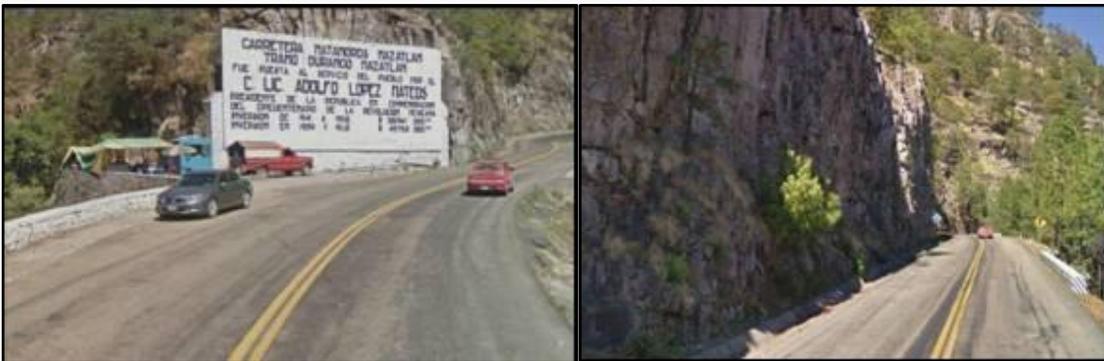
Las siguientes fotografías muestran el paso por la zona montañosa de la Sierra Madre Occidental.



**Fotografías 6 y 7 Carretera saliendo de El Salto.**



**Fotografías 8 y 9 Carretera Durango-Mazatlán antes de llegar al Espinazo del Diablo.**



**Fotografías 10 y 11 Espinazo del Diablo.**



**Fotografías 12 y 13 Espinazo del Diablo.**

## Descripción de tramos de la autopista.

**1.- Libramiento de Durango.** El inicio de la autopista Durango-Villa Unión, el km 0+000, se ubica en el entronque 5 de Mayo, el cual se forma con la autopista Durango-Gómez Palacio, y hasta el km 21+650 se constituye como el Libramiento de la Ciudad de Durango, el cual está en operación desde el año 2008.

Este libramiento cuenta con una sección de 12 metros, en donde se alojan un carril de 3.50 m y un acotamiento de 2.50 m por cada sentido, es de concreto asfáltico y tuvo un costo de 650.0 mdp.



Figura 7. Libramiento de la ciudad de Durango.

**2.- Entronque Libramiento de Durango a Entronque Otinapa.** Este tramo comprende del km 21+650 al km 44+500, con una longitud de 22.9 km. De igual forma tiene una sección de 12 metros con dos carriles y acotamientos laterales. El costo de este tramo fue de 723.2 mdp.

**3.- Entronque Otinapa-El Salto.** Este tramo comprende del km 44+500 al km 91+800, con una longitud total de 47.3 km, con un ancho de corona de 12 metros, y al igual que los anteriores ya está en operación. El costo de este tramo fue de 1,108.9 mdp.

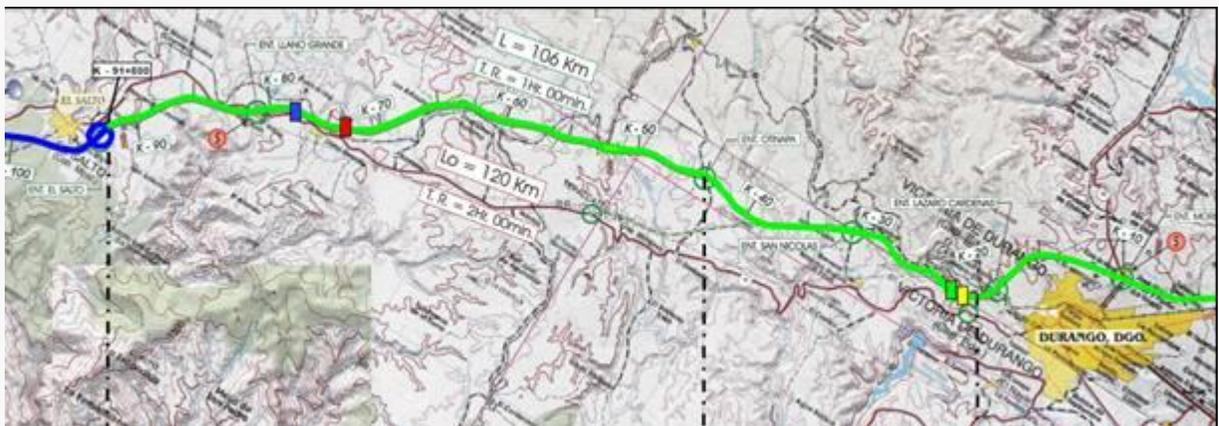


Figura 8. Tramo Libramiento de Durango-Entronque El Salto, en operación.

Estos tramos de autopista son del tipo A2 y fueron construidos de concreto asfáltico, con una sección de 12 metros de corona, alojando 1 carril de 3.50 metros y acotamiento de 2.50 metros por cada sentido de tránsito.



Fotografía núm. 14. Autopista Durango-Villa Unión, tramo Llano Grande-El Salto

**4.- Entronque El Salto-La Concordia.** Este tramo de 112.8 km, del km 91+800 al km 204+600, es el que actualmente está en proceso de construcción. Este tramo incluye el subtramo de El Salto al entronque Las Adjuntas, el cual ya está construido pero aún no está en operación. Ver tramo azul en la figura siguiente.



Figura 9. Tramo Entronque El Salto-La Concordia, en proceso de construcción.

Este tramo, por ser el más difícil de construir debido a la orografía, se tiene calculado un costo total de 20,385.5 mdp, incluyendo los 2,098.2 mdp del Puente Baluarte.

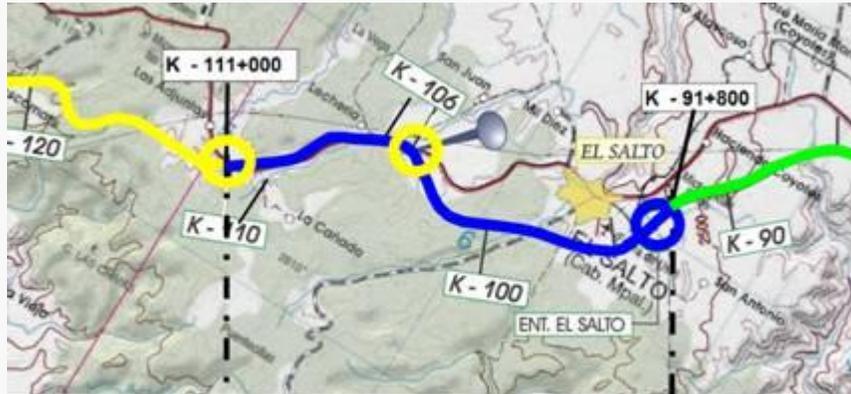


Figura 10. El subtramo Entronque El Salto- Entronque Las Adjuntas, ya construido.

**5.- Tramo La Concordia-Villa Unión.** Este tramo, del km 204+600 al km 230+000, el cual termina en el entronque con la autopista Tepic-Villa Unión fue construido por el Gobierno del estado de Sinaloa y se encuentra en operación desde hace varios años.

Este tramo tiene un costo total de 474.8 mdp.



Figura 11 Entronque Autopista Durango-Villa Unión con la autopista Tepic-Villa Unión

Esto resulta en una inversión ejercida entre los años 2001 y 2011 de 15,287.9 mdp, sin incluir el IVA, a precios constantes de 2012, quedando por ejercer 8,054.5 mdp para las obras restantes durante el año 2012, lo que suma un total de 23,342.4.

En el tramo de 112.8 km en proceso de construcción, además de los tramos carreteros, se están construyendo puentes, viaductos y túneles de diferentes magnitudes dada la orografía del terreno por donde va el trazo de la autopista.

### Descripción de la situación actual optimizada

En caso de que el proyecto no se realice, se puede realizar una ampliación de sección agregando acotamientos; sin embargo, con estas acciones seguirá manteniéndose lo sinuoso



del camino actual, y se incrementarán de manera poco significativa las velocidades de operación, debido a que continuará existiendo el mismo trazo de la carretera actual. Con la construcción de acotamientos se logrará un ligero aumento de la velocidad; sin embargo, seguirá siendo baja debido a lo sinuoso del terreno, reduciendo la calidad del servicio (tabla 4).

**Tabla 4 – Situación actual optimizada**

Tramo	Acciones por realizar	Velocidad (km/hr)	No. De carriles	Estado físico	Acotamientos
El Salto-La Concordia	Construcción de acotamientos.	45.0	2	Regular	Si

Las velocidades de operación optimizadas no se consideran adecuadas para lograr un nivel de servicio eficiente, además, el usuario que transita por carreteras rurales (fuera de las ciudades) busca continuidad, comodidad, seguridad y rapidez en su viaje, lo cual no se logra en la situación actual optimizada.

## **Análisis de la oferta y la demanda**

### **Análisis de la oferta**

La metodología utilizada para el análisis de la oferta y la demanda se basa en una serie de etapas que inician con el diagnóstico de la situación actual en la zona de estudio y finalizan con la estimación de aforos para el proyecto y su pronóstico para el horizonte de planeación. La metodología general empleada se resume en la figura 12, en la cual se muestran las fases de ejecución del estudio de tránsito y la relación entre ellas.

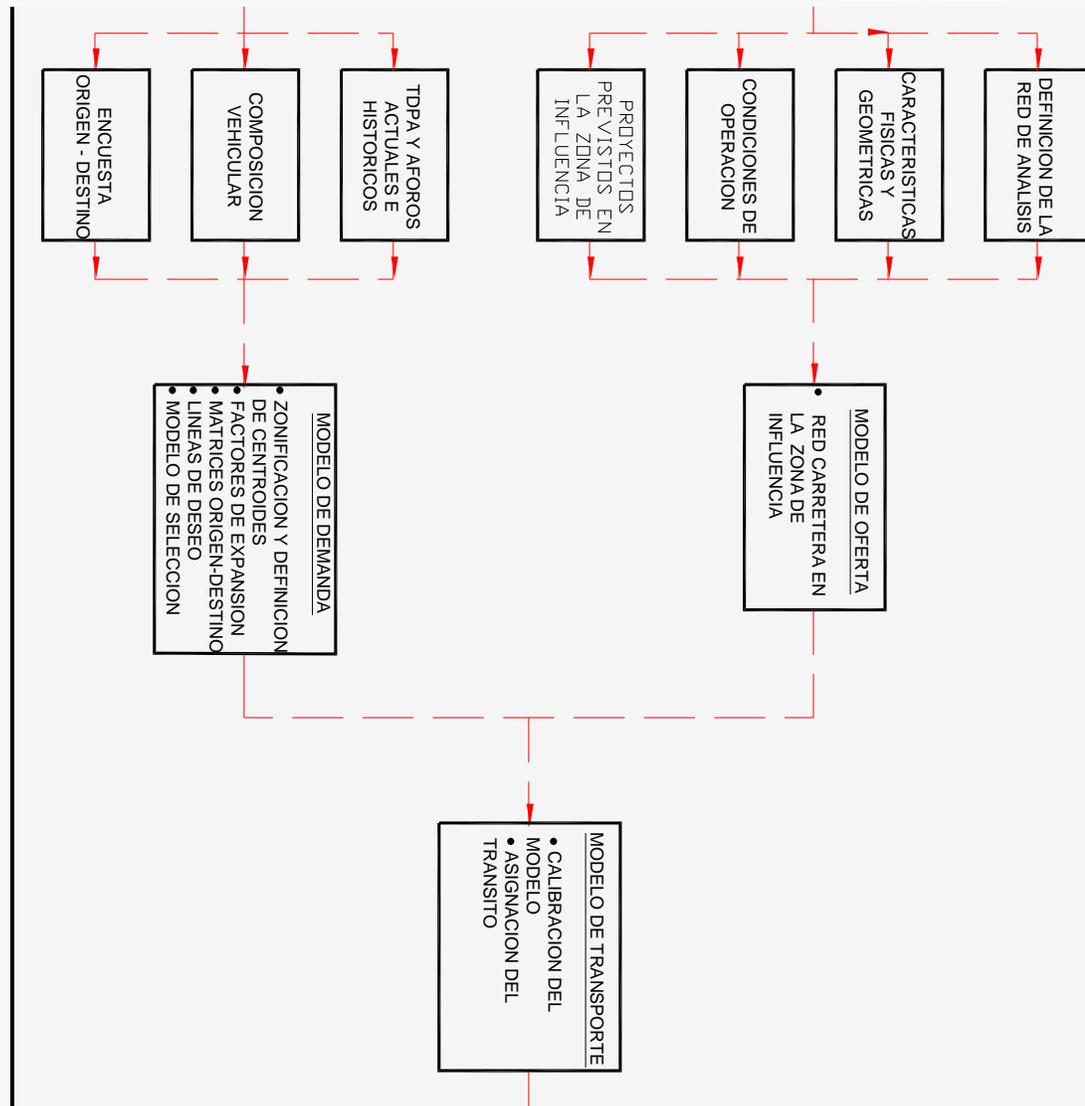


Figura 12 – Metodología

Como primera etapa, se llevó a cabo la **definición de la red análisis** a ser analizada como parte de este estudio, con base en un recorrido de reconocimiento del área en que se encuentra ubicado el proyecto, incluyendo la identificación de los tramos carreteros relevantes en la dinámica del tránsito del área de estudio.

Posteriormente, se realizó el **levantamiento de las características físicas y geométricas** de la red carretera, identificando tramos o segmentos con características similares. Para ello, se realizaron recorridos para identificar las características tales como longitud, tipo de terreno, número de carriles y existencia de acotamientos. Asimismo, se identificaron las **condiciones de operación**, tales como velocidades de operación, tiempos de recorrido y niveles de servicio.

Actualmente, la carretera que atiende al flujo vehicular entre Durango y Mazatlán es la carretera federal libre MEX-40 Durango-Villa Unión con 164.1 kilómetros de longitud en el



tramo de El Salto-La Concordia, con ancho de corona de 7.0 metros, 2 carriles de circulación de 3.50 metros, sin acotamientos y en terreno montañoso.

La tabla 5 muestra las características del tramo en estudio.

Concepto	1. Paso por la ciudad	2.- Durango-Otinapa	3.-Otinapa-El Salto	4. El Salto-La Concordia	5.- La Concordia-Villa Unión
Longitud (km)	20.44	32.4	56.76	164.1	31.3
Tipo de carretera	C4	C2	C2	C2	C2
Número de carriles	4	2	2	2	2
Ancho de sección (m)	21.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Acotamientos	No	No	No	No	No
Grado de curvatura	20	10	12	25	12
Tipo de terreno	Plano	Lomerío Suave	Lomerío Suave	Montañoso	Lomerío Suave
Velocidad de operación (km/hr)	45.0	60.0	60.0	45.0	60.0
Estado Físico	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
Índice de Rugosidad (IRI)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0

**Tabla 5 – Datos de la oferta**

A esta información se agregó la ubicación y características de los **proyectos previstos en la zona de influencia** para posteriormente considerarlas en la asignación de tránsito de la autopista.

