



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN  
INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE  
INFRAESTRUCTURA CARRETERA MEDIANTE  
EL USO DEL PAQUETE COMPUTACIONAL  
TransCAD”**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

INGENIERÍA DE SISTEMAS – TRANSPORTE

P R E S E N T A :

**HÉCTOR DURÁN LÓPEZ**

TUTOR:

**DR. JAVIER SUÁREZ ROCHA**



2007

## **JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Ricardo Aceves García  
Secretario: M.I. José Francisco Lobaco Amaya  
Vocal: Dr. Javier Suárez Rocha  
1er. Suplente: M.I. Francisco Javier Granados Villafuerte  
2º. Suplente: M.I. Pedro Alcántara Aguilar

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

Universidad Nacional Autónoma de México,  
México, D.F.

### **TUTOR DE TESIS:**

DR. JAVIER SUÁREZ ROCHA

---

**FIRMA**

*A mis familiares*

*A mis maestros*

*A la UNAM*

*A mis amigos*

*Y a todos aquellos que de alguna forma  
participaron en la realización de  
este trabajo*

## ÍNDICE GENERAL

<b>Resumen</b>	<b>1</b>
<b>Abstract</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>1. ANTECEDENTES</b>	<b>4</b>
1.1. CARRETERAS Y DESARROLLO SOCIOECONÓMICO	4
1.1.1 Las carreteras y el desarrollo regional	4
1.1.2 Necesidades de comunicación según los polos de producción y atracción: poblaciones, puertos marítimos, fronteras, etc.	11
1.2. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	12
1.2.1 La red actual de carreteras	12
1.2.2 Principales rezagos: zonas incomunicadas y con baja conectividad	15
1.2.3 Estadísticas de accidentes y niveles de servicio en la red	17
1.3. ESQUEMAS DE SOLUCIÓN ACTUALES	20
1.3.1 Recopilación de proyectos	20
1.3.2 Clasificación y jerarquización	21
1.3.3 Ventajas y desventajas	21
<b>2. FORMULACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA</b>	<b>22</b>
2.1. ANÁLISIS CAUSA-EFECTO	22
2.2. CONSTRUCCIÓN DEL DIAGRAMA Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
2.3. IDENTIFICACIÓN DE LAS POSIBLES CAUSAS Y EFECTOS	23
2.4. GENERACIÓN DE POSIBLES SOLUCIONES	23
<b>3. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>24</b>
3.1. INGENIERÍA DE TRÁNSITO	24
3.1.1 El vehículo de proyecto	24
3.1.2 Clasificación de la red vial	25
3.1.3 Volumen de tránsito	25
3.1.4 Velocidad	25
3.1.5 Capacidad y nivel de servicio	26
3.1.6 Accidentalidad	28
3.2. MODELOS DE DEMANDA	29
3.2.1 Generación de viajes	30
3.2.2 Distribución de viajes	30
3.2.3 Selección modal	31
3.2.4 Asignación a la red	32
3.3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	33
3.4. PRONÓSTICO DE VARIABLES	34
3.4.1 Pronóstico del volumen de tránsito	34
3.4.2 Pronóstico mediante regresión matemática	35
3.5. MÉTODOS DE PRIORIZACIÓN USADOS EN OTROS PAÍSES	35

<b>4.</b>	<b>DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA: METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA CARRETERA MEDIANTE EL USO DEL PAQUETE COMPUTACIONAL TransCAD®</b>	<b>41</b>
4.1.	INTEGRACIÓN DE LA LISTA PRELIMINAR DE PROYECTOS	41
4.1.1	Reuniones regionales	42
4.1.2	Recopilación de proyectos regionales	44
4.1.3	Jerarquización de los proyectos	46
4.1.4	Creación de una lista preliminar de proyectos	49
4.2.	PROGRAMA DE SIMULACIÓN	50
4.2.1	Modelo de oferta	50
4.2.2	Estimación de la demanda	52
4.2.3	Simulación oferta-demanda	57
4.3.	ELABORACIÓN DE LA CARTERA FINAL DE PROYECTOS PARA CADA AÑO HORIZONTE	62
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>64</b>
5.1.	CONCLUSIONES	64
5.2.	RECOMENDACIONES	64
<b>6.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>66</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Número de Accidentes por Entidad Federativa, 2005	17
Tabla 1.2. Nivel de Servicio en el año 2003	20
Tabla 3.1. Secciones transversales de carreteras	25
Tabla 3.2. Capacidad en condiciones ideales (vehículos ligeros/hora/carril)	27
Tabla 4.1. Formato para integrar la lista regional de proyectos	45
Tabla 4.2. Cartera priorizada de proyectos de la región Sur-Sureste	48
Tabla 4.3. Lista nacional de proyectos	49
Tabla 4.4. Resumen de la zonificación	54
Tabla 4.5. Captación promedio en vías de cuota	57
Tabla 4.6. Relación V/C – Nivel de Servicio	58
Tabla 4.7. Cartera final de proyectos de la región Noroeste	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Transporte y desarrollo económico a nivel regional	6
Figura 1.2. Condiciones necesarias para el desarrollo	7
Figura 1.3. Distribución de los tipos de carreteras	13
Figura 1.4. Distribución por tipo de superficie	13
Figura 1.5. Sistema de corredores carreteros - SCT	14
Figura 1.6. Índice de marginación en la República Mexicana	16
Figura 1.7. Índice de Accidentes en la Red Básica de Carreteras	18
Figura 1.8. Distribución porcentual de niveles de servicio en la red básica de carreteras	19
Figura 2.1. Diagrama Causa-Efecto	23
Figura 3.1. Marco conceptual	24
Figura 3.2. Modelo secuencial de las cuatro fases	29
Figura 3.3. Elementos de un SIG	33
Figura 4.1. Metodología	41
Figura 4.2. Mesorregiones	43
Figura 4.3. Representación de la red en TransCAD®.	52
Figura 4.4. Zonificación del área de estudio	53
Figura 4.5. Procedimiento de construcción de matrices origen-destino	55
Figura 4.6. Proyección de la demanda al año 2010	56
Figura 4.7. Asignación de tránsito	58
Figura 4.8. Niveles de servicio en el centro del país	59
Figura 4.9. Niveles de servicio en la carretera Mexicali-Tijuana	59
Figura 4.10. Ubicación y solución para zonas de baja accesibilidad	61
Figura 4.11. Definición de proyectos para un año horizonte	61
Figura 4.12. Proyectos de la región Noroeste	63

## Resumen

En esta tesis se proporciona una metodología para integrar las carteras anuales de proyectos de construcción y modernización de infraestructura carretera, la cual se puede aplicar a nivel federal, estatal o local. La metodología promueve la participación de los diferentes involucrados en el proceso, tanto del gobierno como de la sociedad, y sugiere la aplicación del modelo de planeación del transporte TransCAD® para justificar técnicamente cada uno de los proyectos.

La primera fase de la metodología es la integración de la lista preliminar de proyectos, mediante la participación de expertos de todas las regiones del país. La segunda fase es el análisis de los proyectos mediante el uso del TransCAD®. En cada escenario horizonte se incorporan los proyectos propuestos y se hace una simulación. La cartera de proyectos surge de la observación de las variables nivel de servicio, índice de accidentes y accesibilidad a la red.

## Abstract

In this thesis a methodology is provided to integrate the annual portfolios of road infrastructure projects of construction and modernization, which can be applied to federal, state and local levels. The methodology promotes the participation of different entities involved in the process, from both, government and the society, and suggests application of the transportation planning model TransCAD® for the technical justification of each project.

First phase of the methodology is the integration of the preliminary list of projects through the participation of experts of all the regions of the country. The second phase is the project analysis through the use of the TransCAD®. The proposed projects are incorporated in each scenario and a simulation is performed. The portfolio of projects arises from the observation of variables, such as level of service, accident rate, and network accessibility.

## INTRODUCCIÓN

Esta tesis es el resultado de combinar creativamente los conocimientos adquiridos en la maestría en transporte y los años de experiencia en el desarrollo de programas de infraestructura carretera y de intentos fallidos para que cada año se realicen las obras carreteras que aporten los mayores beneficios para la sociedad y la economía del país. El número de proyectos de modernización y construcción de carreteras es inmenso y los recursos económicos escasos, lo que da lugar a elaborar un proceso estructurado que permita tomar las decisiones correctas. El objetivo de esta tesis es entonces: “Desarrollar una metodología que guíe la ejecución de las obras de modernización y construcción de carreteras y autopistas, para atender apropiadamente la demanda de vehículos, con la participación de los expertos y la sociedad, usando como apoyo el paquete computacional TransCAD®”. Con esto se pretende constituir una óptima red de carreteras con el mejor aprovechamiento de los recursos.

Para definir el problema de investigación, se utilizó la técnica participativa “*Análisis Causa-Efecto*” (Técnica de Ishikawa), la cual se aplicó a especialistas y funcionarios, de donde se concluyó que el problema era: “No se cuenta con una metodología ni con el apoyo de herramientas técnicas para integrar la cartera priorizada de proyectos de infraestructura carretera”. Posteriormente, se plantearon diversas hipótesis, como propuestas para explicar el fenómeno investigado, y que sirvieron de guía para llevar a cabo la investigación. Entre ellas destacan las siguientes: i) La carencia de una metodología para el desarrollo de carreteras provoca que se realicen obras que no son necesarias y se malgasten los recursos; ii) Con una mayor accesibilidad y conectividad de la red de carreteras se elevará el desarrollo económico y social de las poblaciones; iii) El mantener buenos niveles de servicio en la red de carreteras permite a los usuarios reducir los costos de viaje.

La estructura de la tesis es como sigue: en el capítulo 1 se resalta la importancia que tiene la infraestructura carretera en el desarrollo socioeconómico de los países y se enfatiza su impacto a niveles nacional, regional y local. Además, se mencionan las condiciones del comportamiento de los distintos sectores, tales como la sociedad, las empresas y los mercados, con la existencia o carencia de carreteras. En este mismo capítulo, se recopila la información más reciente sobre las características de la red nacional de carreteras, tales como longitud de carreteras, estado físico, marginación y accidentes, con el fin de tener un panorama de la situación actual de la red. Finalmente, se describe la manera cómo se recopilan y seleccionan los proyectos en la actualidad, la cual no es necesariamente la más adecuada.

En el capítulo 2 se explica el método usado para identificar el problema por resolver, sus causas, efectos y posibles soluciones, el cual sirve de punto de partida para el desarrollo de la metodología. El capítulo 3 detalla el marco conceptual que sirve como base teórica para la tesis. Aquí, se mencionan los conceptos básicos sobre ingeniería de tránsito, modelos de demanda, sistemas de información geográfica, métodos de pronóstico de variables, así como los métodos de priorización que se aplican en otros países.



El capítulo 4 describe paso a paso la metodología propuesta para integrar las carteras de proyectos de construcción y modernización de carreteras, la cual consta de dos fases principales: (i) la integración de la lista preliminar de proyectos, mediante la participación de expertos de todas las regiones del país y (ii) el análisis de los proyectos mediante el uso del programa de simulación TransCAD®, con el que se obtiene la lista final de proyectos viables técnicamente.

Finalmente, en el capítulo 5 se enumeran algunas conclusiones acerca de las ventajas de la aplicación de esta metodología en los diferentes niveles de gobierno, y se especifican diversas recomendaciones para actualizar la información y para mejorar la metodología.

## **1. ANTECEDENTES**

### **1.1. CARRETERAS Y DESARROLLO SOCIOECONÓMICO**

#### **1.1.1 Las carreteras y el desarrollo regional**

La suficiencia de infraestructura de transporte es un factor determinante para el éxito o fracaso de un país, debido a la diversificación de la producción, la expansión del comercio, la capacidad para hacer frente al crecimiento de la población, la reducción de la pobreza y la mejora de las condiciones ambientales. Una buena infraestructura eleva la productividad y disminuye los costos de producción, pero ha de ampliarse con rapidez suficiente para acoplarse al crecimiento. Con el desarrollo, los países deben ampliar su infraestructura en apoyo a los cambios que experimenta la demanda y viceversa, es decir, la infraestructura de transporte debe extender su cobertura para atender poblaciones marginadas y propiciar su desarrollo.

Las carreteras juegan un papel destacado en la distribución geográfica del crecimiento económico, al contribuir en la cohesión regional. Estudios realizados en varias zonas metropolitanas del mundo han demostrado que las zonas con alta densidad de empleos (más de 200 empleos por kilómetro cuadrado) se localizan cerca de los principales caminos. Existen varias razones detrás de esta concentración. Por ejemplo, las industrias necesitan estar localizadas en donde tengan un acceso directo y fácil para sus proveedores, clientes y empleados. La infraestructura de carreteras puede actuar como catalizador, al fomentar el desarrollo mediante la creación de zonas de crecimiento sostenibles y autónomas, las cuales en su momento incrementarán el ingreso per cápita en regiones menos favorecidas.

El transporte por carretera también juega un papel importante en el desarrollo económico de las regiones y países menos desarrollados. Por un lado, contribuye a disminuir la pobreza a través de su impacto indirecto en el crecimiento económico, mientras que por el otro, hay un impacto directo en el bienestar personal. En general, los caminos locales en áreas rurales y urbanas de bajos recursos otorgan una contribución modesta en el crecimiento del ingreso nacional, sin embargo, tienen un impacto significativo directo en la vida diaria de estas personas. Por otro lado, el transporte interurbano es de importancia estratégica para la economía de una nación. Proporcionar infraestructura que satisfaga las demandas de las familias, del sector empresarial y demás usuarios es una de las tareas más importantes del desarrollo económico. La disponibilidad de carreteras ha aumentado en forma significativa en las últimas décadas, sin embargo, en muchos casos no se han materializado sus beneficios, lo que tiene como consecuencia un desperdicio grave de recursos.

Cuando se construye una gran infraestructura de transporte, como una autopista de altas especificaciones, el efecto inmediato es la mejoría de las condiciones del tránsito, lo cual origina beneficios para los usuarios tales como ahorros de tiempo, mejores niveles de confort, mayor seguridad, más durabilidad de los vehículos y menor consumo de combustible. Además, es importante conocer las ventajas económicas de la nueva infraestructura en el desarrollo de las actividades industrial, comercial y turística de la región por la que atraviesa.

## **Nivel Nacional**

Es claro que todos los países necesitan una infraestructura de transporte desarrollada para competir en los nuevos mercados globales. Conforme se reducen las barreras comerciales y se abren nuevos mercados, es necesario tener altos niveles de accesibilidad. Sin embargo, no sólo es importante la cantidad de infraestructura, sino su calidad dentro de un contexto más amplio. La infraestructura requiere extenderse, no sólo en cuanto a enlaces de la red, sino también en terminales, tales como puertos, aeropuertos o estaciones multimodales. Estos nodos a menudo son los puntos de congestión que causan la mayoría de las demoras. Los sistemas de administración, información y control también son importantes, además, el contexto financiero y organizacional en el que se encuentra la infraestructura puede influir en las decisiones de construcción, mantenimiento, propiedad, precio y responsabilidad. Estos elementos también son la clave para el uso efectivo de cualquier expansión de infraestructura.

La dimensión más importante de este proceso es el uso que se le da a la red, el aprovechamiento de la tecnología, el empleo, la sustitución de tiempo de trabajo por actividades recreativas, la producción y decisiones acertadas de ubicación. Una infraestructura de alta calidad permite incrementar la flexibilidad de las operaciones de las empresas y la variabilidad de los patrones de viaje. Las estructuras de las compañías se han vuelto más dinámicas debido a la eficiencia de las cadenas de suministro, a los bajos niveles de inventarios y a la reducción de los ciclos de producción.

## **Nivel Regional**

En este nivel, el concepto de accesibilidad es motivo central de debate. Se ha visto que los cambios en la accesibilidad que resultan de la inversión en infraestructura causan una redistribución del empleo entre regiones. Se sugiere que a nivel regional tendrá lugar una redistribución, con la ventaja adicional de aquellos lugares del país que ya estaban accesibles. La accesibilidad de la red de carreteras debe verse como parte de un concepto más amplio, que incluye la disponibilidad de mano de obra especializada, calidad de vida de las diferentes regiones, así como infraestructura de apoyo de redes ferroviarias y de otros modos de transporte. Los cambios en la accesibilidad del transporte que resultan de la inversión en infraestructura forman un elemento del proceso de desarrollo económico a nivel regional.

En la figura 1.1, la accesibilidad no alcanzará el crecimiento por sí sola (movimiento hacia la derecha del eje horizontal). Sólo tendrá un impacto real en donde hay sistemas dinámicos abiertos y altos niveles de accesibilidad (cuadrante 2). En la parte inferior de la figura, mejorar la accesibilidad del transporte no es una condición suficiente para el crecimiento económico debido a la carencia de condiciones económicas, de inversión y políticas. Entonces, los elementos clave para el desarrollo a nivel regional son: aumentar la capacidad del sistema, elevar las habilidades y el conocimiento, establecer fuertes vínculos con la investigación local y relaciones transaccionales dinámicas entre fábricas, proveedores y clientes.



**Figura 1.1. Transporte y desarrollo económico a nivel regional**

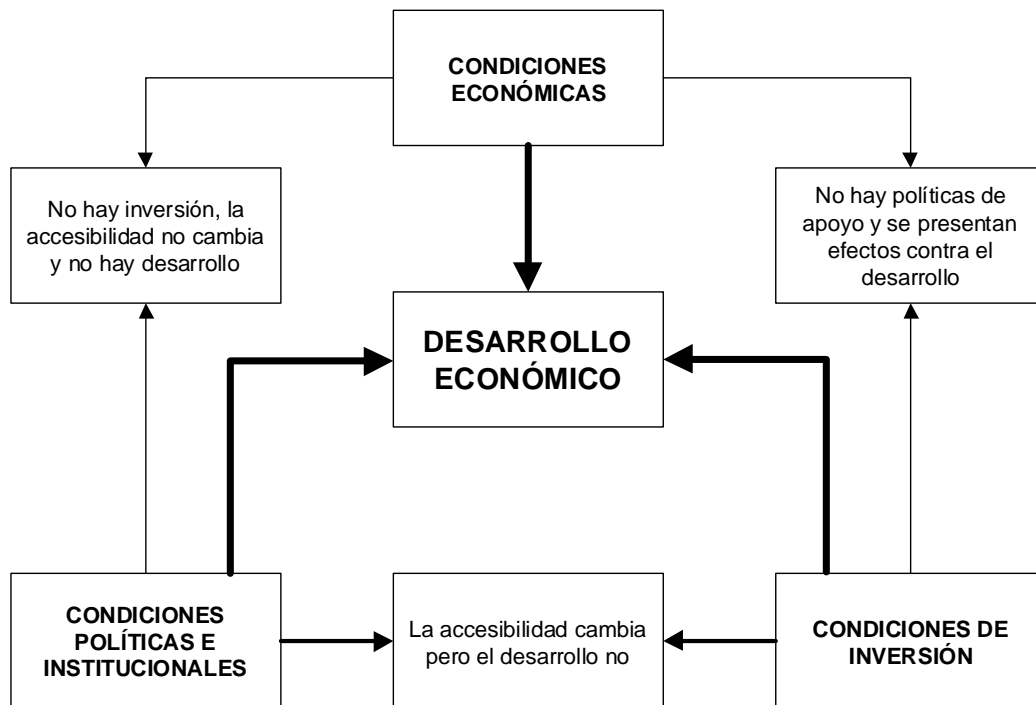
### **Países Desarrollados**

En los países desarrollados, en donde ya existe una red de infraestructura de transporte bien conectada de alta calidad, la inversión adicional no resultará en crecimiento económico. La inversión en infraestructura de transporte actúa como complemento para otras condiciones subyacentes más importantes, las cuales se lograrán si hay un desarrollo económico adicional. Para lograr esto se deben tener tres conjuntos de condiciones necesarios:

1. *Condiciones económicas.*- La inversión en el transporte tendrá un impacto en el desarrollo económico sólo cuando exista mercado de trabajo, fuerza de trabajo de buena calidad y una economía local dinámica.
2. *Condiciones de inversión.*- Disponibilidad de fondos para la inversión, magnitud de la inversión, su ubicación en la red y tiempo de inversión.
3. *Condiciones políticas e institucionales.*- Se refieren al amplio ambiente político dentro del cual se deben tomar las decisiones. Para alcanzar el desarrollo económico, las decisiones complementarias y el ambiente factible deben estar en su lugar; de lo contrario, los impactos pueden ser contraproducentes. En este grupo se incluyen factores como las fuentes y métodos de financiamiento, el nivel de inversión (local, regional o nacional), el marco legal, las políticas y los procesos de organizaciones e instituciones, y cualquier política complementaria necesaria (concesiones, disminución de impuestos, programas de capacitación).

Individualmente, cada una de estas condiciones tendrá poco o ningún impacto en el desarrollo. Aunque se combinen de dos en dos, sus efectos serán limitados. Por ejemplo, en la figura 1.2, si sólo se tienen las condiciones de inversión y las condiciones políticas, se esperarán cambios en la accesibilidad, pero como no están presentes las condiciones económicas, no ocurrirá ningún impacto en el crecimiento económico, es decir, puede cambiar la atractividad de algunos sitios en particular pero sólo es una redistribución de la economía existente, más que un crecimiento adicional. De manera similar, si sólo se tienen

las condiciones de inversión y las condiciones económicas, no podrán continuar los efectos del desarrollo económico por carencia de políticas de apoyo o por la presencia de políticas contradictorias de transporte y uso de suelo.



*Figura 1.2. Condiciones necesarias para el desarrollo*

### **Impacto en la Sociedad**

El transporte debe tener inevitablemente un impacto social profundo, debido a que proporciona acceso y movilidad a varias actividades y oportunidades. Los movimientos de la gente incluyen viajes a centros de salud, hospitales, escuelas, oficinas de gobierno y para visitar amigos y familiares. Son importantes porque refuerzan el capital social de los individuos y pueden ayudar en épocas difíciles.

La carencia de un transporte adecuado puede contribuir a que los niños de ciertos sectores sociales no alcancen sus objetivos de educación. En el ámbito de salud, puede reducir la oportunidad de usar los servicios médicos, lo que resulta en el incremento de costos para los proveedores de servicios de salud debido a las citas perdidas y a las intervenciones retrasadas.

Los beneficios sociales son una amplia gama de beneficios no económicos multidimensionales, interactivos y complejos que surgen de los cambios en las condiciones del transporte y las carreteras. Estos beneficios pueden ser:

- Mejoramiento de las redes sociales y aumento del capital social adquirido por el mantenimiento de los lazos familiares con miembros que se encuentran fuera de la población en donde se vive.
- Aumento en el desarrollo de la comunidad.

- Incremento en la confianza para viajar a lugares con servicios u oportunidades diversas.
- Mejora en la salud y la educación a través de un fácil acceso a estos servicios.
- Mayor confiabilidad de los servicios y mejor atención del personal en clínicas y escuelas, porque se pueden distribuir y entregar los medicamentos y materiales a tiempo.
- Reducción en la vulnerabilidad de las cosechas por eventos inesperados como accidentes e inseguridad.
- Reducción en los tiempos de viaje debido a la mejora de los caminos y al incremento en la frecuencia de los servicios de transporte.

El tipo de infraestructura existente determina también que el crecimiento contribuya a reducir la pobreza. En su mayoría, los pobres habitan en zonas rurales, y el crecimiento de la productividad agrícola y del empleo rural está estrechamente vinculado a la dotación de infraestructura. Los habitantes pobres de las zonas urbanas son con frecuencia los que se benefician más de los servicios de la infraestructura, ya que suelen asentarse en lugares que adolecen de estos servicios. Además, en muchas ciudades que experimentan un rápido crecimiento, la expansión de la infraestructura va a la zaga del aumento de la población.

### **Impacto en las Empresas y los Mercados**

Desde la etapa de proyecto y construcción de caminos se genera crecimiento económico, debido a que se crean empleos, tanto en el sector de la construcción como en las industrias de apoyo y las actividades previas, tales como estudios y proyectos.

El transporte por carretera ha contribuido en gran medida en moldear las economías de diversos países, permitiendo la aparición de una moderna administración de cadenas de suministro. Hoy en día se mantiene como elemento clave para muchos negocios que buscan ganar un margen competitivo sobre sus rivales.

