



ESCENARIOS DE FLUJOS DE CARGA EN MÉXICO CON BASE EN EL MODELO NACIONAL DE TRANSPORTE

Eric Moreno Quintero
Agustín Bustos Rosales
Luz Angélica Gradilla Hernández
Carlos Martner Peyrelongue

Publicación Técnica No. 539
Sanfandila, Qro, 2019

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Escenarios de Flujos de Carga en México con Base
en el Modelo Nacional de Transporte**

Publicación Técnica No. 539
Sanfandila, Qro, 2019

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Integración del Transporte del Instituto Mexicano del Transporte por el Dr. Eric Moreno y el Dr. Agustín Bustos, con la colaboración de la Dra. Luz Angélica Gradilla de la Unidad de Sistema de Información Geoespacial.

Esta investigación es el producto final del proyecto de investigación interna MI-01/17 “Escenarios de Flujos de Carga en México con Base en el Modelo Nacional de Transporte”.

Se agradece la colaboración del Dr. Carlos Martner Peyrelongue titular de la CIT quien participó activamente en las discusiones de avances del proyecto y apoyó la gestión de obtención de información para el mismo.

Contenido

Índice de figuras		iv
Índice de tablas		vii
Sinopsis		viii
Abstract		x
Resumen	Ejecutivo	
Capítulo 1.	Antecedentes del modelo nacional.	1
Capítulo 2.	Actualización de información para el modelo nacional.	5
	2.1 Líneas de deseo de tipos vehiculares	5
	2.2 La estimación de flujos	10
	2.3 El nivel de servicio	16
Capítulo 3.	El marco de planeación. Corredores Portuarios y ZEE	21
	3.1 Los principales corredores portuarios	21
	3.2 Las Zonas Económicas Especiales	27
Capítulo 4.	Los escenarios de modelación	35
	4.1 Identificación de corredores	35
	4.2 El marco de pronóstico	43
	4.3 Escenarios ensayados	46
Capítulo 5	Resultados y conclusiones	53
Bibliografía		55

Índice de figuras

Figura 2.1	Líneas de deseo para automóviles	6
Figura 2.2	Líneas de deseo para autobuses	6
Figura 2.3	Líneas de deseo para camiones C2	7
Figura 2.4	Líneas de deseo para camiones C3	8
Figura 2.5	Líneas de deseo para camiones T3S2	8
Figura 2.6	Líneas de deseo para camiones T3S3	9
Figura 2.7	Líneas de deseo para camiones T3S2R4	10
Figura 2.8	Asignación de flujos de automóviles	11
Figura 2.9	Asignación de flujos de autobuses	12
Figura 2.10	Asignación de flujos de camiones C2	12
Figura 2.11	Asignación de flujos de camiones C3	13
Figura 2.12	Asignación de flujos de camiones T3S2	14
Figura 2.13	Asignación de flujos de camiones T3S3	14
Figura 2.14	Asignación de flujos de camiones T3S2R4	15
Figura 2.15	Asignación de flujos del total de vehículos	16
Figura 3.1	Toneladas de carga marítima 2015-2016	22
Figura 3.2	Carga contenerizada 2008 – 2016. Litoral Pacífico	22
Figura 3.3	Carga contenerizada 2008 – 2016. Litoral Golfo-Caribe.	23
Figura 3.4	Carga contenerizada 2008 – 2016 de los cuatro puertos.	24
Figura 3.5	Tendencia carga contenerizada 2008 – 2016. Litoral Pacífico.	24

Figura 3.6	Tendencia de carga contenerizada 2008 – 2016. Litoral Golfo-Caribe.	25
Figura 3.7	Carga marítima 2005 - 2016	26
Figura 3.8	Tendencia lineal de la carga marítima de altura	27
Figura 3.9	Primeras Zonas Económicas Especiales	28
Figura 3.10	Participación del PIB estatal en el Nacional. Zonas Económicas Especiales	29
Figura 3.11	Crecimiento del PIB estatal, Guerrero y Michoacán	30
Figura 3.12	Crecimiento del PIB estatal, Chiapas, Oaxaca y Veracruz	31
Figura 3.13	Tasas de crecimiento medias ZEE	31
Figura 3.14	Tendencia de crecimiento del PIB nacional	32
Figura 4.1	Líneas de deseo. Puerto de Altamira	35
Figura 4.2	Líneas de deseo. Puerto de Veracruz	36
Figura 4.3	Líneas de deseo. Puerto de Manzanillo	37
Figura 4.4	Líneas de deseo. Puerto de L. Cárdenas	37
Figura 4.5	Flujos totales en la zona norte de Altamira	38
Figura 4.6	Flujos totales en la zona norte de Altamira	38
Figura 4.7	Flujos totales en la zona de Veracruz	39
Figura 4.8	Flujos totales en la zona norte de Manzanillo y L. Cárdenas	40
Figura 4.9	Líneas de deseo. Puerto de Salina Cruz	41
Figura 4.10	Líneas de deseo. Puerto de Coatzacoalcos	42
Figura 4.11	Flujos estimados en el corredor del Istmo	42
Figura 4.12	Modelo de regresión de tasas de crecimiento Carga Marítima vs PIB nacional	44
Figura 4.13	Modelo de regresión de tasas de crecimiento Carga Carretera vs PIB nacional	45

Figura 4.14	Corredor CDMX-Veracruz. Escenario base 2017	47
Figura 4.15	Corredor CDMX-Veracruz. Escenario Alto 2017	48
Figura 4.16	Corredor Transístmico, escenario base 2017	49
Figura 4.17	Corredor Transístmico. Escenario Medio 2017	50
Figura 4.18	Corredor Transístmico. Escenario Alto 2017	50

Índice de tablas

Tabla 3.1	Tasa media de crecimiento 2008-2016. Carga contenerizada	23
Tabla 3.2	Tendencia de carga contenerizada 2008-2016. Litoral Golfo-Caribe	25

Sinopsis

Este trabajo añade algunas mejoras al Modelo Nacional de Transporte de la etapa anterior. El objetivo fue modelar escenarios para los principales corredores portuarios y para el inicio de las Zonas Económicas Especiales, de gran prioridad para el gobierno federal.