Para determinar el comportamiento y las características de la demanda, se instalaron 11 estaciones de **aforoautomático** con clasificación vehicular, durante una semana continua las 24 horas, en los principales carreteras de la red de análisis. Asimismo, se instalaron cuatro estaciones de **encuesta origen-destino**, con objeto de conocer las características de los viajes, tal como se muestra en la figuras 13, 14, 15 y 16.



Figura 13. Red de análisis

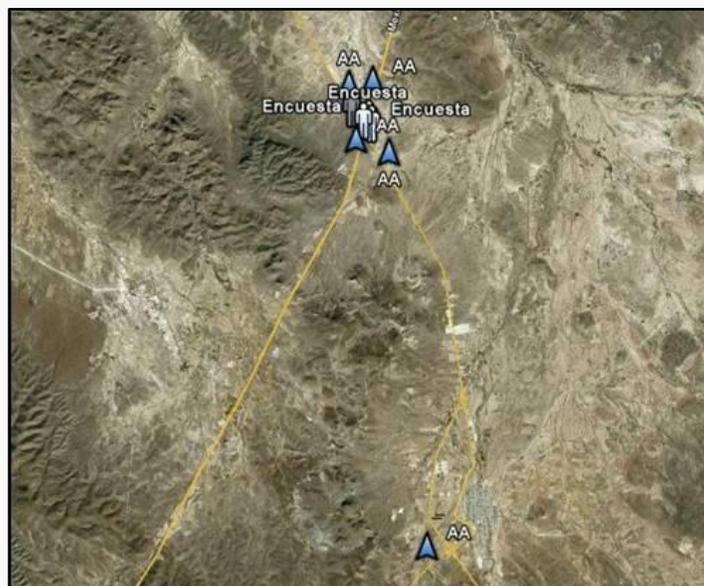


Figura 14 – Estaciones de aforo y encuesta en Cuencamé



*Figura 15 – Estaciones de aforo y encuesta en El Salto.*



*Figura 16 – Estaciones de aforo y encuesta en Villa Unión.*

### **Análisis de la Demanda**

De acuerdo al estudio de aforos automáticos se estimó el TDPA año 2010 para cada uno de los tramos de la red de análisis, los cuales se muestran en la tabla 6. Para actualizar el tránsito al año 2012 se aplicó una tasa de crecimiento del 3.5%.

Se realizó el aforo automático en cada uno de los puntos indicados en las figuras 14, 15, 16 y 17, durante 24 horas continuas los 7 días de la semana, y con base en esta información se



procedió a realizar el análisis de los aforos automáticos, para obtener el TDPA de cada una de las carreteras en estudio.

**Tabla 6 – Demanda actual**

Tramo	TDPA	Autos	Autobuses	Camiones	Nivel de Servicio
1 Autopista Durango-Gómez Palacio, Caseta Cuencamé Antes	1,186	778	195	213	A
<i>Composición (%)</i>	100.0	65.6	16.4	18.0	
2. Carretera Durango-Torreón Km. 140+000	3,410	1,855	310	1,245	B
<i>Composición (%)</i>	100.0	54.4	9.1	36.5	
3. Carretera Durango-Torreón Km. 149+000	5,778	3,750	751	1,277	C
<i>Composición (%)</i>	100.0	64.9	13.0	22.1	
4. Carretera Durango-Torreón Km. 159+000	5,261	3,593	510	1,158	B
<i>Composición (%)</i>	100.0	68.3	9.7	22.0	
5. Autopista Durango-Villa Unión Km. 91+000	1,743	1,370	68	305	B
<i>Composición (%)</i>	100.0	78.6	3.9	17.5	
6. Carr. Durango-Villa Unión Km. 97+000	2,722	1,394	329	999	B
<i>Composición (%)</i>	100.0	51.2	12.1	36.7	
7. Carretera Durango-Villa Unión Km. 105+000	2,684	1,680	334	670	C
<i>Composición (%)</i>	100.0	62.6	12.4	25.0	
8. Carretera Durango-Villa Unión Km. 285+000	6,512	4,532	567	1,413	E
<i>Composición (%)</i>	100.0	69.6	8.7	21.7	
9. Autopista Durango-Villa Unión Km. 224+000	877	761	26	90	A
<i>Composición (%)</i>	100.0	86.8	3.0	10.2	
10. Autopista Tepic-Mazatlán Km. 238+000	3,256	1,999	749	508	B
<i>Composición (%)</i>	100.0	61.4	23.0	15.6	
11. Carretera Tepic-Mazatlán Km. 262+000	3,167	2,106	339	722	B
<i>Composición (%)</i>	100.0	66.5	10.7	22.8	

Para obtener los factores de expansión se recurrió a los libros de Datos Viales editados por la SCT en el 2010, en referencia a los datos obtenidos en el año del 2009, de las diferentes carreteras en la zona de influencia, que son de interés para el presente estudio.

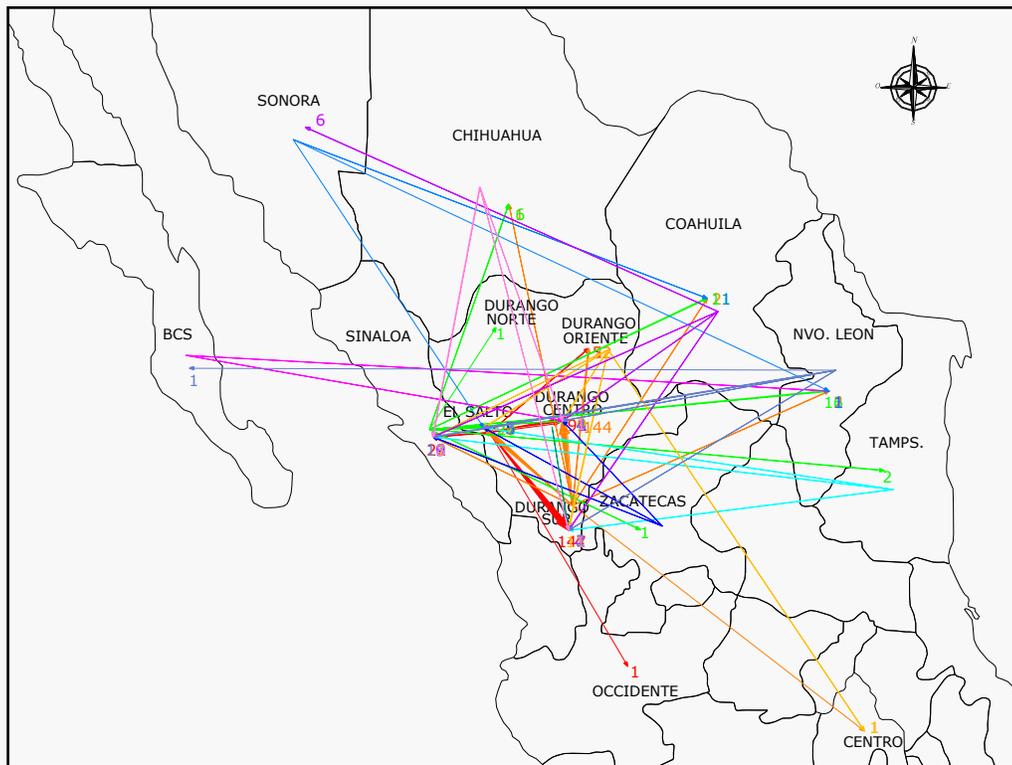
Se obtuvo información del comportamiento mensual de las carreteras cercanas a los sitios en estudio, así como de las casetas de cobro cercanas a los puntos de aforo realizados.

Aplicando los factores semanal y mensual a los aforos automáticos de 24 horas, obtenemos el TDPA de cada tramo carretero en estudio. De acuerdo a esto se analizó su capacidad vial y se obtuvo su nivel de servicio correspondiente. Ver tabla 6.

Con la información de oferta y demanda se obtiene que el nivel de servicio de la carretera Durango-Torreón en el Km 149+000 y en la carretera Durango-Villa Unión en el Km 285+000, es

“C”, lo que significa que aún se encuentra en la zona de flujo estable, pero las velocidades y posibilidades de maniobras están más estrechamente controladas por los altos volúmenes de tránsito. Las demás carreteras y autopistas se encuentran en niveles de servicio “A” y “B”, los cuales son satisfactorios para la movilidad de los usuarios de las mismas.

Con los resultados obtenidos en campo y mediante el uso de los factores de expansión (semanal y mensual), obtenidos de las publicaciones de Datos Viales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, se integraron las **matrices origen-destino**. Con esta información, y con la zonificación planteada, se obtuvieron las **líneas de deseo** de viajes mediante las cuales se observan gráficamente los flujos de tránsito más importantes entre las diversas zonas de la red de análisis (figura 17).



**Figura 17 – Líneas de deseo**

De acuerdo a las líneas de deseo, se observa que actualmente los flujos principales se dan entre El Salto y Durango, Durango y Torreón y en menor escala hacia Durango-Sinaloa, Sonora y la Península de Baja California.

Se observa la existencia de viajes de los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas hacia los estados de Sinaloa, Sonora y la Península de Baja California, lo que significa que existe la posibilidad de incremento de estos viajes y la atracción de viajes potenciales de Zacatecas, San Luis Potosí y el norte de Veracruz a la nueva autopista Durango-Villa Unión.

La asignación de tránsito para el tramo de El Salto-La Concordia, se obtiene mediante los orígenes y destinos obtenidos durante las encuestas, la cual fue expandida a los TDPA de la

cada uno de los tramos en estudio y con ello se obtuvieron los volúmenes que transitarán por el tramo de autopista de El Salto a La Concordia. En la figura 18 se muestra un ejemplo de la asignación.



Figura 18. Asignación de tránsito para el tramo El Salto-La Concordia

Del estudio realizado en marzo del 2005, “Estudio Costo-Beneficio de la Autopista Durango-Mazatlán” se obtuvo el TDPA para los tramos de Durango-El Salto y El Salto-La Concordia y se procedió a actualizar el TDPA para el año 2012.

Concepto	TDPA año 6 Durango-El Salto	TDPA año 6 El Salto-Concordia	TMCA
Desviado de rutas adyacentes	2,432	1,485	2.5%
Desviado de macrorutas	203	203	2.5%
Generado por acortamiento costo/tiempo (equivalente al 50% del cálculo del Modelo Gravitacional Calibrado para el proyecto, es decir 27.5 % sobre el flujo base)	669	408	3.0%
	<b>Σ 3 304</b>	<b>Σ 2 096</b>	<b>Ocupación Promedio</b>
Porcentaje autos	72.4%	60.0%	3.32
Porcentaje autobuses	2.4%	3.7%	22.64
Porcentaje camión ligero	10.6%	15.1%	1.56
Porcentaje camión pesado	14.6%	21.2%	1.39
Velocidad autos (s/p - c/p)	63.3 – 110.0	44.7 – 110.0	
Velocidad autobuses (s/p - c/p)	53.9 – 95.0	31.3 – 95.0	
Velocidad camión ligero (s/p - c/p)	46.7 – 100.0	34.6 – 100.0	
Velocidad camión pesado (s/p - c/p)	43.1 – 100.0	32.0 – 100.0	
Inversión sin IVA (millones \$)	608.7	7,533.1	

Figura 19. Datos de demanda del estudio de 2005

El TDPA asignado a los tramos del proyecto incluye el tránsito generado y el desviado de la macroruta por Zacatecas-Guadalajara-Tepic, es decir, aquellos viajes que vienen de Estados de la república y que actualmente no pasan por la carretera actual de Durango a Villa Unión, pero al entrar en funcionamiento la autopista, estos viajes se desviarán de su ruta actual y utilizarán



la autopista. Además, el TDPA incluye los viajes que actualmente se presentan y desarrollan un mayor recorrido al no pasar por la ruta actual Durango-Villa Unión, debido a la pérdida de tiempo y al alto grado de accidentes, pero que al entrar en funcionamiento la autopista cambiarán su ruta al ver que reducirán sus tiempos y tendrán mayor seguridad en su recorrido.

Como resultado de la aplicación del modelo de asignación de tránsito, se obtiene el volumen de tránsito que hará uso del tramo definido en la red de análisis una vez ejecutado el proyecto. Los resultados para los proyectos en análisis se muestran en la tabla 7.

**Tabla 7 – Demanda asignada al proyecto 2012**

Tramo	TDPA	Autos	Autobuses	Camiones
<b>Durango-El Salto</b>	3,506	2,538	84	883
<i>Composición (%)</i>	<i>100.0</i>	<i>72.4</i>	<i>2.4</i>	<i>25.2</i>
<b>El Salto-La Concordia</b>	2,225	1,335	82	808
<i>Composición (%)</i>	<i>100.0</i>	<i>60.0</i>	<i>3.7</i>	<i>36.3</i>
<b>Macroruta</b>	258	187	6	65
<i>Composición (%)</i>	<i>100.0</i>	<i>72.4</i>	<i>2.4</i>	<i>25.2</i>

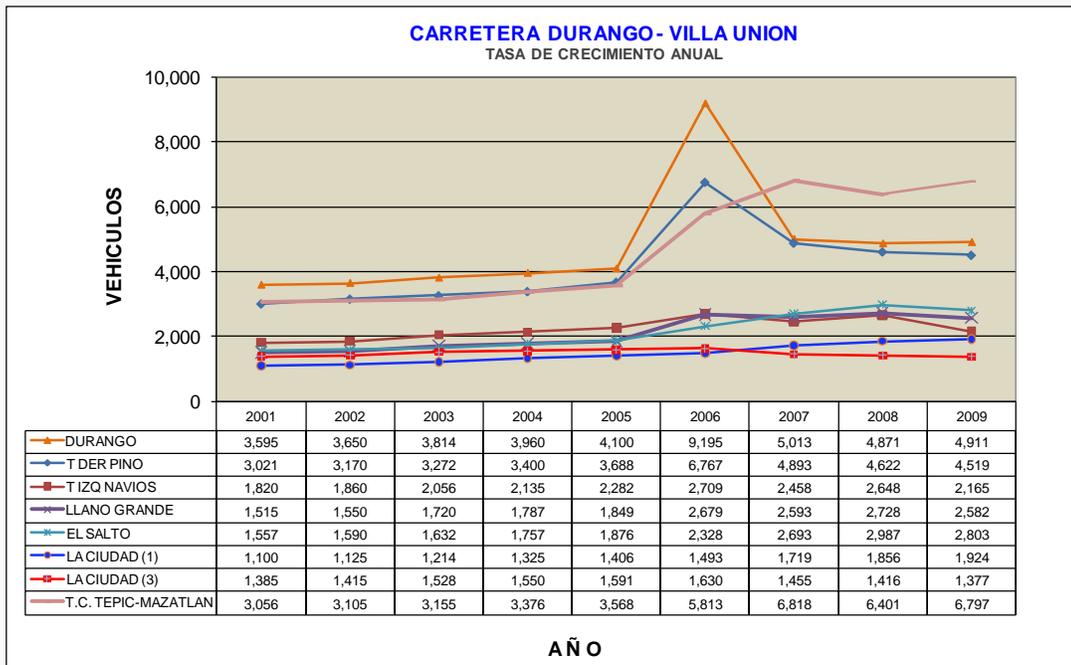
De este análisis se obtuvo el nivel de servicio de la carretera actual en el tramo de El Salto-La Concordia. Ver tabla 8.