Para una compañía, el efecto directo de una nueva carretera es la disminución en costos de transporte en un 15 a 20% en promedio, debido principalmente al ahorro en tiempo que puede ser de 40 a 50%, y a los ahorros en costos de operación y consumo de combustible. El ahorro en tiempos también puede reducir las horas extras y los costos de viaje, y puede mejorar el uso y la rotación de vehículos. No obstante, debe recordarse que el costo de transporte representa entre el 5% y el 30% del precio del producto y el efecto, en términos de ganancias, puede ser limitado.

Una nueva carretera o autopista permite a las compañías tener acceso a un rango más amplio de bienes, servicios y clientes potenciales. Además, abre nuevos destinos turísticos, cambia el tamaño de los mercados y amplía sus fronteras. Esto puede, al mismo tiempo, incrementar los segmentos de mercado e intensificar la competencia, debido al acercamiento de las compañías con otras regiones comunicadas por la carretera o autopista. Cuando se llevan a cabo inversiones en el transporte, se espera que ocurran cambios en los patrones de distribución y producción, en las áreas de mercado atendidas y en la atracción del mercado laboral.

Finalmente, se ha observado que la operación de las autopistas de cuota genera empleo e influye en la ubicación de negocios. Se crean empleos permanentes para la fuerza de trabajo local en tareas como operación de casetas de cobro, mantenimiento de la vía, reparación de los vehículos que circulan por la autopista, etc. Respecto a su ubicación, la accesibilidad a una autopista de cuota juega un papel importante para el establecimiento o reubicación de una empresa, además de la proximidad de los mercados, la presencia de fuerza laboral calificada y la cercanía con los centros urbanos.

### **Impacto en el Comercio Mundial**

La cantidad y fiabilidad suficientes de los servicios de infraestructura de transporte son factores que influyen de manera fundamental en la capacidad de un país para competir en el comercio internacional. La competencia por la captación de nuevos mercados de exportación depende de una infraestructura de alta calidad. En las últimas décadas se ha producido una globalización cada vez mayor del comercio mundial, como resultado no sólo de la liberación de las políticas comerciales, sino también de adelantos importantes en las tecnologías de comunicaciones, transportes y almacenamiento. Estos adelantos se centran en la gestión de la logística. Los países en desarrollo que deseen competir en los mercados mundiales o participar en redes de aprovisionamiento global no pueden conformarse con cualquier clase de infraestructura de transportes y telecomunicaciones.

### **El Papel del Gobierno**

La infraestructura de transporte es un insumo básico para los procesos de producción. La productividad se aumenta debido a la reducción del tiempo y esfuerzo necesarios, por ejemplo, para obtener materias primas, llevar las cosechas al mercado o viajar al lugar de trabajo. En los últimos años, se han realizado numerosos estudios orientados a calcular el vínculo entre la inversión en infraestructura y el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), los cuales muestran una correlación positiva e importante entre las variables de la infraestructura y el crecimiento de las regiones. Por ejemplo, un estudio realizado en la India descubrió que la disminución en costos del transporte mejoró las posibilidades de acceso de los agricultores a los mercados, llevando a una expansión considerable de la agricultura. Según un estudio de unidades familiares a nivel aldeas realizado en Bangladesh, las aldeas con infraestructura de transportes más desarrollada mostraban un nivel económico mejor, en términos de producción agrícola, ingresos, trabajo y salud, que las menos desarrolladas. De aquí, es evidente que existe una fuerte relación entre la disponibilidad de infraestructura, tal como carreteras pavimentadas, y el PIB per cápita.

Para entender lo que hace que los resultados sean buenos o malos es preciso entender los mecanismos institucionales para proporcionar los servicios de infraestructura y cuáles son los incentivos para la prestación de éstos. Se identifican tres causas de malos resultados:

1. La prestación de servicios de infraestructura se brinda por empresas centralizadas o entidades gubernamentales, las cuales no siempre se desempeñan con eficiencia, ni utilizan métodos para evaluar dichos servicios, tales como estudios de tránsito.
2. A los responsables de los servicios de infraestructura rara vez se les otorga la autonomía administrativa y financiera que necesitan para realizar su labor adecuadamente. Frecuentemente, los directores no alcanzan los objetivos de

eficiencia. A las empresas públicas rara vez se les exigen responsabilidades por sus acciones, pocos países tienen indicadores de desempeño y, a menudo, su ineficiencia se compensa mediante transferencias presupuestales, en vez de ser objeto de repudio.

3. A través del mecanismo de los precios, los consumidores pueden influir en las decisiones relativas a inversiones de acuerdo con sus preferencias. Sin embargo, los usuarios no se encuentran en buena posición para dar a conocer sus demandas, debido a que los precios subsidiados de los servicios no reflejan los costos reales.

La existencia de infraestructura es una condición necesaria, aunque no suficiente, para que haya crecimiento, es preciso que haya también otros recursos. La repercusión de las inversiones en infraestructura en el crecimiento depende también de la oportunidad con que se hagan las adiciones a la capacidad, de la ubicación de las obras y del desequilibrio existente entre la oferta y la demanda. Debido a que la infraestructura de transporte está formada por redes, la eliminación de los cuellos de botella en ciertos puntos de un sistema puede tener rendimientos muy elevados.

Entonces, el reto es la creación de las condiciones institucionales y organizacionales que obliguen a los proveedores de servicios de infraestructura a ser más eficientes y sensibles a las necesidades de la sociedad. Hay cuatro fuerzas fundamentales que permiten mejorar este panorama: (1) una mejor planeación y programación, (2) aprovechamiento de las innovaciones tecnológicas y el ordenamiento de mercados, (3) otorgamiento de concesiones al sector privado para la provisión de infraestructura, y (4) una mayor preocupación por la sustentabilidad ambiental y la reducción de la pobreza.

### **Ejemplos**

Durante los años 80's se llevaron a cabo varios estudios en Europa para entender la evolución del desarrollo económico regional con respecto a la construcción de una autopista y el grado de correlación entre estos dos eventos, y permitir a las autoridades locales tomar decisiones para desarrollar los efectos positivos o minimizar los efectos negativos, mediante la definición de una técnica "antes y después", la cual incluye la observación de la evolución de los indicadores económicos elegidos dentro del área de influencia durante un periodo de tiempo largo.

Un reporte de los beneficios socioeconómicos de la autopista A92 en España reveló que la inversión original en su construcción resultó en el incremento en la generación de aproximadamente 47,000 empleos directos, 81% de los cuales eran asalariados y el resto trabajos indirectos de la industria de apoyo y servicios. La mayor parte de este incremento en el número de empleos viene principalmente de los trabajos públicos de construcción y servicios de ingeniería proporcionados por las compañías constructoras involucradas en los proyectos. Los beneficios globales generados por la autopista en los últimos 30 años se estiman en €40 billones, constituidos principalmente por el ahorro en tiempo de viaje, la reducción de la congestión y la disminución en el número de accidentes y fatalidades.

Otro estudio similar realizado en el año 2000 en la región de Valencia, España, llegó a una conclusión similar respecto a los efectos directos positivos de la existencia de la autopista



A97 que se extiende a través de la región. De acuerdo con ese estudio, la autopista contribuyó con el 1.5% del crecimiento del PIB regional en ese año. Se estima que el beneficio socioeconómico de la autopista A97 en la región de Valencia alcanzó €251 millones. Esta ganancia económica neta se alcanzó principalmente a través de los ahorros en costos por la disminución de los tiempos de viaje. Finalmente, el estudio concluye que la autopista tuvo un impacto tremendo en la sociedad por el incremento en la riqueza, los altos valores de las propiedades y la acelerada expansión de las industrias en las zonas aledañas a la misma.

### **1.1.2 Necesidades de comunicación según los polos de producción y atracción: poblaciones, puertos marítimos, fronteras, etc.**

Una infraestructura adecuada, moderna y suficiente es el sustento indispensable del crecimiento y desarrollo de las naciones. Asimismo, contar con una infraestructura más extensa, moderna y diversificada significa una comunicación más rápida y eficiente, y una integración más provechosa de las regiones, los mercados y las comunidades, lo que propicia un desarrollo equilibrado y justo.

El entorno mundial ha mostrado un intercambio comercial cada vez más intenso y un aumento significativo en el turismo, entre otros aspectos, lo que plantea diversos retos y oportunidades para alcanzar una firme recuperación económica como paso inmediato hacia un crecimiento vigoroso, sostenido y generador de empleos. Ello implica la necesidad de impulsar el desarrollo y la modernización de la infraestructura de transporte con la que cuenta el país. Ante las exigencias de una mayor actividad comercial, turística y de servicios, los diferentes modos de transporte deben alcanzar niveles más competitivos para responder a las necesidades actuales.

México cuenta con un vasto sistema de transporte, en el que resulta claro el amplio predominio del modo carretero en comparación con los demás modos. Ello se explica por sus grandes ventajas, como su gran accesibilidad, mayor rapidez y amplia cobertura. La red carretera nacional comunica a gran parte de las regiones y comunidades del país.

Desde el punto de vista económico, la infraestructura de transporte constituye la columna vertebral del sistema actual, caracterizado por una división creciente del trabajo, una fragmentación cada vez mayor de los procesos productivos, una creciente integración económica y un incremento extraordinario de la movilidad de bienes y personas. A diferencia de los modelos territoriales antiguos, en los que la riqueza, las actividades y los servicios se encontraban concentrados en unas pocas áreas metropolitanas y cuyos recursos provenían de los alrededores, el modelo territorial actual posee una demanda creciente de infraestructura de transporte terrestre (carreteras y ferrocarriles), que debe dar satisfacción a la creciente movilidad entre los distintos puntos del planeta: entre centros productores y consumidores, entre centros de acopio y distribución, entre áreas de servicios y centros de transferencia.

La infraestructura de transporte terrestre también desempeña una importante función social. La sociedad requiere de relaciones directas, materiales, físicas y tangibles que demandan

infraestructuras de transporte específicas. La cultura y la identidad social son resultado de la interconexión, de la comunicación, de la comunión y de la participación en un universo común de todos los individuos que ocupan un espacio.

Por último, desde el punto de vista político, la infraestructura de transporte terrestre desempeña un papel estratégico. La trascendencia geopolítica de la infraestructura de transporte es un aspecto que ha recibido relativamente poca atención, a pesar de que constituyen una expresión más nítida del modelo de organización territorial. Así, mientras los países desarrollados presentan redes bien estructuradas y articuladas, los países en vías de desarrollo, como México, poseen redes en malas condiciones que no dan accesibilidad ni movilidad a todos los rincones de la nación. Del mismo modo, la aparición de nuevos desarrollos portuarios, aeroportuarios o fronterizos lleva casi inmediatamente a la redefinición de las redes de carreteras y a la conquista de nuevos territorios para la extensión de la red y el desarrollo de ejes carreteros.

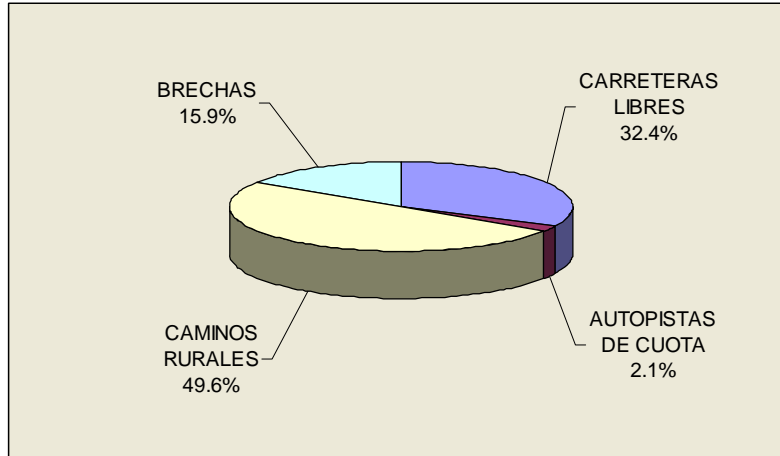
## **1.2. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

### **1.2.1 La red actual de carreteras**

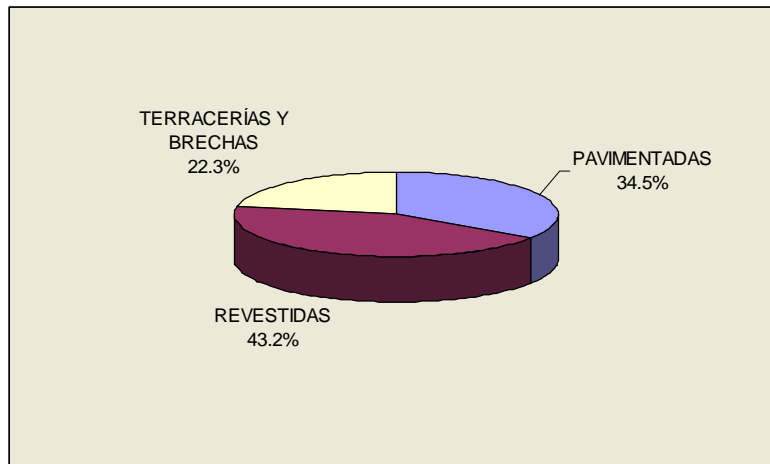
La red carretera nacional se ha desarrollado de manera gradual a lo largo de varias décadas, comunica casi todas las regiones y comunidades del país, a través de más de 350 mil kilómetros de carreteras federales, estatales, autopistas de cuota, caminos rurales y brechas. La red federal de carreteras es atendida en su totalidad por el Gobierno Federal, registra la mayor parte de los desplazamientos de pasajeros y carga entre ciudades y canaliza los recorridos de largo itinerario, los relacionados con el comercio exterior y los producidos por los sectores más dinámicos de la economía nacional. Las redes estatales enlazan las zonas de producción agrícola y ganadera, y aseguran la integración de extensas áreas de diversas regiones del país. Su mantenimiento es realizado por los Gobiernos de los Estados correspondientes. Por su parte, los caminos rurales y brechas son vías modestas y, en general, no pavimentadas; su valor es más social que económico, pues proporcionan acceso a comunidades pequeñas que de otra manera estarían aisladas; su efecto en las actividades y la calidad de vida de esas comunidades es de gran trascendencia.

Si bien, la red carretera posee una importancia de primer orden para nuestro país, tanto la vastedad del territorio nacional como las limitaciones presupuestales y otros factores inciden en que México posea una densidad carretera (longitud de carreteras por kilómetro cuadrado de territorio) relativamente baja en comparación con otros países.

En el año 2004 la red nacional de carreteras tenía 352,072 km: de los cuales 113,913 corresponden a carreteras pavimentadas libres; 7,423 a autopistas de cuota; 174,752 a caminos rurales, y 55,984 a brechas (figura 1.3). De las carreteras libres, 41,152 km pertenecen a la red federal, mientras que 72,761 están distribuidos entre las 31 redes estatales. Del total de kilómetros en servicio, 121,336 están pavimentados, 152,089 corresponden a carreteras revestidas y 78,647 son terracerías y brechas (figura 1.4). De los caminos pavimentados, una longitud de 10,969 km tiene cuatro o más carriles.



*Figura 1.3. Distribución de los tipos de carreteras*



*Figura 1.4. Distribución por tipo de superficie*

Con la finalidad de atender los proyectos de construcción y ampliación de las carreteras a nivel nacional, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) tiene definido un sistema de 14 corredores, que conectan a todas las regiones del país y sobre los cuales se han concentrado los recursos de los últimos años para su modernización. Este sistema de corredores proporciona acceso y comunicación permanente a las principales ciudades, fronteras y puertos marítimos, tal como se ilustra en la figura 1.5. La longitud de estos corredores, que atienden poco más del 54% de los flujos carreteros interregionales, es de 19,263 km. A la fecha, la modernización de los corredores ha avanzado en un 90.0%, que equivale a 17,320 km, lo que indica que se encuentran pendientes de modernizar otros 1,943 km.



*Figura 1.5. Sistema de corredores carreteros - SCT*

Por lo que se refiere a autopistas de cuota, México cuenta con una de las redes más extensas del mundo, con una extensión de 7,423 km, integrada por 74 autopistas y 48 puentes. Las autopistas de cuota se construyen bajo la premisa de que no existen recursos públicos suficientes y es inminente la necesidad de contar con más capacidad de infraestructura, debido a los altos volúmenes de tránsito e índices de accidentes que se presentan en las carreteras libres actuales. Dado lo anterior, la inversión es ejecutada por particulares y su recuperación se realiza mediante el cobro de peaje a los usuarios. Además, estos recursos sirven para la operación y mantenimiento de la infraestructura.

En materia de caminos rurales, la red de 174,752 km comunica a 20 mil comunidades en las que habitan 15 millones de personas, es decir, el 60% de la población rural nacional. Esta red está compuesta por caminos de bajas especificaciones que son transitables todo el año y desempeñan un papel fundamental en la comunicación e integración de las comunidades a las que sirven. Sin embargo, su vulnerabilidad ante eventos climáticos adversos y la baja inversión que se les canaliza genera altos costos de mantenimiento, resultando en que un alto porcentaje de estos caminos se encuentre en un estado físico malo.

### **1.2.2 Principales rezagos: zonas incomunicadas y con baja conectividad**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han permitido precisar diversas situaciones de las pequeñas localidades. Un estudio realizado por el Consejo Nacional de Población (CONAPO) en el año 2000 permitió clasificar los asentamientos según su ubicación y cercanía a centros urbanos.

Las personas que viven en localidades pequeñas situadas en las inmediaciones de ciudades, tienen mayores oportunidades de acceder a servicios básicos. En esta situación se encuentran 6.4 millones de personas que residen en 45,300 localidades pequeñas. De esta forma 14.6% de las localidades menores de 2,500 habitantes se sitúa en las inmediaciones de las ciudades, formando parte de los procesos de suburbanización y en ellas residen cuatro millones de personas. Las 16,700 localidades restantes, las cuales representan el 8.5% del total, se localizan cerca de centros de población o localidades entre 2,500 y 14,999 habitantes y son habitadas por 2.4 millones de personas.

Asimismo, 44.3% de las localidades rurales del país están alejadas de las ciudades y centros de población y se dispersan a lo largo de las carreteras, con una población de 13.1 millones de personas, mientras que el 32.5% de las localidades pequeñas se encuentran en situación de aislamiento, es decir, alejadas de ciudades, centros de población y vías de comunicación transitables todo el año, las cuales albergaban 4.9 millones de personas en el año 2000.

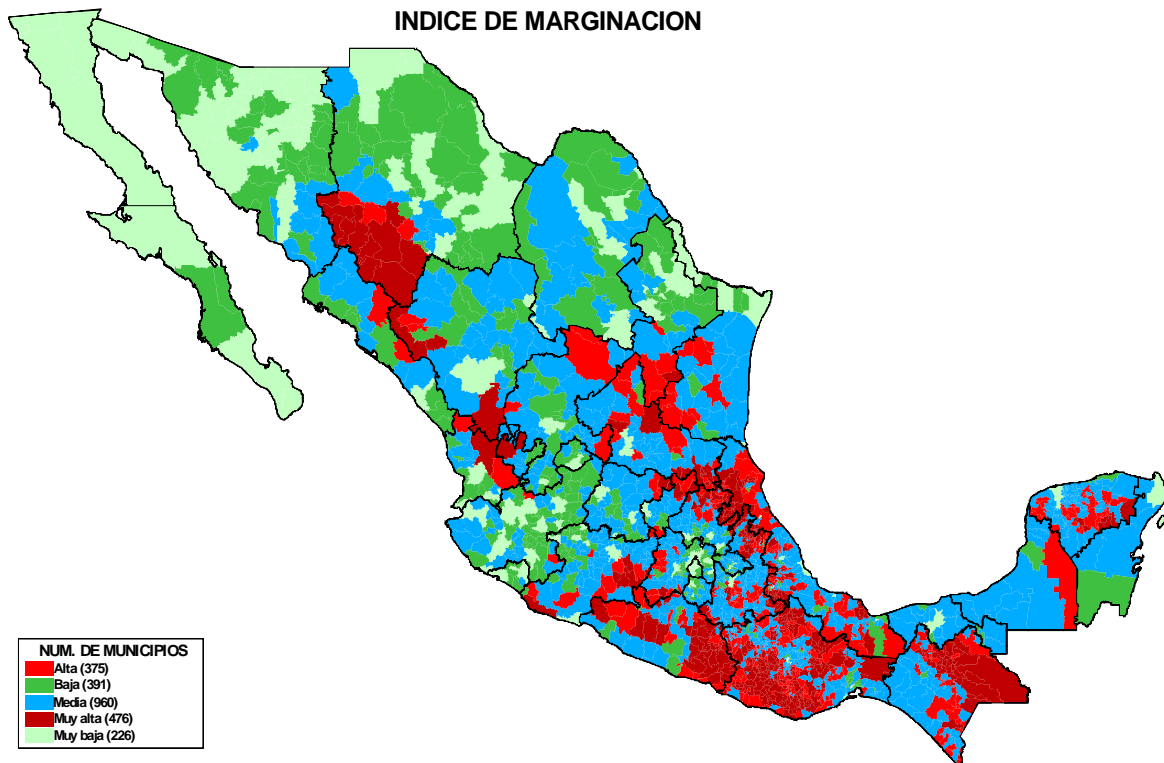
Las localidades pequeñas presentan a nivel regional distintos patrones de localización. Así, en las regiones Centro y Centro-Norte, las más urbanizadas del país, se concentra el mayor número de localidades rurales próximas a ciudades y centros de población (15,400) con una población de 3.2 millones de habitantes. Las regiones Golfo, Centro-Norte y Sur participan con 47% de las localidades rurales próximas a alguna carretera (41,100), con una población de siete millones de habitantes. La red carretera de estas regiones ha favorecido que una proporción importante de la población rural se establezca en sus márgenes y facilite su accesibilidad.

Las localidades aisladas predominan en las regiones Sur, Norte y Occidente del país, con 37,700 localidades y una población de tres millones de habitantes. Esta población se localiza fundamentalmente en las zonas montañosas de Chiapas, Guerrero, Oaxaca, en la Sierra Tarahumara, en los Altos de Jalisco y la costa de Michoacán. El aislamiento de esas localidades representa una situación adversa para el desarrollo de las comunidades e incide en la calidad de vida de sus habitantes, situación que se refleja en altos niveles de marginación.

La población rural presenta serios rezagos socioeconómicos, mismos que se sintetizan en su grado de marginación. En el año 2000 se estimaba que 32.5% de las localidades rurales tenía un grado de marginación muy alto y 46.5% alto, con una población de 4.1 y 12.4 millones de pobladores, respectivamente, lo que significa que dos de cada tres habitantes rurales residen en localidades con alta o muy alta marginación.

La región Sur presenta el mayor rezago, concentra 21,000 localidades con una población de 4.8 millones de personas en situación de alta o muy alta marginación. La mayoría de estas localidades se encuentra en las zonas montañosas y las selvas, donde las condiciones de accesibilidad son más difíciles. Le sigue la región Golfo, donde la dispersión poblacional es alta y las condiciones de marginación comprometen a cerca de 2.8 millones de pobladores rurales, ubicados en su mayoría en el Estado de Veracruz.

En las regiones Centro y Centro-Norte, son los Estados de Hidalgo, Puebla y San Luis Potosí los que tienen mayor población en localidades con marginación alta y muy alta con cerca de 2.8 millones de habitantes, las cuales se ubican en las zonas serranas del norte de Puebla o en áreas semidesérticas como el Valle del Mezquital en Hidalgo, donde la dotación de servicios públicos e infraestructura es insuficiente para atender las necesidades de sus habitantes, tal como se observa en la figura 1.6.



*Figura 1.6. Índice de marginación en la República Mexicana*

Así, conforme las poblaciones se encuentran más alejadas de las ciudades y de las carreteras, su grado de marginación aumenta. Estos datos confirman que las personas que viven en asentamientos dispersos y aislados enfrentan las peores condiciones sociales.

### 1.2.3 Estadísticas de accidentes y niveles de servicio en la red

#### Accidentes

En la red carretera federal, vigilada por la Policía Federal Preventiva, de alrededor de 55,037 km, se reportó que durante el año 2005 ocurrieron 24,660 accidentes, con un saldo de 15,467 lesionados, 1,953 muertos y daños materiales estimados en 1,250 millones de pesos. En la tabla 1.1 se puede observar el número de accidentes registrados por Estado en ese mismo año. Aquí se observa que el Estado de Nuevo León es donde se registró el mayor número de accidentes con 3,042, seguido por Querétaro con 2,182 y Jalisco con 2,161; y en segundo orden de importancia, Sinaloa (1,440) y Chihuahua (1,427); estos cinco Estados acumulan el 41.6% del total de accidentes. Además, los registros indican que la causa principal de los accidentes es atribuible al conductor en un 67.4% de los casos, el 19.1% a la infraestructura, el 9.2% a agentes naturales y el 4.3% al vehículo.