Esta nueva versión incluyó tanto camiones de carga en flujos interurbanos, como automóviles y autobuses, dada la disponibilidad de esta información.

Con un resumen de trabajos previos del Modelo Nacional en el Capítulo 1, el Capítulo 2 describe la actualización de información del Modelo Nacional, mostrando algunos patrones independientes de circulación de automóviles y autobuses, para complementar la información de flujos.

El Capítulo 3 describe antecedentes de los principales corredores portuarios de México y el surgimiento de las Zonas Económicas Especiales, mostrando tendencias estadísticas de evolución del PIB y toneladas movidas en carreteras que cruzan estas zonas.

El Capítulo 4 muestra la modelación de los escenarios propuestos y algunas comparaciones de tendencia y de evolución histórica en referencia a escenarios previamente elaborados con el Modelo Nacional.

En el Capítulo 5 se resume el ejercicio de modelación estimando diversos impactos en los escenarios considerados y se sugieren líneas de trabajo futuro.

Abstract

This work added some improvements to the National Transportation Model from previous stages of the project. The aim was to model scenarios for the main port corridors and the first Special Economic Zone, a high priority for the federal government.

This new version included the trucks in intercity flows, and also cars and buses, given the availability of this information.

Starting with a summary of the previous works of the National Model in Chapter 1, Chapter 2 describes the information updating for the National Model, showing some independent patterns of car and bus traffics, thus complementing the previous information of flows.

Chapter 3 describes the antecedents of both the main port corridors of Mexico and the emergence of the Special Economic Zones, showing the statistical trends of the information available on the evolution of GDP, and of the available data on tons of cargo moved on highways crossing these zones

Chapter 4 shows the results of the modelling of the scenarios proposed, with some trend and historical evolution comparisons, in reference to scenario modelling exercises previously elaborated with the National Model.

Chapter 5 summarizes the modelling exercise estimating various impacts in the scenarios considered and suggesting future work lines

Resumen ejecutivo

Este trabajo afina algunos aspectos del modelo nacional del transporte de carga en México a fin de modelar escenarios de interés para la planeación del sistema de transporte nacional. En la etapa previa se actualizaron algunos datos y se hicieron los primeros ensayos de modelación de escenarios de movimiento de carga terrestre.

En el desarrollo presente se añadieron datos de flujos de pasajeros en la red carretera nacional a los movimientos de vehículos de carga para mejorar la aproximación al fenómeno global de congestión que afecta los flujos carreteros interurbanos.

La información para flujos carreteros se completó estimando la totalidad de vehículos circulantes en la red carretera. Para ello se agregaron datos del movimiento de automóviles y de autobuses obtenidos de las bases de datos del Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional disponibles en el IMT, integrando una matriz origen-destino que representara mejor la totalidad de flujos a nivel nacional. En esta actualización no se contó todavía con peajes de la red carretera. Las actualizaciones futuras de la red permitirán agregar estos datos para tener una representación más adecuada.

Con esta base se estimaron patrones de comportamiento de las clases vehiculares, mediante la generación de líneas de deseo y el modelado de asignación de flujo, para dar una primera idea de las preferencias de destinos y rutas que siguen las distintas clases vehiculares.

Las líneas de deseo

La información básica de los destinos demandados por las clases vehiculares se ilustra en los mapas de líneas de deseo que se generaron. Las clases vehiculares de automóviles y de autobuses se incluyeron por primera vez, lo que no se había logrado en las versiones anteriores.

La generación de las líneas de deseo para automóviles, autobuses y camiones de carga, respectivamente, permitió observar algunos patrones.

Para automóviles, se observaron demandas importantes del centro del país a la costa de Veracruz, del Puerto de Veracruz a Xalapa y Puebla; en el sur de Oaxaca a Salina Cruz, Juchitán y hasta San Cristóbal de las Casas. En la Península de Yucatán hay flujo importante de Cancún a Chetumal.

Para autobuses hay demanda importante del centro del país y el Bajío a la costa de Veracruz y del centro a Querétaro, Aguascalientes y Zacatecas. Hay también demanda de autobuses de Veracruz a Nuevo Laredo y de Aguascalientes a Monclova y a Durango que no se perciben en el movimiento de automóviles.

De los vehículos articulados, el T3S2 es el que atiende principalmente a los movimientos que van a la frontera norte en el paso a Nuevo Laredo, además de que esa combinación tiene el mayor número de tractores de ese tipo y semirremolques asociados.

Las líneas de deseo para el camión articulado T3S2, revela la preponderancia del destino Nuevo Laredo a partir de orígenes en CDMX, Querétaro y Aguascalientes, pasando por Matehuala y Ciudad Victoria. Esta vista indica la vocación marcada de esta configuración vehicular a participar en el comercio exterior.

Estimación de flujos

Los flujos potenciales en la red se estimaron con un modelo de asignación referido a la matriz OD de los totales vehiculares con datos de 2015.

El comportamiento global estimado para todas las clases vehiculares permitió observar los mayores flujos entre el centro del país, las principales ciudades del Bajío (Querétaro, León, Aguascalientes) y puntos importantes en la costa de Veracruz, pasando por Puebla y Tlaxcala.

Asimismo, flujos considerables hacia el sur-sureste, también desde el centro hacia Oaxaca, Villahermosa y Tuxtla Gutiérrez.

En el norte, se observaron flujos importantes hacia la frontera, pasando por San Luis Potosí, Monterrey, Saltillo y Ciudad Victoria, hacia Piedras Negras, Nuevo Laredo y Reynosa. Los flujos en la península de Baja California son mucho menores que en el resto del sistema carretero. En la península de Yucatán hay flujos relevantes entre Mérida, Campeche y Cancún, que conectan al interior del país a través de Villahermosa y conexiones hacia Chiapas.

Los corredores portuarios

Los corredores portuarios analizados fueron los asociados a los puertos más activos en el movimiento de carga.