**Tabla 8 – TDPA asignado al tramo El Salto-La Concordia**

Tramo	# Horas al día	TDPA	Nivel de Servicio
Durango-El Salto	24	3,506	B
El Salto-La Concordia	24	2,225	B

Como se observa el nivel de servicio del proyecto es bueno.

Para estimar la TCMA del tránsito se utilizaron los datos viales de la carretera Durango-Villa Unión, de donde se obtuvo una tasa promedio de 5.44%, sin embargo, para el presente estudio se utilizó una tasa conservadora del 3.5%; ver figura 20.



**Figura 20 – Comportamiento histórico del tránsito**

De acuerdo con la TCMA obtenida, se calculó el tránsito futuro para el horizonte de evaluación y se realizó un análisis de capacidad con la interacción oferta y demanda, para conocer la problemática que se presentaría en caso de no hacer el proyecto. De este análisis se observa que los tramos Durango-Otinapa, Otinapa-El Salto han rebasado su capacidad, el tramo El Salto-La Concordia se encuentra al límite de su capacidad y llegará a su situación más crítica en el año 5. Por su parte, los tramos Paso por Durango y Concordia-Villa Unión llegarán al límite de su capacidad en los años 16 y 2, respectivamente, ver tabla 9.



**Tabla 9 – Interacción Oferta-Demanda**

1. Paso por la ciudad de Durango			2.- Durango-Otinapa		3.-Otinapa-El Salto		4. El Salto-La Concordia		5.- La Concordia-Villa Unión	
Año	TDPA	Nivel de Servicio	TDPA	Nivel de Servicio	TDPA	Nivel de Servicio	TDPA	Nivel de Servicio	TDPA	Nivel de Servicio
0	9,293	B	7,212	E	6,178	E	2,778	D	3,650	C
1	9,619		7,464		6,394		2,875		3,778	
2	9,955		7,726		6,618		2,976		3,910	D
3	10,304		7,996		6,850		3,080		4,047	
4	10,664		8,276		7,089		3,188		4,189	
5	11,037		8,565		7,337		3,299	E	4,336	
6	11,424		8,865		7,594		3,415		4,487	
7	11,824		9,176		7,860		3,534		4,644	
8	12,237	C	9,497		8,135		3,658		4,807	
9	12,666		9,829		8,420		3,786		4,975	
10	13,109		10,173		8,715		3,919		5,149	
11	13,568		10,529		9,020		4,056		5,330	
12	14,043		10,898		9,335		4,198		5,516	
13	14,534		11,279		9,662		4,345		5,709	
14	15,043		11,674		10,000		4,497		5,909	E
15	15,569		12,082		10,350		4,654		6,116	
16	16,114	D	12,505		10,712		4,817		6,330	
17	16,678		12,943	F	11,087		4,986		6,551	
18	17,262		13,396		11,475		5,160		6,781	
19	17,866		13,865		11,877		5,341		7,018	
20	18,492		14,350		12,293		5,528		7,264	
21	19,139		14,852		12,723		5,721		7,518	
22	19,809		15,372		13,168	F	5,921		7,781	
23	20,502	E	15,910		13,629		6,128		8,053	
24	21,220		16,467		14,106		6,343		8,335	
25	21,962		17,043		14,600		6,565		8,627	
26	22,731		17,640		15,111		6,795	F	8,929	
27	23,527		18,257		15,640		7,033		9,241	
28	24,350		18,896		16,187		7,279		9,565	
29	25,202	F	19,558		16,754		7,533		9,900	
30	26,084		20,242		17,340		7,797		10,246	



## Alternativas de solución

**Alternativa 1.-** Además de la alternativa seleccionada, se analizó la posibilidad de realizar la ampliación y rectificación del trazo de la carretera actual, lo cual resulta demasiado oneroso por los cortes y terraplenes que hay que realizar.

No obstante, estas ampliaciones no mejorarían los grados de curvatura ni las pendientes de la carretera actual y las velocidades de operación seguirían siendo muy reducidas con lo que los tiempos de recorrido no se reducirían.

### Ventajas:

- Mejor Nivel de comodidad.
- Menor tiempo de recorrido de los usuarios.
- Menor costo de inversión.

### Desventajas:

- Afectación directa a los usuarios durante la construcción.
- Poca posibilidad de rectificación en la zona montañosa.
- Menor velocidad de operación de los usuarios.

El costo de esta alternativa sería aproximadamente de 3,350.1 millones de pesos pero sin aumentar considerablemente la velocidad de operación de la carretera, ya que los grados de curvatura se mantendrían sin la construcción de puentes y túneles que mejoren la geometría de la carretera.

## 4.3. Descripción del Proyecto

### Objetivo

Dar continuidad y ofrecer mejores condiciones de operación al tránsito que circula a través de la carretera Durango-Mazatlán, en su tramo El Salto-La Concordia, principalmente para los flujos de largo itinerario, mediante la construcción de la Autopista El Salto-La Concordia, con lo cual se lograrán mejores velocidades y tiempos de recorrido para el transporte de carga y pasajeros que transiten por el Corredor Troncal Mazatlán-Matamoros.

Adicionalmente, este proyecto contribuye al cumplimiento de la estrategia definida en el Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012 del Sector Comunicaciones y Transportes de "Complementar la modernización de los corredores troncales transversales y longitudinales, que comunican a las principales ciudades, puertos, fronteras y centros turísticos del país con carreteras de altas especificaciones".

Este proyecto se encuentra en los anexos del Mecanismo de Planeación de la SCT.



## Propósito

Con la conclusión de la construcción de la Autopista El Salto-La Concordia, la operación del tránsito se verá beneficiada en los siguientes aspectos:

- Aumento en las velocidades de operación de los diferentes tipos de usuarios.
- Reducción en los tiempos de recorrido.
- Reducción en los costos de operación de los diferentes tipos de vehículos.
- Disminución en los niveles de contaminación auditiva y del aire.
- Operación más segura para los usuarios, al reducirse significativamente la posibilidad de accidentes.
- Interconexión de las carreteras federales y estatales del área de influencia del proyecto.

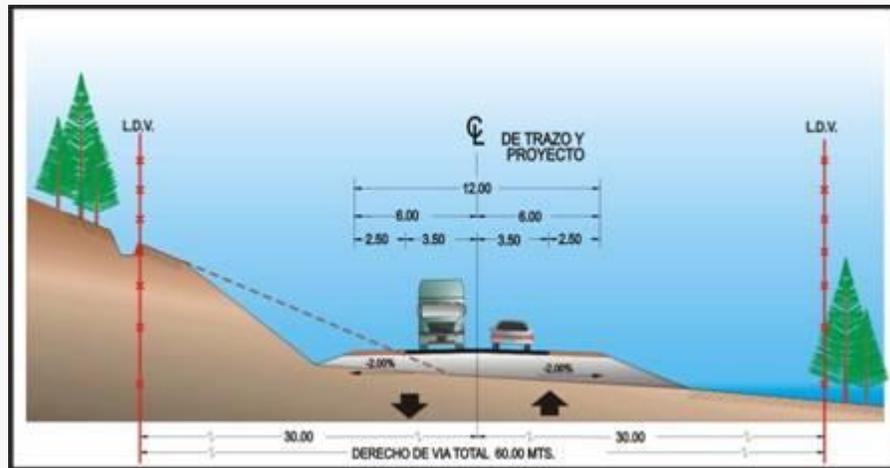
## Componentes

El proyecto consiste en la construcción de un tramo de 112.8 kilómetros de longitud, del km 91+800 al km 204+600, del entronque El Salto a la Concordia. Este tramo incluye el subtramo de El Salto al entronque Las Adjuntas, el cual ya está construido pero aun no está en operación. El tramo completo fue dividido en 5 subtramos, y está siendo construido con una sección transversal tipo "A2" de 12.0 metros de ancho de corona, para alojar 2 carriles de circulación de 3.5 metros cada uno y acotamientos laterales de 2.5 metros (ver tabla 10 y figura 21).

La autopista incluye además de la construcción de tramos carreteros, la construcción de 118 estructuras de puentes y viaductos que suman en total 13 km, así como 57 túneles de diferentes longitudes en donde destaca el túnel El Sinaloense, con una longitud de 2,660 metros.

**Tabla 10 – Componentes del proyecto**

Concepto	1. Libramiento de Durango	2.- Durango-Otinapa	3.- Otinapa-El Salto	4. El Salto-La Concordia	5.- La Concordia-Villa Unión
Longitud (km)	21.65	22.85	47.30	112.80	25.40
Tipo de carretera	A2	A2	A2	A2	A2
Número de carriles	2	2	2	2	2
Ancho de sección (m)	12	12	12	12	12.0
Acotamientos	Si	Si	Si	Si	Si
Grado de curvatura	6	5	6	8	5
Tipo de terreno	Plano	Lomerío Suave	Lomerío Suave	Montañoso	Lomerío Suave
Velocidad de operación (km/hr)	100.0	100.0	100.0	90.0	100.0
Estado Físico	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Índice de Rugosidad (IRI)	3	3	3	3	3



**Figura 21 – Sección transversal del proyecto**

El trazo de la Autopista El Salto-La Concordia, inicia al oriente del poblado de El Salto en el Km. 91+800 denominado entronque El Salto, continuando hacia el poniente, para luego llegar al límite entre los estados de Durango y Sinaloa, continuando al poniente para luego ligarse con el tramo ya construido de la autopista La Concordia-Villa Unión en el Km. 204+600, denominado entronque La Concordia.

El proyecto para su análisis fue dividido en 5 tramos:

- i. Libramiento de Durango.
- ii. Entronque Libramiento de Durango-Otinapa
- iii. Otinapa-Llano Grande-El Salto
- iv. El Salto-La Concordia
- v. La Concordia-Villa Unión.

### Calendario de actividades

Las principales actividades requeridas para realizar el proyecto se han programado de acuerdo a las siguientes fechas:

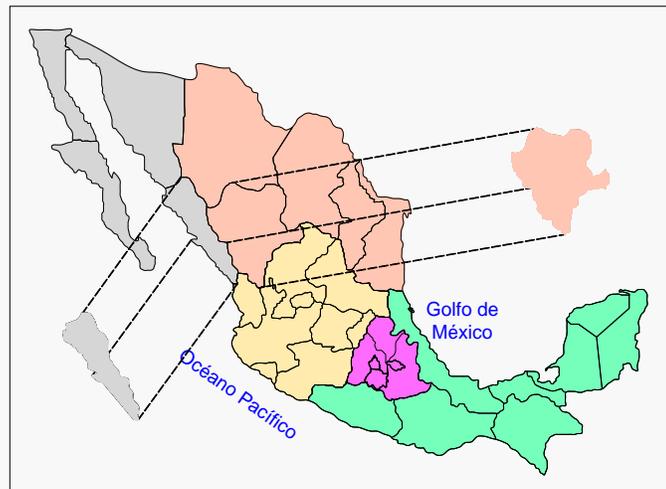
Actividad	Fecha
➤ Proceso de licitación	Otorgados
➤ Construcción Libramiento de Durango -Entronque Otinapa	de 2001 a 2006
➤ Construcción Ent. Otinapa-El Salto	de 2004 a 2010
➤ Construcción Libramiento El Salto	de 2007 a 2010
➤ Construcción El Salto-La Concordia	de 2005 a 2010
➤ Construcción Concordia-Villa Unión	de 2002 a 2010
➤ Construcción faltante	Enero de 2011 a Noviembre de 2012
➤ Inicio de operaciones	Diciembre 2012

## Tipo de proyecto o programa

Se trata de un proyecto de infraestructura económica para la producción de servicios en el sector comunicaciones y transportes.

## Localización geográfica

El proyecto se ubica en los estados de Durango y Sinaloa, que a su vez pertenecen a las mesorregiones Noroeste y Noreste (ver figura 22).



**Figura 22 – Ubicación regional**

Dentro de la red de carreteras, la Autopista Durango-Mazatlán se encuentra paralela a la carretera federal MEX-40, entre los poblados de Durango, Dgo. y Villa Unión, Sin., tal como se muestra en la figura 23.



**Figura 23 – Tramo en construcción El Salto la Concordia**



## Vida útil del proyecto y su horizonte de evaluación

El horizonte de evaluación del proyecto es de 31 años, en tanto que la vida útil del proyecto es por un periodo de 28 años, debido a que los 3 primeros años son para su construcción.

## Capacidad instalada

De acuerdo con la TCMA obtenida en el estudio base, se pronosticó la demanda al horizonte de evaluación y se realizó un análisis de capacidad del proyecto, el cual indica que permitirá atender la demanda en el horizonte de planeación con un buen nivel de servicio durante el periodo su vida útil, tal como se muestra en la tabla 11.

**Tabla 11 – Análisis de capacidad**

Año	Libramiento de Durango		Entronque Libramiento-Otinapa		Otinapa-El Salto		El Salto-La Concordia		La Concordia-Villa Unión	
	TDPA	Nivel de Servicio	TDPA	Nivel de Servicio	TDPA	Nivel de Servicio	TDPA	Nivel de Servicio	TDPA	Nivel de Servicio
0	4,616	B	3,506	B	3,506	B	2,225	C	2,225	B
1	4,778		3,628		3,628		2,303		2,303	
2	4,945		3,755		3,755		2,384		2,384	
3	5,118		3,887		3,887		2,467		2,467	
4	5,297		4,023	C	4,023	C	2,554		2,554	
5	5,482		4,163		4,163		2,643		2,643	
6	5,674		4,309		4,309		2,735		2,735	
7	5,873		4,460		4,460		2,831		2,831	
8	6,079	C	4,616		4,616		2,930		2,930	
9	6,291		4,778		4,778		3,033		3,033	
10	6,511		4,945		4,945		3,139		3,139	
11	6,739		5,118		5,118		3,249		3,249	
12	6,975		5,297		5,297		3,363		3,363	
13	7,219		5,483		5,483		3,480		3,480	
14	7,472		5,674		5,674		3,602	D	3,602	
15	7,734		5,873		5,873		3,728		3,728	
16	8,004		6,079		6,079		3,859		3,859	
17	8,284		6,291		6,291		3,994		3,994	
18	8,574		6,512		6,512		4,133		4,133	C
19	8,874		6,739		6,739		4,278		4,278	
20	9,185		6,975		6,975		4,428		4,428	
21	9,507		7,219	D	7,219	D	4,583		4,583	
22	9,839	D	7,472		7,472		4,743		4,743	
23	10,184		7,734		7,734		4,909		4,909	
24	10,540		8,004		8,004		5,081		5,081	
25	10,909		8,284		8,284		5,259		5,259	
26	11,291		8,574		8,574		5,443		5,443	
27	11,686		8,875		8,875		5,633		5,633	
28	12,095		9,185		9,185		5,831		5,831	
29	12,518		9,507		9,507		6,035		6,035	
30	12,956		9,839		9,839		6,246		6,246	



## Metas anuales

Las metas físicas esperadas con la ejecución del proyecto son las siguientes:

**Tabla 12– Metas físicas anuales**

Año	Obras por realizar	Longitud (km)	Monto (mdo)
2011	Tramo I Construcción del Km. 111+000 al 133+978. Tramo II Construcción del Km. 158+080 al 163+240. Tramo III Construcción del Km. 168+400 al 177+350. Tramo IV Conclusión de la Construcción del Km. 186+300 al 195+450. Tramo V Conclusión de la Construcción del Km. 195+450 al 204+600. Tramo VI Conclusión de la Construcción de 2 entronques en el Km 104+268 y Km, 111+576. Asesoría y del seguimiento del Proyecto	69.418	3,157.35
2012	Tramo I Conclusión de la Construcción del Km. 133+978 al 156+956. Tramo II Conclusión de la Construcción del Km. 163+240 al 168+400. Tramo III Conclusión de la Construcción del Km. 177+350 al 186+300. Implementación de alumbrado público y ventilación en túneles. Asesoría y del seguimiento del Proyecto	43.382	3,157.35

## Beneficios anuales y totales en el horizonte de evaluación.

Los beneficios del proyecto se estimaron en función del ahorro en tiempo de viaje de los usuarios en términos monetarios y de los ahorros en costos de operación vehicular, mismos que se calculan con la diferencia entre las situaciones con y sin proyecto. El detalle de la metodología para la obtención de los beneficios y ahorros del proyecto se encuentra en el capítulo 5.