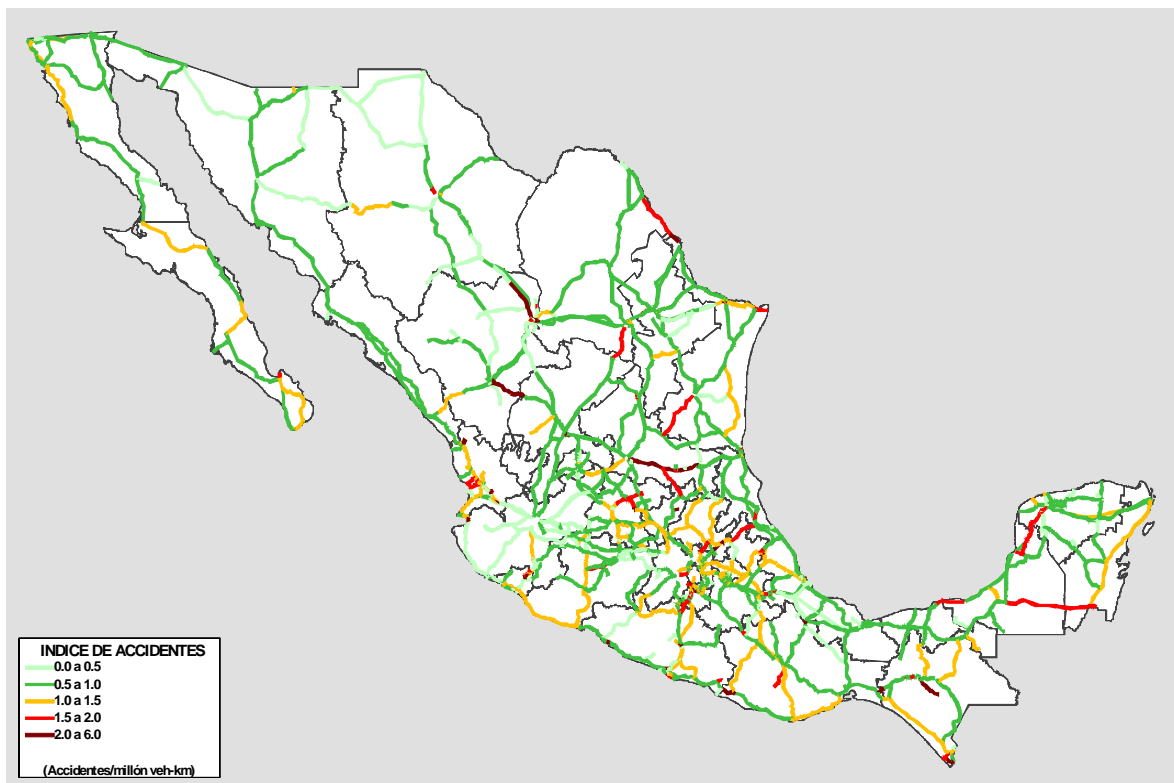
**Tabla 1.1. Número de Accidentes por Entidad Federativa, 2005**

ENTIDAD	NO. DE ACCIDENTES
Aguascalientes	685
Baja California	290
Baja California Sur	122
Campeche	173
Coahuila	151
Colima	228
Chiapas	794
Chihuahua	1,427
Distrito Federal	6
Durango	798
Guanajuato	839
Guerrero	180
Hidalgo	1,036
Jalisco	2,161
Estado de México	1,160
Michoacán	565
Morelos	691
Nayarit	1,007
Nuevo León	3,042
Oaxaca	271
Puebla	300
Querétaro	2,182
Quintana Roo	190
San Luis Potosí	957
Sinaloa	1,440
Sonora	1,194
Tabasco	356
Tamaulipas	619
Tlaxcala	173
Veracruz	483
Yucatán	688
Zacatecas	452
<b>TOTAL</b>	<b>24,660</b>

Las rutas más peligrosas del país, de acuerdo al número de accidentes son: México-Nogales (2,027), México-Piedras Negras (1,672), Matamoros-Puerto Juárez (1,471), México-Cd. Juárez (1,275), Tepic-Talismán (1,095), México-Veracruz (cuota) (985), Tijuana-Playa Lauro del Villar (778), México-Nuevo Laredo (723), México-Acapulco (687) y Matamoros-Mazatlán (631), las cuales representan el 33.5% de la longitud analizada.

Las carreteras entre poblaciones principales más peligrosas son: México-Querétaro (cuota) (648), Puebla-Córdoba (cuota) (449), México-Puebla (cuota) (435), Coatzacoalcos-Villahermosa (414), Reforma Agraria-Puerto Juárez (346), Querétaro-San Luis Potosí (344), Cd. Valles-San Luis Potosí (297), Santa Bárbara-Izúcar de Matamoros (283), Tepic-Mazatlán (277), Hermosillo-Nogales (260) y Cuernavaca-Acapulco (cuota) (251).

Finalmente, los tramos específicos con el mayor número de accidentes son: Puebla-Esperanza (cuota), PUE (262), Sta. María del Río-San Luis Potosí, SLP (131), Montemorelos-Monterrey, NL (127), Los Reyes-Entronque Chalco (cuota), MEX (113), Libramiento de Cuernavaca, MOR (108), San Martín Texmelucan-Puebla (cuota), PUE (108), Cárdenas-Villahermosa, TAB (104), Pico de Oro-Cárdenas, TAB (99), Libramiento Noroeste de Monterrey, NL (89), Límite de Estados GTO/SLP-Sta. María del Río, SLP (79), La Marquesa-Lerma, MEX (77), Entronque El Sauz-Entronque El Sueco, CHIH (73) y Orizaba-Córdoba (cuota), VER (72). En la figura 1.7 se muestra el índice de accidentes de los tramos de la red básica, de donde se pueden apreciar en rojo y marrón aquellos con el mayor número de accidentes.



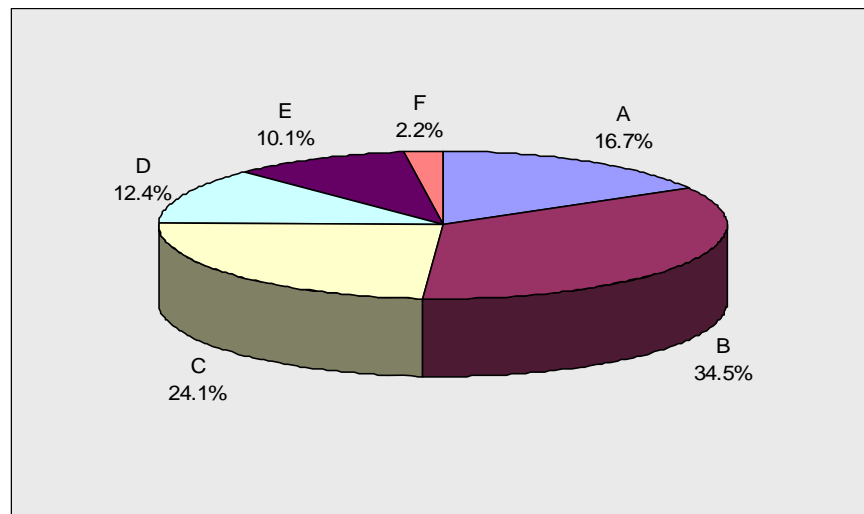
*Figura 1.7. Índice de Accidentes en la Red Básica de Carreteras*



### Nivel de Servicio

Para medir la calidad del flujo vehicular de un tramo de carretera se usa el concepto de nivel de servicio. Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación y la percepción de los usuarios (conductores y pasajeros). Estas condiciones se describen con base en factores tales como la velocidad, el tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, la comodidad, el ancho de carriles, la distancia libre lateral, la anchura de acotamientos, las pendientes y la seguridad vial. Las características de los niveles de servicio establecidos en el Manual de Capacidad de Carreteras se describen en el capítulo 3.

En la República Mexicana, en el año 2003 la red básica de carreteras presentó los niveles de servicio mostrados en la figura 1.8 y la tabla 1.2, de donde se destaca que la mayoría de las carreteras se encuentran en niveles de servicio A, B y C, sin embargo existe un alto porcentaje con nivel D, el cual, en términos de planeación, es aquel que requiere atención antes de que se vea alcanzada su capacidad y comiencen a generarse problemas con la operación del flujo de tránsito.



*Figura 1.8. Distribución porcentual de niveles de servicio en la red básica de carreteras*

**Tabla 1.2. Nivel de Servicio en el año 2003**

*RED BÁSICA DE CARRETERAS FEDERALES (km)*

ESTADO	A	B	C	D	E	F	TOTAL
AGS	83.00	31.82	54.98	12.20	0.00	0.00	182.00
BC	592.85	398.98	345.99	137.39	40.03	25.94	1,541.18
BCS	117.56	957.60	56.70	0.00	0.00	0.00	1,131.86
CAMP	151.73	435.78	200.27	7.00	33.00	0.00	827.78
COAH	452.41	489.37	408.77	96.76	115.94	0.00	1,563.25
COL	108.00	75.05	65.26	17.74	41.45	0.00	307.50
CHIS	29.55	344.03	411.77	164.35	108.87	0.00	1,058.57
CHIH	749.86	1,542.34	263.54	0.00	0.00	0.00	2,555.74
DGO	200.60	817.07	534.31	59.50	37.51	0.00	1,648.99
GTO	261.54	292.62	252.52	48.99	116.37	84.40	1,056.44
GRO	26.87	320.00	472.16	179.64	127.18	43.67	1,169.52
HGO	45.48	178.20	246.44	180.23	180.50	55.76	886.61
JAL	38.10	457.77	410.66	364.80	672.10	178.70	2,122.13
MEX	127.95	364.33	108.61	200.54	277.40	175.21	1,254.04
MICH	227.89	410.71	809.71	336.05	366.01	21.78	2,172.15
MOR	18.40	99.23	112.98	49.04	64.49	14.26	358.40
NAY	28.60	3.51	48.48	75.23	242.20	41.62	439.64
NL	140.85	516.06	222.55	154.50	151.47	0.00	1,185.43
OAX	104.12	1,028.92	622.98	318.04	27.46	12.63	2,114.15
PUE	131.84	194.16	338.77	389.52	237.28	11.10	1,302.67
QRO	92.07	231.02	72.81	79.25	4.11	0.00	479.26
QR	387.69	472.54	15.42	0.00	0.00	0.00	875.65
SLP	193.30	217.63	322.49	309.60	205.37	0.00	1,248.39
SIN	172.20	99.03	244.28	117.33	96.28	1.53	730.65
SON	572.18	789.00	560.16	136.00	80.93	0.00	2,138.27
TAB	72.30	117.26	161.77	146.60	28.60	0.00	526.53
TAMPS	266.43	843.43	641.35	284.26	9.91	0.00	2,045.38
TLAX	39.34	41.16	31.78	27.95	109.25	45.83	295.31
VER	171.71	462.89	509.88	751.81	428.31	127.94	2,452.54
YUC	603.76	599.67	122.00	11.50	0.00	0.00	1,336.93
ZAC	134.96	302.72	508.30	54.92	29.94	0.00	1,030.84
<b>NACIONAL</b>	<b>6,343.14</b>	<b>13,133.90</b>	<b>9,177.69</b>	<b>4,710.74</b>	<b>3,831.96</b>	<b>840.37</b>	<b>38,037.80</b>
%	16.7%	34.5%	24.1%	12.4%	10.1%	2.2%	100.0%

Con base en el análisis realizado se concluye que los principales problemas de la red de carreteras son el deficiente estado físico en que se encuentra, la geometría y la capacidad de los tramos más utilizados, así como la insuficiente cobertura, lo que provoca importantes sobre costos en la operación de los vehículos.

Respecto a los flujos vehiculares que circulan por las carreteras y a la capacidad de los tramos, se observa que en promedio el 60% de los segmentos de carreteras funcionan en condiciones buenas y óptimas, un 30% presenta condiciones regulares y alrededor del 10% opera cerca de la saturación. En estos últimos se presentan problemas de congestionamiento y los costos de operación de los vehículos resultan más elevados que en el resto.

### **1.3. ESQUEMAS DE SOLUCIÓN ACTUALES**

#### **1.3.1 Recopilación de proyectos**

Las prácticas de recolección y concentración de necesidades de infraestructura carretera en México distan mucho de ser las más adecuadas para garantizar que los proyectos elegidos sean los más importantes para el desarrollo del país y de las regiones. En el ámbito municipal y estatal, por ejemplo, las propuestas se hacen por medio de peticiones de la

sociedad o por promesas de campaña de los gobernantes, las cuales surgen de ideas de gente que percibe los síntomas, mas no las causas de los problemas.

A nivel federal, se reciben una gran cantidad de peticiones y solicitudes, tanto de la sociedad como de los gobiernos Estatales y Municipales, que en la mayoría de los casos no tienen un sustento técnico sino más bien político. Pocos son los proyectos que cuentan con información técnica útil para justificar su realización, lo que hace difícil que a nivel central se conozca la problemática de todos los proyectos propuestos.

### **1.3.2 Clasificación y jerarquización**

De manera esporádica durante el año se llevan a cabo reuniones entre funcionarios de algunas regiones del país, en las que los representantes de cada Estado presentan sus propuestas de construcción o modernización de carreteras, se proponen algunos criterios para calificarlas y se dan algunos puntajes para determinar los proyectos que son más importantes que otros. Al finalizar este proceso, algunas personas se inconforman y difícilmente se acepta la lista de proyectos.

Con la premura del tiempo para entregar la cartera de proyectos para el ejercicio fiscal del año siguiente y con base en la información recopilada en las reuniones o por medio de peticiones, los proyectos se ordenan de manera empírica en las oficinas centrales. Posteriormente, la lista es revisada por autoridades superiores, quienes le hacen modificaciones de último minuto, agregando y quitando proyectos, de donde resulta una cartera integrada por diversos proyectos.

### **1.3.3 Ventajas y desventajas**

#### **Ventajas**

- A nivel central se puede contar con una lista de proyectos de todo el país, a la cual se puede acceder cuando se requiera para integrar la cartera final de proyectos.
- No es necesario viajar por todo el país para recopilar las necesidades de infraestructura carretera.

#### **Desventajas**

- Los trazos y características de los proyectos son muy generales.
- Las especificaciones técnicas de los proyectos pueden no ser las adecuadas para resolver la problemática.
- Se puede presentar un desperdicio de recursos.

## **2. FORMULACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA**

### **2.1. ANÁLISIS CAUSA-EFECTO**

Al tratarse de un problema de tipo causal, se utilizó la técnica participativa “*Análisis Causa-Efecto*” (Técnica de Ishikawa), para definir el problema e identificar sus causas y efectos. Esta técnica fue aplicada a diversos especialistas y funcionarios involucrados en la formulación de proyectos de inversión en infraestructura carretera, tales como: consultores, evaluadores de proyectos, planeadores, así como empleados públicos pertenecientes a las áreas de planeación y construcción de obra pública.

La respuesta de los encuestados fue positiva, dado que tienen un entendimiento general del problema, se sienten involucrados y desean participar para encontrar juntos una solución al mismo.

La técnica se realizó en tres etapas, las cuales se explican en los siguientes puntos.

1. Construcción del diagrama y planteamiento del problema.
2. Identificación de las posibles causas y efectos.
3. Generación de posibles soluciones.

### **2.2. CONSTRUCCIÓN DEL DIAGRAMA Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Una vez reunidos los involucrados en la aplicación de la técnica, se explicó al grupo la dinámica de trabajo, en un pizarrón se trazó un rectángulo para escribir el problema con flechas entrantes y salientes, a los lados izquierdo y derecho del mismo, para incorporar las causas y efectos, respectivamente. A los participantes se les pidió que conjuntamente precisaran el problema por analizar. En un primer ejercicio se encontraron tres problemas a saber:

- Identificación de las obras de modernización de carreteras en oficinas Federales (a nivel central) en lápiz y papel, es decir, mirando únicamente mapas e integrando algunos proyectos de los que se tiene conocimiento.
- Integración de las obras con base en compromisos del Presidente de la República, los diputados, Gobernadores y Presidentes Municipales, por lo que se presenta un desequilibrio entre los aspectos políticos y técnicos de los proyectos resultantes.
- Los proyectos que integran la cartera no son los adecuados para resolver las necesidades de operación del tránsito en todas las regiones del país.

Estos problemas se escribieron en el pizarrón para que estuvieran a la vista de todos y en una segunda ronda de ideas se llegó a la conclusión de que el problema era el siguiente:

“NO SE CUENTA CON UNA METODOLOGÍA NI CON EL APOYO DE HERRAMIENTAS TÉCNICAS PARA INTEGRAR LA CARTERA PRIORIZADA DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA CARRETERA”.

### 2.3. IDENTIFICACIÓN DE LAS POSIBLES CAUSAS Y EFECTOS

Para identificar las posibles causas y efectos se realizó una lluvia de ideas, en la que los participantes indicaron lo que, a su juicio, podían ser los orígenes del problema (causas) y las consecuencias o resultados del mismo (efectos). Todas las ideas se anotaron en el pizarrón y se fueron agrupando de acuerdo a su similitud o repetición, se depuró la lista y se llevó a cabo una segunda agrupación para identificar las causas mayores y menores. Posteriormente, se anotaron las causas y efectos en el diagrama unidas por medio de flechas.

El diagrama causa-efecto resultante se muestra en la figura 2.1.

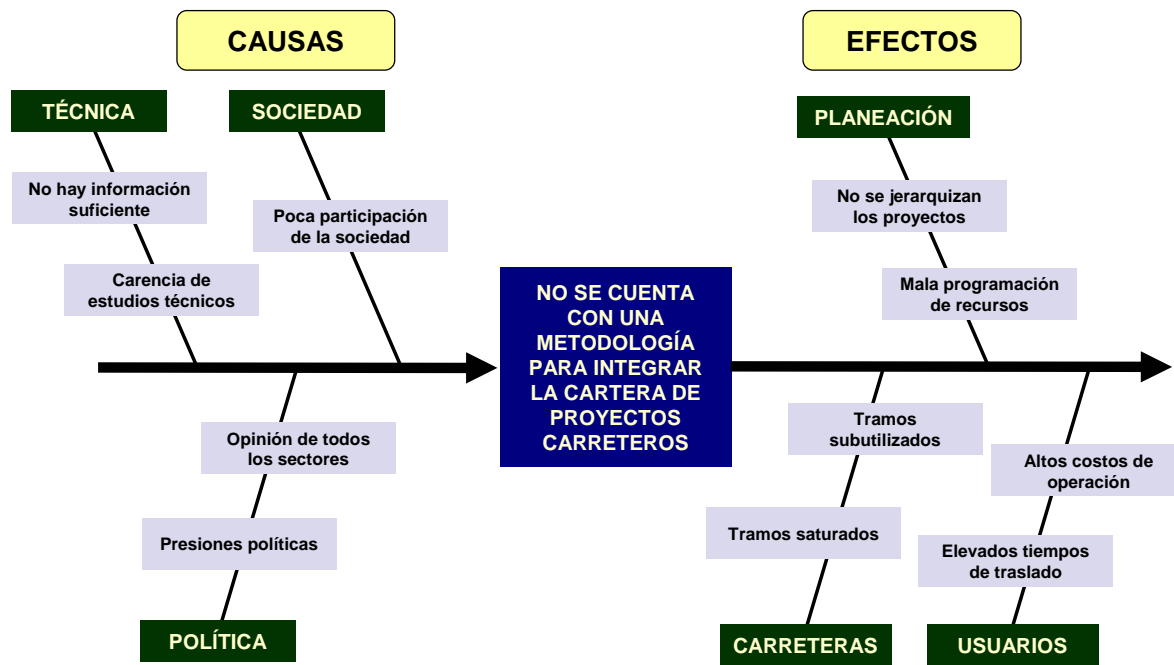


Figura 2.1. Diagrama Causa-Efecto

### 2.4. GENERACIÓN DE POSIBLES SOLUCIONES

Finalmente, los integrantes del grupo presentaron propuestas de solución para atacar el problema, entre las cuales destacaron las siguientes:

- Realizar más reuniones regionales en las que participen todos los niveles de gobierno para detectar todos los problemas de tránsito que existen en las carreteras.
- Invertir más recursos técnicos y económicos para la construcción y modernización de carreteras en todo el país.
- Establecer una planeación estratégica para llevar a cabo el proceso.
- Realizar estudios técnicos y económicos para cada uno de los proyectos propuestos.

### 3. MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual que subyace en esta metodología está basado en una serie de conceptos y elementos teóricos relacionados entre sí, que pertenecen a los siguientes tópicos: técnicas participativas para la planeación; ingeniería de tránsito; modelos de demanda de transporte; sistemas de información geográfica y métodos de pronóstico de variables. Los cuales están directamente relacionados con el procedimiento necesario para obtener la lista priorizada de proyectos carreteros, de acuerdo al diagrama de la figura 3.1.

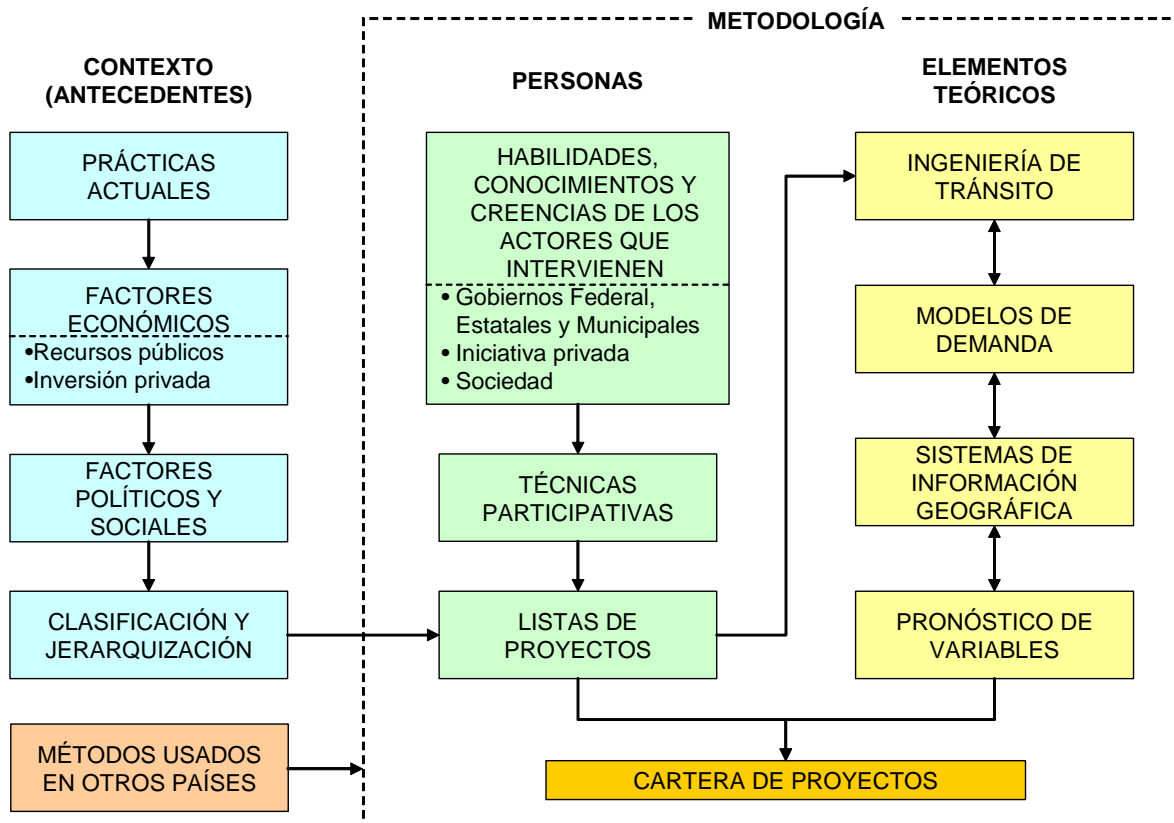


Figura 3.1. Marco conceptual

### 3.1. INGENIERÍA DE TRÁNSITO

#### 3.1.1 El vehículo de proyecto

El *vehículo de proyecto* es aquel cuyas características de operación son utilizadas para establecer los lineamientos que guiarán el proyecto de las carreteras, tal que éstas puedan acomodar vehículos de este tipo.