Con datos de la evolución de la carga contenerizada, de gran relevancia para el autotransporte de carga, tanto en el litoral del Pacífico como en el del Golfo Caribe, en el periodo 2008 a 2016, se pudo observar la dominancia del movimiento de contenedores por Manzanillo y Lázaro Cárdenas en el Pacífico y por Altamira y

Veracruz en el Golfo. En ambos litorales, estos pares de puertos mueven alrededor entre el 92% y el 95% de la carga contenerizada de su respectivo litoral. Tocante a la carga marítima total, la carga de movimientos de altura, que es el mayor porcentaje del total, mostró una tendencia creciente, la cual muy probablemente se verá reflejada en los flujos vehiculares que se mueven en los corredores portuarios principales.

Las Zonas Económicas Especiales (ZEE)

Las primeras ZEE identificadas por el proyecto federal de apoyos y fomento al crecimiento económico fueron tres:

- a) El Puerto de Lázaro Cárdenas, más los municipios vecinos en Michoacán y Guerrero
- b) El Istmo de Tehuantepec, más los puertos de Coatzacoalcos, Veracruz y Salina Cruz, Oaxaca, y
- c) La de Puerto Chiapas.

El desarrollo económico reciente de estas zonas se evaluó con las participaciones estatales en el PIB nacional de los estados dentro de las ZEE.

De las participaciones porcentuales de los estados en el PIB nacional se observa que Veracruz es el mejor posicionado con alrededor del 5%, mientras que el resto de los estados oscila entre el 1 y el 2 por ciento. En cuanto a las tasas de crecimiento medias, comparando con la TCMA de 2.37% del PIB nacional, se observó que Chiapas es el estado más rezagado, con apenas una TCMA del 1.17% en el periodo 2004 – 2016.

Los datos examinados evidencian los bajos niveles de PIB estatal en las ZEE, comparado al total nacional. Para abordar esta cuestión, en este trabajo se plantearon escenarios de crecimiento en esos estados, considerando pronósticos recientes de crecimiento del PIB en México.

Para analizar la posible evolución del PIB nacional, que se considera el factor principal que incide en la generación del tráfico carretero de carga, se utilizó un modelo de tendencia de crecimiento de media móvil y periodo $n = 5$, para amortiguar los cambios bruscos de la serie, en particular de la crisis económica de 2009.

El pronóstico resultante de este modelo se muestra enseguida, elaborado con el paquete estadístico MiniTab:

Moving Average for CrecPIBtot

Data **CrecPIBtot**
 Length 11, NMissing 0

Moving Average, Length 5

Accuracy Measures

MAPE 31.8157
 MAD 0.0102
 MSD 0.0002

Forecasts

Period	Forecast	Lower	Upper
12	0.0274248	0.0007595	0.0540902
13	0.0274248	0.0007595	0.0540902

El error porcentual absoluto medio (MAPE) del modelo 31.8157%, refleja la fuerte caída de crecimiento en 2009; la máxima desviación absoluta (MAD) es de 1.02% y el error cuadrático medio del 0.02%, dando un pronóstico razonable.

El pronóstico para los periodos 12 y 13 corresponde a 2017 y 2018 indicando una tasa de crecimiento de 2.74248%, aproximada a los pronósticos oficiales del Banco de México que oscilan entre 2.0% y 2.5% para ese periodo (Banco de México, 2017). Con el intervalo de confianza del 95%, de 0.07595% a 5.40902%, se propuso el rango de valores para escenarios de crecimiento bajo, medio y alto usado en este trabajo.

La modelación de escenarios

Al incluir la totalidad de vehículos circulantes en la red carretera, fue posible obtener líneas de deseo y patrones de flujo de los distintos tipos vehiculares, lo que permitió observar las diferencias de orígenes y destinos asociados a las distintas demandas de movilidad que manifiestan estas clases vehiculares.

Para el puerto de Altamira, las líneas de deseo generadas destacaron como destinos importantes varios puntos de la frontera norte, como Cd. Juárez, Hermosillo, Nuevo Laredo, Reynosa y Matamoros.

Líneas de deseo se obtuvieron también para los puertos de Veracruz, Manzanillo, Lázaro Cárdenas y los de Coahuila de Zaragoza y Salina Cruz dentro de las ZEE.

Además de las líneas de deseo, se hicieron ejercicios de asignación de flujos para estimar el comportamiento del tráfico en las redes carreteras asociadas.

Para el Corredor Transístmico, los flujos principales se observaron en la ruta Salina Cruz a Coatzacoalcos y en las rutas Salina Cruz a Tuxtla Gutiérrez, Coatzacoalcos a Tuxtla Gutiérrez y Coatzacoalcos a Villahermosa y Ciudad del Carmen.

Corridas de asignación de flujos se hicieron también para los corredores en cuatro puertos principales: Veracruz, Altamira, Manzanillo y Lázaro Cárdenas. En estos escenarios, se elaboró un marco de pronóstico basado en estimaciones de crecimiento del PIB, ya que la actividad económica es elemento fundamental que explica el movimiento de carga y pasaje en el sistema carretero nacional.

El pronóstico del PIB nacional se aplicó en tres escenarios: bajo, medio y alto, considerando el intervalo de confianza del 95% comentado al final del capítulo 3:

Escenario:	Bajo	Medio	Alto
Crecimiento PIB	0.08%	2.7%	5.4%

Para estos escenarios de crecimiento se utilizó información reciente del TDPA, publicada por la SCT, para estimar el cambio en los niveles de servicio de los corredores modelados.

Para el corredor del Puerto de Veracruz, el escenario de crecimiento Bajo no mostró cambios respecto al escenario base; para el escenario de crecimiento Alto (5.1%), el nivel de servicio B abarca un tramo largo saliendo de CDMX y aparece también en la parte del corredor que cruza la parte norte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de Puebla. Esto sugiere que aún con crecimiento alto del PIB, el nivel de servicio puede llegar a lo más en B, con la mayor parte del corredor en nivel de servicio A.

En el correspondiente ejercicio de estimación con escenario alto para el Corredor Transístmico se observó otro cambio en el nivel de servicio, pasando de “C” a “D” en el último tramo que va de Tehuantepec a La Ventosa; el nivel más alto de TDPA estimado es del orden de 28,602 veh/día.