## Aspectos relevantes

El proyecto ejecutivo se tiene al 100% de acuerdo a la normatividad vigente de la SCT y cuenta con el visto bueno correspondiente. En el ámbito jurídico, se cuenta con el 100% del derecho de vía. Respecto al tema ambiental, ya se cuenta con la Manifestación de Impacto Ambiental.

## Avances en la integración del expediente técnico

El avance en la obtención de los elementos requeridos para iniciar la ejecución del proyecto es el siguiente:

**Tabla 13 – Avances en los requerimientos del proyecto.**

Elemento	Existe (SI/NO)	Avance (%)
Proyecto ejecutivo	Si	100
Derecho de vía	Si	100
Permisos	Si	100



Manifestación de impacto ambiental	Si	100
------------------------------------	----	-----

## Costo total del proyecto

La metodología para calcular los costos de construcción y conservación depende del nivel al que se encuentra el proyecto; es decir, si se tiene a nivel perfil, se utilizan los costos índice por tipo de obra por tipo de terreno, los cuales se multiplican por la longitud aproximada; si se cuenta con el proyecto ejecutivo, los costos se calculan mediante la multiplicación de los costos unitarios de cada componente por el volumen de obra a realizar.

En este caso se tiene toda la información para el cálculo de los costos reales del proyecto.

### m.1. Etapa de ejecución

El monto total de inversión, sin incluir el IVA, a pesos constantes de 2012, se estima en 23,342.4 mdp. El costo total del proyecto incluye la obra civil, supervisión y obras de mitigación de impacto ambiental. El costo por concepto se muestra en la tabla 14 a pesos corrientes y en la tabla 15 a precios constantes.

El calendario de inversiones a erogar durante la etapa de ejecución considera los recursos necesarios para concluir la obra en un periodo de 12 años.

**Tabla 14 – Calendario de Inversiones a Precios Corrientes (Primera parte)**

Componente	Fuente de recursos	Año					
		2001	2002	2003	2004	2005	2006
Libramiento Durango-Ent. Otinapa	PEF	17.4	345.5	0.8	253.4		17.1
	Otra				168.3	69.8	
Ent. Otinapa- Llano Grande	PEF				32.0	124.0	251.0
	Otra						
Llano Grande-El Salto	PEF				16.7	64.6	130.7
	Otra						
Libramiento El Salto	PEF						
	Otra						
Tramo I del Km. 111+000 al Km. 156+956	PEF						
	Otra						
Puente Baluarte	PEF						
	Otra						
Tramo II del Km. 158+080 al Km. 168+400	PEF						
	Otra						
Tramo III del Km. 168+400 al Km. 186+300	PEF						
	Otra						
Tramo IV del Km. 186+640 al Km. 196+000	PEF					79.1	100.1
	Otra						
Tramo V del Km. 195+450 al Km. 204+600	PEF						50.3
	Otra						
Concordia – Villa Unión	PEF		93.1		88.3	130.7	
	Otra						
Asesoría y seguimiento de Puentes y Túneles	PEF						
	Otra						
Iluminación y ventilación de Túneles	PEF						
	Otra						
Total PEF		17.4	438.6	0.8	390.4	398.4	498.9
Total Otra		0.0	0.0	0.0	168.3	69.8	50.3
<b>Total</b>		<b>17.4</b>	<b>438.6</b>	<b>0.8</b>	<b>558.7</b>	<b>468.2</b>	<b>549.2</b>



**Tabla 14 – Calendario de Inversiones a Precios Corrientes (Continuación)**

Componente	Fuente de recursos	Año						Total
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	
Libramiento Durango-Ent. Otinapa	PEF							634.2
	Otra							238.1
Ent. Otinapa- Llano Grande	PEF	138.9	5.4	0.2				551.5
	Otra							0.0
Llano Grande-El Salto	PEF	72.4	2.8	0.3				287.5
	Otra							0.0
Libramiento El Salto	PEF							0.0
	Otra	165.7	217.4	33.9	97.0	17.0		531.0
Tramo I del Km. 111+000 al Km. 156+956	PEF							0.0
	Otra		2.7	819.7	1,814.2	1,004.3	2,957.4	6,598.3
Puente Baluarte	PEF							0.0
	Otra	171.1	334.8	538.5	238.1	300.6	321.7	1,904.8
Tramo II del Km. 158+080 al Km. 168+400	PEF							0.0
	Otra			355.7	516.1	368.8	1,193.4	2,434.0
Tramo III del Km. 168+400 al Km. 186+300	PEF							0.0
	Otra			451.7	611.0	910.7	961.6	2,935.0
Tramo IV del Km. 186+640 al Km. 196+000	PEF	75.0						254.2
	Otra	37.7		249.3	388.7	7.0	85.0	767.7
Tramo V del Km. 195+450 al Km. 204+600	PEF							0.0
	Otra	62.8	100.4	69.1	102.7	115.4	587.1	1,087.8
Concordia – Villa Unión	PEF							312.1
	Otra							0.0
Asesoría y seguimiento de Puentes y Túneles	PEF							0.0
	Otra	15.8	36.9	137.4	163.8	66.3	362.4	782.6
Iluminación y ventilación de Túneles	PEF							0.0
	Otra				31.6	403.8	1,585.9	2,021.3
<b>Total PEF</b>		<b>286.3</b>	<b>8.2</b>	<b>0.5</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>2,039.5</b>
<b>Total Otra</b>		<b>453.1</b>	<b>692.2</b>	<b>2,655.3</b>	<b>3,963.2</b>	<b>3,193.9</b>	<b>8,054.5</b>	<b>19,300.6</b>
<b>Total</b>		<b>739.4</b>	<b>700.4</b>	<b>2,655.8</b>	<b>3,963.2</b>	<b>3,193.9</b>	<b>8,054.5</b>	<b>21,340.1</b>



**Tabla 15 – Calendario de Inversiones a Precios del 2012 (Primera parte)**

Componente	Fuente de recursos	Año					
		2001	2002	2003	2004	2005	2006
Libramiento Durango-Ent. Otinapa	PEF	31.2	603.3	1.3	370.9		22.4
	Otra				246.3	97.7	
Ent. Otinapa- Llano Grande	PEF				46.8	173.6	329.4
	Otra						
Llano Grande-El Salto	PEF				24.4	90.4	171.5
	Otra						
Libramiento El Salto	PEF						
	Otra						
Tramo I del Km. 111+000 al Km. 156+956	PEF						
	Otra						
Puente Baluarte	PEF						
	Otra						
Tramo II del Km. 158+080 al Km. 168+400	PEF						
	Otra						
Tramo III del Km. 168+400 al Km. 186+300	PEF						
	Otra						
Tramo IV del Km. 186+640 al Km. 196+000	PEF					110.7	131.4
	Otra						
Tramo V del Km. 195+450 al Km. 204+600	PEF						
	Otra						66.0
Concordia – Villa Unión	PEF		162.6		129.2	183.0	
	Otra						
Asesoría y seguimiento de Puentes y Túneles	PEF						
	Otra						
Iluminación y ventilación de Túneles	PEF						
	Otra						
Total PEF		31.2	765.9	1.3	571.4	557.8	654.7
Total Otra		0.0	0.0	0.0	246.3	97.7	66.0
<b>Total</b>		<b>31.2</b>	<b>765.9</b>	<b>1.3</b>	<b>817.8</b>	<b>655.5</b>	<b>720.7</b>
Avance Anual (%)		0.1	3.3	0.0	3.5	2.8	3.1
Avance Acumulado (%)		0.1	3.4	3.4	6.9	9.7	12.8

Nota: Los costos de obra se actualizaron a pesos de 2012 mediante los deflatores siguientes, proporcionados por la SHCP: año 2001 = 1.7928, año 2002 = 1.7463, año 2003 = 1.5964, año 2004 = 1.4637, año 2005 = 1.4001, año 2006 = 1.3123, año 2007 = 1.2424, año 2008 = 1.1684, año 2009 = 1.1239, año 2010 = 1.0769, año 2011 = 1.0350.



**Tabla 15 – Calendario de Inversiones a Precios del 2012 (Continuación)**

Componente	Fuente de recursos	Año						Total (mdp)
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	
Libramiento Durango-Ent. Otinapa	PEF							1,029.2
	Otra							344.1
Ent. Otinapa- Llano Grande	PEF	172.6	6.3	0.2				728.9
	Otra							0.0
Llano Grande-El Salto	PEF	89.9	3.3	0.3				380.0
	Otra							0.0
Libramiento El Salto	PEF							0.0
	Otra	205.9	254.0	38.1	104.5	17.6		620.0
Tramo I del Km. 111+000 al Km. 156+956	PEF							0.0
	Otra		3.2	921.3	1,953.7	1,039.5	2,957.4	6,875.0
Puente Baluarte	PEF							0.0
	Otra	212.6	391.2	605.2	256.4	311.1	321.7	2,098.2
Tramo II del Km. 158+080 al Km. 168+400	PEF							0.0
	Otra			399.8	555.8	381.7	1,193.4	2,530.7
Tramo III del Km. 168+400 al Km. 186+300	PEF							0.0
	Otra			507.7	658.0	942.6	961.6	3,069.8
Tramo IV del Km. 186+640 al Km. 196+000	PEF	93.2						335.3
	Otra	46.8		280.2	418.6	7.2	85.0	837.9
Tramo V del Km. 195+450 al Km. 204+600	PEF							0.0
	Otra	78.0	117.3	77.7	110.6	119.4	587.1	1,156.1
Concordia – Villa Unión	PEF							474.8
	Otra							0.0
Asesoría y seguimiento de Puentes y Túneles	PEF							0.0
	Otra	19.6	43.1	154.4	176.4	68.6	362.4	824.6
Iluminación y ventilación de Túneles	PEF							0.0
	Otra				34.0	417.9	1,585.9	2,037.9
Total PEF		355.7	9.6	0.6	0.0	0.0	0.0	2,948.2
Total Otra		562.9	808.8	2,984.3	4,268.0	3,305.7	8,054.5	20,394.2
<b>Total</b>		<b>918.6</b>	<b>818.3</b>	<b>2,984.9</b>	<b>4,268.0</b>	<b>3,305.7</b>	<b>8,054.5</b>	<b>23,342.4</b>
<i>Avance Anual (%)</i>		3.9	3.5	12.8	18.3	14.2	34.5	100.0
<i>Avance Acumulado (%)</i>		16.8	20.3	33.0	51.3	65.5	100.0	100.0

*Nota: Los costos de obra se actualizaron a pesos de 2012 mediante los deflatores siguientes, proporcionados por la SHCP: año 2001 = 1.7928, año 2002 = 1.7463, año 2003 = 1.5964, año 2004 = 1.4637, año 2005 = 1.4001, año 2006 = 1.3123, año 2007 = 1.2424, año 2008 = 1.1684, año 2009 = 1.1239, año 2010 = 1.0769, año 2011 = 1.0350.*

### **m.2. Etapa de operación**

Durante la etapa de operación, se consideran los costos de mantenimiento y conservación, y que corresponden a lo siguiente: (i) mantenimiento rutinario, que incluye básicamente la limpieza general y reparación de pequeños desperfectos de la superficie de rodamiento del tramo por año desde el inicio de operaciones; (ii) conservación periódica, que incluye bacheo general y riego de sello cada 4 años con una sobrecarpeta cada 8 años; (iii) reconstrucción, que consiste en reparar y reponer toda la estructura del pavimento cada 15 años. La tabla 16



presenta los costos de mantenimiento y conservación considerados para las situaciones sin y con proyecto, de acuerdo a las frecuencias indicadas.

**Tabla 16 – Mantenimiento y Conservación (MDP/año)**

Concepto	Longitud (km)	Rutinaria	Bacheo	Sobrecarpeta	Reconstrucción
<b>Ruta Actual Sin Proyecto</b>	<b>305.0</b>	<b>19,527</b>	<b>81,360</b>	<b>325,440</b>	<b>1,236,672</b>
1. Zona Urbana de Durango	20.44	2,453	10,220	40,880	155,344
2. Durango-Otinapa	32.40	1,944	8,100	32,400	123,120
3. Otinapa-El Salto	56.76	3,406	14,190	56,760	215,688
4. El Salto-La Concordia	164.10	9,846	41,025	164,100	623,580
5. La Concordia-Villa Unión	31.30	1,878	7,825	31,300	118,940
<b>Ruta Actual Con Proyecto</b>	<b>305.0</b>	<b>19,527</b>	<b>81,360</b>	<b>325,440</b>	<b>1,236,672</b>
1. Zona Urbana de Durango	20.44	2,453	10,220	40,880	155,344
2. Durango-Otinapa	32.40	1,944	8,100	32,400	123,120
3. Otinapa-El Salto	56.76	3,406	14,190	56,760	215,688
4. El Salto-La Concordia	164.10	9,846	41,025	164,100	623,580
5. La Concordia-Villa Unión	31.30	1,878	7,825	31,300	118,940
<b>Proyecto</b>	<b>230.0</b>	<b>16,560</b>	<b>69,000</b>	<b>276,000</b>	<b>1,048,800</b>
A. Lib. de Durango-Ent. Otinapa	44.50	3,204	13,350	53,400	202,920
B. Autopista Otinapa – Llano Grande	31.10	2,239	9,330	37,320	141,816
C. Autopista Llano Grande-El Salto	16.2	1,166	4,860	19,440	73,872
D. Autopista El Salto-La Concordia	112.80	8,122	33,840	135,360	514,368
E. Autopista La Concordia-Villa Unión	25.40	1,829	7,620	30,480	115,824

### Fuentes de recursos

Los recursos para este proyecto provienen del Presupuesto de Egresos del Gobierno Federal (PEF) y del Fondo Nacional de Infraestructura (Fonadin).

### Supuestos técnicos y socio-económicos

Para llevar a cabo la evaluación socioeconómica del proyecto se toman en cuenta los beneficios obtenidos por concepto de ahorros en costos de operación vehicular, y en el tiempo de recorrido; y como costos del proyecto, los correspondientes a inversión y mantenimiento.

### Infraestructura existente y proyectos en desarrollo afectados

Esta obra no afecta a la infraestructura existente o algún otro proyecto de la región, por el contrario, complementará la modernización de la red carretera de la región para librar la zona montañosa de la Sierra Madre Occidental.