Para efectos de proyecto, se consideran dos tipos de vehículos: los *ligeros* y los *pesados*. Los primeros son los automóviles y los segundos están conformados por los autobuses y camiones. Las principales características usadas son la velocidad de operación y sus dimensiones.

### 3.1.2 Clasificación de la red vial

Para los fines de este estudio, se utilizará la clasificación técnica de las carreteras de acuerdo a su ancho de corona, cuyas características se muestran en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1. Secciones transversales de carreteras**

Tipo de carretera	Corona (m)	Calzada (m)	Acotamientos (m)		Faja separadora central (m)	TDPA (vehículos)
			Externos	Internos		
A4S	2x11.0	2x7.0	3.0	1.0	8.0	De 5,000 a 20,000
A4	22.0	2x7.0	3.0	0.5	1.0	De 5,000 a 20,000
A2	12.0	7.0	2.5	---	---	De 3,000 a 5,000
B	9.0	7.0	1.0	---	---	De 1,500 a 3,000
C	7.0	6.0	0.5	---	---	De 500 a 1,500
D	6.0	6.0	---	---	---	De 100 a 500
E	4.0	4.0	---	---	---	Hasta 100

### 3.1.3 Volumen de tránsito

El *volumen de tránsito* es el número de vehículos que circulan por un segmento de vía en un tiempo determinado, es decir, posee características *espaciales* y *temporales*. Las primeras resultan del deseo de la gente de efectuar viajes entre determinados orígenes y destinos, y las segundas son producto de los estilos y formas de vida que hacen que las personas realicen sus desplazamientos durante ciertas épocas del año, en determinados días de la semana o en horas específicas del día.

Al proyectar una carretera, la selección del tipo de vialidad, las intersecciones, los accesos y los servicios dependen fundamentalmente del volumen de tránsito que circulará durante un intervalo de tiempo dado, de su variación, de su tasa de crecimiento y de su composición (autos, autobuses, camiones). Los errores que se cometan en la determinación de estos datos ocasionarán que la carretera funcione con volúmenes de tránsito muy inferiores o muy superiores a los proyectados, ocasionando subutilización o congestión, respectivamente.

### 3.1.4 Velocidad

La *velocidad* se define como la relación entre la distancia recorrida por un vehículo y el tiempo que se tarda en recorrerla y se expresa en kilómetros por hora (km/hr). Sin embargo, en la ingeniería de tránsito tiene más sentido utilizar la *velocidad de recorrido* (global o de viaje), la cual es el resultado de dividir la distancia recorrida desde el inicio hasta el fin del viaje, entre el tiempo total que se empleó en recorrerla. Este tiempo total incluye todas aquellas demoras ocasionadas por reductores de velocidad (topes) y paradas provocadas por

la vía, el tránsito y los dispositivos de control (semáforos, señales), ajenos a la voluntad del conductor.

### 3.1.5 Capacidad y nivel de servicio

La *capacidad* se define como la tasa máxima de flujo que puede soportar una carretera. En otras palabras, es el número máximo de vehículos que razonablemente pueden pasar por un punto o sección de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control. Para determinar la capacidad de un sistema vial no sólo es necesario conocer sus características físicas o geométricas, sino también las características de los flujos vehiculares.

El *nivel de servicio* es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular y de su percepción por los conductores y los pasajeros. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como velocidad, tiempo de recorrido, libertad para realizar maniobras, comodidad, conveniencia y seguridad vial. Estos factores pueden ser internos (variaciones de velocidad, volumen, composición del tránsito, porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc.) o externos (características físicas: ancho de carriles, distancia libre lateral, ancho de acotamientos, pendientes, etc.).

Para llevar a cabo el análisis de nivel de servicio de un tramo, los factores deben medirse durante el periodo de mayor flujo, es decir, en la hora de máxima demanda. Este análisis se hace para conocer las condiciones actuales de operación de las carreteras y predecir el flujo vehicular y el plazo de tiempo en que llegará a su capacidad, con lo cual se pueden detectar los tramos conflictivos dentro de la red de carreteras y resolverlos con proyectos y obras de ampliación o construcción de nuevas vías.

El Manual de Capacidad Vial HCM 2000 del TRB (*Transportation Research Board*) ha establecido seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E y F, que van del mejor al peor, los cuales se definen como sigue:

**Nivel de Servicio A.** Circulación a flujo libre. Los usuarios están exentos de los efectos de la presencia de otros en la circulación, poseen una altísima libertad para seleccionar las velocidades deseadas y maniobrar dentro del tránsito. El nivel de comodidad es excelente.

**Nivel de Servicio B.** Está dentro del rango de flujo estable, aunque se empiezan a observar otros vehículos en la circulación. La selección de velocidades sigue inafectada, aunque disminuye un poco la libertad de maniobra. El nivel de comodidad es un poco inferior al nivel de servicio A.

**Nivel de Servicio C.** El rango de flujo permanece estable, pero marca el comienzo del dominio en el que la operación de los usuarios se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros usuarios. La selección de velocidad se ve afectada y la libertad de maniobra comienza a ser restringida. El nivel de comodidad desciende notablemente.



**Nivel de Servicio D.** Circulación de densidad elevada, aunque estable. La velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas, y el usuario experimenta un nivel de comodidad bajo. Los pequeños incrementos del flujo generalmente ocasionan problemas de funcionamiento.

**Nivel de Servicio E.** El funcionamiento está en el límite de su capacidad o cerca de él. La velocidad de todos es baja y bastante uniforme. La libertad de maniobra es extremadamente difícil y se consigue forzando a otro vehículo a ceder el paso. Los niveles de comodidad son enormemente bajos, siendo muy elevada la frustración de los usuarios. La circulación es normalmente inestable.

**Nivel de Servicio F.** La cantidad de tránsito en el tramo excede la capacidad, lo que genera condiciones de flujo forzado. Se forman colas, la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque extremadamente inestables.

El *flujo de servicio* es el número de vehículos por unidad de tiempo que puede admitir la carretera en función del nivel de servicio, el cual va aumentando a medida que el nivel de servicio va siendo de menor calidad hasta llegar al nivel E (o capacidad de la carretera). Más allá de este nivel se registrarán condiciones desfavorables.

Un indicador primordial para valorar el grado de utilización de la capacidad y estimar el nivel de servicio es la relación entre el flujo de servicio y la capacidad ( $v/c$ ).

La tabla 3.2. muestra el flujo de servicio máximo o capacidad de los diferentes tipos de carretera en condiciones ideales, reportado por el HCM 2000. Las condiciones ideales asumen un buen estado del tiempo, un buen estado físico del pavimento, usuarios familiarizados con la carretera, carriles de 3.6 metros de ancho, todos los vehículos son ligeros, obstáculos laterales a más de 1.8 metros del borde de la calzada y terreno plano. Estos datos deberán ser ajustados dependiendo de las condiciones prevalecientes en cada tramo de carretera específico.

**Tabla 3.2. Capacidad en condiciones ideales (vehículos ligeros/hora/carril)**

Tipo de carretera	Tipo de terreno		
	Plano	Lomerío	Montañoso
Autopistas multicarril	2,400	2,000	1,300
Autopistas de dos carriles	1,800	1,200	600
Carreteras multicarril	2,200	1,800	1,200
Carreteras de dos carriles	1,600	1,000	500

### 3.1.6 Accidentalidad

Uno de los temas más importantes de la Ingeniería de Tránsito son los estudios de accidentes. Las soluciones diversas aplicadas a través del correcto análisis del problema pueden rendir valiosos resultados, salvando vidas y ahorrando grandes pérdidas económicas.

Para conocer el cuadro completo, es necesario encontrar o determinar ciertas relaciones de los accidentes con las causas aparentes o reales, los tipos de accidentes, la frecuencia, la ubicación, etc. El análisis de accidentes se lleva a cabo mediante tres importantes datos a saber:

- Causa aparente de los accidentes.
- Falla operacional.
- Magnitud del problema.

**Causas aparentes y reales.**- La *causa aparente* es la que determina el agente de tránsito en su informe del accidente y la *causa real* es la que surge del análisis técnico correspondiente. Esto permitirá saber si el accidente se debió a la carretera, al vehículo o al usuario.

**Falla operacional.**- Esto se refiere a una combinación de las características del flujo de tránsito, tales como velocidad, densidad, congestionamiento, existencia de vehículos pesados, etc. que ocasiona la ocurrencia de accidentes en ciertos tramos de las carreteras.

**Magnitud del problema.**- Se refiere a las cifras o índices que permiten medir la accidentalidad, con las que se juzga la magnitud del problema y se comparan diferentes carreteras. Los indicadores más usados son:

Índice de accidentes con respecto a la población ( $I_{A/P}$ )

$$I_{A/P} = \frac{\text{No. de accidentes en el año} * 100,000}{\text{No. de habitantes}}$$

Índice de accidentes con respecto al parque vehicular ( $I_{A/V}$ )

$$I_{A/V} = \frac{\text{No. de accidentes en el año} * 10,000}{\text{No. de vehículos registrados}}$$

Como consecuencia del desarrollo de la velocidad en los vehículos modernos y de no disponer, en muchos casos, de la infraestructura carretera acorde con estos avances, la causa más frecuente de los accidentes de tránsito es el *exceso de velocidad*. En orden de importancia sigue la causa *invasión de circulación contraria*, que es el acto de invadir los carriles donde los vehículos viajan en sentido opuesto. En tercer sitio sigue la *imprudencia para manejar*, la cual engloba los actos del conductor que se contraponen con las reglas del

camino, tales como: impericia, no parar en un entronque, estado de ebriedad, mal estacionamiento, o deslumbramiento.

Principalmente, es de interés llevar la estadística tabular y gráfica de los accidentes por su ubicación, para poder analizar los tipos y causas que los provocan y permitir tomar las medidas necesarias para su prevención.

### 3.2. MODELOS DE DEMANDA

La figura 3.2 ilustra el modelo secuencial de las cuatro fases para el cálculo de la demanda de transporte, el cual es el más utilizado en la actualidad y se encuentra integrado dentro del paquete computacional TransCAD®. En este arreglo, las salidas de cada paso se convierten en entradas para el paso siguiente, asimismo, incorpora datos relevantes de las alternativas de estudio, así como las proyecciones de usos de suelo y datos socioeconómicos. Finalmente, el resultado del modelo permite conocer los impactos directos, positivos o negativos, que tendrán los proyectos hacia los usuarios.

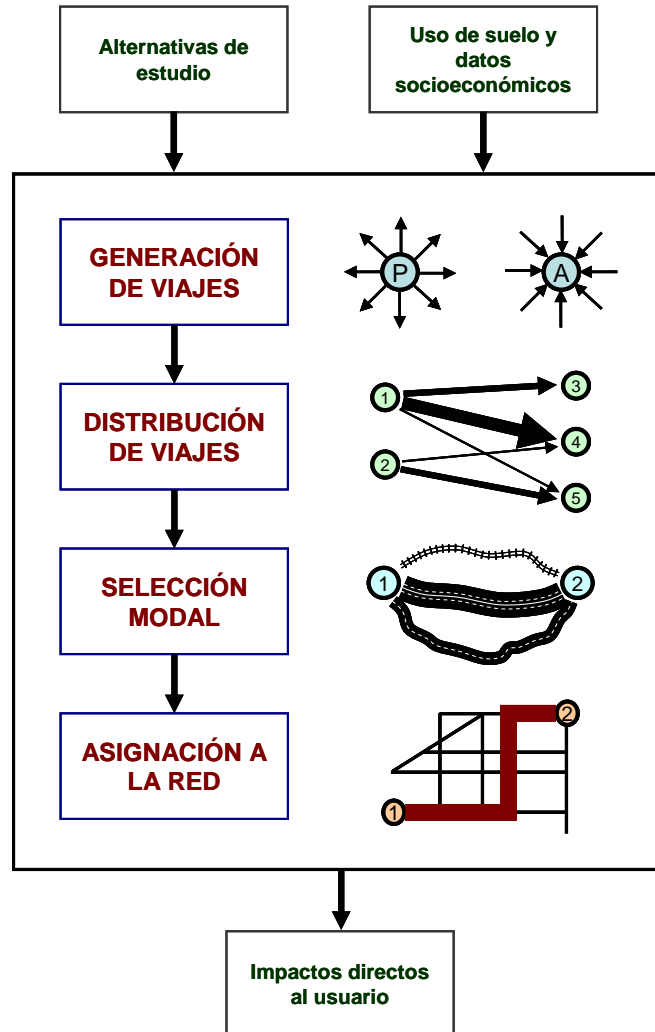


Figura 3.2. Modelo secuencial de las cuatro fases

### 3.2.1 Generación de viajes

El objetivo del modelo de generación de viajes es pronosticar el número de viajes que iniciarán o terminarán en cada zona de análisis para un día típico del año meta. Para ello, se debe construir una ecuación que relacione el número de viajes generados, que constituye la variable dependiente del modelo, con las variables independientes o explicativas que incluyen datos socioeconómicos y de uso de suelo de cada zona. Finalmente, se debe calibrar el modelo usando observaciones tomadas durante el año base por medio de encuestas. La realización de viajes se estima por separado para cada propósito de viaje, tal como trabajo, escuela, compras, sociales o recreativos, debido a que tienen comportamientos diferentes.

El modelo de generación de viajes más utilizado es el *modelo de regresión lineal múltiple*, el cual tiene la forma:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_rX_r$$

donde  $Y$  es la variable dependiente, las  $X$  son las variables independientes y las  $a$  son los parámetros del modelo que se deben estimar.

A modo general, si se calculan los viajes que salen de una zona,  $Y$  representa la producción de viajes y si se desea saber el número de viajes que entran a una zona,  $Y$  será la atracción de viajes; de la misma manera, las variables independientes  $X$  pueden ser el número de viviendas, tamaño de las viviendas, el nivel de ingresos, el número de vehículos, así como número de empleos, registro de estudiantes, áreas comerciales, cuartos de hotel, etc. dependiendo del modelo y propósito de viaje analizado.

### 3.2.2 Distribución de viajes

El siguiente paso en el modelo secuencial, trata de la estimación del número de viajes que se intercambian entre todos los pares de zonas ( $I, J$ ), donde  $I$  es la zona productora de viajes y  $J$  es la zona atractora. El principio básico de la distribución de viajes dice que todas las zonas atractoras  $J$  están en competencia para atraer los viajes producidos por cada zona  $I$ . La zona con niveles más altos de atraktividad será la que reciba el mayor número de viajes, para calcular esto intervienen factores como la distancia entre zonas, el tiempo de viaje, el costo de viaje y cosas por el estilo.

Para estimar los viajes que se mueven dentro del área de estudio se utiliza el *modelo gravitacional*, que se basa en la Ley de la Gravedad de Newton, la cual establece que la fuerza de atracción entre dos cuerpos es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos. La aplicación de este concepto en la distribución de viajes toma la forma:

$$Q_{IJ} = k \frac{P_I A_J}{W_{IJ}^c}$$

La ecuación anterior establece que el volumen de intercambio  $Q_{IJ}$  entre una zona productora de viajes  $I$  y una zona atractora  $J$  es directamente proporcional a la magnitud de las producciones de la zona  $I$  y las atracciones de la zona  $J$  e inversamente proporcional a la impedancia  $W_{IJ}$  entre las dos zonas. Las constantes  $k$  y  $c$  son los parámetros del modelo por calibrar usando observaciones del año base.

Para estimar los viajes externos, es decir, viajes que se producen o atraen fuera de los límites del área de estudio, en zonas cuyas características no se analizan explícitamente, se utiliza el *modelo Fratar* o de factor de crecimiento. El modelo comienza con los intercambios de viajes de la zona  $I$  en el año base  $Q_I(b)$ , sin diferenciar producciones y atracciones, después, se estiman los viajes para el año meta  $Q_I(m)$  y se establece la relación entre ambos por medio de un factor de crecimiento  $G_I$ , el cual se basa en los cambios que se espera que ocurran en la zona entre el año base y el año meta, así:

$$Q_I(m) = G_I \cdot Q_I(b)$$

posteriormente, se estima la distribución de viajes para el año meta que satisface el balance de viajes de ese año. Matemáticamente, el método consiste en aproximaciones sucesivas y una prueba de convergencia en un proceso iterativo.

### 3.2.3 Selección modal

En una situación de viaje típica, los usuarios pueden seleccionar entre varios modos de transporte que pueden incluir manejar auto propio, viajar con otra persona, tomar el autobús, el tren, ir en motocicleta, etc. Un modelo de selección modal o división modal corresponde al comportamiento del usuario con respecto a la selección del modo de viaje. Las razones de esta selección varían entre individuos, tipo de viaje, nivel de servicio y costos asociados. Además de los atributos de los modos disponibles y el tipo de viaje, el estatus socioeconómico del usuario también afecta la selección del modo de transporte, así, los usuarios pueden clasificarse según su nivel de ingreso, edad, etc.

En esta fase se utiliza el *modelo Logit multinomial*, el cual se basa en la probabilidad de que un usuario seleccione una alternativa, de entre varias alternativas, en función de su utilidad. Si nos extendemos a grupos de individuos, el modelo estima la proporción del grupo que probablemente elija cada una de las alternativas competidoras. La función de utilidad mide el grado de satisfacción que el usuario obtiene de cada alternativa y se expresa como una suma lineal de las variables independientes, es decir:

$$U = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_rX_r$$

en donde las variables independientes  $X$  pueden representar el costo, el tiempo, el nivel de servicio o la conveniencia asociada a los modos de transporte.

El *modelo Logit multinomial* calcula la proporción de viajes que usarán un modo específico  $k$  de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$p(k) = \frac{e^{U_k}}{\sum_x e^{U_x}}$$

### 3.2.4 Asignación a la red

La última fase del modelo secuencial de demanda corresponde a la selección de las trayectorias de viaje entre orígenes y destinos, y a la estimación de los flujos resultantes en cada uno de los enlaces de la red por modo de transporte. La estimación del uso de los enlaces puede usarse para estimar el nivel de servicio y anticipar problemas de capacidad potencial.

Previo al proceso de asignación de la demanda, se debe construir una red de transporte codificada formada por nodos, enlaces, centroides y conectores. Los nodos simbolizan intersecciones, ciudades o estaciones de transferencia, los enlaces representan carreteras, avenidas y puentes, los centroides y conectores son un conjunto imaginario de nodos y enlaces que simbolizan las zonas de análisis y sus accesos a la red, respectivamente. También se especifican características importantes de cada enlace, tales como capacidad, velocidad a flujo libre, tiempo de recorrido, etc.

Los usuarios eligen sus trayectorias de viaje considerando la impedancia (tiempo, costo) de cada una de las trayectorias disponibles. El proceso más simple supone que todos los usuarios entre un par de zonas eligen la trayectoria mínima, es decir, la que ofrece la menor impedancia. Sin embargo, al incrementarse el flujo vehicular, la velocidad promedio disminuye y el nivel de servicio se hace menos atractivo, por lo tanto, las impedancias varían respecto a las condiciones de flujo libre. Dado lo anterior, se realiza un proceso iterativo con las nuevas impedancias para calcular las trayectorias mínimas de cada iteración, hasta converger y lograr el equilibrio. El desarrollo de esta técnica implica el uso de *funciones de restricción de capacidad* en los enlaces de la red, las cuales fueron desarrolladas por el (Bureau of Public Roads-BPR) y tienen la forma:

$$w = \bar{w} \left[ 1 + \alpha \left( \frac{v}{c} \right)^\beta \right]$$

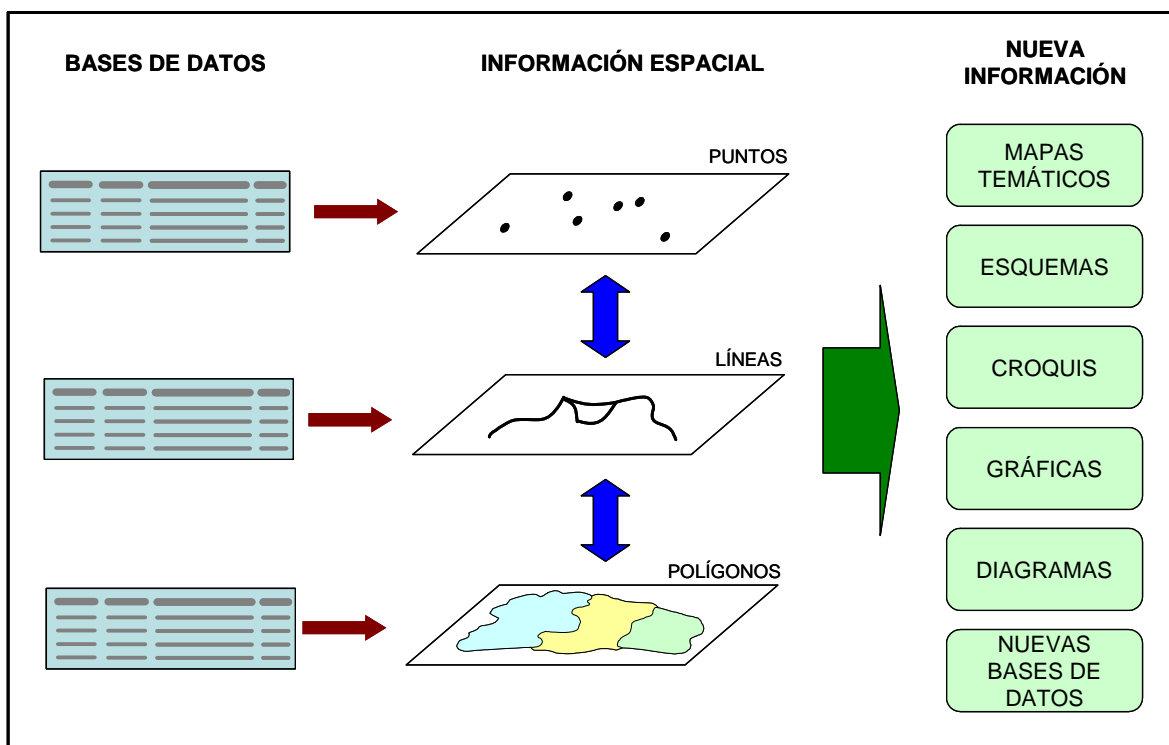
donde:

- $w$  impedancia en el enlace
- $\bar{w}$  impedancia a flujo libre en el enlace
- $v$  volumen vehicular (flujo) en el enlace
- $c$  capacidad del enlace
- $\alpha, \beta$  parámetros de calibración

Al tratarse de una función exponencial, la impedancia aumenta con mucho más rapidez conforme aumenta el flujo vehicular, con lo cual se evita que los enlaces alcancen o incluso rebasen su capacidad. Esto permite que el flujo se distribuya entre todas las trayectorias posibles de la red de análisis.

### 3.3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

La implicación geográfica del transporte obliga necesariamente al análisis espacial, para lo cual existen las herramientas computacionales conocidas como Sistemas de Información Geográfica (SIG), con las cuales se puede realizar el registro geográfico de variables, el manejo integrado y espacial de la información, y la representación gráfica de resultados. Un SIG se caracteriza por manejar bases de datos asociadas a objetos topológicos (puntos, líneas y polígonos) y registrar una ubicación geográfica precisa (coordenadas), además de ser capaz de generar nueva información a partir de la contenida en sus bases de datos (figura 3.3).



*Figura 3.3. Elementos de un SIG*

Los SIG son instrumentos técnicos de capacidades múltiples, diseñados y habilitados para inventariar, analizar y administrar información geográfica. Su posibilidad para manipular datos geográficos, permite estudiar procesos territoriales, realizar análisis de tendencias y elaborar proyecciones, insumos todos necesarios para las labores de planeación y administración de diversos sectores, tales como servicios básicos (agua, electricidad, drenaje), teléfono, educación, salud, mercados, transporte y carreteras, entre otros.

Actualmente, el universo de los SIG es muy grande, y para seleccionar el software más adecuado se deben identificar los objetivos de utilización del programa, las respuestas esperadas y las necesidades particulares del esquema de implementación definido. Este marco conducirá a la distinción clara de los requerimientos técnicos, humanos, financieros y organizacionales para la instrumentación del SIG en el transporte.