Las estimaciones anteriores para el Corredor Transístmico, indican que en el corto plazo, es conveniente pensar en acciones para mejorar los niveles de servicio “E” entre Acayucan y Minatitlán, así como los niveles de servicio “D” en los tramos centrales de la ruta, desde Matías Romero hasta Acayucan, y dejando para planeación a un mediano plazo los tramos entre Tehuantepec y La Ventosa que pudieran alcanzar hasta nivel de servicio “D”, según el crecimiento que se derive del correspondiente crecimiento del PIB.

Estos ejercicios mostrados de evaluación de escenarios podrán mejorarse en desarrollos futuros del Modelo Nacional, en la medida en que se disponga de datos mejorados de las características de la infraestructura, así como datos más precisos de los movimientos OD tanto de carga como de pasajeros.

....

1 Antecedentes del modelo nacional

En 2016 el Instituto Mexicano del Transporte llevó a cabo la Publicación Técnica No. 482 *Desarrollo de un Modelo Nacional de Transporte. Segunda Fase: Actualización de Datos y Análisis de Escenarios* (Moreno, E. et al) en la que se hicieron mejoras al modelo nacional de transporte de México cuyo prototipo fue desarrollado en 2015.

La primera mejora relevante añadida al modelo en la segunda fase fue la inclusión de la representación carretera con base en la Red Nacional de Caminos (RNC), la referencia oficial de caminos en México, la cual fue generada conjuntamente por el INEGI, el IMT y la SCT. El objetivo central de la RNC es ofrecer a las entidades públicas y privadas una red única de transporte terrestre que represente las carreteras, vialidades y caminos de México, con gran detalle de modelado y funcionalidad suficiente para aplicar algoritmos de ruteo.

La RNC incluye datos de velocidad de diseño en los tramos de las vialidades, así como una clasificación del tipo de superficie del camino que distingue entre pavimento, concreto hidráulico y otros.

Aunque la RNC ofrece un muy buen grado de diversos detalles de los caminos, la versión 2017 no contiene información sobre las pendientes medias ni sobre la curvatura media en los tramos carreteros, tampoco dispone de datos sobre la condición de la superficie de rodamiento expresada en términos del índice internacional de rugosidad (IIR), que son elementos necesarios para el cálculo de costos de operación vehicular.

En la versión mejorada que se construyó en la segunda fase del modelo nacional, se agregaron estimaciones de las pendientes medias en los tramos de las redes carretera y ferroviaria, utilizando como base la información que publica en línea el INEGI del Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (INEGI, 2017).

Estas pendientes medias se estimaron calculando la diferencia entre los valores de elevación de los puntos georreferenciados de inicio y terminación de los tramos considerados, dividida entre la correspondiente longitud de los tramos. Este procedimiento se utilizó también en la red ferroviaria usada en el modelo nacional.

De manera similar se estimaron curvaturas promedio en los tramos de las redes carretera y ferroviaria. El procedimiento de cálculo utiliza las coordenadas georreferenciadas y efectúa una serie de cálculos sucesivos de las diferencias de azimut en los puntos que definen las curvas, con lo que se obtiene el giro total

expresado en grados, que hay entre el punto de entrada y el punto de salida de cualquier curva del camino.

Para completar la información que se requiere para estimar costos de operación vehicular, en el caso del autotransporte, se incluyeron valores recientes del índice internacional de rugosidad (IIR) en la red carretera.

Con la inclusión de los elementos que describen las características geométricas de las redes carretera y ferroviaria, así como el dato de IIR las carreteras, en la segunda fase del modelo nacional se hicieron los primeros cálculos de costos de operación vehicular tanto por carretera como para el ferrocarril.

La metodología de cálculo de costos de operación vehicular en carretera tiene como base el modelo *Vehicle Operating Costs* (VOC) propuesto por el Banco Mundial e implementado en el software HDM-III. Para su aplicación en el caso de México, se utilizó la versión VOC-MEX desarrollada en el IMT, que considera los tipos vehiculares más comunes utilizados en el país.

Para los costos de operación ferroviarios se utilizó una referencia de costos de operación, según tipo de terreno, basada en una metodología desarrollada por la extinta empresa estatal Ferrocarriles Nacionales de México, publicada por el IMT (Centeno y Mendoza, 2003) y actualizada con el Índice Nacional de Precios al Productor que publica INEGI.

Con el modelo mejorado de la segunda fase se hicieron los primeros ensayos de evaluación de escenarios de interés para la planeación, los cuales se describen a continuación.

Se pudo estimar el flujo potencial de carga ferroviaria para el tramo Aguascalientes–Guadalajara, el cual aún no se construye, agregando una representación aproximada del trazo para este tramo en la red bimodal del modelo, para el cual se consideró la topología del terreno y los posibles obstáculos geográficos que pudieran afectar el trazo de las vías.

Con el mismo enfoque, se evaluaron rutas alternas para un corredor desde la ciudad de México hasta el puerto de Lázaro Cárdenas en Michoacán, a solicitud del gobierno de este estado. En esta propuesta del gobierno michoacano se consideraron nuevos tramos que aún no se construyen para unir las poblaciones de Huetamo con Infiernillo y Huetamo con Las Cañas y se estimaron varios parámetros de desempeño vehicular de los flujos pronosticados por el modelo.

Para el caso de proyectos ya terminados, se pudo utilizar el modelo en la segunda fase para estimar los ahorros en tiempo y distancia, así como las nuevas distancias de recorrido resultantes de los propios proyectos.

Ese fue el caso de las evaluaciones de las autopistas Durango–Mazatlán y México–Tuxpan. En todos los casos de los escenarios ensayados con el modelo mejorado, fue posible estimar los beneficios en ahorro de combustible, ahorro en costos de

operación vehicular, así como las mejoras a la velocidad de circulación en los tramos ensayados.

Las valoraciones obtenidas en estos ensayos resultaron consistentes con las estimaciones más generales de beneficios potenciales con las cuales se anunciaron públicamente los dos proyectos carreteros mencionados. Cabe señalar que los ensayos con el modelo nacional dieron estimaciones más detalladas de estos beneficios potenciales.