Con la construcción del proyecto en estudio se dará una solución al problema de tránsito de largo itinerario al cruzar la zona montañosa de la Sierra Madre Occidental, generando una solución integral al transporte de carga y de largo itinerario, conectando el noreste con el noroeste de la República Mexicana.

#### 4.4. Situación con Proyecto

Con la puesta en operación del proyecto se tendrán beneficios significativos para los usuarios, lo cual conlleva a una mayor competitividad de la región, al contar con una carretera de altas especificaciones que permitirá el acceso a las poblaciones y el movimiento de mercancías de manera eficiente.

La tabla 17 muestra un comparativo de las principales variables de oferta y demanda de la situación actual optimizada sin proyecto, con la situación con proyecto.

**Tabla 17 – Comparativo de las situaciones sin y con proyecto**

		Tramo	Longitud (km)	Estado físico	(IRI)	Vel. de operación* (km/h)	Tiempo de recorrido* (hr)
Situación Optimizada sin proyecto	Ruta actual sin proyecto	1. Zona Urbana de Durango	20.44	Regular	4.0	45.0	0.46
		2. Durango-Otinapa	32.40	Regular	4.0	60.0	0.54
		3. Otinapa-El Salto	56.76	Regular	4.0	60.0	0.95
		4. El Salto-La Concordia	164.10	Regular	4.0	45.0	3.67
		5. La Concordia-Villa Unión	31.30	Regular	4.0	60.0	0.52
Situación con Proyecto	Ruta actual con proyecto	1. Zona Urbana de Durango	20.44	Regular	4.0	50.0	0.41
		2. Durango-Otinapa	32.40	Regular	4.0	65.0	0.50
		3. Otinapa-El Salto	56.76	Regular	4.0	65.0	0.87
		4. El Salto-La Concordia	164.10	Regular	4.0	50.0	3.28
		5. La Concordia-Villa Unión	31.30	Regular	4.0	65.0	0.48
	Autopista Durango-Villa Unión	A. Lib. de Durango-Ent. Otinapa	44.50	Bueno	3.0	100.0	0.45
		B. Autopista Otinapa-Llano Grande	31.10	Bueno	3.0	100.0	0.31
		C. Autopista Llano Grande-El Salto	16.2	Bueno	3.0	100.0	0.16
		D. Autopista El Salto-La Concordia	112.80	Bueno	3.0	90.0	1.25
		E. Autopista La Concordia-Villa Unión	25.40	Bueno	3.0	100.0	0.25

\* Las velocidades y tiempos que se presentan son las correspondientes a automóviles en la situación sin congestión. Las velocidades para autobuses y camiones de carga se encuentran en las hojas de cálculo anexas al presente informe.



## 4.5. Evaluación del proyecto

### Método de análisis

El método que se emplea para la evaluación económica es mediante el “Análisis Costo-Beneficio”. La evaluación económica de un proyecto de infraestructura carretera se basa en la determinación de las ventajas que ofrecerá al usuario, en términos de ahorros en costos de operación vehicular y tiempo de recorrido de los usuarios en comparación con la inversión requerida para ello. Se trata entonces de una relación entre los beneficios que recibirá la colectividad con la realización del proyecto y los costos en que incurrirá la nación para proporcionarlos. De esta forma, la evaluación económica se basa en la comparación de dos escenarios: con proyecto y sin proyecto, de lo cual se obtienen los beneficios buscados.

La comparación de ambos escenarios implica el análisis de las relaciones entre la oferta y demanda de la infraestructura. La oferta se refiere a la infraestructura carretera que para el caso de la situación sin proyecto, la constituyen las instalaciones existentes, mientras que en la situación con proyecto, considera las modificaciones que se proponen realizar a aquéllas, o bien la realización de obras nuevas. La demanda se refiere a la estimación del tránsito probable tanto para la situación con y sin proyecto y de su posible evolución. El análisis toma en cuenta que la demanda y su evolución están condicionadas por la oferta disponible.

Otros insumos importantes para la evaluación económica del proyecto son los costos de operación vehicular y los montos de inversión correspondientes a la situación con y sin proyecto. Los costos de operación vehicular se refieren a los de los usuarios de la infraestructura y a los asociados con el valor del tiempo de los pasajeros, en las condiciones con y sin proyecto.

Aun cuando es posible considerar otros costos exógenos asociados con los accidentes, con el ruido y con la degradación del medio ambiente, no existen datos cuantitativos confiables para hacerlo, por lo que no se han incluido en la evaluación que se presenta en este documento. Por lo que se refiere a montos de inversión, en el cálculo intervienen la inversión en obra física, sea construcción o modernización, y el mantenimiento de la infraestructura en las dos condiciones indicadas anteriormente.

Con base en la información anterior, se estiman los beneficios económicos del proyecto mediante la resta de los costos asociados a la situación con proyecto menos los correspondientes a la situación sin proyecto. En otros términos, los beneficios económicos derivados de la puesta en operación de un proyecto de infraestructura carretera, cuantificables en términos monetarios, se derivan principalmente de dos fuentes: ahorros por menores costos de operación vehicular y ahorros por menores tiempos de recorrido de los usuarios.

Por otra parte, los montos de inversión inherentes al proyecto en la situación con proyecto están compuestos por la inversión inicial y los gastos programados para su futuro mantenimiento. Para el caso de la situación sin proyecto los constituyen aquellos relacionados con la situación actual optimizada, que en la mayoría de los casos están integrados por los montos de inversión para la conservación y mantenimiento.



Finalmente, en virtud de que los efectos del proyecto se manifiestan a lo largo de su vida útil, se generan flujos de beneficios y costos con diferente valor en el tiempo, por lo que, para hacer comparables los valores de dichos flujos, es necesario emplear una tasa de actualización que refleje las preferencias por el consumo inmediato o diferido. En este caso se utilizó una tasa de actualización del 12%, como ocurre generalmente en proyectos de infraestructura carretera. La rentabilidad del proyecto se midió en términos de los indicadores: Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Neto (VPN) y Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI).

## Evaluación Económica

### *Identificación, cuantificación y valoración de beneficios.*

Los beneficios del proyecto se estimaron en función de dos fuentes: (i) ahorro en tiempo de viaje de los usuarios y (ii) ahorros en costo de operación vehicular.

### *Ahorro en tiempo de viaje*

Para la estimación de los beneficios por este concepto, se requiere como primer insumo fundamental las velocidades a las que transitan los vehículos usuarios de la red de análisis y con ellas determinar los tiempos de recorrido en las situaciones con y sin proyecto.

El segundo insumo importante es precisamente el valor económico del tiempo de los usuarios. Estos valores se tomaron del Boletín Notas 129, Artículo 1, Marzo-Abril 2011, emitido por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT). De acuerdo con el IMT, el valor del tiempo de los pasajeros que viajan por motivo de trabajo es de \$27.46 y por otros motivos de \$16.47 pesos por hora, actualizado al año 2011. Con base en información obtenida por la SCT en encuestas origen-destino, se considera que en promedio un 52.3% de los pasajeros viaja con motivo de trabajo y un 47.7% con motivo de placer, tanto para automóvil como para autobús. La configuración del valor del tiempo de los usuarios que se empleó se muestra en la tabla 18.

**Tabla 18 – Parámetros para estimar el valor del tiempo.**

Concepto	Valor	Unidad
Valor del tiempo viaje de trabajo	27.46	\$/hr
Valor del tiempo viaje de placer	16.47	\$/hr
Porcentaje de viajeros por motivo de trabajo	52.3	%
Número de pasajeros auto	2.29	pas/veh
Número de pasajeros autobús	23.88	pas/veh
Valor del tiempo de la carga	15.00	\$/hr/ton
Toneladas promedio	18.15	ton/veh

Los beneficios anuales por ahorro en tiempo de viaje se obtienen con la diferencia de los costos por tiempo de viaje para cada situación, sin y con proyecto. El costo por tiempo de viaje toma en cuenta el volumen de vehículos diario (TDPA) para autos, autobuses y camiones, el número de pasajeros promedio por tipo de vehículo y el valor del tiempo de los usuarios, elevado al año



(365 días) para cada situación (con y sin proyecto). Se calculan los beneficios por ahorro en tiempo de viaje año por año para los 30 años del horizonte del proyecto. En la tabla 20 se muestran los beneficios por ahorro en tiempo de viaje para el primer año de operación del proyecto.

Para el presente estudio se consideran Beneficios Adicionales por los vehículos que circulan actualmente en los tramos ya en operación de la Autopista Durango-Villa Unión, esto es, por el Libramiento de Durango, por el tramo de Durango a El Salto y de Villa Unión a La Concordia, estos beneficios se reflejan en la tabla de la evaluación económica en los años hasta que se terminó la construcción de toda la autopista (2010, 2011 y 2012). Estos beneficios se deben a que los vehículos que transitan entre Durango y Villa Unión ya tienen la opción de elegir los tramos de autopista en operación y no tienen que transitar por la carretera libre, logrando con esto mejores tiempos de recorridos y menores gastos de combustible.

**Tabla 19 – Beneficios por ahorro en tiempo de viaje para el primer año de operación del proyecto.**

Costos (MDP)	Sin Proyecto	Con Proyecto	Beneficios
Por tiempo de viaje del tránsito	1,380,200	793,478	586,722

#### ***Ahorro en costos de operación vehicular***

Los costos de operación vehicular unitarios se obtuvieron empleando el submodelo denominado VehicleOperatingCost (VOC) que es parte del modelo HighwayDevelopment and Management (HDM4) desarrollado por el Banco Mundial. Los insumos básicos para las corridas del VOC consideraron los valores reportados por el IMT sobre las características técnicas de los vehículos que operan en México, así como de las características representativas de las carreteras en México para los diferentes tipos de terreno: plano, lomerío y montañoso. Los parámetros con los que se alimentó el VOC son los que se muestran en la tabla 20.

Para la situación actual optimizada sin proyecto se consideró una calidad de la superficie de rodamiento correspondiente a la meta del promedio nacional de la red federal de carreteras, así como la eliminación de los reductores de velocidad, y un señalamiento horizontal y vertical en buen estado.

Los beneficios anuales por este concepto se obtienen con la resta de los costos de operación vehicular anuales totales de la situación sin proyecto menos los correspondientes a la situación con proyecto, año por año para los 30 años del horizonte del proyecto. Los costos de operación vehicular anuales se obtienen por tipo de vehículo y se encuentran en las hojas de cálculo anexas.

La tabla 21 presenta los beneficios por ahorro en costos de operación vehicular para las situaciones sin y con proyecto, para el primer año de operación.



**Tabla 20. Parámetros para obtener los costos de operación vehicular**

PARÁMETRO	UNIDAD	Automóvil	Autobús	Camión
<b>Utilización del vehículo</b>				
1 No. kilómetros conducidos por año	Km	20,000.00	240,000.00	180,000.00
2 No. horas conducidas por año	Horas	1,716.00	2,860.00	2,860.00
3 Índice de utilización horaria	Fracción	0.60	0.80	0.85
4 Vida útil promedio de servicio	Años	6.00	8.00	8.00
5 ¿Usar vida útil constante?	1=Si 0=No	1	1	1
6 Edad del vehículo en kilómetros	Km	70,000.00	750,000.00	600,000.00
7 Número de pasajeros por vehículo	#	2.00	23.00	0.00
<b>Costos unitarios</b>				
1 Precio del vehículo nuevo	\$	189,843.50	1'883,447.00	1'032,218.00
2 Costo del combustible	\$/litro	7.17	6.10	6.10
3 Costo de los lubricantes	\$/litro	23.55	23.13	23.13
4 Costo por llanta nueva	\$/llanta	760.63	2,394.96	2,238.73
5 Tiempo de los operarios	\$/hora	0.00	64.61	51.70
6 Tiempo de los pasajeros	\$/hora	0.00	0.00	0.00
7 Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	20.68	54.92	36.19
8 Retención de la carga	\$/hora	0.00	0.00	0.00
9 Tasa de interés anual real		2.84	2.84	2.84
10 Costos indirectos por vehículo-km	\$	0.27	0.81	0.89

**Tabla 21 – Beneficios por ahorro en costos de operación para el primer año de operación del proyecto**

Costos (MDP)	Sin proyecto	Con Proyecto	Beneficios
Operación vehicular del tránsito	3,629,380	2,547,966	1,081,414

La evaluación económica del proyecto se realizó a nivel prefactibilidad, utilizando velocidades de operación para la situación con proyecto estimadas y costos de obra a partir de precios índice, bajo las siguientes premisas:

- En la situación sin proyecto se considera la situación actual optimizada en cuanto a la calidad de la superficie de rodamiento, eliminación de reductores de velocidad, buen estado físico del señalamiento horizontal y vertical
- Tasa de crecimiento del tránsito conservadora del 3.5% anual durante el periodo de análisis.
- En la situación con proyecto se consideraron las características geométricas indicadas en la descripción del proyecto.
- Incluye beneficios de los usuarios que circulan por los tramos en operación de la autopista (Libramiento de Durango-Ent. Otinapa-Llano Grande-El Salto) durante la fase de construcción del tramo faltante (El Salto-Concordia).
- No incluye costos por molestias a los usuarios debido a que el proyecto se realiza en un sitio diferente a la carretera actual en operación.



La tabla 22 resume el valor de los parámetros básicos utilizados para llevar a cabo la evaluación económica del proyecto.

**Tabla 22 – Parámetros para la evaluación económica.**

Carretera	Longitud (km)	TDPA	Composición Vehicular (%)			Inversión (mdp)
			Automóviles	Autobuses	Camiones	
A. Lib. de Durango-Ent. Otinapa	44.50	4,616	82.6	4.3	13.1	23,342.4
B. Ent. Otinapa-Llano Grande	31.10	3,506	82.4	3.1	14.5	
C. Llano Grande-El Salto	16.20	3,506	72.4	2.4	25.2	
D. El Salto –La Concordia	112.80	2,225	60.0	3.7	36.3	
E. La Concordia-Villa Unión	25.40	2,225	88.7	1.7	9.6	

## Resultados

Considerando un período de análisis de 31 años, los indicadores de rentabilidad del proyecto son los que se muestran en la tabla 23.

**Tabla 23 – Indicadores económicos.**

Carretera	Tasa Interna de Retorno (TIR)	Valor Presente Neto (VPN) mdp	Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI)
Autopista Durango-Villa Unión	12.4	729.3	8.1

Con base en estos indicadores, se observa que el proyecto es rentable desde el punto de vista económico, pues genera la utilidad necesaria, durante 30 años, en comparación con el monto de la inversión, con una tasa de descuento del 12%.



## 4.6. Análisis de sensibilidad y riesgos

### 6.a. Análisis de sensibilidad

Con el propósito de identificar los efectos que ocasionaría la modificación de las variables relevantes sobre los indicadores de rentabilidad del proyecto, se efectuaron análisis de sensibilidad con respecto al monto de la inversión, a los costos de mantenimiento y a la demanda, modificando las cifras del 60 al 140% respecto del valor programado. Los resultados se muestran en las tablas 24 a la 26.