La actuación de los SIG en el sector transporte sirve de apoyo para tareas como conservación y mantenimiento de la infraestructura, ampliación de segmentos carreteros de tránsito intenso, fomento del transporte multimodal, operación del ferrocarril, modernizar los puertos, reestructurar tarifas, entre muchas otras. Dado que el SIG es una plataforma lógica, coherente y consistente para integrar las diversas bases de datos, es posible interrelacionar la información específica del transporte con otra de carácter externo (económica, demográfica, ambiental, etc.) y analizar sus manifestaciones espaciales. Además, se pueden emplear diversos sistemas de referencia (por kilómetro, por área, por puntos de referencia, longitud-latitud, etc.), lo cual resulta de gran utilidad.

Los modelos de análisis de transporte necesitan que las redes sean representadas por una estructura de datos nodo-enlace, en la cual los nodos representan la intersección de dos o más caminos y los enlaces simbolizan los segmentos de carretera, en los cuales se definen atributos por medio de una base de datos asociada.

La herramienta elegida para el desarrollo de este trabajo es el TransCAD®, el cual es un SIG diseñado para almacenar, desplegar, administrar y analizar datos de transporte. El TransCAD® combina el SIG y los modelos de transporte en una sola plataforma y puede usarse para todos los modos de transporte, a cualquier escala o nivel de detalle.

### **3.4. PRONÓSTICO DE VARIABLES**

#### **3.4.1 Pronóstico del volumen de tránsito**

El volumen de tránsito futuro para un proyecto de construcción o modernización de una carretera debe basarse no sólo en los volúmenes actuales, sino también en los flujos que se espera que utilicen la nueva infraestructura. Estos tránsitos se enumeran a continuación.

**Tránsito Futuro (TF).** Es la suma del tránsito existente (TE) más el crecimiento normal del tránsito (CNT) esperado al final del periodo o año meta (debido al incremento de la población, el parque vehicular o la actividad económica), más el tránsito atraído (TA), más el tránsito generado (TG), más el tránsito desarrollado (TD), es decir:

$$TF = TE + CNT + TA + TG + TD$$

**Tránsito Atraído o Desviado (TA).** Tránsito proveniente de otras carreteras una vez que el tramo ha sido reconstruido. En el caso de la apertura de una nueva carretera, el tránsito se compone completamente de tránsito atraído.

**Tránsito Generado (TG).** Consta de aquellos viajes nuevos que sólo se realizarían si se construye la nueva carretera (tránsito inducido), o que actualmente utilizan otro modo de transporte (tránsito convertido), o los previamente hechos hacia destinos totalmente diferentes (tránsito trasladado). El TG representa entre el 5 y el 25% del tránsito existente.

**Tránsito Desarrollado (TD).** Es el incremento en el volumen de tránsito debido a las mejoras en el suelo adyacente a la carretera, el cual tiene valores del orden del 5% del TE.



### 3.4.2 Pronóstico mediante regresión matemática

Para obtener la estimación de los volúmenes de tránsito futuros en donde se cuenta con datos históricos del tránsito, la población, el parque vehicular, la actividad económica, etc., se utilizan los modelos de regresión matemática lineales, exponenciales y logarítmicos.

**Regresión lineal simple (método de mínimos cuadrados).** Dada la ecuación de una recta de regresión:

$$\hat{y}_i = a + bx_i$$

donde  $a$  representa el cruce sobre el eje vertical y  $b$  la pendiente de la recta de regresión. A su vez, la diferencia entre el valor observado y el valor estimado se denomina error, esto es:

$$\delta_i = y_i - \hat{y}_i$$

Este método dice que para  $n$  valores observados, la suma de los cuadrados de los errores alrededor de la línea de regresión debe ser mínima, entonces se trata de calcular los parámetros  $a$  y  $b$  de la función de la recta para un conjunto de  $n$  pares de datos  $(x_i, y_i)$ .

**Regresión tipo exponencial.** Para cualquier  $x_i$  existe un valor observado  $y_i$ , el cual es estimado a través de  $\hat{y}_i$  teórico mediante la siguiente función:

$$\hat{y}_i = ab^{x_i}$$

donde  $a$  y  $b$  representan los parámetros a determinar para definir la curva de regresión.

**Regresión tipo logarítmica.** Para cualquier  $x_i$  existe un valor observado  $y_i$ , el cual es estimado a través de  $\hat{y}_i$  teórico mediante la siguiente función:

$$\hat{y}_i = a + b \ln x_i$$

donde  $a$  y  $b$  representan los parámetros a determinar para definir la curva de regresión.

Para tomar una decisión sobre el tipo de regresión a utilizar, se debe calcular el coeficiente de correlación  $r$  de cada una de ellas para determinar el método que mejor se ajuste a los datos observados.

## 3.5. MÉTODOS DE PRIORIZACIÓN USADOS EN OTROS PAÍSES

### BÉLGICA

El enfoque de la evaluación y priorización de proyectos en este país ha cambiado de un método de Análisis Beneficio-Costo puro a un método multi-criterio, el cual contempla criterios como:

- Aspectos socio-económicos (razón beneficio-costos, inversiones previas, servicios para zonas industriales, comerciales, turísticas, trabajos generados).
- Seguridad (tasa de accidentalidad, curvaturas, puntos negros).
- Factores humanos y medioambientales (trazo de ruta por zonas protegidas, daños o molestias a los habitantes en la zona del proyecto, proporción de vehículos de carga).
- Tránsito (saturación, ganancia en tiempo, nivel de servicio).
- Planeación (relación con plan de gobierno, permisos de construcción, contribución a la continuidad de una ruta).
- Estado de la red existente (índice de rugosidad, capacidades de carga, daños físicos).

Los proyectos son priorizados conforme a su desempeño en cada criterio y son otorgados pesos para evaluar la importancia relativa de un criterio dado. Se calcula una puntuación general para cada proyecto, sumando el producto de las prioridades y pesos a través de todos los criterios.

## **FRANCIA**

En un principio se utilizó el análisis beneficio-costos basado en la teoría micro-económica, teniendo como resultados comparativos al Valor Presente Neto y la Tasa de Retorno Inmediato. En la práctica de la selección de proyectos también se tomaron en cuenta factores tales como: medio ambiente, planeación territorial, desarrollo económico y gasto de energéticos.

La metodología usada actualmente es el análisis multi-criterio, en el que los proyectos son valorados en base a diez criterios. Para comparar los criterios se utiliza una tabla que muestra el desempeño de cada criterio en cada proyecto, después se realiza una síntesis destacando las fortalezas y debilidades de cada alternativa o proyecto. En este caso la comparación multi-criterio no es un análisis matemático; no se otorga un peso o indicador ordinal a los criterios, argumentando que los métodos matemáticos no pueden ser consistentes pues los pesos pueden variar según cada proyecto y el periodo de análisis.

Rango de criterios incluidos:

- Desarrollo económico y planeación territorial.- Este criterio toma en cuenta los efectos del proyecto en el desarrollo económico local y regional, por ejemplo, el número de comunidades (o la proporción de la población) que beneficiará o afectará el proyecto.
- Seguridad.- Se pronostica la variación en el número de accidentes y daños materiales con respecto a la implementación del proyecto.
- Beneficios de los usuarios.- Se valúan los beneficios en términos monetarios que resultan de las mejoras en tiempos de viaje, costos de operación, mejoras en confort y cambios en el nivel de cuotas.
- Medio ambiente.- Reducciones en nivel de contaminación del aire y auditiva, protección de áreas naturales.

- Situación inicial o actual.- Situación antes de que el proyecto se implemente, destacando los niveles de congestión, puntos negros de accidentes, riesgo de interrupción de tránsito por fenómenos naturales, etc.
- Efecto en otros modos de transporte.- Competencia y complementariedad con otros modos de transporte, variaciones de ingresos de los otros modos de transporte, por ejemplo interacción entre carreteras y ferrocarril.
- Empleo y Obras Públicas.- Uso de mano de obra disponible, por ejemplo número de empleos durante la construcción, mantenimiento y operación de un proyecto.
- Energía.- Gasto en la construcción, mantenimiento y consumos de combustibles de los vehículos.
- Impacto financiero en la agencia pública.- Examina las diferencias netas entre ingresos y gastos que conciernen al gobierno.
- Resultados del análisis beneficio-costó.- Este criterio sintetiza los indicadores Valor Presente Neto y Tasa de Retorno Inmediato.

Cabe destacar que para proyectos entre áreas urbanas se consideran algunos otros indicadores como la continuidad de rutas, reducción de la congestión y gestión de la tierra.

### **ALEMANIA**

La metodología usada en Alemania se apega más al análisis beneficio-costó convencional, sólo se incluyen los efectos para los cuales se dispone de valores de mercado o precios sombra. De manera conjunta se realiza un análisis de compatibilidad ambiental como parte del proceso de planeación carretera. Los criterios utilizados son:

- Cambios en costos de operación vehicular (combustibles y depreciación).
- Cambios en costos por tiempo de viaje (cuantificados en términos de horas-vehículo y valuados por el valor económico promedio de una hora de trabajo).
- Cambios en costos por accidentes (valoración por la pérdida económica de la producción, disminución del bienestar asociado a discapacidad, costos médicos, costos legales, costos de los servicios de emergencia y reparaciones vehiculares).
- Cambios en contaminación auditiva (son valuados usando técnicas de “pagos por evasión” usando una media de nivel de ruido aceptable y cargando costos por aislamiento contra el ruido en caso de sobrepasar el nivel mencionado).

Asimismo, el análisis de compatibilidad ambiental, como parte del proceso de planeación carretera, considera los siguientes puntos:

- Estimación del riesgo ecológico.
- Plan de gestión del paisaje.
- Re-alineamiento de rutas.
- Descripción de los pros y contras de cada alternativa.

### **HOLANDA**

En Holanda, desde 1983, se utiliza un “Sistema de Priorización Carretera” (SPW) que contempla todos los proyectos que son parte de la red carretera nacional. Este sistema

divide los proyectos en dos, primero, conjunta en un paquete de priorización los proyectos susceptibles de implementación a corto plazo o que se encuentran en proceso y en otro paquete los proyectos en su etapa de inicial de planeación o que requieren mayor estudio. Esta metodología de priorización consiste en 5 etapas:

- 1) Enumeración y clasificación de proyectos.
- 2) Determinación de los criterios.
- 3) Determinación del impacto del proyecto en los criterios.
- 4) Ordenamiento de los proyectos.
- 5) Priorización.

Se realiza una primera priorización “virtual”, tomando en cuenta la rentabilidad económica de los proyectos, por medio de un análisis beneficio-costos a nivel básico, después se realiza un análisis multi-criterio con datos cualitativos y cuantitativos. Posteriormente, los proyectos son ordenados de manera decreciente en cuanto a su valor social y se forman conjuntos de proyectos multi-anales que necesiten ser implementados durante un periodo de tiempo en particular. Los criterios utilizados para la priorización son:

- **Actividad Económica:** Mide el beneficio económico de un proyecto mediante un “Indicador de Rentabilidad” que relaciona la diferencia de los beneficios por mejoras en accesibilidad y seguridad con los costos por mantenimiento y operación, y esta diferencia la divide entre el costo de construcción.
- **Seguridad vial:** Toma en cuenta el efecto de un proyecto desde un punto de vista humanitario, considera: Número de accidentes, de heridos y de muertes, así como daños materiales.
- **Factor Humano:** Este criterio examina el impacto en las condiciones de vida en áreas pobladas. Los indicadores usados son los cambios en contaminación del aire y contaminación auditiva.
- **Tránsito:** Mide la accesibilidad del proyecto a los principales puertos y corredores de carga.
- **Planeación territorial:** Se refiere a los cambios o modificaciones en uso de suelo y los intereses de la sociedad en el mismo. El indicador es una descripción cualitativa para analizar si el proyecto es consistente con el plan de desarrollo en términos de: urbanización, paso por zonas protegidas, crecimiento de centros industriales, detonantes de desarrollo.

### **Red Trans-Europea de Transporte (TEN-T)**

La Red Trans-Europea de Transporte considera la planeación a nivel continental de todos los medios de transporte, en el contexto de mejorar la cohesión territorial, modernizar rutas de transporte, alentar la intermodalidad, detonar la competitividad y el potencial de crecimiento en la Unión Europea, en un marco sustentable económico y medioambiental.

La red TEN-T se conforma por varios proyectos de interés común, con algunos excepcionalmente importantes para la UE dada su magnitud, su rol en el comercio transnacional, en el reforzamiento de la cohesión entre las naciones o proyectos que

mejoran la concentración de flujos de tráfico de largo itinerario en modos de transporte medioambientalmente amigables.

La elegibilidad de estos proyectos está sujeta a las políticas y leyes de la Comunidad Europea en relación a: competencia, protección medioambiental, procuración pública y a la implementación efectiva de las provisiones por parte de la Comunidad para fomentar la interoperatividad de redes, en particular de la red férrea. En la elección de los proyectos también se considera el compromiso de cada país miembro concerniente a la contribución financiera (con fondos privados).

Criterios de selección de proyectos para la red TEN-T:

- Proyectos presentados conjuntamente por al menos dos países miembros en cruces fronterizos.
- Proyectos que contribuyan a la continuidad de la red y a la optimización de capacidad.
- Proyectos que contribuyan a la integración del mercado en la Unión Europea y al rebalanceo de los modos de transporte, favoreciendo a los que menos perjudican al medio ambiente.
- Proyectos que mejoren la calidad de servicio ofrecida en la red y cuales favorecen, entre otros objetivos, la seguridad de los usuarios y la provisión de interoperatividad entre las redes nacionales.
- Programas para el despliegue de sistemas de gestión de tráfico intermodales.

## **ESTADOS UNIDOS**

En algunas Agencias y Departamentos de Transporte (DOT's) de Estados Unidos han implementado metodologías cuantitativas como herramienta para priorizar proyectos de construcción de carreteras. Esta metodología adopta 15 criterios que son:

- Nivel de servicio.
- Razón volumen/capacidad.
- Flujo de tránsito.
- Reducción de costos de operación
- Ahorros en tiempo de viaje
- Acceso intermodal.
- Índice de accidentes.
- Acceso a rutas de emergencia.
- Utilización de camiones pesados.
- Cuestiones ambientales.
- Uso del derecho de vía.
- Uso de modos de transporte alternos.
- Suficiencia de puentes.
- Costo-efectividad.
- Tasa de desempleo.

Los resultados de la metodología son usados por equipos de expertos para negociar, interpretar y apoyar las decisiones relacionadas con la construcción de proyectos.

Los programas de mejora del transporte en diversos Estados de la Unión Americana, tales como Carolina del Norte, Oregon y Virginia, utilizan el TransCAD® como apoyo para priorizar y programar fondos para proyectos de transporte, incluyendo carreteras, transporte público, ferrocarriles, aviación, bicicletas y transbordadores. Cada condado tiene un plan de transporte, cuyo proceso se usa para:

- Evaluar la infraestructura de transporte existente.
- Descubrir las deficiencias existentes y potenciales de la infraestructura.
- Analizar las mejoras y alternativas de transporte propuestas.
- Hacer recomendaciones.
- Adoptar el plan de transporte recomendado.

Una de las tareas del plan de transporte es el desarrollo del modelo de demanda, que se usa para medir la accesibilidad y analizar la infraestructura actual y futura. El modelo de demanda utilizado dentro del TransCAD® es el modelo de las cuatro fases.

#### 4. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA: METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA CARRETERA MEDIANTE EL USO DEL PAQUETE COMPUTACIONAL TransCAD®

La metodología propuesta se divide en dos partes esenciales, la primera es la integración de las listas preliminares de proyectos, la cual se realizará anualmente mediante técnicas participativas que se llevarán a cabo dentro de reuniones regionales, en las que intervendrán los diferentes involucrados en el desarrollo de la infraestructura carretera. La segunda, consiste en el análisis y definición de los proyectos relevantes, mediante el uso del programa de simulación del transporte TransCAD®. En la figura 4.1 se presenta de manera esquemática la metodología propuesta.

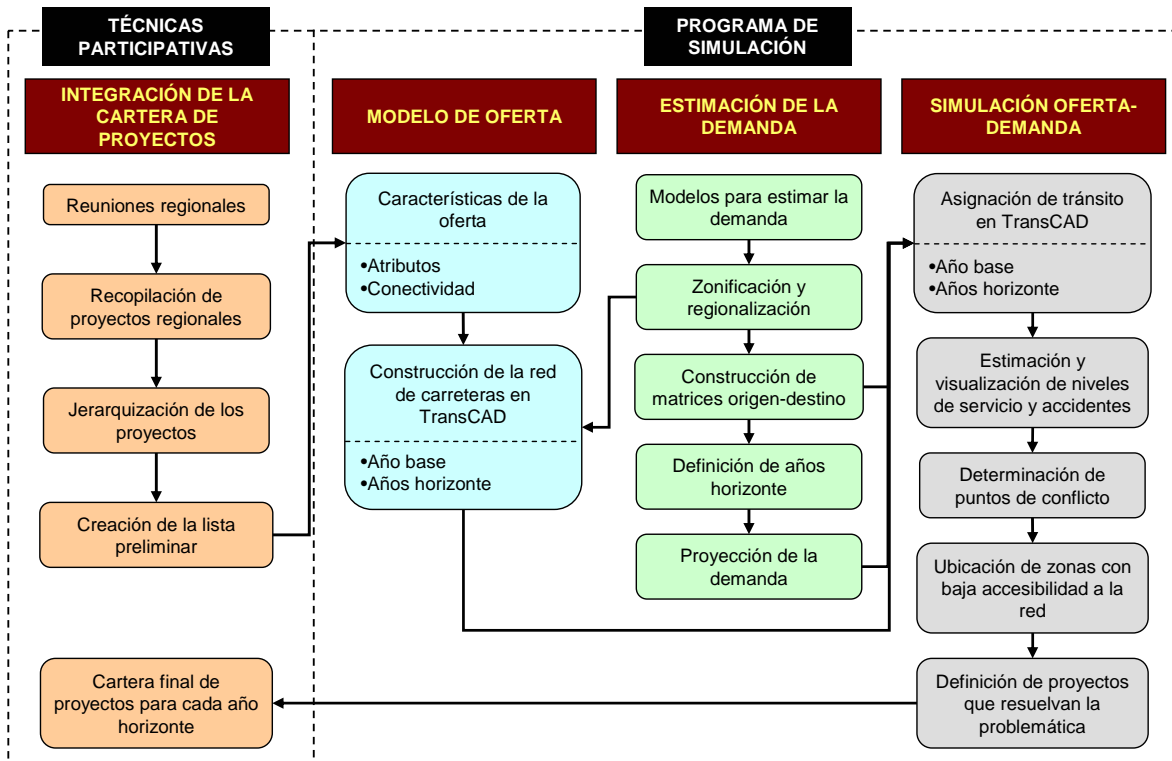


Figura 4.1. Metodología

##### 4.1. INTEGRACIÓN DE LA LISTA PRELIMINAR DE PROYECTOS

Cada año, todas las dependencias del Gobierno Federal deben preparar el anteproyecto de presupuesto, el cual enumera los recursos económicos necesarios para el año siguiente; sin embargo, los montos requeridos son de tal magnitud que rebasan los recursos disponibles en el Presupuesto Anual de Egresos de la Federación. El sector carretero no es la excepción, ya que existen una gran cantidad de proyectos de ampliación y construcción de carreteras y autopistas a todo lo largo y ancho del país.

Otro aspecto relevante en el proceso de preparación del presupuesto anual es la presión política que ejercen los funcionarios de los Estados, Municipios y sectores, con la que pretenden que sus proyectos sean los que ocupen los primeros lugares de las carteras

regionales y, en consecuencia, reciban los recursos económicos necesarios para su realización. Sin embargo, existen muchos proyectos que técnica, social y económicamente son más importantes que otros y que generan mayores beneficios para la sociedad.

Aunado a lo anterior, y dado que los recursos económicos son escasos, es necesario jerarquizar los proyectos con base en diversos criterios que permitan ubicar en los primeros lugares aquellos que tengan la mayor relevancia para que reciban recursos en el año siguiente, ya sea para comenzar o continuar su realización, dejando a los proyectos de menor importancia para los años siguientes.

La fase de integración de la lista preliminar de proyectos se llevará a cabo mediante los siguientes pasos:

1. Reuniones regionales.
2. Recopilación de proyectos regionales.
3. Jerarquización de los proyectos.
4. Creación de la lista preliminar.

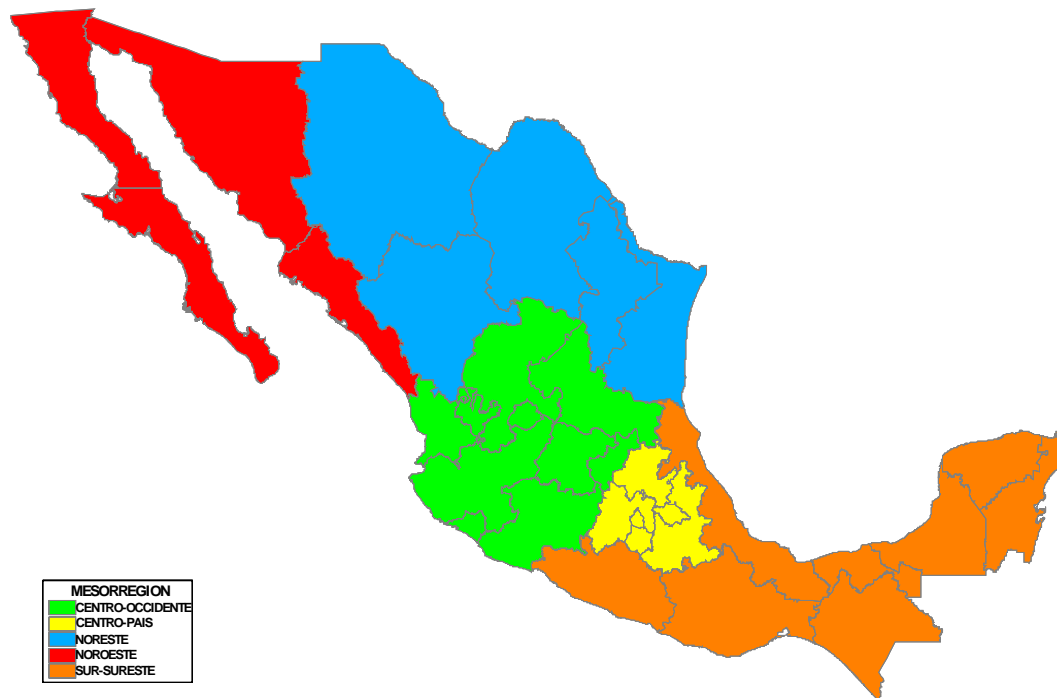
#### **4.1.1 Reuniones regionales**

Para la integración de los proyectos, se tomará como base la regionalización del país adoptada por el Gobierno Federal, la cual contempla cinco mesorregiones formadas por los Estados que se enlistan a continuación y se muestran en la figura 4.2:

Centro-País:	Distrito Federal, Hidalgo, México, Morelos, Puebla y Tlaxcala.
Centro-Occidente:	Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas.
Noreste:	Coahuila, Chihuahua, Durango, Nuevo León y Tamaulipas.
Noroeste	Baja California, Baja California Sur, Sinaloa y Sonora.
Sur-Sureste	Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán.

De acuerdo con lo anterior, se realizarán cinco reuniones regionales durante el año, una para cada mesorregión, con el objeto de integrar cinco listas preliminares de proyectos que incorporen la visión regional aportada por los funcionarios correspondientes a cada una.





*Figura 4.2. Mesorregiones*

### **Actores que intervienen en la detección de proyectos**

Desde hace algunos años, los Gobiernos Federal, Estatal y Municipal han abierto al público canales de consulta para conocer la opinión de la sociedad sobre la operación de las carreteras, para que se den a conocer los problemas y se planteen propuestas de solución. Además de estas propuestas de la población, los Presidentes Municipales, Gobernadores Estatales, Diputados, Secretarios, Subsecretarios y demás funcionarios de gobierno también hacen diversas proposiciones. Con toda esta información se crea una enorme lista de proyectos aislados que resuelven la problemática de manera parcial.