En este trabajo se continúa con el mejoramiento de la información para el modelo nacional, para lo cual se completarán los datos de flujos vehiculares incluyendo a la totalidad de clases, es decir, automóviles, autobuses-y camiones de carga.

Una mejora adicional en la información de flujos vehiculares, que se desarrolla en este trabajo, es la estimación de equivalencias del nivel de servicio que se presenta en varios tramos carreteros con base en datos recientes del TDPA publicados por la SCT. Esta información del nivel de servicio es de gran interés para los planificadores del sistema carretero nacional, pues el planteamiento de escenarios de crecimiento de tráfico carretero, cuando se agrega la información del impacto correspondiente en el nivel de servicio, da una visión más clara a los tomadores de decisiones para el establecimiento de prioridades en las medidas de mejoramiento de la infraestructura o de mitigación de los efectos de congestión en el sistema carretero nacional.

Con esta nueva versión del modelo nacional, se plantea el examen de escenarios de planeación que son relevantes para el sector transporte en México.

El contexto de planeación propuesto incluye los corredores portuarios más importantes del país, que comprenden los puertos de Veracruz y Altamira en el litoral del Golfo de México y los puertos de Manzanillo y de Lázaro Cárdenas en el litoral del Pacífico, así como el corredor del Istmo de Tehuantepec, dentro de las primeras Zonas Económicas Especiales (ZEE).

2 Actualización de información para el Modelo Nacional

En versiones previas del Modelo Nacional, dado el interés en el transporte de carga, en la red carretera sólo se incluyeron vehículos de carga; en este trabajo la información de los movimientos carreteros se complementó estimando la totalidad de vehículos circulantes en la carretera. De esta manera se agregaron datos del movimiento de automóviles y de autobuses, estimados de las bases de datos del Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional (EECAN), disponibles en el IMT, para conformar una matriz origen-destino de mayor alcance que pudiera representar razonablemente la totalidad de flujos a nivel nacional.

Con esta base se obtuvieron patrones de comportamiento mediante la generación de líneas de deseo y el modelado de asignación de flujos, para todas las clases vehiculares presentes en la red carretera.

El ejercicio de actualización de la nueva matriz OD con la totalidad de clases vehiculares se hizo revisando las bases de datos de los estudios del EECAN para identificar los pares O-D más recientes a incorporar en la nueva matriz del modelo. En esta actualización, ya no hubo tiempo para agregar la información adicional de los peajes de la red carretera. En ediciones futuras se proseguirá agregando más datos a la red para tener una representación más adecuada.

2.1 Líneas de deseo de tipos vehiculares

Para el Modelo Nacional, el objetivo central es la representación del sistema nacional de transporte en la combinación de los modos que participan en los flujos. En el caso del transporte terrestre interurbano, uno de los intereses centrales es el comportamiento de los flujos carreteros combinados con los flujos ferroviarios.

Los flujos por ferrocarril se encuentran concentrados en el movimiento de carga, y ocurren en una red (la ferroviaria) en la que el movimiento de trenes se encuentra muy controlado y en la que no hay libertad para elegir rutas alternas dado un par origen-destino. Los flujos carreteros, en cambio, presentan el fenómeno de la congestión por la libertad que tienen los usuarios de entrada al sistema carretero y elegir la ruta que más les convenga.

En los flujos interurbanos por carretera es importante la participación de todos los vehículos: automóviles, autobuses, camiones unitarios y camiones articulados, en la determinación de la posible congestión que se presente en el camino.

Para los distintos tipos vehiculares, se estimaron las líneas de deseo de los movimientos, y los patrones de flujo, separadamente para cada clase, con datos de referencia del año 2015. La figura 2.1 muestra las líneas de deseo para automóviles, y la figura 2.2 las correspondientes para los autobuses.

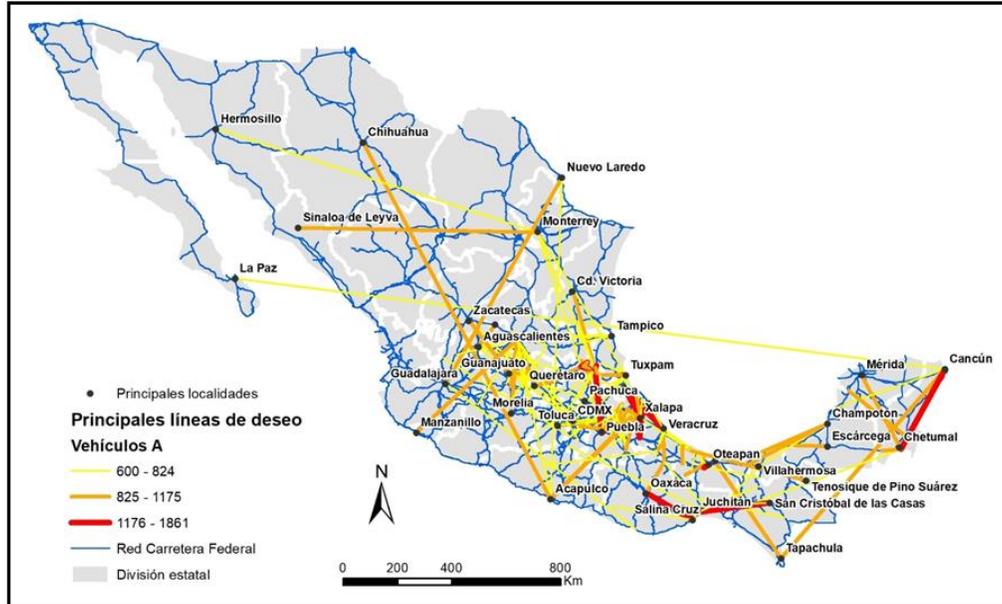


Figura 2.1. Líneas de deseo para automóviles (elaboración propia)

Los mapas de líneas de deseo muestran, a grandes rasgos, los distintos orígenes y destinos que típicamente determinan el movimiento de cada clase vehicular.