**Tabla 24 – Análisis de sensibilidad al monto de la inversión.**

Tasa de Variación (%)	Inversión (mdp)	TIR %	VPN (mdp)	TRI %
140	32,679.36	8.8%	(7,812,602)	5.8%
130	30,345.12	9.5%	(5,677,130)	6.3%
120	28,010.88	10.3%	(3,541,659)	6.8%
110	25,676.64	11.3%	(1,406,187)	7.4%
100	23,342.40	12.4%	729,285	8.1%
90	21,008.16	13.7%	2,864,756	9.0%
80	18,673.92	15.4%	5,000,228	10.2%
70	16,339.68	17.4%	7,135,699	11.6%
60	14,005.44	20.2%	9,271,171	13.5%

Este análisis de sensibilidad muestra que al aumentar en un 10% el monto de la inversión, el proyecto deja de ser rentable económicamente. Al aumentar la inversión un 3.4% (24,139.6 mdp) el VPN sería igual a cero. Con el 67.3% de la inversión (15,719.7 mdp) la TRI sería igual a 12.0%.

**Tabla 25 – Análisis de sensibilidad al monto de conservación y mantenimiento**

Tasa de Variación (%)	TIR %	VPN (mdp)	TRI %
140	12.2%	343,060	8.1%
130	12.2%	439,616	8.1%
120	12.3%	536,172	8.1%
110	12.3%	632,728	8.1%
100	12.4%	729,285	8.1%
90	12.5%	825,841	8.1%
80	12.5%	922,397	8.2%
70	12.6%	1,018,953	8.2%
60	12.6%	1,115,509	8.2%



Este análisis de sensibilidad muestra que aumentando en un 40% el monto de mantenimiento el proyecto sería rentable económicamente. Asimismo, se observa que hay poca sensibilidad de los indicadores a los costos de mantenimiento.

**Tabla 26 – Análisis de sensibilidad a la demanda**

Tasa de Variación (%)	TIR %	VPN (mdp)	TRI %
140	15.4%	6,620,600	10.6%
130	14.7%	5,147,771	10.0%
120	13.9%	3,674,942	9.4%
110	13.2%	2,202,113	8.8%
100	12.4%	729,285	8.1%
90	11.6%	-743,544	7.5%
80	10.7%	-2,216,373	6.9%
70	9.8%	-3,689,202	6.3%
60	8.9%	-5,162,031	5.6%

Este análisis de sensibilidad muestra que al disminuir la demanda al 90%, el proyecto deja de ser rentable económicamente. Con el 95.0% de la demanda el VPN sería igual a cero. Al aumentar la demanda un 62.2% la TRI sería igual a 12.0%.

### **6.b. Riesgos**

El principal riesgo que presenta este proyecto es el de la disponibilidad de la totalidad de recursos presupuestales para concluir la obra en el tiempo previsto. Otros riesgos asociados al proyecto son la demanda social de obras adicionales al momento de la construcción, retrasos en la entrega por problemas técnicos y fenómenos inflacionarios, los cuales podrían incrementar su costo y los tiempos de ejecución.



#### 4.7. Conclusiones

La evaluación del proyecto de construcción del tramo de la Autopista El Salto-Villa Unión, de la Autopista Durango-Villa Unión indica que es una obra de infraestructura económicamente rentable.

Con la construcción del tramo faltante de la autopista se completará el Corredor Troncal Mazatlán-Matamoros, y permitirá mejorar las condiciones de circulación del tránsito local y en mayor medida del tránsito de largo itinerario, se estimulará el desarrollo económico de la región, al contar con una comunicación de mejores características que eleve la seguridad y permita hacer más eficiente el transporte de mercancías y personas.

Con la construcción del tramo faltante de la Autopista El Salto-Villa Unión se tendrán los siguientes beneficios:

- Aumento en las velocidades de operación de los diferentes tipos de usuarios.
- Reducción en los tiempos de recorrido.
- Reducción en los costos de operación de los diferentes tipos de vehículos.
- Disminuir el tránsito de carga y de largo itinerario por las calles de la ciudad.
- Disminución en los niveles de contaminación auditiva y del aire.
- Operación más segura para los usuarios, al reducirse significativamente la posibilidad de accidentes.
- Interconexión de las carreteras federales y estatales del área de influencia del proyecto.

Es por ello que la modernización de esta carretera tiene un gran futuro por el tránsito potencial que está en espera de una autopista de altas especificaciones que reduzca el tiempo de recorrido con la mayor seguridad vial posible y garantice la integridad de los viajeros.

De acuerdo con los indicadores obtenidos en el presente estudio, se recomienda la realización de este proyecto.



## 5. Tendencias futuras: evaluación de la competitividad carretera.

La tendencia en la evaluación de proyectos carreteros está siendo enfocada a la priorización de los proyectos por lo que es necesario tener metodologías para medir la competitividad de la infraestructura carretera existente.

### 5.1. Indicadores de competitividad carretera.

#### 5.1.1. Accesibilidad.

Consideramos (Harberger (2009)) que el elemento clave para la evaluación de los proyectos de infraestructura carretera es el enfoque que se le da para calcular los beneficios esenciales obtenidos de la implementación de los mismos. En este sentido, los proyectos carreteros permiten esencialmente reducir los costos de transporte de personas y mercancías.

Así, en la generación de proyectos carreteros se debe tomar muy en cuenta los beneficios directos que los proyectos pueden producir (Highway and transit investments: 2005), tales como ahorros en los tiempos de traslado, que a su vez, permiten otros beneficios indirectos, tales como oportunidades de desarrollo económico y empleo que favorecen a la economía regional y local. Dichos beneficios indirectos pueden constituir transferencias de la actividad económica de un área a otra, o pueden ser el resultado de beneficios directos filtrados a través de la economía en crecimiento, derivada de las mejoras en la infraestructura, especialmente la carretera.

El factor que nos permite medir esta capacidad de transferencia para el desarrollo de la actividad humana en el ámbito carretero es la **accesibilidad**. Antes de definir accesibilidad cabe distinguir dos conceptos interrelacionados pero distintos que son conectividad y accesibilidad.

Garrido Palacios define la **conectividad** como “el grado de comunicación recíproca entre los vértices, y es el grado de integración o interconexión que representa una red para su funcionamiento interno. Parte del principio básico de que cuantos más arcos tenga el grafo, mayor será su grado de conectividad. En realidad, indica la mayor o menor complejidad estructural de la red, lo cual está ligado directamente al número de nodos, arcos y a su disposición espacial”.

El concepto de **accesibilidad** es diverso y varias las medidas para valorarlo. En general, se define como "el sumatorio de las oportunidades relativas de contacto e interacción espacial desde el conjunto del sistema" (Calvo Palacios, 1993). Ahora bien, la localización de la red vial debe interrelacionarse con otros agentes como la distancia, los costos y el tiempo. Por otra parte, la velocidad, la densidad y la congestión son elementos que deberían ser considerados en el concepto de accesibilidad.



Diego Leopoldo Cisneros Comboni

Por otra parte, si hablamos de accesibilidad, los estudios que se han llevado a cabo se asocian a metodologías del orden geográfico que permiten aportar elementos que identifican que tan accesible es una región (real) respecto a otra (ideal), por la presencia de carreteras que comunican diversos nodos de distribución, turismo, educación, salud, etc.

Asimismo, la accesibilidad puede ser medida como un potencial de oportunidades (económicas, sociales, culturales, etc.), como una medida física de utilidad (entendida en relación al servicio público) y como un conjunto de elementos (costos, etc.), y otras formas. (Martellato, D. 1995).

Entonces, ¿de qué manera podemos medir la accesibilidad de una red carretera? Galán Bueno, propone un método para hallar la accesibilidad potencial en el que analiza la calidad de las comunicaciones mediante una comparación entre los costos (longitud, tiempo y/o unidades monetarias) de la red real con los correspondientes de una red ideal que servirá de referencia.

Los elementos a considerar para ambas redes son los siguientes: centroides (núcleos generadores de actividad), nudos (extremos de tramo: núcleos de población) y tramos (longitud, tiempo medio de recorrido y costo medio), grafo de la red (relación de nudos y tramos en longitud y velocidad).

El método consiste en obtener los tiempos de recorrido en la red real y en la red ideal con base en las velocidades medias reales de los tramos. Se comparan dichos tiempos y se determinan los caminos mínimos (en términos de longitud y tiempo) entre centroides. A partir de estos resultados se determina la matriz de accesibilidad topológica.

El método considera dos términos más que son la división política (estructura interna de cada región) y la cabecera municipal (centroide que representa el municipio o localidad principal o central de actividades de la región).

A partir de estos caminos mínimos podemos obtener indicadores y relaciones que nos brindarán información útil sobre el territorio y la estructura de la red. Los indicadores más interesantes, de acuerdo con Galán Bueno, son: El ratio de tiempo (TR/TF) y el ratio de trazado (DR/DF).

Garrido Palacios plantea otros indicadores, como son los siguientes:

Primero mide la conectividad el cual es determinante para la medición de la accesibilidad. Para ello utiliza los índices introducidos por Kansky (Kansky, 1963) que son los siguientes: Beta, Gamma y Alfa, junto al Número Ciclomático.

*El índice beta ( $\beta$ ) es la relación entre el número de arcos y nodos de la red, y se expresa como:*

$$\beta = a / n$$

*Siendo  $a$  el número total de arcos y  $n$  el de nodos.*

*El índice gamma ( $\gamma$ ) establece la relación del número de arcos que tiene el grafo y el máximo posible.*

$$\gamma = 2a / n(n-1)$$

*Frente al indicador anterior, este supone la gran ventaja de efectuar comparaciones entre redes de distinto número de nodos.*

*El número ciclomático ( $u$ ) es el número de circuitos que tiene un grafo.*

$$u = a - (n-1)$$



Diego Leopoldo Cisneros Comboni

*Pero esta formulación es aplicable sólo a las redes coherentes, por lo que en Aragón hay que recurrir a fórmulas que integren a redes constituidas por varios subgrafos:*

$$u = a - n + g$$

*Siendo g el número de subgrafos de la red.*

*Por último, el índice alfa (x) expresa el ratio entre el número de circuitos de un grafo y el máximo posible.*

$$x = u / 2n - 5$$

Luego, para medir la accesibilidad utiliza los siguientes indicadores:

El número de **Köning** o asociado es aquél que corresponde con la distancia que separa a cada nodo con el más distante topológicamente. Esto implica que el número asociado más bajo es el nodo más accesible.

Más utilizado es el índice de **Shimbel** o índice de accesibilidad absoluta. Se basa en la ruta más corta entre los nodos, y es la suma del número de arcos que separa cada nodo con todos los demás por el camino más corto. Se expresa así:

$$A_y = \sum d_{xy}$$

Donde  $d_{xy}$  es el número de arcos que separa a los nodos x e y por el tramo más corto. Igualmente al caso anterior, el valor más bajo corresponde al más accesible.

El índice de accesibilidad absoluta permite, a su vez, deducir otros dos índices. El primero, denominado **longitud media de la vía (cadena)**, es el cociente de la accesibilidad topológica absoluta y el número de nodos.

$$P_y = A_y / n$$

Por otro lado, para obviar la dificultad de comparar redes con distinto número de nodos se obtiene **el índice de accesibilidad topológica relativa o índice omega**, que se define como:

$$O_y = (A_y - A_{\text{mín.}})100 / A_{\text{máx.}} - A_{\text{mín.}}$$

Siendo  $A_y$  el índice de Shimbel de dicho nodo,  $A_{\text{máx.}}$  el índice de Shimbel más alto, y  $A_{\text{mín.}}$  el más bajo. Los valores oscilan entre 0 y 100 para los nodos de mayor a menor accesibilidad, respectivamente. De cualquier forma, la jerarquía de estos últimos indicadores mantiene la correspondencia con el de Shimbel.

Bien es verdad que estos resultados ocultan otros datos significativos, tales como la calidad de las infraestructuras y las distancias físicas u horarias, pero también es cierto que ofrecen resultados aproximados de la distribución espacial de la red.

**La medida de la centralidad** define el grado de influencia de un lugar central en su área Tributaria. Christaller fue el primero en aplicarlo, relacionando la población y los teléfonos instalados en cada núcleo, y lo desarrolla Davis (1967) para los establecimientos ubicados en un lugar central. De cualquier manera, esta medida desempeña un papel significativo para la ubicación de infraestructuras o de equipamientos diversos y para obtener la mayor cobertura territorial posible. La centralidad puede hallarse para toda la red o bien para cada nodo.

En este sentido, la centralidad media de cada nodo se calcula por el ratio del índice de Shimbel de cada nodo y el número total de nodos menos uno.



$$C = AY / n-1$$

Por otro lado, para conocer **la relación entre la red de transporte y el desarrollo** se aplica el análisis de correlación, que mide la fuerza de asociación entre el grado de conectividad<sup>6</sup> de la red y diferentes variables socioeconómicas: población, PIB (Producto Interior bruto), Renta Regional Bruta y el PIB por habitante (BBV, 1995). Este análisis ha sido utilizado por Kansky para observar el grado de correlación de diferentes países.

Asimismo se calcula el **coeficiente de determinación** ( $r^2$ ) para señalar que la variación de la conectividad explica la variación que aparece en el resto de las variables consideradas.

### 5.1.2. La seguridad

La **seguridad** es una cualidad de los espacios públicos y privados, que se caracteriza por la inexistencia de amenazas que socaven o supriman los bienes y derechos de las personas y en la que existen condiciones propicias para la convivencia pacífica y el desarrollo individual y colectivo de la sociedad. (Sergio García, 2002). La construcción de esta cualidad implica la participación de múltiples recursos de la sociedad y del Estado.

Dicho lo anterior, es preciso mencionar que en cualquier ámbito cuando se habla de seguridad se está haciendo referencia a las condiciones en las que se desarrolla una actividad: las prevenciones que se han tenido en cuenta en caso de complicaciones, las acciones que se realizarán en caso de desastre y fundamentalmente, de qué forma se trabajará para brindar equilibrio y tranquilidad en dicho entorno.

Para caracterizar el enfoque de seguridad en una red carretera, será necesario contestar cuatro preguntas, de las cuales las dos primeras son las más importantes, con base en los criterios formulados por David Baldwin (1997:pag.13).

a) ¿Para quién es la seguridad?, b) ¿Qué valores hay que asegurar o proteger?, c) ¿Qué amenazas a la seguridad se perciben?, y d) ¿Con qué medios se puede garantizar la seguridad?

Atendiendo dichas premisas, en el ámbito carretero la seguridad se limita a garantizar el buen funcionamiento de la circulación del tránsito, mediante la utilización de conocimientos (leyes, reglamentos y disposiciones) y normas de conducta, bien sea como Peatón, Pasajero o Conductor, a fin de usar correctamente la vía pública previniendo los accidentes de tránsito. Con lo cual, queda manifiesto que la seguridad corresponde al derecho y obligación de los usuarios en sus distintas formas de participación dentro del uso de las carreteras; siendo la integridad física de los usuarios y los bienes materiales los valores a proteger o asegurar.

En México, como en todos los países del mundo existen múltiples estudios relacionados con los factores que causan los accidentes dentro de un sistema carretero y que representan la principal amenaza a la seguridad.

De acuerdo con los estudios desarrollados por el Dr. William Haddon (1970), no es habitual encontrar un análisis por parte de los medios de comunicación que indique que la causa



final, o desencadenante, pudo ser una toma de decisión incorrecta por parte del conductor y que ésta tuvo como origen el desconocimiento de la norma, o características de la vía. Haddon propuso una matriz (Tabla 27) formada por las dos siguientes dimensiones: fases y factores. Las fases: antes, durante y después. Los factores: la persona, el vehículo y su equipamiento, y el entorno vial.