Entre los funcionarios que participan en el proceso de elaboración de las carteras de proyectos se incluyen los siguientes:

- Ámbito Federal: Diputados, Secretarios, Subsecretarios, Directores Generales, Directores Generales de Centros SCT, Directores de Área y Subdirectores de Área de los sectores relacionados con el transporte y las carreteras.
- Ámbito Estatal: Funcionarios de las Secretarías Estatales relacionadas con el sector carretero.
- Ámbito Municipal: Presidentes Municipales y dependencias relacionadas con obra pública.
- Otros Sectores: Invariablemente, las obras de carreteras afectan los intereses de otros sectores, por lo que en el proceso también deben participar funcionarios de dependencias tales como Secretaría de Hacienda y Crédito Público

(SHCP), Comisión de Aguas (CNA), Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), etc.

Sector Privado: Operadores de autopistas y puentes de cuota, inversionistas privados, desarrolladores, etc.

A las reuniones regionales se invitará a funcionarios con experiencia en planeación y construcción de carreteras, quienes deberán llevar consigo a la reunión los proyectos que consideren relevantes. La información que debe contener cada proyecto para que sea integrado en la lista preliminar es la siguiente:

- Nombre del proyecto determinado por sus puntos extremos.
- Ubicación (Estado, Municipio).
- Carretera a la que pertenece el proyecto (nombre y número).
- Jurisdicción de la carretera (federal, estatal, otra).
- Tipo de obra (ampliación, construcción, rectificación).
- Longitud (km).
- Número de carriles (actuales y después de la modernización).
- Tipo de terreno predominante (plano, lomerío, montañoso).
- Costo estimado (millones de pesos).
- Etapa en la que se encuentra (obra nueva, en proceso). Si se trata de una obra en proceso, se presentará el grado de avance de la misma.
- Evaluación socioeconómica a nivel prefactibilidad.
- Expediente técnico (proyecto ejecutivo, derecho de vía, dictamen de impacto ambiental, otros permisos).
- Nivel de servicio (A - F).

#### **4.1.2 Recopilación de proyectos regionales**

Se dará la palabra a los representantes de cada Estado, quienes presentarán su lista de proyectos, la cual será confrontada con las de otros Estados vecinos para detectar aquellos proyectos que sean comunes o similares, ya sea porque se encuentran sobre la misma ruta o son carreteras de conexión interestatal o interregional; esto con la finalidad de evitar duplicidades.

Durante la participación de cada Estado, se llenará una hoja de cálculo (tabla 4.1) con los proyectos presentados y su información básica.

**METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA CARRETERA  
MEDIANTE EL USO DEL PAQUETE COMPUTACIONAL TransCAD**

---

**Tabla 4.1. Formato para integrar la lista regional de proyectos**

LISTA PRELIMINAR DE PROYECTOS DE LA REGIÓN \_\_\_\_\_

NOMBRE DEL PROYECTO	ESTADO	MUNICIPIO	CARRETERA	JURISDICCIÓN	TIPO DE OBRA	LONGITUD (km)	NO. DE CARRILES		TIPO DE TERRENO	COSTO ESTIMADO (mdp)	ETAPA	EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA (B/C)	EXPEDIENTE TÉCNICO				NIVEL DE SERVICIO
							Sin Proy.	Con Proy.					Proyecto ejecutivo	Derecho de vía	Dictamen de impacto ambiental	Otros permisos	

### 4.1.3 Jerarquización de los proyectos

Mediante la aplicación simplificada de alguna técnica participativa, tal como “*Delphi*”, “*Jerarquización Analítica*” o “*Matrices para la Evaluación y Selección de Alternativas*”, se propondrán y consensuarán los diferentes criterios para calificar los proyectos. La técnica se aplicará mediante los siguientes pasos:

1. Se presentará a los asistentes la siguiente lista de criterios básicos para jerarquizar los proyectos:
  - Importancia dentro de la red carretera.
  - Etapa del proyecto (obra nueva, obra en proceso).
  - Grado de avance en la integración del expediente técnico del proyecto (%).
  - Rentabilidad socioeconómica (relación beneficio/costo).
  - Preferencia regional.
  - Preferencia estatal.
  - Posibilidad de recibir inversión privada.
  - Participación de inversión estatal.
  - Contribución a la integración intermodal del transporte; conexión con puertos, aeropuertos o cruces fronterizos.
  - Contribución a otros proyectos de desarrollo.
  - Conectividad interregional, interestatal o intertronal.
  - Impacto sobre el medio ambiente.
  - Apoyo a la marginación.
  - Obras de compromiso del Ejecutivo Federal en la entidad.
  - Solución a problemas de congestión y accidentes (nivel de servicio).
2. Los asistentes darán una puntuación de 1 a 15 a cada una de ellas.
3. Se hará la suma de puntos para cada criterio para conocer los 6 más importantes de manera ordenada. En este ejemplo, los criterios elegidos son:
  - Etapa del proyecto.
  - Rentabilidad socioeconómica.
  - Importancia dentro de la red carretera.
  - Integración del expediente técnico.
  - Preferencia estatal.
  - Nivel de servicio.
4. Con la participación de todos, se dará un peso o valor a cada criterio, por ejemplo:
  - Etapa del proyecto: Obra en proceso = 100 puntos, Obra nueva = 0 puntos
  - Rentabilidad socioeconómica (relación beneficio/costo):

Menor que 1.10	0 puntos
De 1.10 a 1.19	10 puntos
De 1.20 a 1.29	20 puntos
De 1.30 a 1.39	30 puntos
De 1.40 a 1.49	40 puntos
De 1.50 a 1.59	50 puntos
De 1.60 a 1.69	60 puntos
De 1.70 a 1.79	70 puntos
De 1.80 a 1.89	80 puntos

- |                |            |
|----------------|------------|
| De 1.90 a 1.99 | 90 puntos  |
| Mayor que 1.99 | 100 puntos |
- Importancia dentro de la red carretera:

Forma parte de los corredores troncales	100 puntos
Vialidad intertronal	75 puntos
Vialidad interestatal	50 puntos
Vialidad de interés estatal	25 puntos
Vialidad de interés local	0 puntos
  - Integración del expediente técnico: 0 a 100 puntos, dependiendo de si cuenta con proyecto ejecutivo, derecho de vía, permisos ambientales, otros permisos, y su avance porcentual.
  - Preferencia estatal: 0 a 100 puntos, a criterio de los representantes de cada Estado.
  - Nivel de Servicio:

A y B	0 puntos
C	50 puntos
D	70 puntos
E y F	100 puntos
5. Tomando como base la hoja de cálculo que integra la lista preliminar de proyectos, se agregarán las columnas correspondientes para anotar la calificación de cada uno de los criterios definidos, además, a la extrema derecha de la hoja se agregará una columna que se llamará “Calificación Final”, para sumar el puntaje ponderado de cada proyecto.
6. La hoja de cálculo se ordenará de mayor a menor con base en la columna “Calificación Final”, con lo que se obtendrá la lista regional preliminar jerarquizada.

La tabla 4.2 muestra una sección de la cartera priorizada de la región Sur-Sureste.

**METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA CARRETERA  
MEDIANTE EL USO DEL PAQUETE COMPUTACIONAL TransCAD**

**Tabla 4.2. Cartera priorizada de proyectos de la región Sur-Sureste**

**PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS  
REGIÓN SUR-SURESTE**

Estado	Proyecto	Obra en Proceso		Evaluación Socioeconómica a Nivel Prefactibilidad		Importancia de la Red Interregional		Integración del Expediente Técnico (Tramo Propuesto)					Preferencia Estatal	Nivel de Servicio		Calificación Final
		SI/NO	CALIF.	Relación B/C	CALIF.	Ubicación o enlace	CALIF.	Proyecto Ejecutivo	Derecho de Vía	Permisos Ambientales	Otros Permisos	CALIF.	CALIF.	Letra	CALIF.	
Tabasco	Villahermosa-Macultepec	SI	100	2.30	100	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	SI	SI	SI	100	100	D	70	97.0
Yucatán	Periférico de Mérida	SI	100	2.66	100	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	SI	SI	SI	100	70	E	100	97.0
Oaxaca	Acayucan-La Ventosa	SI	100	2.89	100	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	SI	SI	SI	100	90	D	70	96.0
Q. Roo	Tulum-Playa de Carmen	SI	100	1.91	90	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	SI	SI	SI	100	100	D	70	95.0
Guerrero	Chilpancingo-Zumpango	SI	100	2.82	100	Vialidad Intertronal	75	SI	SI	SI	SI	100	90	E	100	94.0
Oaxaca	Mitta-Entr. Tehuantepec	SI	100	1.84	80	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	SI	SI	SI	100	100	D	70	93.0
Guerrero	Acapulco-San Marcos	SI	100	2.94	100	Vialidad Intertronal	75	SI	SI	SI	SI	100	60	E	100	91.0
Chiapas	Arriaga.-Ocozacoautla	SI	100	1.02	10	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	SI	SI	SI	100	100	E	100	82.0
Tabasco	Macuspana-Lim. Edos. Tabasco/Campeche	SI	100	1.35	30	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	SI	SI	SI	100	90	D	70	82.0
Oaxaca	La Ventosa-Arriaga	SI	100	1.39	30	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	SI	SI	SI	100	80	D	70	81.0
Q. Roo	Entronque Subteniente López	SI	100	1.42	40	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	SI	SI	SI	100	60	D	70	81.0
Campeche	Lim. Edos. Tab./Camp.-Escárcega	SI	100	1.60	60	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	SI	SI	SI	100	80	B	0	80.0
Chiapas	Ramal América Libre	SI	100	1.33	30	Vialidad Intertronal	75	SI	SI	SI	SI	100	90	E	100	80.0
Yucatán	Mérida-Kantunil	SI	100	1.28	20	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	SI	SI	SI	100	60	E	100	80.0
Chiapas	Libr. Sur Tuxtla Gutiérrez y acceso al nuevo Aeropuerto	SI	100	1.30	30	Vialidad Intertronal	75	SI	SI	SI	SI	100	80	E	100	79.0
Puebla	Tehuacán-Coxcatlán-Teotitlán	SI	100	1.36	30	Vialidad Intertronal	75	SI	SI	SI	SI	100	90	D	70	77.0
Guerrero	Iguala-Entronque Cocula	SI	100	1.44	40	Vialidad Interestatal	50	SI	SI	SI	SI	100	80	E	100	76.0
Puebla	Libramiento de Teziutlán	SI	100	1.23	20	Vialidad Interestatal	75	SI	SI	SI	SI	100	70	E	100	76.0
Oaxaca	Acceso al Pto. de Salina Cruz	SI	100	1.12	10	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	SI	SI	SI	100	60	D	70	75.0
Q. Roo	Tulum-Cobá	SI	100	1.24	20	Vialidad Intertronal	75	SI	SI	SI	SI	100	90	D	70	75.0
Campeche	Escarcéga-Xpujil	SI	100	1.21	20	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	SI	SI	SI	100	100	B	0	74.0
Veracruz	Acceso al puerto de Veracruz	SI	100	1.50	50	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	SI	SI	SI	100	3	C	30	73.3
Guerrero	Libramiento Norte Chilpancingo-Tixtla	SI	100	1.38	30	Vialidad Interestatal	50	SI	SI	SI	SI	100	70	E	100	73.0
Oaxaca	Oaxaca-Mitta	SI	100	1.23	20	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	SI	SI	SI	100	20	D	70	73.0
Oaxaca	Libramiento Ejutla de Crespo	SI	100	1.35	30	Vialidad Intertronal	75	SI	SI	SI	SI	100	40	D	70	72.0
Tabasco	Comalcalco-El Bellote	SI	100	1.50	50	Vialidad Intertronal	75	SI	NO	NO	SI	40	60	E	100	72.0
Campeche	San Pedro-Zacatal	SI	100	1.11	10	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	SI	SI	SI	100	90	B	0	71.0
Veracruz	Acayucan-Ent. La Ventosa	SI	100	1.21	20	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	SI	SI	SI	100	0	D	70	71.0
Guerrero	Feliciano-Zihuatanejo	SI	100	1.28	20	Vialidad Intertronal	75	SI	SI	SI	SI	100	100	B	0	69.0
Tabasco	Reforma-Villahermosa	NO	0	3.19	100	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	SI	SI	SI	100	70	D	70	69.0
Veracruz	La Mancha-Laguna Verde	SI	100	1.41	40	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	NO	SI	NO	50	8	D	70	68.3
Yucatán	Mérida -Tizimin	SI	100	1.68	60	Vialidad de interés local	0	SI	SI	SI	SI	100	80	D	70	67.0
Yucatán	Mérida-Progreso II	NO	0	1.55	50	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	SI	SI	SI	100	100	E	100	65.0
Chiapas	Tapachula-Talismán-Ramal a Cd. Hidalgo	NO	0	1.64	60	Forma parte de los 14 corredores	100	SI	SI	SI	SI	100	70	E	100	64.0
Tabasco	Ent. Las Choapas-Estación Chontalpa	NO	0	1.86	80	Vialidad Intertronal	75	SI	SI	SI	SI	100	80	E	100	64.0
Yucatán	Chencoyi-Umán	SI	100	1.17	10	Vialidad Interestatal	50	SI	SI	SI	SI	100	50	D	70	64.0
Yucatán	Mérida-Tetiz (Acceso al nuevo aeropuerto)	NO	0	1.93	90	Vialidad Intertronal	75	SI	SI	SI	SI	100	90	D	70	64.0
Veracruz	Acceso al Puerto de Coatzacoalcos	SI	100	1.21	20	Vialidad Intertronal	75	SI	SI	SI	SI	100	2	C	30	62.2
Guerrero	Mozimba-Pie de la Cuesta	NO	0	4.56	100	Vialidad Intertronal	75	SI	SI	SI	SI	100	10	E	100	61.0
Guerrero	El Rincón-Mojoneras	NO	0	3.81	100	Vialidad Intertronal	75	NO	SI	SI	SI	70	50	E	100	60.5

### 4.1.4 Creación de una lista preliminar de proyectos

Una vez obtenidas las cinco listas preliminares regionales, se consolidan en una sola hoja de cálculo y se ordenan de acuerdo a la columna de “Calificación Final”, de donde se obtendrá la lista preliminar de proyectos a nivel nacional, la cual se usará en la segunda parte de la metodología. La tabla 4.3 muestra un extracto de la lista nacional de proyectos preliminar obtenida.

**Tabla 4.3. Lista nacional de proyectos**

No.	Proyecto	Tipo de Obra	Estado	Región	Calificación
1	Arriaga-Ocozacoautla	Construcción a 2 carriles	Chiapas	Sur-Sureste	99.9
2	Arco Norte de la Cd. de México	Construcción a 4 carriles	México	Centro-País	99.9
3	Mazatlán-Durango (Tramo: Concordia-Pánuco)	Construcción a 2 carriles	Sinaloa	Noroeste	99.8
4	Zacatecas-Lim de Edos. Zac/SLP	Ampliación a 4 carriles	Zacatecas	Centro-Occidente	99.7
5	Sonoyta-Mexicali (Tramo: San Luis Río Colorado-Mexicali)	Ampliación a 4 carriles	Baja California	Noroeste	99.6
6	Libramiento Poniente de Saltillo	Construcción a 2 carriles	Coahuila	Noreste	99.6
7	Real del Monte-Atotonilco	Ampliación a 4 carriles	Hidalgo	Centro-País	99.6
8	La Ventosa-Arriaga, Tramo: La Ventosa-Lím. Edos. Oaxaca/Chiapas	Ampliación a 12 metros	Oaxaca	Sur-Sureste	99.5
9	Río Verde-Cd. Valles	Ampliación a 12 metros	San Luis Potosí	Centro-Occidente	99.4
10	Libramiento de Tijuana	Construcción a 2 carriles	Baja California	Noroeste	99.2
11	La Ventosa-Arriaga, Tramo: Libramiento Arriaga	Construcción a 2 carriles	Chiapas	Sur-Sureste	99.1
12	Durango-Mazatlán (Libr. de Durango-Entr. Otinapa)	Construcción a 2 carriles	Durango	Noreste	98.9
13	Pachuca-Tulancingo	Ampliación a 4 carriles	Hidalgo	Centro-País	98.7
14	Ciudad Valles-Tampico	Ampliación a 12 metros	San Luis Potosí	Centro-Occidente	98.6
15	Durango-Mazatlán (Tramo: Llano Grande-Entr. El Salto)	Construcción a 2 carriles	Durango	Noreste	98.5
16	Texcoco-Calpulalpan	Ampliación a 4 carriles	México	Centro-País	98.3
17	Miita Tehuantepec	Construcción a 2 carriles	Oaxaca	Sur-Sureste	98.0
18	Las Amarillas-Villa de Arriaga	Construcción a 2 carriles	Jal/Gto/SLP	Centro-Occidente	97.8
19	Rosario-Villa Unión	Construcción a 2 carriles	Sinaloa	Noroeste	97.7
20	Celaya-Lím. Edos. Gto/Qro	Ampliación a 4 carriles	Guanajuato	Centro-Occidente	97.5
21	Chilpancingo-Acapulco (Tramo Chilpancingo-Petaquillas)	Ampliación a 4 carriles	Guerrero	Sur-Sureste	97.1
22	Atizapán-Atlacomulco	Construcción a 4 carriles	México	Centro-País	96.7
23	Periférico Suroriental de Hermosillo	Ampliación a 6 carriles	Sonora	Noroeste	96.3
24	González-Zaragoza	Ampliación a 12 metros	Tamaulipas	Noreste	96.1
25	Pénjamo-La Piedad	Ampliación a 4 carriles	Guanajuato	Centro-Occidente	95.2
26	Acceso al Puerto de Salina Cruz	Ampliación a 12 metros	Oaxaca	Sur-Sureste	95.0
27	Tehuacán-Teotitlán	Ampliación a 12 metros	Puebla	Centro-País	94.5
28	Santa Ana-Caborca (Tramo: Santa Ana-Altar)	Ampliación a 4 carriles	Sonora	Noroeste	93.2
29	Saltillo-Monterrey	Construcción a 4 carriles	Coahuila/Nuevo León	Noreste	92.5
30	Nueva Italia-Apatzingán	Ampliación a 4 carriles	Michoacán	Centro-Occidente	92.3
31	Amozoc-Perote	Construcción a 2 carriles	Puebla	Centro-País	92.1
32	Libramiento de Caborca	Construcción a 2 carriles	Sonora	Noroeste	91.6
33	Villahermosa-Lím. Edos. Tab./Camp.	Ampliación a 12 metros	Tabasco	Sur-Sureste	91.4
34	Libramiento de La Paz	Construcción a 2 carriles	Baja California Sur	Noroeste	91.1
35	Tuxtla Gutiérrez-América Libre	Ampliación a 4 carriles	Chiapas	Sur-Sureste	90.6
36	Uruapan-Ecuandureo	Construcción a 2 carriles	Michoacán	Centro-Occidente	89.3
37	Libramiento de Manuel y González	Construcción a 2 carriles	Tamaulipas	Noreste	88.4
38	Calpulalpan-Apizaco	Ampliación a 4 carriles	Tlaxcala	Centro-País	87.6
39	San Pedro-Cabo San Lucas	Ampliación a 12 metros	Baja California Sur	Noroeste	87.5
40	Tlaxco-Tejocotal	Construcción a 2 carriles	Puebla	Centro-País	87.3
41	Libramiento Surponiente de Querétaro	Construcción a 2 carriles	Querétaro	Centro-Occidente	87.3
42	Villahermosa - Lím. Edos. Tab./Camp. - Cd. del Carmen	Ampliación a 12 metros	Tabasco	Sur-Sureste	87.0
43	Libramiento Reynosa	Construcción a 2 carriles	Tamaulipas	Noreste	86.2
44	Libramiento de Ensenada	Construcción a 2 carriles	Baja California	Noroeste	85.1
45	Cuapixtla-Cuacnopalan	Construcción a 2 carriles	Puebla	Centro-País	83.6
46	San Luis Potosí-Lím. de Edos. SLP/Zac	Ampliación a 4 carriles	San Luis Potosí	Centro-Occidente	82.9
47	Jorobas-Tula	Ampliación a 4 carriles	Hidalgo	Centro-País	81.8
48	Ent. San Blas-Escuinapa	Construcción a 2 carriles	Nayarit/Sinaloa	Centro-Occidente	81.4
49	Libramiento Noroeste de Monterrey	Ampliación a 4 carriles	Nuevo León	Noreste	80.7
50	Libramiento de Guasave	Construcción a 2 carriles	Sinaloa	Noroeste	80.1

## 4.2. PROGRAMA DE SIMULACIÓN

Hasta este punto se ha obtenido la lista nacional de proyectos, con base en la experiencia y la intuición de los participantes acerca de la problemática existente, sin embargo, se requiere de un análisis técnico para complementar la justificación de los proyectos, para lo cual se usará el modelo de simulación del transporte TransCAD®, con el cual se puede analizar el comportamiento de los flujos de tránsito y los niveles de servicio en los tramos de la red carretera nacional para diversos escenarios de oferta y demanda. Un escenario se define por medio de las matrices de demanda y los cambios en la red, determinados por los proyectos propuestos, en un horizonte de tiempo dado.

El uso del programa de simulación requiere de la preparación de los datos de entrada, la integración de los modelos de oferta y demanda, y la simulación para cada uno de los escenarios, de donde se obtendrán los resultados necesarios para definir los proyectos. Las principales etapas del proceso son:

1. Creación del modelo de oferta.
2. Estimación y representación de la demanda.
3. Simulación oferta-demanda y análisis de resultados.

### 4.2.1 Modelo de oferta

La utilización y comportamiento de la red vial es el punto central del análisis, por lo cual su construcción debe hacerse cuidadosamente para que los resultados obtenidos tengan un buen nivel de confianza.

La red de carreteras está formada por dos grupos de objetos, los *nodos* y los *enlaces*. Los nodos simbolizan intersecciones, poblaciones o estaciones de transferencia, y los enlaces representan segmentos de carreteras.

De acuerdo a los alcances de esta tesis, la red de carreteras considerada es la red básica, es decir, aquella que enlaza a los principales polos atractores y productores de viajes, y sobre la cual circula el 85% de los flujos vehiculares a nivel nacional. En este sentido, la red de simulación no considera las brechas, terracerías, caminos rurales y alimentadores, así como ramales cortos hacia poblaciones pequeñas. Sin embargo, la metodología puede aplicarse para cualquier red de caminos.

#### 4.2.1.1 Características de la oferta

**Atributos.** Se refiere a la información que debe llevar cada elemento de la red. En la red de simulación se deben integrar los siguientes atributos:

Nodos	ID (identificador único del nodo) Coordenadas geográficas (longitud, latitud) Nombre de la población, estación o puerto al cual representa Entidad Federativa en la que se encuentra
-------	---



Enlaces	ID (identificador único del enlace) Longitud (km) Ancho de corona (m) Número de carriles en ambos sentidos Tipo de terreno (plano, lomerío, montañoso) Capacidad (vehículos por día) Estado físico de conservación (bueno, regular, malo) Demanda observada (tránsito diario promedio anual-TDPA) Composición vehicular (autos, autobuses y camiones) Índice de accidentes (no. de accidentes/1,000*vehículos-km)
---------	--

**Conectividad.** Para que la red de simulación cumpla con este requisito, se deben verificar dos aspectos básicos: primero, que comunique a todas las zonas de análisis definidas, es decir, no debe haber alguna zona sin carreteras en su interior, y segundo, que todos los enlaces y nodos de la red estén unidos.

**Centroides y conectores de centroide.** Además de los nodos y enlaces, la red debe contener estos elementos, útiles para el proceso de simulación oferta-demanda. Los centroides son nodos especiales que representan el punto de producción y atracción de viajes de cada zona, el cual generalmente se ubica cerca de la principal ciudad o puerto de la misma. Los conectores son líneas que conectan los centroides de las zonas de análisis de transporte (ZAT) con la red de carreteras, los cuales, representan los caminos locales usados para llegar a la red.

#### **4.2.1.2 Construcción de la red de carreteras en TransCAD®**

La red de simulación puede construirse mediante diferentes métodos, que van desde la digitalización por medio de una tableta digitalizadora, hasta el uso de Raster para convertir la cartografía en vectores. No obstante, se sugiere tomar como base las redes de carreteras en formato SIG que existen actualmente en el INEGI, el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) o la SCT.

La primera red por construir es la red que represente la situación actual de las carreteras del país, a la cual llamaremos red del *Año Base*. Una vez integrada la red del año base en TransCAD®, se procede a realizar las pruebas de conectividad y se incorpora la información correspondiente a los atributos definidos. La figura 4.3 muestra la red del escenario base construida en TransCAD® con una porción de la base de datos de atributos de los enlaces.