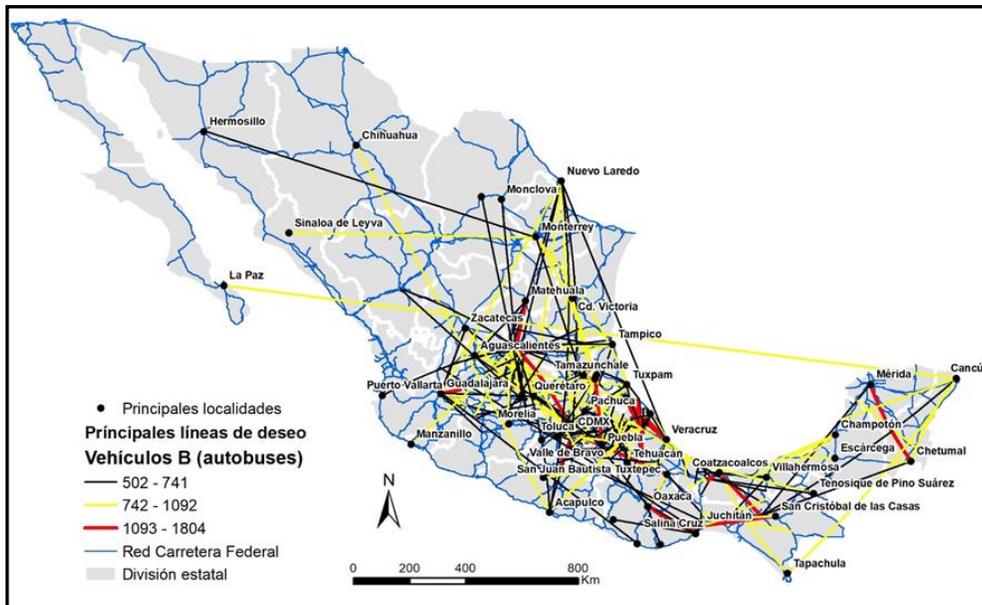


Figura 2.2. Líneas de deseo para autobuses (elaboración propia)

En el caso de los automóviles, se puede observar que hay demandas importantes del movimiento del centro del país hacia la costa de Veracruz, del Puerto de Veracruz hacia Xalapa y Puebla; en la zona sur de Oaxaca a Salina Cruz, Juchitán y hasta San Cristóbal de las Casas en Chiapas. En la Península de Yucatán se observa un flujo importante de Cancún a Chetumal.

Para el caso de los autobuses se muestran movimientos importantes también del centro del país y de la zona del Bajío hacia la costa de Veracruz y del centro del país hacia Querétaro, Aguascalientes y Zacatecas. Se aprecia también que los autobuses tienen movimientos de Veracruz a Nuevo Laredo y de Aguascalientes a Monclova y a Durango, lo cual no se percibe en el movimiento de automóviles.

Las figuras 2.3 y 2.4 muestran las líneas de deseo para camiones unitarios de dos ejes (C2) y de 3 ejes (C3). En los camiones C2 se observan flujos importantes en el centro del país, hacia Querétaro, Puebla, Pachuca y Toluca; así como flujo de Aguascalientes a Matehuala. Hacia el norte, se observa conexión de Veracruz a Nuevo Laredo, y en el sur-sureste flujo de Tuxtla Gutiérrez hacia Mérida.

Para camiones C3 hay flujos relevantes de Guadalajara a Zamora y de Toluca a Guanajuato; conexiones de Guadalajara a Guaymas y a Hermosillo, más los pares CDMX-Iguala y CDMX-Puebla-Tuxtpec, ausentes para los camiones C2.

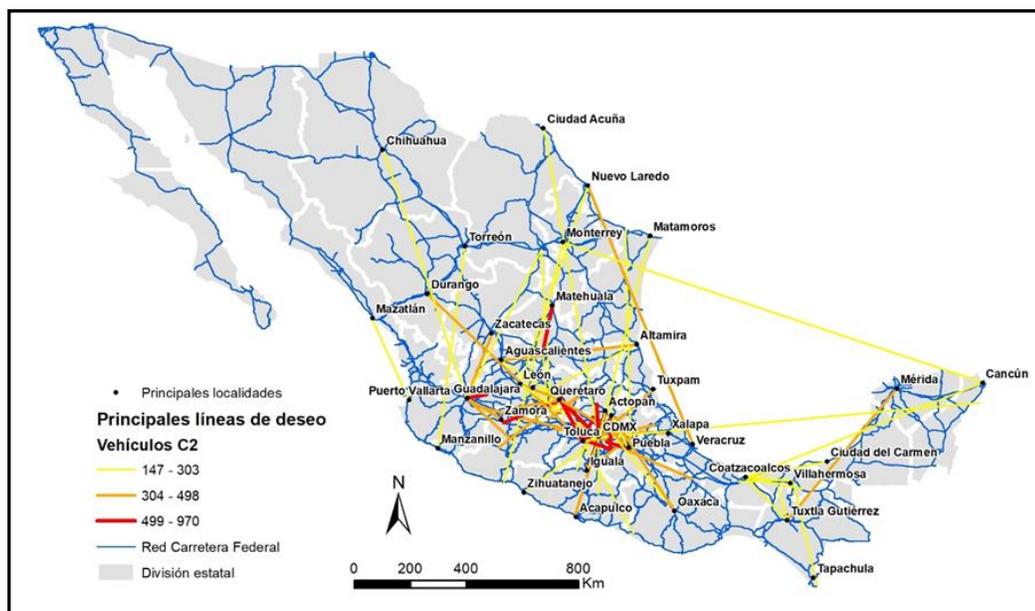


Figura 2.3. Líneas de deseo para camiones C2 (elaboración propia)