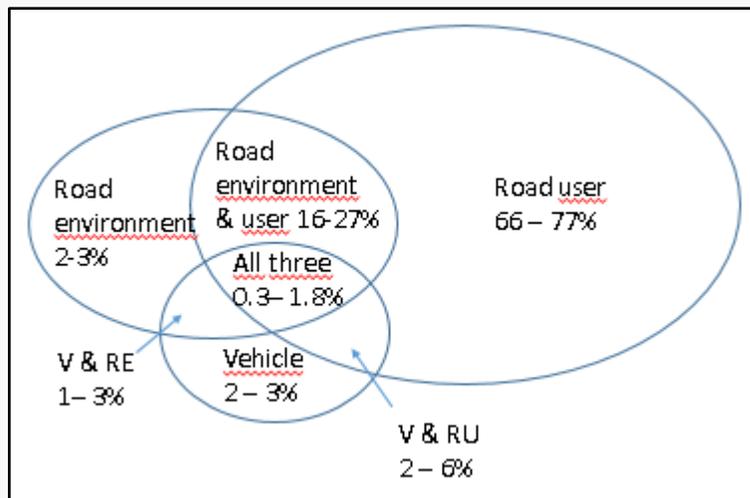
Con esta herramienta, a través de un enfoque sistémico dinámico se busca identificar y corregir las principales causas de error humano, aspectos técnicos de los vehículos y los caminos, evitando sólo identificar determinantes en la ocurrencia de los accidentes, sino que además orienta la intervención preventiva hacia aquellos aspectos que se identifiquen como susceptibles de modificación.

**Tabla 27. Matriz de William y Haddon**

Matriz de William Haddon		Factores		
		Persona	Vehículo & Equipamiento	Entorno
Fases	Antes	Edad Alcoholemia Cumplimiento de norma, etc.	Velocidad Equipamiento de seguridad de serie Luces de conducción diurna, etc.	Visibilidad de la carretera Vías de sentido único Vías de doble sentido, etc.
	Durante	Uso del caso Cinturón Edad, etc.	Comportamiento de los airbags durante la colisión Estructura deformable, etc.	Obstáculos en el margen de la vía Barreras de protección, etc.
	Después	Estado de salud general, etc.	Atrapamiento Facilidad en el rescate Incendio, etc.	Postes SOS Hospitales Entorno socio-familiar Rehabilitación, etc.

La matriz desarrollada por Haddon, ha funcionado como base para expertos que buscan estadísticamente determinar cuáles son las causas que inciden en la accidentabilidad dentro de los caminos. El modelo de índices de causas más utilizado es el de Sabey y Taylor, posteriormente ajustado por Carsten et al.

**Figura 22. Índices de causas (Carsten et al)**



A pesar de que los mayores porcentajes de accidentes son imputables a los conductores (por velocidad excesiva (39.4%); por invasión de carril (10.1%); y por imprudencia o intención (6.2%). Los relativos al estado físico de las carreteras federales son del 12.4%; en tanto que a los agentes naturales es la lluvia con el 6.9%. La causa más común en el caso de los vehículos es la falla en las llantas, con el 2%.

En los últimos años, las muertes en accidentes ocurridos en carreteras de la red federal en el periodo 2003-2010 han disminuido de acuerdo a lo informado por la Policía Federal de Caminos y la Dirección General de Servicios Técnicos, SCT, como se muestra en la tabla 28.

**Tabla 28. Evolución de la accidentalidad en la RCF, entre 2003 y 2011**

Año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Muertes	4,650	4,603	4,710	4,908	5,398	5,379	4,870	4,440

Para comprender un poco más estos datos, de acuerdo con información del Instituto Mexicano del Transporte (2010); en México se ha estimado un costo directo de los accidentes en carreteras federales del orden de los 1,200 millones de dólares, es decir, alrededor del 0.3% del Producto Interno Bruto (PIB). Si consideramos los accidentes ocurridos en toda la red carretera que incluye caminos estatales, urbanos y rurales, se tendría un valor del orden del 1% del PIB. Siendo para el caso de los Estados Unidos de América un índice del orden del 3%.

Los datos anteriores son un reflejo económico de las pérdidas. La realidad es que no hay manera de medir una pérdida humana y es injustificable el considerar una pérdida humana como un mal menor. Es indispensable para cualquier país y en particular para México; el adoptar medidas en todos los ámbitos de competencia que permitan disminuir la siniestralidad en el sistema carretero del país e incrementar la calidad del servicio carretero, con la finalidad de que los usuarios lleguen a sus destinos de forma segura.

Según el Instituto Mexicano del Transporte, son tres aspectos importantes en los que se debe trabajar para mejorar en materia de seguridad vial. Estos son: el ámbito administrativo e institucional para controlar la ocurrencia de accidentes, el mejoramiento



**Diego Leopoldo Cisneros Comboni**

de la infraestructura y el factor humano. El primero consiste en la operación de un sistema de administración de la seguridad vial fundamentado en la implantación de un proceso de planeación estratégica y la formulación de estrategias de intervención.

En el ámbito de la calidad de la infraestructura deben adoptarse mecanismos de auditoría en seguridad carretera para todos los proyectos y el tratamiento de sitios de alta concentración de accidentes. En cuanto al factor humano debe tomarse en consideración la influencia de varios elementos como el estrés, el alcohol, las drogas, el sueño y la fatiga mental ocasionada por la conducción y a continuación instrumentar leyes y políticas para la gestión adecuada de los elementos mencionados.

Existen múltiples investigaciones orientadas a las causas que motivan e influyen en el índice de accidentes en el ámbito carretero, sin embargo, en ningún caso se asocian a constituir una base para priorizar la selección de los recursos que se deben asignar en la modernización de la red carretera.

De acuerdo con Jacobs, históricamente en la realización de los análisis costo-beneficio para la evaluación de carreteras en países subdesarrollados se ha presentado una tendencia a cuantificar únicamente los ahorros en los costos de operación vehicular. Usualmente tres razones se han utilizado para excluir los costos derivados de la reducción de accidentes carreteros:

- a) La dificultad en la cuantificación de los costos de los accidentes vehiculares.
- b) Cambios en las tasas de accidentes vehiculares, las cuales se producen después de una mejora en una carretera específica.
- c) La creencia de que la inclusión de los ahorros por reducción de accidentes vehiculares tendría un efecto mínimo en la evaluación económica del proyecto.

Según Jacobs, existen dos métodos para calcular la estimación y contabilización de los costos por accidentes vehiculares. El primero se basa en la cuantificación del valor de la prevención de un accidente, definida como la cantidad total que todos los individuos afectados en la sociedad está dispuestos a pagar por pequeñas reducciones en el riesgo de sufrir un accidente tanto para sí mismos y para aquellos que les importan.

El segundo método aceptado es el de “producción bruta” (o “capital humano”), enfoque en el cual el costo del accidente de tráfico es la suma real del costo de los recursos (tales como vehículos y daños de propiedad, gastos médicos y policíacos) y el valor presente descontado de la futura producción de la víctima (basado a su vez en el promedio actual de las tasas de salario). Como es evidente, esta es una visión exclusivamente materialista de la persona con un interés exclusivamente colectivista. No se puede valorar una pérdida humana en términos económicos.

Ciertamente es necesario evaluar el fenómeno de accidentabilidad por medio de un índice y este debe influir en la toma de decisiones para priorizar el mantenimiento o si es requerida la modernización de tramos carreteros con un alto índice de siniestralidad. Pero para poder implementar adecuadamente un indicador sobre seguridad vial en carreteras debe haber un cambio de política en materia de seguridad pasando de una visión “estatocéntrica” a una visión



“antropocéntrica”. De esta manera no se cae en el grave error reducir el valor de la persona a los intereses de la colectividad.

### 5.1.3. Vulnerabilidad

Otro indicador acerca del cual hablan ciertos autores es el nivel de vulnerabilidad de una carretera, el cual puede definirse como la capacidad que tiene un sistema carretero para mantener el nivel de operación ante un evento extraordinario que provoque una modificación en el funcionamiento regular del sistema carretero. Este evento extraordinario puede ser un imprevisto incremento del tránsito en un tramo determinado, un derrumbe que provoque un corte de circulación, un accidente automovilístico, etc.

De acuerdo con Gradilla-Hernández, la vulnerabilidad es un concepto que hace referencia a los efectos provocados por la falla de algún(os) tramo(s) del sistema de transporte carretero en su conjunto. Sin embargo, existen tramos en particular con capacidad de crear un efecto grave en el sistema, a este tipo de tramos se les conoce en la literatura especializada como “tramos críticos”.

Para medir la vulnerabilidad propone una metodología de análisis multicriterio para identificar los tramos críticos de la red. Esta metodología se realiza bajo el enfoque de la cuantificación de los efectos que provoca la obstrucción de arcos individuales en el funcionamiento de la red de carreteras analizada, independientemente de la probabilidad de obstrucción de cada arco.

Es conveniente que la cuantificación de los efectos se lleve a cabo considerando tres criterios:

- a) Conectividad de pares origen-destino.
- b) Accesibilidad. (Cuando anteriormente hablamos del indicador accesibilidad era para medirlo a sí mismo; en este caso la accesibilidad está enfocada a medir la vulnerabilidad)
- c) Tiempo de viaje. Cada arco podrá ser analizado por separado de tal forma que se puedan obtener índices de vulnerabilidad de la red para afectaciones de falla en arcos individuales. El modelo recomendado tomaría la forma siguiente:

$$I_a = f_1 \left( \frac{R_a}{R_0} \right) + f_2 \left( \frac{A_a}{A_0} \right) + f_3 \left( \frac{c_a}{c_0} \right)$$

Donde:

$R_a$  = número de rutas que cruzan el arco  $a$  y conectan los pares de centroides de la red analizada

$R_0$  = número de rutas totales que conectan la totalidad de los pares de centroides de la red analizada,

$A_a$  = suma de los índices de accesibilidad de todos los centroides de la red para el escenario en donde se simula la obstrucción del arco  $a$ ,



Diego Leopoldo Cisneros Comboni

$A_0$  = suma de los índices de accesibilidad de todos los centroides de la red para el escenario base;

$C_a$  = costo del tiempo de viaje de todo el sistema cuando está totalmente obstruido el arco  $a$ ,

$C_0$  = costo del tiempo de viaje de todo el sistema cuando están presentes todos los arcos de la red analizada,

$F_1$  = factor del criterio de conectividad

$F_2$  = factor del criterio de accesibilidad

$F_3$  = factor del criterio de tiempo de viaje.

El primer término del modelo recomendado, cuyo significado es positivo, plantea la vulnerabilidad de la red a un arco específico como proporcional al número relativo de rutas origen destino afectadas por su obstrucción. En este criterio, deberán ser resueltas tres indeterminaciones actuales. Una referente a la importancia de este criterio respecto a los otros dos (más adelante se aborda en conjunto con los parámetros respectivos de los otros dos criterios).

Otra definición necesaria para el término se refiere a las rutas pertinentes a considerar: sin rizados y con una relación distancia total/distancia a vuelo de pájaro "adecuada". Para ello, se recurre a la simplificación de la red total de caminos para el automotor, restringiéndola exclusivamente a la red federal troncal y algunos arcos estatales secundarios. Una tercera definición requiere tomar en cuenta las diferencias en la importancia de las rutas, ponderadas de acuerdo a la cantidad de viajes generados en sus respectivos centroides.

El signo del segundo término es negativo. La vulnerabilidad de la red a un determinado arco obstruido es inversamente proporcional a la accesibilidad relativa resultante de su obstrucción (o directamente si se trata de la impedancia).

Finalmente, se propone tomar en cuenta la capacidad de los arcos carreteros en atención al criterio de tiempo de viaje, ya que se ha argumentado que cuando una red carretera se somete a una gran cantidad de tráfico desviado, un pequeño aumento en el flujo podría causar más daños porque estos podrían magnificarse y presentar un comportamiento en cascada a través de toda la red de carreteras hasta que probablemente ésta colapse.

Para estimar el tiempo de viaje, se tomará en cuenta el nivel de congestión que ocasionaría la obstrucción de un determinado arco y se aplicará un modelo de asignación estática que tome en cuenta la capacidad de los arcos y la estimación de la demanda.

Una parte importante de los estudios de vulnerabilidad han sido desarrollados tomando como base que ésta debe estar seleccionada con las consecuencias que tenga la obstrucción de uno o más tramos carreteros en el acceso de algunos o todos los nodos de la red. Si bien, la unidad de análisis es cada uno de los tramos, la atención está puesta en los efectos de la obstrucción en los nodos principales. (Gradilla-Hernández, L.A, 2011).

Lleras-Echeverri et al. (2001) propusieron medir los cambios en la accesibilidad nodal que ocasionaría cada escenario evaluado, es decir, la falla de uno o más de los tramos que se encuentran en los caminos más cortos entre los centroides analizados, para posteriormente calcular un parámetro de clasificación, que permitiera identificar los que provocan mayores aumentos en el costo generalizado de viaje.



Es decir, estos autores centran su atención en la generación de escenarios complejos de falla, sin precisar la medida específica de accesibilidad en las carreteras que se utilizaría en la aplicación del modelo. Entonces, a pesar de que se menciona el “costo generalizado de viaje,” éste es entendido meramente como la suma del tiempo y el costo directo de viaje (promedios) entre cada par origen destino del viaje, en condiciones de tráfico libre. Esto es, sin considerar la interacción de flujos con la red.

Taylor et al. (2006) presentaron otro enfoque para medir la vulnerabilidad de redes carreteras, en donde un tramo de red carretera es crítico si la obstrucción del tramo provoca una disminución significativa en la accesibilidad de determinadas ciudades, esta última medida con el índice ARIA, que pondera la accesibilidad de acuerdo a la población y a las instalaciones de las ciudades de servicio; pero, al igual que en las metodologías antes descritas, no se toma en cuenta el congestionamiento y ni siquiera el funcionamiento de la red ante la demanda.

#### **5.1.4. Integración del índice de competitividad.**

Para integrar los indicadores anteriormente mencionados y establecer un solo indicador de competitividad carretera, es necesario utilizar un método que permita valorar cada uno de estos para encontrar una evaluación global de la competitividad carretera con una definición contundente de la misma.

Para ello, se propone utilizar los métodos de decisión multicriterios que tienen como propósito (Tsoukias 2007), ayudar al tomador de decisiones en todas las etapas del proceso.

Gradilla Hernández recomienda usar métodos para evaluar un conjunto discreto de alternativas sin incertidumbre. Para ello, menciona, se han utilizado tres tipos de métodos: métodos de función de valor, métodos de sobreclasificación y el método de jerarquía analítica.

En el primer grupo (Keeney et al., 1976; Dyer, 2005), el objetivo principal es la construcción de una función de valor, la cual asigna un número en el intervalo (0,1), a los resultados obtenidos por una alternativa en el conjunto de criterios. Al tener asociado a cada alternativa un valor entre 0 y 1, se pueden ordenar éstas, de mayor a menor preferencia. La principal desventaja de este método es la dificultad para obtener la información de preferencias. Como consecuencia, han sido desarrolladas versiones simplificadas en las cuales se sacrifica la consistencia por la simplicidad de su aplicación. Entre estos métodos destaca SMART (Cohon et al., 1997), con el cual se obtienen funciones lineales unidimensionales normalizadas, con un valor 1 asignado al mejor resultado y 0 al peor resultado; y una función aditiva para combinar estas últimas, en donde los pesos se asignan de manera intuitiva a partir de un ordenamiento de criterios con respecto a su importancia.