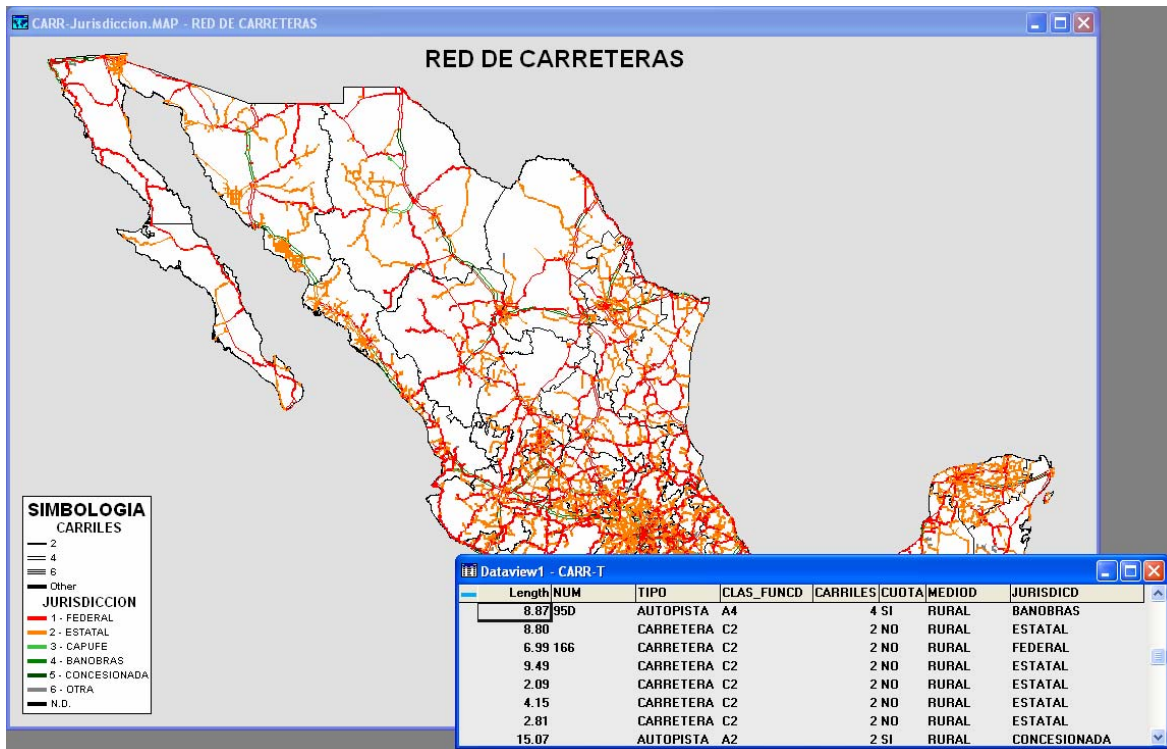


Figura 4.3. Representación de la red en TransCAD®.

Una vez definida la red básica, se propone construir la red para cuatro *horizontes de planeación* espaciados cada cinco años, en los que se deben incorporar los proyectos de modernización y construcción de carreteras, de acuerdo al año estimado de su puesta en operación. Esto consiste en trazar los proyectos en TransCAD® de manera aproximada e incorporar sus atributos, con lo cual se contará con una representación más cercana a la oferta que existirá en esos *años horizonte*.

## 4.2.2 Estimación de la demanda

### 4.2.2.1 Procedimiento para estimar la demanda

La obtención de matrices origen-destino exactas y actualizadas se puede realizar de diversas formas. El principal método para recolectar información es la realización de encuestas domiciliarias a una muestra significativa de cada zona, sin embargo, para este tipo de estudios las muestras serían muy grandes y su aplicación sería excesivamente cara. Otro método, incluido en TransCAD®, es la estimación de matrices O-D por medio de aforos de tránsito y matrices base. Estas matrices base o matrices semilla, se pueden obtener de las matrices existentes en la SCT, las cuales provienen de estudios realizados en distintos puntos de la red de carreteras y autopistas, durante varios años. Estas matrices se han construido mediante encuestas a los usuarios al lado del camino.

El procedimiento para estimar la demanda se describe en los siguientes puntos.

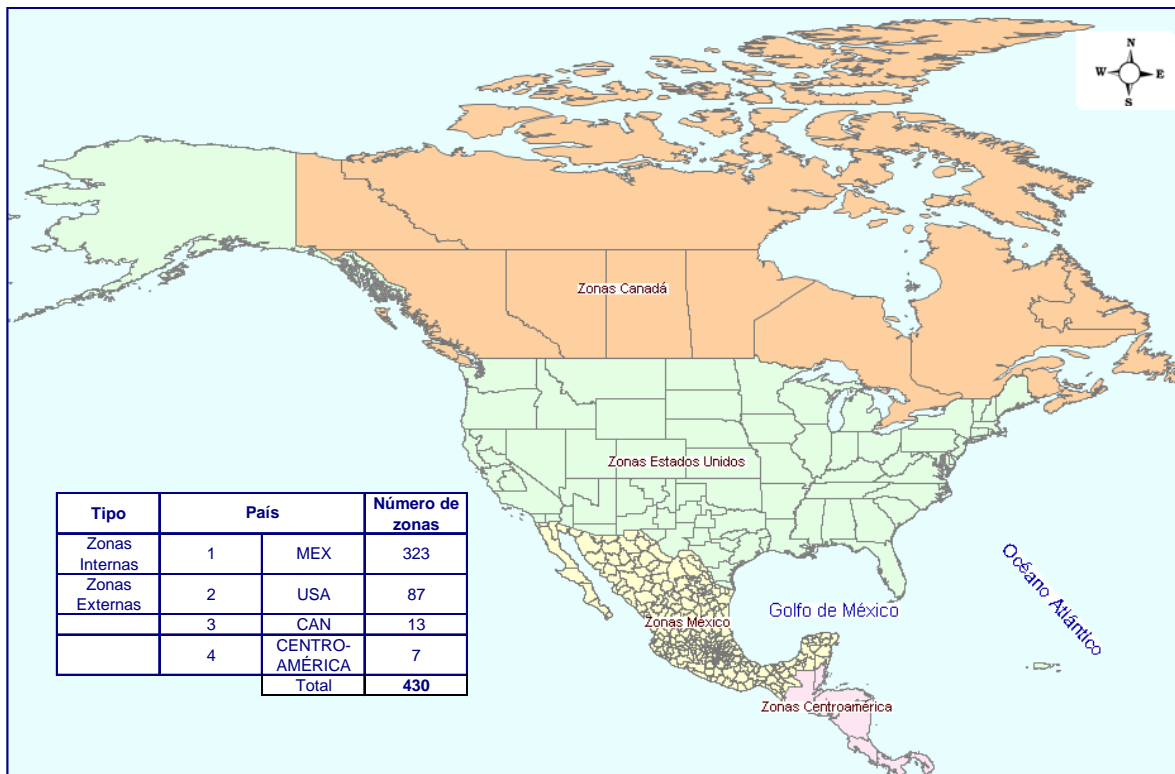
#### 4.2.2.2 Zonificación y regionalización del área de estudio

La zonificación consiste en la agrupación de municipios con similares características socioeconómicas en zonas de análisis de transporte (ZAT) cuya finalidad es representar las producciones y atracciones de viajes a un nivel agregado.

En el ámbito externo, y dado el elevado intercambio comercial de México con sus países vecinos, es necesario considerar zonas externas, con lo que es posible simular los flujos de demanda con el exterior. En el caso de Estados Unidos, se formó una zona por cada uno de los Estados, salvo para Texas, Nuevo México, Arizona y California por la importancia que tienen en el intercambio de bienes y personas a lo largo de la frontera con México. Para estos estados fronterizos se formaron zonas de acuerdo a las áreas económicas definidas por el US Bureau of Economic Analysis.

Para Canadá se asignó una zona para cada Provincia, quedando un total de 13 zonas. Para Centroamérica se consideró una zona por cada país, quedando así 7 zonas.

Bajo estos criterios, el área de estudio quedó dividida en 430 zonas, las cuales se muestran en la figura 4.4 y en la tabla 4.4.



**Figura 4.4. Zonificación del área de estudio**

**Tabla 4.4. Resumen de la zonificación**

<b>País</b>	<b>Estado o Provincia</b>	<b>No. de Zonas de Análisis de Transporte</b>
México	Aguascalientes	3
	Baja California	4
	Baja California Sur	4
	Campeche	6
	Coahuila	14
	Colima	3
	Chiapas	17
	Chihuahua	11
	Distrito Federal	1
	Durango	11
	Guanajuato	15
	Guerrero	9
	Hidalgo	13
	Jalisco	17
	Estado de México	17
	Michoacán	14
	Morelos	8
	Nayarit	6
	Nuevo León	15
	Oaxaca	13
	Puebla	13
	Querétaro	5
	Quintana Roo	4
	San Luis Potosí	7
	Sinaloa	9
	Sonora	11
	Tabasco	7
	Tamaulipas	17
	Veracruz	14
	Yucatán	10
	Zacatecas	11
		<b>Subtotal</b>
Estados Unidos	Todos	<b>87</b>
Canadá	Todos	<b>13</b>
Centroamérica		<b>7</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>430</b>

### 4.2.2.3 Construcción de matrices origen-destino

Dado que la SCT cuenta con diversos estudios de demanda realizados en la gran mayoría de las carreteras y autopistas del país, se propone utilizar la información de las encuestas origen-destino de estos estudios como base para construir las matrices del modelo de planeación.

Con el fin de representar el comportamiento de los diferentes tipos de vehículos, las matrices y los aforos se clasifican en: A = Automóviles, B = Autobuses, CU = Camiones Unitarios (C2 y C3) y CA = Camiones Articulados (T3S2, T3S3, T3S2R2, otros). Así pues, de este procedimiento se obtendrán cuatro matrices origen-destino para el año base, tal como se muestra en la figura 4.5:

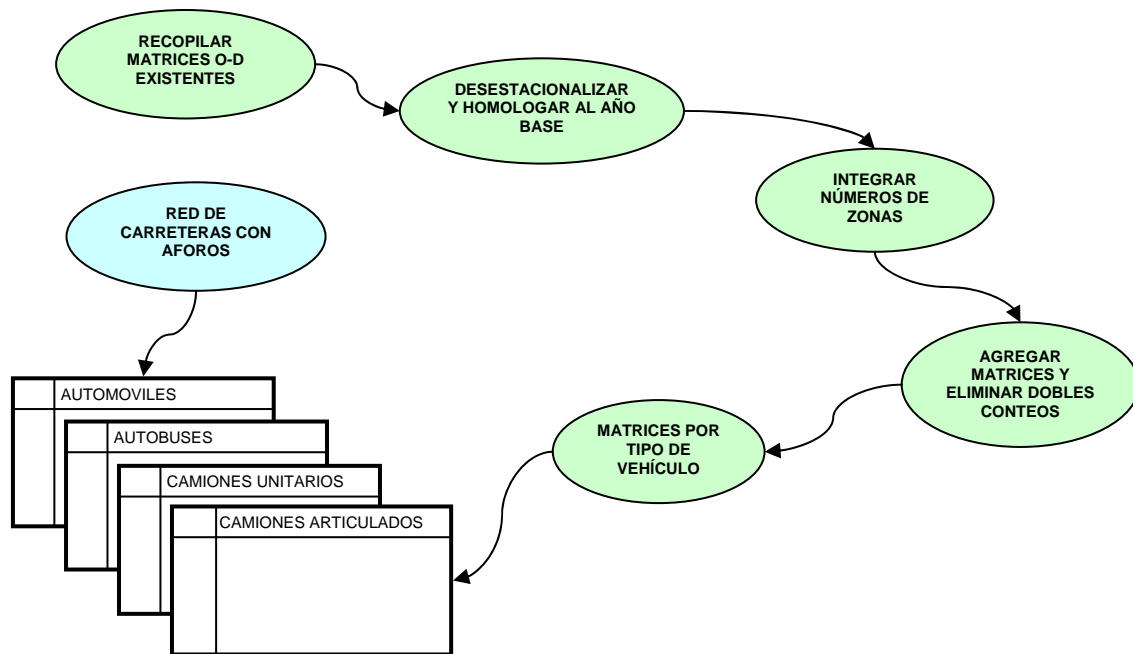


Figura 4.5. Procedimiento de construcción de matrices origen-destino

### 4.2.2.4 Definición de los años horizonte de planeación

Los escenarios o años horizonte establecidos para esta metodología se basan en quinquenios, así, la información se presentará para los años 2010, 2015, 2020 y 2025.

### 4.2.2.5 Proyección de la demanda

Para construir las matrices de demanda de los años futuros se utilizó el modelo secuencial de las cuatro fases, según se muestra en la figura 4.6.

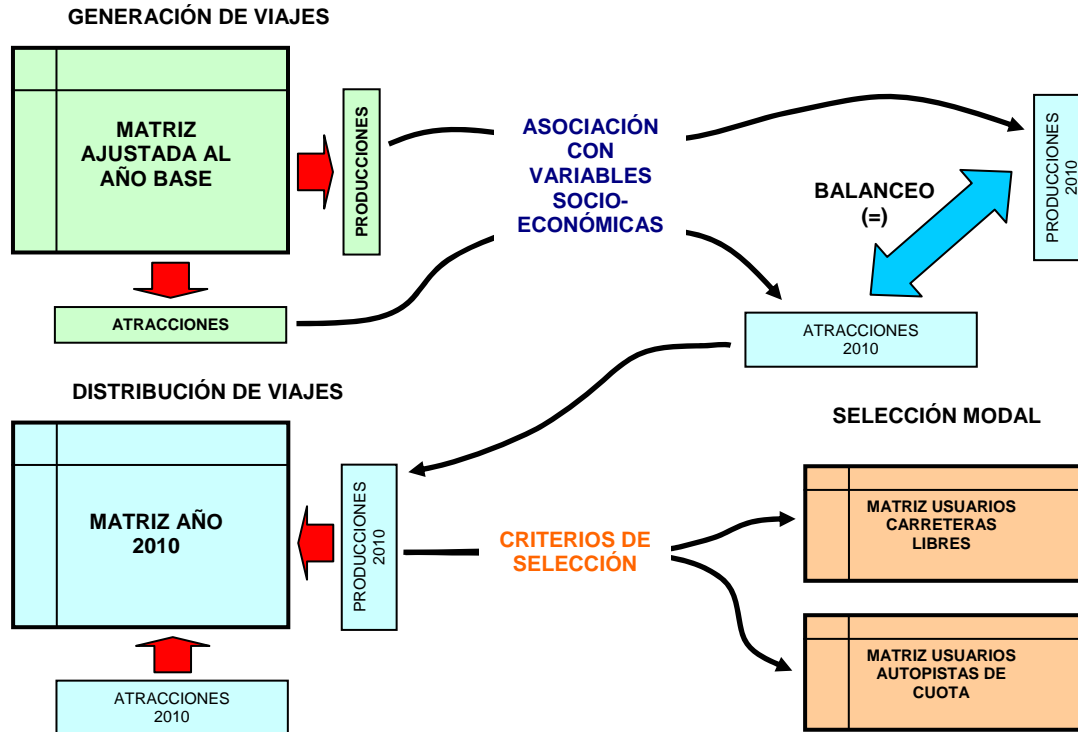


Figura 4.6. Proyección de la demanda al año 2010

**Generación.** Una vez obtenidas las matrices del año base se obtienen los vectores de producción y atracción, se asocian con las variables socioeconómicas de cada zona y se ejecuta un modelo de regresión para elegir las variables que mejor representan la generación de viajes. En este caso, la variable *población* es la más significativa para la producción de viajes y la variable *empleo* lo es para la atracción. Una vez obtenidos los modelos de producción y atracción se aplicaron en los vectores correspondientes, con lo que se obtuvieron los vectores para los años horizonte (2010, 2015, 2020, 2025).

**Distribución.** El siguiente paso es estimar el intercambio de viajes entre cada zona, esto es, distribuir los viajes generados en cada zona *i* hacia cada zona *j*. La suma de todos los viajes en cada zona *i* deberán ser el total generado en esa zona; asimismo, la suma de todos los viajes que llegan a la zona *j* deberán ser el total de los viajes atraídos, estimados en el paso anterior. Para estimar las matrices internas se utilizó el *modelo gravitacional* y para las matrices externas se utilizó el método de factor de crecimiento doblemente acotado, o de ajuste Bi-Proporcional (*Fratar*).

**Segmentación de la demanda.** Una vez obtenida la matriz origen-destino, se desarrolló el modelo de *selección modal*, con el objeto de representar matemáticamente el comportamiento de los viajeros al seleccionar un modo de transporte en específico con base en las características particulares de cada uno de ellos, tales como motivo de viaje, distancia de recorrido, costos de viaje, etc. En el caso de las carreteras de México, los usuarios tienen dos alternativas de selección: (a) carreteras libres y (b) autopistas de cuota, las cuales se consideran como modos de selección. En la tabla 4.5 se muestra la captación promedio que

tienen las autopistas de cuota respecto a las carreteras libres, en rutas en donde existen ambas alternativas.

**Tabla 4.5. Captación promedio en vías de cuota**

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Captación (%)</b>
Automóvil	40%
Autobús	50%
Camión Unitario	36%
Camión Articulado	36%

Como resultado se tendrán ocho matrices para cada año horizonte, cuatro para representar a los usuarios que no utilizarán autopistas de cuota durante su recorrido y cuatro para los que usarán cualquier segmento de carretera libre o autopista de cuota. La demanda así segmentada se emplea para el proceso de asignación a la red para los diferentes horizontes, el cual se detalla en el siguiente punto.

### **4.2.3 Simulación oferta-demanda**

#### **4.2.3.1 Asignación de tránsito**

La asignación de tránsito se lleva a cabo para estimar los flujos de tránsito en la red. Los datos de entrada del modelo son los flujos de las matrices, las cuales indican el volumen de tránsito entre cada par origen-destino. Estos flujos se cargan en la red vial con base en los tiempos de viaje o la impedancia de todas las rutas que pueden llevar ese tránsito.

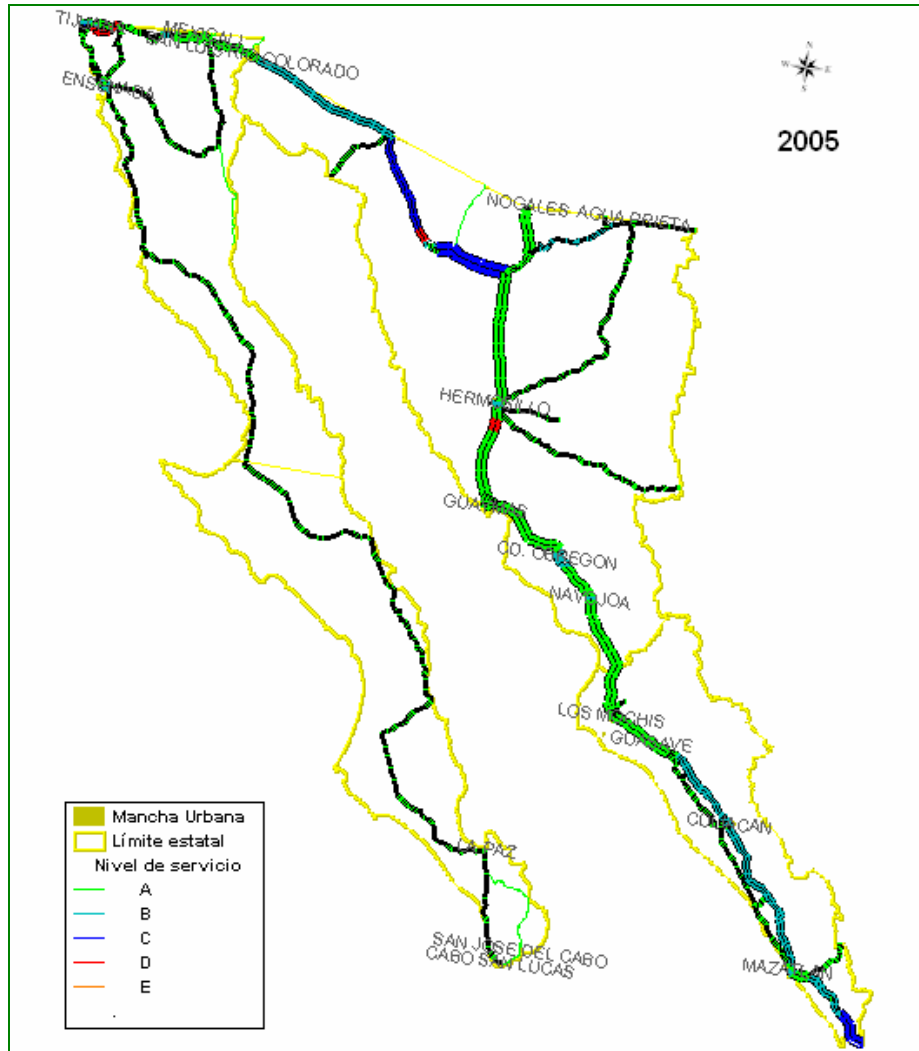
El modelo de asignación de tránsito predice los flujos de la red asociados con los escenarios de planeación futuros y estima los tiempos de viaje y los atributos de cada tramo, necesarios para el análisis de la operación de la red. Con los resultados de la asignación se pueden conocer los beneficios o los problemas de cada enlace.

El método utilizado es un método de asignación de tránsito por equilibrio, el cual toma en cuenta los tiempos de viaje. Los algoritmos de equilibrio de flujos requieren varias iteraciones entre la asignación de los flujos y el cálculo de los tiempos de viaje, hasta alcanzar una solución convergente, en la cual ningún viajero puede mejorar su tiempo de viaje al cambiar de ruta. Los flujos y tiempos en la red consideran los efectos de restricción de capacidad de los enlaces, que se calculan con la función BPR (punto 3.2.4).

Además de lo anterior, el método de asignación es *Multiclase*, lo que permite asignar los diferentes tipos de vehículos a la red simultáneamente. Cada tipo de vehículo tiene diferentes impactos en la congestión, diferentes parámetros de las funciones de demora y diferentes valores del tiempo, los cuales se pueden simular con este método de asignación.

A partir de este punto se usará la región Noroeste para ejemplificar el procedimiento.

En la figura 4.7 se muestra la asignación de tránsito en la región Noroeste.



**Figura 4.7. Asignación de tránsito**

**4.2.3.2 Estimación y visualización de niveles de servicio y accidentes**

Con base en los resultados de la asignación y la capacidad de los tramos carreteros se estimó el nivel de servicio (N.S.) con la relación Volumen/Capacidad (V/C), según los valores sugeridos en el Highway Capacity Manual que se muestran en la tabla 4.6.

**Tabla 4.6. Relación V/C – Nivel de Servicio**

N.S.	A	B	C	D	E y F
V/C	0.30	0.47	0.68	0.89	1.00

La razón V/C se calcula en el TransCAD® y se guarda en un campo de la base de datos, con el que se pueden realizar mapas temáticos para visualizar los niveles de servicio de cada uno de los tramos (figuras 4.8 y 4.9).