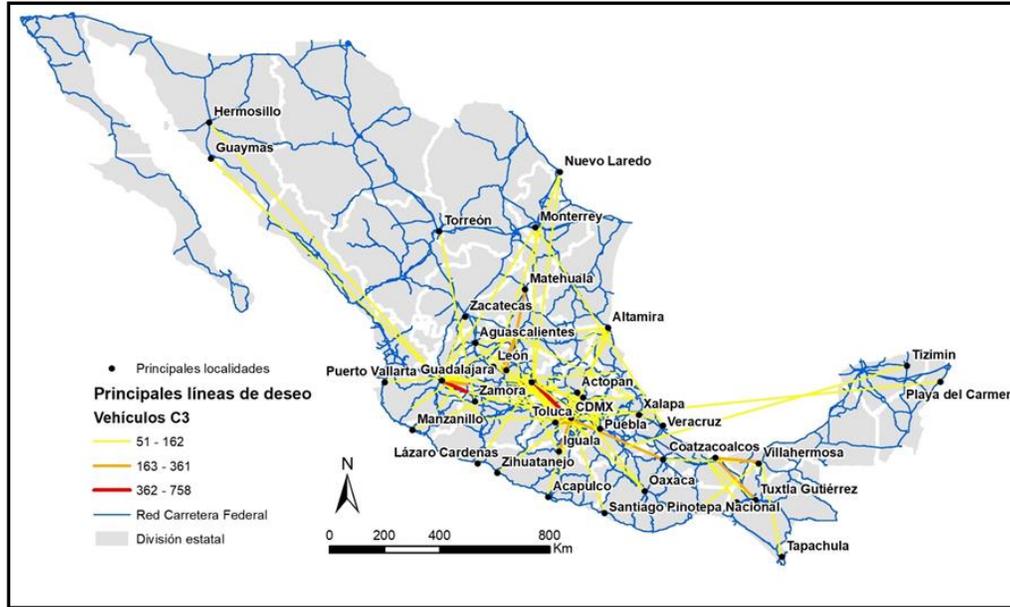


Figura 2.4. Líneas de deseo para camiones C3 (elaboración propia)

Las figuras 2.5 a 2.7 muestran líneas de deseo para los vehículos articulados.

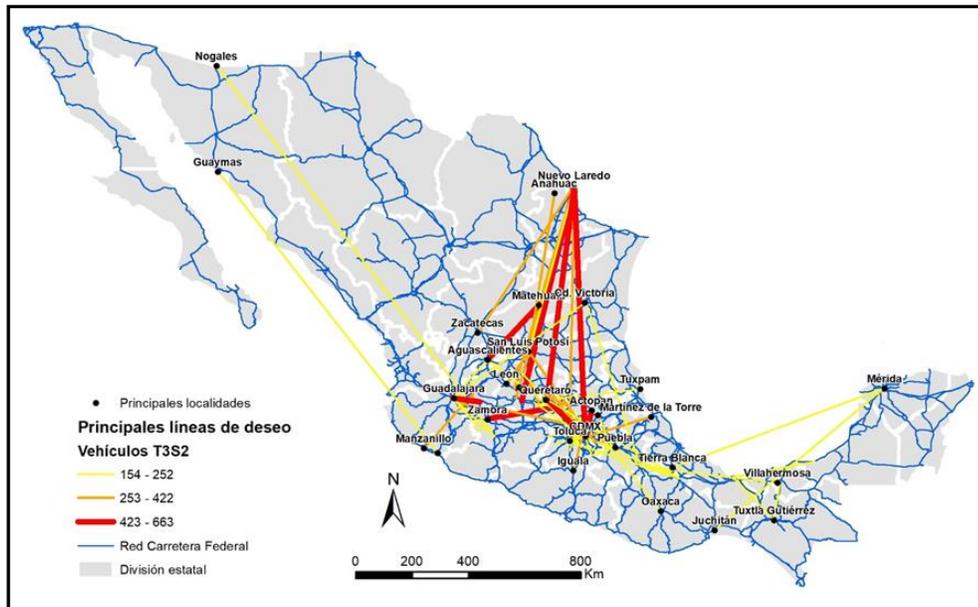


Figura 2.5. Líneas de deseo para camiones T3S2 (elaboración propia)

En el caso del articulado T3S2, la figura 2.5 muestra una dominancia del destino Nuevo Laredo a partir de orígenes en CDMX, Querétaro y Aguascalientes, pasando por Matehuala y Ciudad Victoria. Este comportamiento sugiere una vocación marcada de esta configuración a transportar carga del comercio exterior.

La falta de cobertura en el sur y la escasa participación en el sureste contrasta con los movimientos observados en los camiones unitarios C2 y C3.

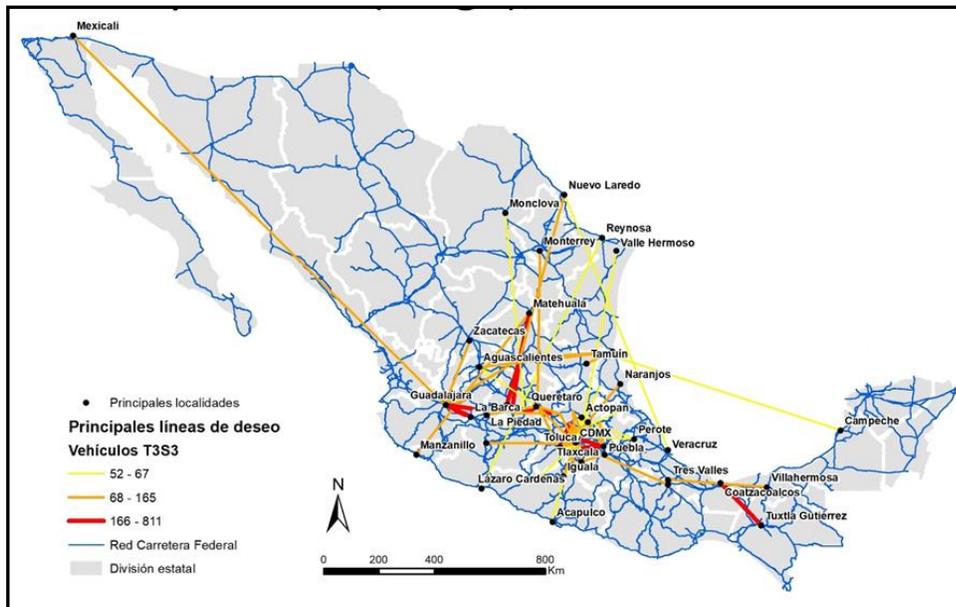


Figura 2.6. Líneas de deseo para camiones T3S3 (elaboración propia)

Para las configuraciones articuladas T3S3, la figura 2.6 muestra un patrón diferente al del T3S2. En este caso, se observan flujos importantes de CDMX a Puebla, Toluca y Querétaro; de León a Matehuala y de Guadalajara a Zamora.