Los métodos de sobreclasificación, pertenecen a la escuela europea de análisis de decisiones, representada por la familia de métodos ELECTRA. Su principal característica es la sustitución de la relación de preferencia, por una relación más flexible de sobreclasificación. En esta relación, una alternativa sobreclasifica a otra (es al menos tan buena como ella), si tiene mejores resultados en la mayoría de los criterios (medido a través de una relación de “concordancia”). La aplicación de estos métodos involucran dos fases: en la primera se construyen las relaciones de sobreclasificación anteriormente descritas y en la segunda se “explotan” estas relaciones para obtener un subconjunto de alternativas no dominadas (alternativas que no son sobreclasificadas por otras), del cual se seleccionará posteriormente la mejor alternativa. La



obtención de este subconjunto se facilita con la ayuda de la gráfica de “Kernel”, ya que ésta representa visualmente las relaciones de dominación entre las diferentes alternativas. Esta gráfica se construye con un nodo por cada alternativa y con arcos  $(i, j)$ , que se tienen, siempre y cuando la alternativa  $i$  sobreclasifique a la alternativa  $j$ . Cuando esta gráfica no contiene ciclos dirigidos, existe siempre un “Kernel” único.

Otro grupo de métodos relacionados con ELECTRA, es el PROMETHEE, el cual se desarrolló con la idea de simplificar los primeros métodos y sobre todo tratando de disminuir el número de parámetros que tiene que obtenerse de un tomador de decisiones.

El proceso de jerarquía analítica, es un método que utiliza solamente comparaciones entre pares de resultados considerando cada criterio por separado y entre pares de criterios entre sí para conseguir un ordenamiento final de un conjunto de alternativas. La comparación entre pares se basa en juicios subjetivos sobre la importancia relativa de un resultado (o criterio) sobre otro. Esta importancia se traduce a una escala numérica al asignar un valor entre 1 y 9 que refleja la mayor o menor importancia considerada. Los valores usados son: uno (misma importancia); tres (moderadamente más importante); cinco (fuertemente más importante); siete (muy fuertemente más importante); gran número de arcos, de que sería prácticamente imposible obtener comparaciones por pares y por tanto, no se recomienda utilizarlo para la fase de comparación de resultados. Sin embargo, se recomienda aplicar este método hasta el nivel de los criterios, junto con una función normalizada (posiblemente lineal) para calificar los resultados en cada uno de ellos.

## 6. Conclusiones

En los últimos años, los recursos presupuestales asignados al desarrollo carretero en México, han resultado insuficientes tanto para la conservación del patrimonio existente como para la modernización y construcción de nuevas obras, por lo que el rezago en este subsector, queda de manifiesto al tener un ritmo de crecimiento más lento del requerido (Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2007-2012).

Si bien es cierto que es necesario contar con más inversiones para brindar mayor cobertura y seguridad, también es fundamental establecer los mecanismos que garanticen un uso eficiente de dichos recursos y que los proyectos se realicen en tiempo y forma. (PSCT 2007-2012).

El sector público no debe atender una inversión carretera partiendo exclusivamente de un presupuesto de beneficio económico-comercial sino cubrir las necesidades de infraestructura carretera teniendo como fin el bien común de la sociedad. Para ello, es necesario atender otros indicadores que vinculen la eficiencia del sistema de infraestructura con las actividades sociales.

Para lograrlo, los investigadores recientes deben de complementar los trabajos que aisladamente han desarrollado expertos en materia de evaluación de beneficios en proyectos carreteros, con la finalidad de que los análisis que se realicen para determinar la factibilidad de los proyectos, muestren un conjunto de variables que incidan en la generación de bondades



para la población, es decir, tomen en cuenta todos los factores que agreguen un valor al cálculo de beneficios socioeconómicos.

El análisis costo-beneficio que se aplica actualmente para valorar la viabilidad financiera de los proyectos es adecuado para la evaluación de proyectos individuales. Sin embargo, para poder analizar estratégico multivariado se requiere un análisis multi-criterio que permita evaluar los proyectos carreteros con una visión de conjunto. Esta metodología permitirá contar con elementos de priorización que serán considerados durante la etapa de planeación de las obras de acuerdo al mayor beneficio obtenido por un proyecto para la sociedad sobre otros que presenten menores beneficios.

Una metodología de evaluación multi-criterio permitirá obtener un índice que mida cuantitativamente la competitividad de la infraestructura carretera. Si este índice es adecuado y se alcanza consenso en torno al mismo se podrá contar con un sistema de planeación basado más en la competitividad carretera que en la propaganda política (algo similar a lo que sucede en el sector eléctrico con el programa POISE<sup>3</sup>). La instrumentación de esta metodología permitirá reducir la desigualdad entre las regiones y abatir la marginación, así como promover la competitividad y la eficiencia logística y del transporte mediante la ejecución de infraestructura y el mejoramiento de los servicios de manera objetiva y óptima.

Finalmente, para poder contar en el corto plazo con una cartera de proyectos carreteros priorizados, será necesario que los principales actores en materia de evaluación de proyectos reúnan esfuerzos. Así, tomando provecho de los conocimientos disponibles en evaluación de proyectos carreteros, por medio de la coparticipación de académicos, consultores y gobernantes se podrá establecer una nueva forma de analizar y priorizar la ejecución de obras proporcional a las circunstancias actuales. Con este medio se contribuirá en garantizar la correcta aplicación de los recursos públicos en infraestructura carretera.

---

<sup>3</sup> POISE parte de una proyección de demanda basada en un programa de requerimientos de capacidad y la determinación de un margen de reserva de energía Capacidad de generación – Consumo anual demandado. Los proyectos de generación, transmisión y distribución se enfocan directamente a cubrir esa demanda y simplemente se realiza una relación costo-beneficio entre las alternativas



## Glosario

**Análisis costo y beneficio:** Evaluación de los programas y proyectos de inversión a que se refiere el artículo 34, fracción II, de la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria, y que considera los costos y beneficios directos e indirectos que los programas y proyectos generan para la sociedad;

**CAE:** Costo Anual Equivalente;

**Cartera:** Programas y proyectos de inversión de conformidad con lo establecido en los artículos 34, fracción III, de la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria y 46 del Reglamento de la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria;

**Componentes:** Activos que se requieren para llevar a cabo el programa o proyecto de inversión, como son las obras, edificios, bienes, equipo, maquinaria, patentes, entre otros;

**Costo total:** Suma del monto total de inversión, los gastos de operación y mantenimiento, y otros costos y gastos asociados a los programas y proyectos de inversión;

**Demanda:** Cantidad de un determinado bien o servicio que la sociedad, un grupo o población determinada requiere o está dispuesta a consumir o utilizar por unidad de tiempo a un valor determinado, en un mercado específico o relevante;

**Estudio de Preinversión:** Estudios que son necesarios para que una dependencia o entidad tome la decisión de llevar a cabo un programa o proyecto de inversión;

**Evaluación a nivel de perfil:** Evaluación de un programa o proyecto de inversión en la que se utiliza la información disponible con que cuenta la dependencia o entidad, tomando en cuenta la experiencia derivada de proyectos realizados y el criterio profesional de los evaluadores. También se puede utilizar información proveniente de revistas especializadas, libros en la materia, artículos contenidos en revistas arbitradas, estudios similares, estadísticas e información histórica y paramétrica, así como experiencias de otros países y gobiernos. Para este tipo de evaluación, la información a utilizar, para efectos de la cuantificación y valoración de los costos y beneficios específicos del proyecto, debe permitir el cálculo de indicadores de rentabilidad;

**Evaluación a nivel de prefactibilidad:** Evaluación de un programa o proyecto de inversión en la que se utiliza, además de los elementos considerados en la evaluación a nivel de perfil, información de estudios técnicos, cotizaciones y encuestas, elaborados especialmente para llevar a cabo la evaluación de dicho programa o proyecto. La información utilizada para este tipo de evaluación debe ser más detallada y precisa, especialmente por lo que se refiere a la cuantificación y valoración de los costos y beneficios. La información utilizada para el análisis a nivel de prefactibilidad, deberá ser verificable e incluir las fuentes de información de la misma en la sección de bibliografía del análisis;

**Evaluación Financiera:** Evaluación que permite determinar si el proyecto es capaz de generar un flujo de recursos positivos para hacer frente a todas las obligaciones del proyecto y alcanzar una cierta tasa de rentabilidad esperada. Bajo esta perspectiva, se deben incluir todos los costos y beneficios privados que genera el proyecto, incluidos los costos financieros por



**Diego Leopoldo Cisneros Comboni**

préstamos de capital, pago de impuestos e ingresos derivados de subsidios recibidos. Los precios empleados serán de mercado;

**Evaluación socioeconómica:** Evaluación del programa o proyecto desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto, con el objeto de conocer el efecto neto de los recursos utilizados en la producción de los bienes o servicios sobre el bienestar de la sociedad. Dicha evaluación debe incluir todos los factores del programa o proyecto, es decir, sus costos y beneficios independientemente del agente que los enfrente. Ello implica considerar adicionalmente a los costos y beneficios directos, las externalidades y los efectos indirectos e intangibles que se deriven del programa o proyecto;

**Externalidad:** Efectos positivos y/o negativos que cause el programa o proyecto de inversión a terceros;

**Ley:** Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria;

**Ley de Transparencia:** Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental;

**Memoria de Cálculo:** Hoja de cálculo electrónica donde se incluyan los datos, parámetros, fórmulas y cálculos para sustentar la información presentada en la Evaluación socioeconómica;

**Monto total de inversión:** Total de gasto de capital que se requiere para la realización de un programa o proyecto de inversión, que incluye tanto los recursos fiscales presupuestarios y propios, como los de otras fuentes de financiamiento, tales como las aportaciones de las entidades federativas, los municipios, inversionistas privados, fideicomisos públicos o crédito externo, entre otros;

**Oferta:** Cantidad de producción, suministro y/o cantidad disponible de bienes o servicios por unidad de tiempo;

**PIPP:** Sistema del Proceso Integral de Programación y Presupuesto;

**Precios sociales:** Valores que reflejan el costo de oportunidad para la sociedad de utilizar un bien o servicio y que pueden diferir de los precios de mercado;

**Programas de inversión:** Acciones que implican erogaciones de gasto de capital no asociadas a proyectos de inversión;

**Programas y proyectos de inversión:** Conjunto de obras y acciones que llevan a cabo las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal para la construcción, ampliación, adquisición, modificación, mantenimiento o conservación de activos fijos, con el propósito de solucionar una problemática o atender una necesidad específica y que generan beneficios y costos a lo largo del tiempo;

**Proyectos de inversión:** 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 inmuebles;



**Diego Leopoldo Cisneros Comboni**

Reglamento: Reglamento de la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria;

Secretaría: Secretaría de Hacienda y Crédito Público;

TIR: Tasa Interna de Retorno;

TRI: Tasa de Rendimiento Inmediata;

Unidad de Inversiones: Unidad de Inversiones de la Secretaría;

Variables relevantes: Aquéllas cuyos cambios, durante la ejecución y operación del proyecto, pueden modificar los indicadores de rentabilidad, y

VPN: Valor Presente Neto.



## Bibliografía

Andrés Escudero Cabada. Metodología de Formulación de Proyectos de Inversión, Proyecto Fortalecimiento de ONGs Perú Grupo Pachacamac / InWEnt / DED, 2004 Pp. 11.

Aracil, Javier. Fundamentos, método e historia de la ingeniería; una mirada al mundo de los ingenieros. Editorial Síntesis España 2010 Pp. 85-110.

Arnold, Harberger. Introduction to cost-benefit analysis. Application to Highway projects. University of California, Los Angeles (2009).

Cipoletta Tomassian Georgina. Principios de políticas de infraestructura, logística y movilidad basadas en la integralidad y la sostenibilidad. CEPAL - SERIE Recursos naturales e infraestructura. No. 155. 2011. Pp.8.

Curso Internacional Sobre Preparación y Evaluación de Proyectos de Crédito Rural. Ministerio de Agricultura Caja de Crédito Agrario Industrial y Minero. Colombia 1979 Pp.270.

Obregón-Biosca, Saúl Antonio. Estudio comparativo del impacto en el desarrollo socioeconómico en dos carreteras: Eix Transversal de Catalunya, España, y MEX120, México, Economía, Sociedad y Territorio, Vol. X, Núm. 32, enero-abril, 2010, pp. 1-47.

De gomo Paul E. Ingeniería económica 10ª. Edición. Prentice Hall México 1998 Pp. 239

Flores Hernández, Salvador. Metodología para la evaluación económica-financiera en proyectos de libramientos carreteros, el caso Jojutla–Zacatepec. Capítulo 3. Tesis de Maestría en Administración de la Construcción. Instituto Tecnológico de la Construcción. 1999. Pp 43-67.

Ghisolfo Francisco. La evaluación socioeconómica de concesiones de infraestructura de transporte. caso Túnel El Melón-Chile.

CEPAL - SERIE Recursos naturales e infraestructura. No. 20. 2001. Pp. 9.

Felipe Ochoa y Asociados. Estudio de costo–beneficio de la Autopista Durango–Mazatlán, México, D.F. 2005

Gradilla-Hernández, L.A.; De la Llata-Gómez, R.; González-Gómez, O. Índices de vulnerabilidad de redes carreteras. Enfoques recientes y propuesta de aplicación en México, Ingeniería. Investigación y Tecnología, vol. XII, núm. 3, septiembre, 2011, Pp. 257-267. Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México

Guía para la elaboración de planes. Dirección de Planeamiento. Ministerio de Obras Públicas. Gobierno de Chile. Marzo 2011.

Highway and transit investments Option for improving information on projects' Benefits and cost and increasing accountability for results United States Government Accountability Office Report to Congressional Committees. January 2005 Benefits and cost of highway and transit investment depend on local circumstances, tough counting some benefits and cost can prove difficult Pp 11-23.



**Diego Leopoldo Cisneros Comboni**

Jacobs G D. The inclusion of accident savings in highway cost-benefit analyses. Overseas Centre. Transport Research Laboratory. Crowthorne Berkshire. United Kingdom. Second African Road Safety Congress, Addis Ababa. Ethiopia 16-20 October 1989.

Lleras-Echeverri G. y Sánchez-Silva M. Vulnerability Analysis of Highway Networks, Methodology and Case Study. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Transport, 147:223-230. 2001. ISSN: 0965-092X.

Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión, Diario Oficial de la Federación del 27 de abril del 2012. Manual de Carreteras. Ministerio de Obras Públicas de España. Junio 1997 Volumen No. 1 Tomo II.

Ministerio de Planificación y Cooperación. División de Planificación, Estudios e Inversiones. Seminario de Capacitación en Formulación, Preparación y Evaluación de Proyectos. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad del Litoral. Argentina.

Philippe Poinso. Jules Dupuit and the railroads: what is the role of the State? HAL-SHS (HyperArticle en Ligne - Sciences de l'Homme et de la Société) Francia, Septiembre 2012 Pp. 1-21.