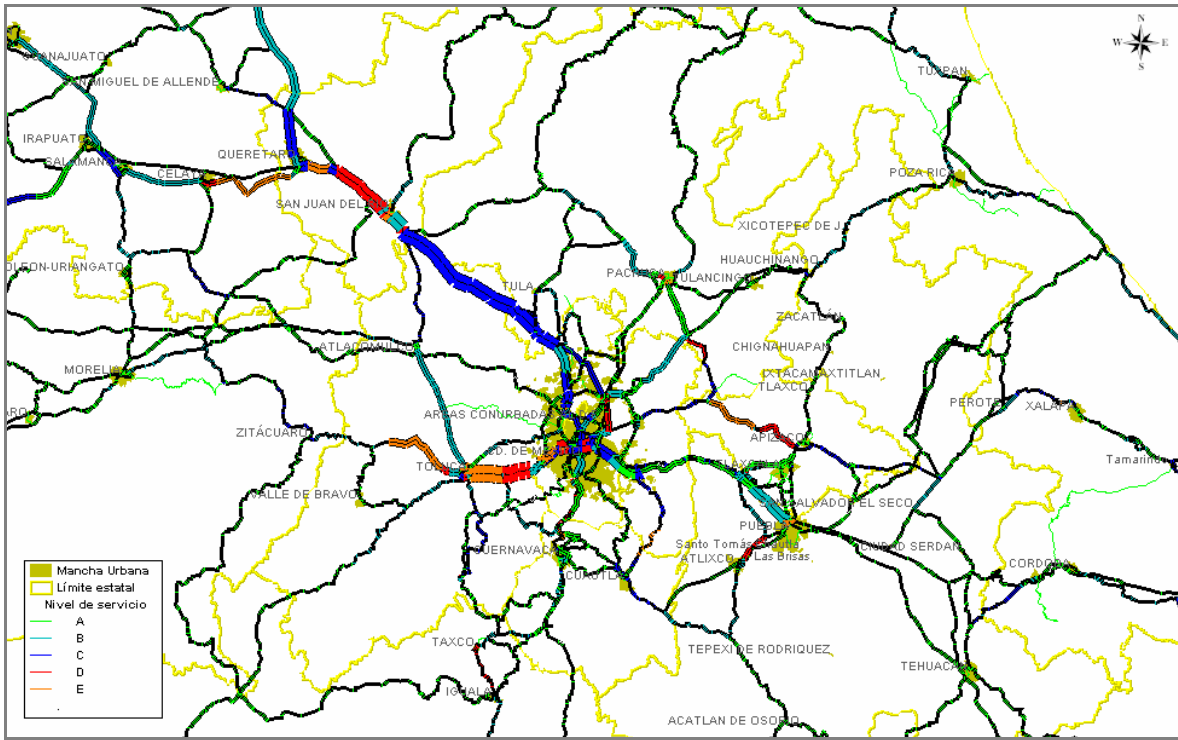


Figura 4.8. Niveles de servicio en el centro del país

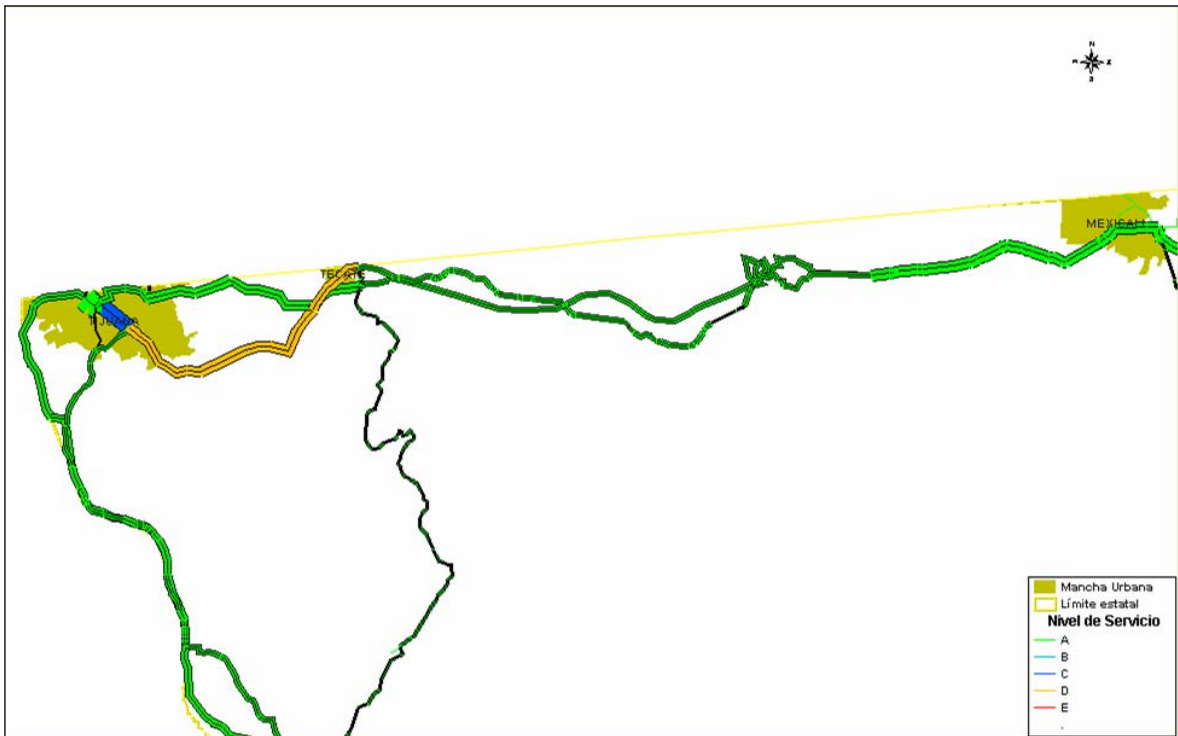


Figura 4.9. Niveles de servicio en la carretera Mexicali-Tijuana

Esta información de niveles de servicio se complementará con el índice de accidentes, el cual debe encontrarse en otro campo de la base de datos (figura 1.7), para la programación de los proyectos según lo siguiente:

Atención inmediata	N.S. = E y F & Índice de accidentes $\geq 2.0$ accidentes/millón de veh-km
Atención en el corto plazo	N.S. = D & Índice de accidentes $\geq 1.6$ accidentes/millón de veh-km
Atención en el mediano plazo	N.S. = C & Índice de accidentes $\geq 1.0$ accidentes/millón de veh-km
Atención en el largo plazo	N.S. = B & Índice de accidentes $\geq 0.6$ accidentes/millón de veh-km

#### **4.2.3.3 Determinación de puntos de conflicto**

Para detectar los tramos conflictivos, se analiza la información de niveles de servicio y accidentes contenida en la base de datos del TransCAD®. De las figuras 4.8 y 4.9, en las que se muestran algunas secciones de la red, se puede decir que los tramos pertenecientes a los principales corredores carreteros con altos volúmenes de tránsito, así como carreteras de bajas especificaciones (angostas y con muchas curvas) presentan niveles insatisfactorios (D, E y F), como por ejemplo:

- México-Toluca
- Palmillas-Querétaro
- Calpulalpan-Apizaco
- México-Cuernavaca (libre)
- Taxco-Iguala
- Tecate-Tijuana (libre)

Además, existen varias carreteras con nivel de servicio C, lo que indica que en años próximos pueden presentar niveles insatisfactorios si no se realiza ninguna obra para mejorar su operación.

#### **4.2.3.4 Ubicación de zonas con baja accesibilidad a la red de carreteras**

En el TransCAD® se hace un mapa temático con las carreteras pavimentadas del país, en el que se observan las zonas que carecen de las mismas. Tomando nuevamente como ejemplo a la región Noroeste, en la figura 4.10 se representa la red de carreteras pavimentadas. Con círculos azules se marcan las zonas de baja accesibilidad y con líneas punteadas negras se trazan los proyectos propuestos que permitirán resolver los problemas de accesibilidad, ya sea mediante la pavimentación de los caminos existentes o la construcción de carreteras nuevas.

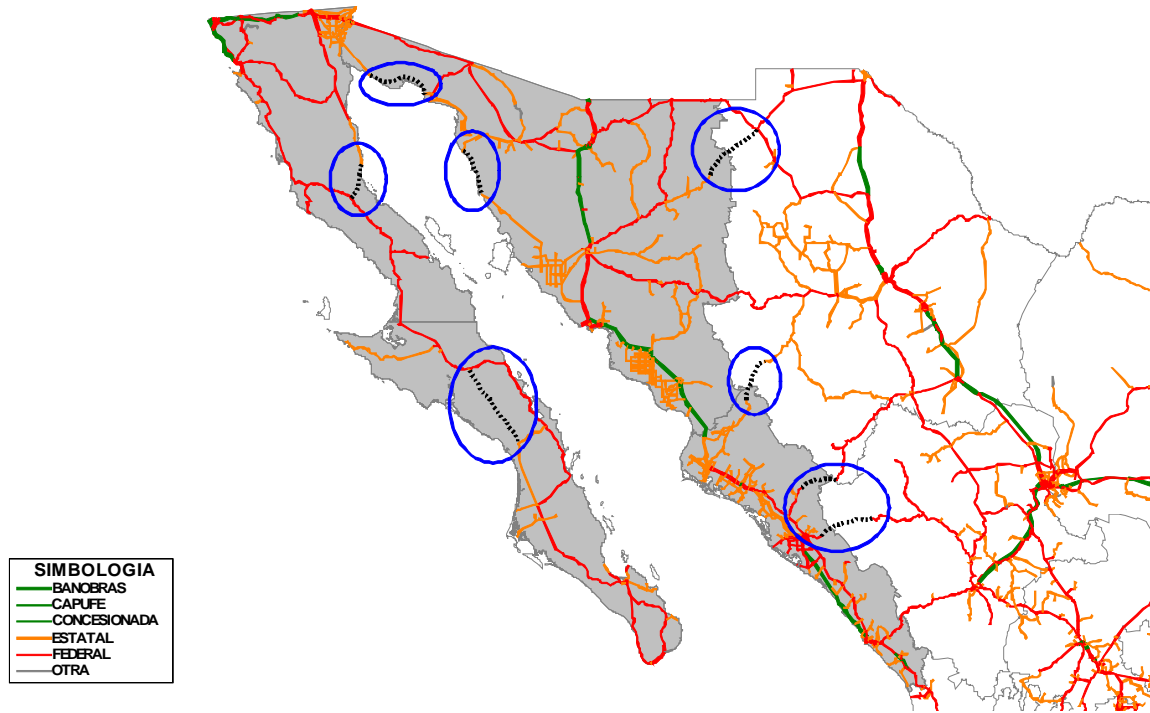


Figura 4.10. Ubicación y solución para zonas de baja accesibilidad

#### 4.2.3.5 Definición de los proyectos que permitan resolver la problemática en cada año horizonte.

El objetivo de esta actividad es precisar los proyectos que se deben realizar cada año horizonte para atender los problemas detectados, tanto en las reuniones regionales como en el modelo de simulación TransCAD®. Para ello es necesario realizar un proceso para cada año horizonte en el cual se incluyen los proyectos en la red y se asignan las matrices origen-destino definidas para cada año horizonte, se analiza el nivel de servicio de los tramos en donde se incorporaron los proyectos y, en caso de que los resultados sean favorables (nivel de servicio A o B), se considera el proyecto dentro de ese año horizonte, de lo contrario se incluye dentro de los escenarios futuros. Lo anterior se resume en la figura 4.11.

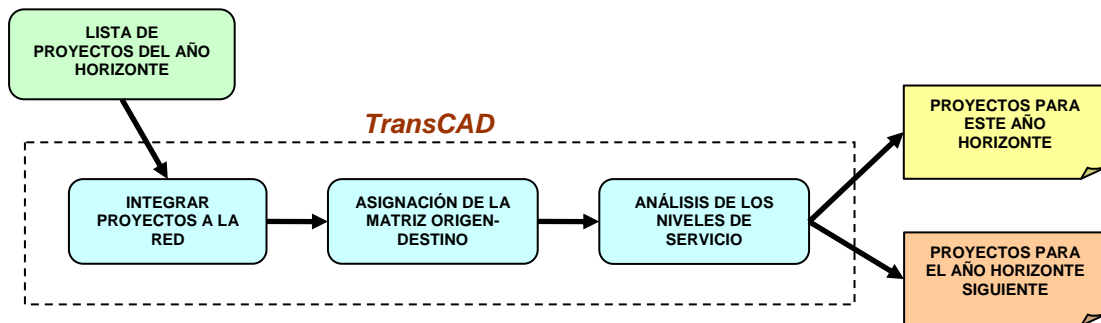


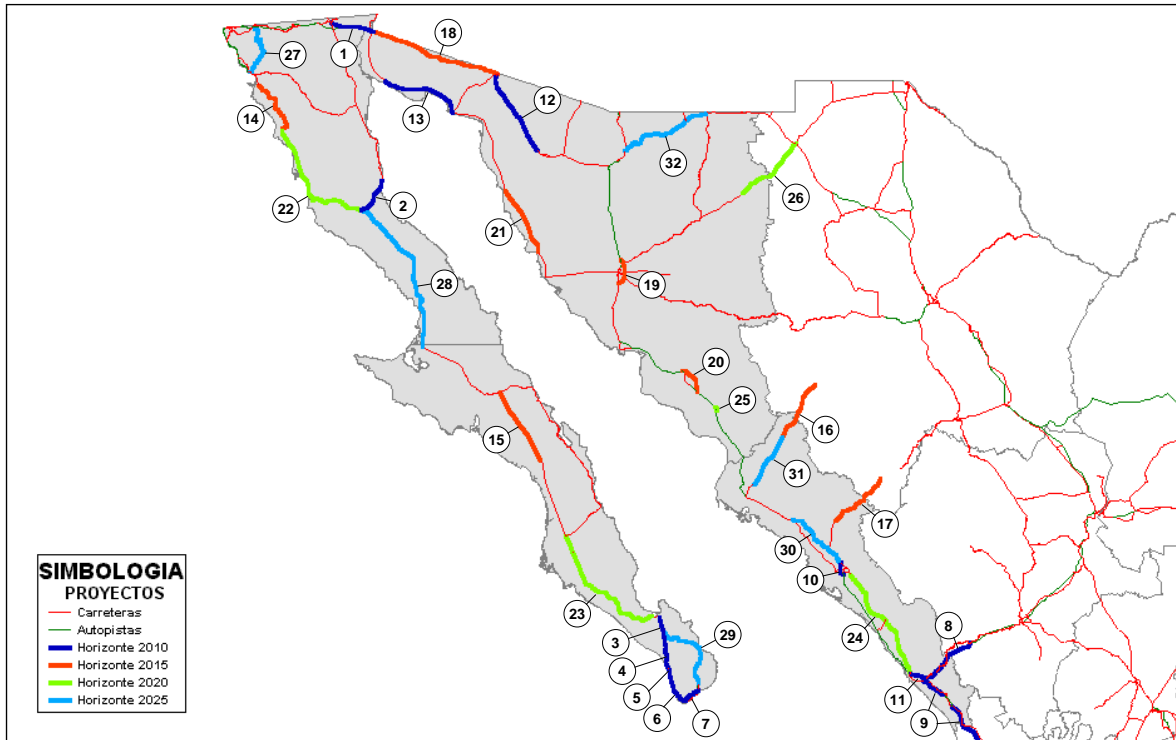
Figura 4.11. Definición de proyectos para un año horizonte

### **4.3. ELABORACIÓN DE LA CARTERA FINAL DE PROYECTOS PARA CADA AÑO HORIZONTE**

Finalmente, como resultado de todo el procedimiento se obtendrá la lista de proyectos por realizarse en cada año horizonte planteado. Sin embargo, la parte política siempre está presente y, antes de enviar la lista a la Cámara de Diputados para la aprobación del presupuesto, es necesario realizar una reunión nacional con la participación de los principales involucrados de cada una de las regiones y de los Estados para mostrarles la lista obtenida después del proceso de análisis con TransCAD®, para que emitan su opinión al respecto y se puedan realizar los ajustes necesarios. Derivado de lo anterior, se obtiene la cartera final de proyectos consensuada, de la cual en la tabla 4.7 y la figura 4.12 se muestra la parte correspondiente a la región Noroeste.

**Tabla 4.7. Cartera final de proyectos de la región Noroeste**

No.	Nombre del proyecto	Tipo de obra	Estado
<b>Horizonte 2010</b>			
1	San Luis Río Colorado-Mexicali	Ampliación a 4 carriles	Baja California
2	Puertecitos-Laguna de Chapala	Construcción a 7 metros	Baja California
3	La Paz-San Pedro	Ampliación a 4 carriles	Baja California Sur
4	San Pedro-Todos Santos	Ampliación a 12 metros	Baja California Sur
5	Libramiento de Todos Santos	Construcción a 2 carriles	Baja California Sur
6	Todos Santos-Cabo San Lucas	Ampliación a 12 metros	Baja California Sur
7	Cabo San Lucas-San José del Cabo	Construcción a 4 carriles	Baja California Sur
8	Durango-Mazatlán	Construcción a 2 carriles	Sinaloa
9	Tepic-Villa Unión	Construcción a 2 carriles	Sinaloa
10	Libramiento de Culiacán	Construcción a 2 carriles	Sinaloa
11	Libramiento de Mazatlán	Construcción a 2 carriles	Sinaloa
12	Caborca-Sonoyta	Ampliación a 12 metros	Sonora
13	Golfo de Santa Clara-Pto. Peñasco	Construcción a 7 metros	Sonora
<b>Horizonte 2015</b>			
14	Maneadero-Punta Colnett	Ampliación a 12 metros	Baja California
15	La Purísima-San Ignacio	Construcción a 2 carriles	Baja California Sur
16	Choix-San Rafael	Construcción a 7 metros	Sinaloa
17	Badiraguato-Puerto Sabinal	Construcción a 7 metros	Sinaloa
18	Sonoyta-San Luis Río Colorado	Ampliación a 12 metros	Sonora
19	Libramiento de Hermosillo	Construcción a 2 carriles	Sonora
20	Libramiento de Cd. Obregón	Construcción a 2 carriles	Sonora
21	El Desemboque-Pto. Libertad	Construcción a 7 metros	Sonora
<b>Horizonte 2020</b>			
22	Punta Colnett-Laguna de Chapala	Ampliación a 12 metros	Baja California
23	Cd. Insurgentes-La Paz	Ampliación a 12 metros	Baja California Sur
24	Mazatlán-Culiacán (libre)	Ampliación a 4 carriles	Sinaloa
25	Libramiento de Navojoa	Construcción a 2 carriles	Sonora
26	El Coyote-Janos	Construcción a 7 metros	Sonora
<b>Horizonte 2025</b>			
27	Tecate-Ensenada	Ampliación a 12 metros	Baja California
28	Laguna de Chapala-Guerrero Negro	Ampliación a 12 metros	Baja California
29	San Pedro-San José del Cabo	Ampliación a 12 metros	Baja California Sur
30	Culiacán-Las Brisas (libre)	Ampliación a 4 carriles	Sinaloa
31	Los Mochis-Choix	Ampliación a 12 metros	Sinaloa
32	Imuris-Agua Prieta	Ampliación a 12 metros	Sonora



*Figura 4.12. Proyectos de la región Noroeste*

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- Se considera que sin la existencia de una metodología para el desarrollo de carreteras, existe un alto riesgo de malgastar los recursos y de que no se resuelva la problemática a nivel global, es decir, se seguirán atacando los problemas puntuales de manera temporal debido a que no existen análisis técnicos que permitan identificar, priorizar y realizar las obras carreteras.
- Con la aplicación de esta metodología se garantiza que durante los años futuros se realicen las obras de construcción y modernización de carreteras que sean justificables técnica y socialmente. Además, la realización del consenso llevado a cabo mediante técnicas participativas, hace que los expertos, las autoridades y la sociedad se sientan partícipes dentro del proceso.
- Dentro de las diversas ventajas del modelo de transporte TransCAD®, se puede mencionar la utilidad que tiene para analizar el comportamiento del tránsito al incorporar los proyectos, uno a uno o en conjunto, y resaltar sus beneficios. Asimismo, se pueden modificar las características de los proyectos para encontrar la solución óptima, mediante la simulación de flujos en redes. El uso de parámetros, tales como el ahorro en tiempos de recorrido o la relación volumen-capacidad, permiten estimar los beneficios de un proyecto.
- La metodología propuesta contribuye, sin duda, a la creación de las carteras de proyectos de carreteras justificados técnica y socialmente, debido a que propicia la participación de aquellos involucrados en el desarrollo de la infraestructura carretera. Esta metodología se realiza mediante varios pasos ordenados sistemáticamente, e incluye el análisis detallado de variables técnicas a través del uso de la herramienta computacional para la planeación del transporte TransCAD®.

### 5.2. RECOMENDACIONES

- Para mejorar los resultados obtenidos en la fase de integración de la cartera preliminar de proyectos, se pueden aplicar técnicas participativas como “Matrices para evaluación y selección de alternativas” o “Reunión de planeación participativa”, en las que se requiere de una formulación matemática más profunda.
- En la fase de simulación oferta-demanda con TransCAD® se analizan variables como la relación volumen/capacidad, el índice de accidentes y la accesibilidad, para detectar el comportamiento de la red y proponer soluciones, sin embargo, se pueden utilizar una amplia gama de datos como tiempos de recorrido, costos, emisión de contaminantes, etc. para optimizar los resultados.
- Se recomienda actualizar anualmente el banco de datos de la oferta (red de carreteras) y la demanda (matrices origen-destino), e incluir información de los principales puertos marítimos y cruces fronterizos.
- El uso de metodologías similares a ésta, en otros países ha arrojado excelentes resultados en la planeación y programación de obras de infraestructura, principalmente de carreteras, por lo que se sugiere difundir su uso a todos los niveles de gobierno, estatal, municipal, para que organicen la ejecución de los recursos en obras de caminos alimentadores y locales.

- El producto de esta tesis es una metodología que genera una cartera final de proyectos con una propuesta para su implementación en cuatro escenarios de tiempo, sin embargo, se pueden establecer diversos horizontes, según se requiera.
- Esta metodología se debe considerar como el primer paso en el desarrollo de Planes Estratégicos, el siguiente paso es la definición y desarrollo de los elementos de la planeación, tales como: visión, misión, objetivos, programas, estrategias, metas, líneas de acción e indicadores, entre otros.
- Finalmente, se recomienda retroalimentar periódicamente el proceso con el comportamiento de los proyectos puestos en operación, así como con las decisiones políticas, para hacer los ajustes necesarios a la metodología y mejorar sus resultados.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BACKHOFF P., Miguel A. y GARCÍA O., Gabriela.- “Los Sistemas de Información Geográfica y el Transporte”, Publicación Técnica No. 32, Instituto Mexicano del Transporte (IMT), Querétaro, 1992.
2. BANCO MUNDIAL.- “Informe sobre el Desarrollo Mundial 1994 – Infraestructura y Desarrollo”. Oxford University Press. Washington, DC, EUA, 1994.
3. BANISTER David, BERECHMAN Joseph.- “Transport Investment and Economic Development”. UCL Press. London, UK, 2000. Capítulo: The Economic Impacts of Roads.
4. CAL Y MAYOR R., Rafael y CÁRDENAS, James.- “Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones”, 7ª. Edición. Ed. Alfaomega, México, 1994.
5. CALIPER Corporation.- “TransCAD Transportation GIS Software: User’s Guide”. USA, 2000.
6. CALIPER Corporation.- “TransCAD Transportation GIS Software: Travel Demand Modeling with TransCAD 4.7”. USA, 2004.
7. CRAINIC, Theodor G. “An Interactive-Graphic System for the Analysis and Evaluation of Regional/ National Transportation Networks”. Date 1989/05. Edition C.R.T.
8. HAY W.- “Ingeniería de Transporte”. Limusa, México, 2000.
9. MEYER, Michael D. y MILLER, Erick J.- “Urban Transportation Planning – A Decision Oriented Approach”. McGraw Hill, Nueva York, 2001.
10. ORTÚZAR S., Juan de Dios.- “Modelos de Demanda de Transporte”. Ed. Alfaomega, México, 2000.
11. ORTÚZAR S. Juan de Dios y WILLUMSEN, Luis.- “Modelling Transport”. Ed. John Wiley & Sons, England, 1990.
12. ORUS Jean-Pierre.- “Routes Roads Review No. 293 ”. World Road Association. Paris, France, Enero, 1997. Pp. 15-28: The Economic Impacts of Major Motorway Infrastructures.
13. PAPACOSTAS, Constantino S.- “Fundamentals of Transportation Engineering”. Ed. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, EUA, 1987.
14. PRESIDENCIA de la República.- “Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006”. México, 2001.
15. SCT – Secretaría de Comunicaciones y Transportes.- “Programa Nacional de Autopistas 2000-2006”.
16. SCT – Secretaría de Comunicaciones y Transportes.- “Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2000-2006”.
17. SCT – Secretaría de Comunicaciones y Transportes.- “Datos Viales 2000 a 2006”.
18. STEINER, George A.- “Planeación estratégica, lo que todo director debe saber – una guía paso a paso”. CECSA, México, 2002.
19. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD.- “Highway Capacity Manual 2000”. National Research Council. Washington, D.C., 2000.
20. TRANSPORT RESEARCH EURET CONCERTED AUCTION 1.1.- “Cost-Benefit and Multicriteria Analysis for New Road Construction”. Institute of Transport Studies, University of Leeds, UK, 1996.