En el sur, se nota movimiento importante de Coahuila de Zaragoza a Tuxtla Gutiérrez; en la costa del Pacífico, el T3S3 cubre conexiones de Guadalajara a Mexicali y de Zihuatanejo a Tijuana. Estos últimos movimientos no se ven en el articulado T3 S2.

En la figura 2.7 se observan las líneas de deseo para el articulado T3-S2-R4, que es la configuración de mayor capacidad de carga.

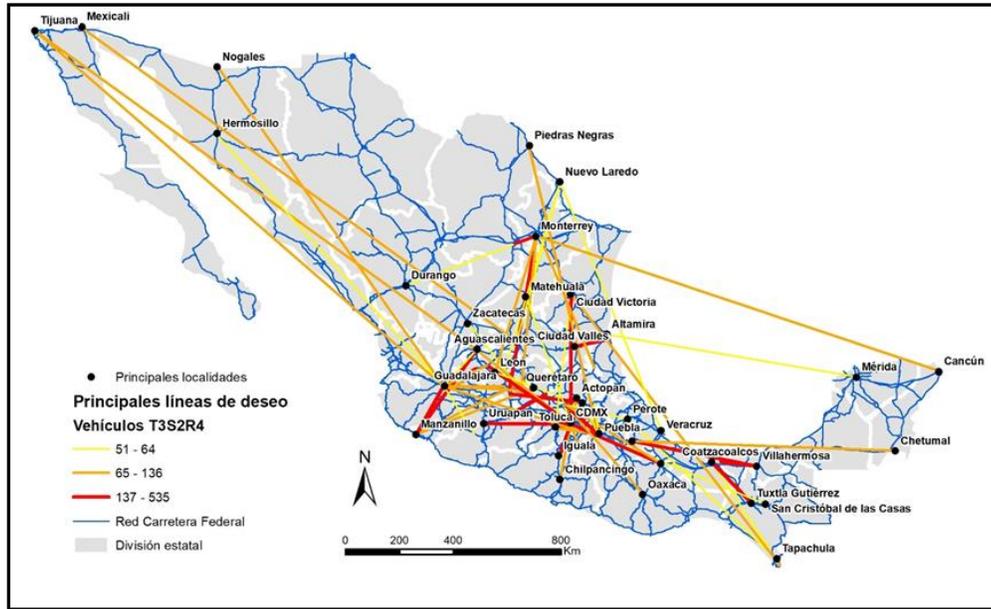


Figura 2.7. Líneas de deseo para camiones T3S2R4 (elaboración propia)

En el mapa de la figura 2.7 se puede observar una participación importante en flujos con origen en Guadalajara y destinos en Nogales, Manzanillo y Querétaro; conexiones de Mexicali a Aguascalientes – León, así como de Monterrey a Saltillo y de Coahuila a Tuxtla Gutiérrez y a Villahermosa.

2.2 La estimación de flujos

Los principales patrones de origen-destino de las configuraciones vehiculares mostradas en la sección anterior dan una idea de las preferencias de destinos en cada caso e identifican los orígenes más relevantes para las clases vehiculares, pero no dan detalle de la potencial ocupación de la red carretera para los tráficos esperados.

En esta sección se muestran los resultados del modelo de asignación para determinar los flujos de equilibrio con la misma información O-D utilizada en la generación de líneas de deseo. En los mapas a continuación, se muestran los correspondientes patrones de flujo para las clases vehiculares revisadas en los mapas de líneas de deseo.

La figura 2.8 muestra el resultado del modelo de asignación para el caso de los automóviles.

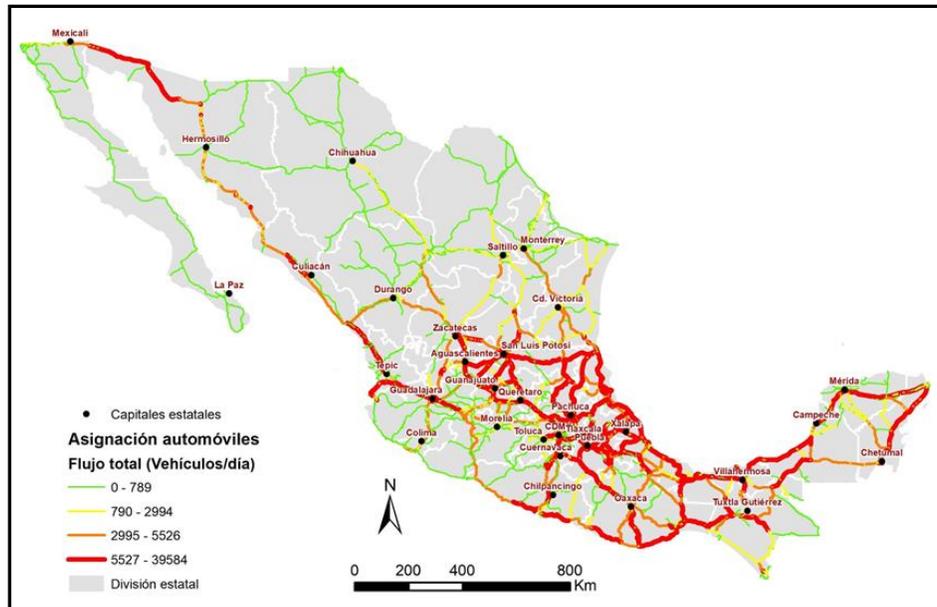


Figura 2.8. Asignación de flujos de automóviles (elaboración propia)

En esta figura 2.8, se observan los flujos más importantes partiendo de la parte central del país hacia la zona del Bajío, en las rutas CDMX – Querétaro – San Luis Potosí y León, así como hacia Aguascalientes y Zacatecas; CDMX – Tlaxcala – Xalapa; CDMX a Puebla y a Cuernavaca. En el sur, una conexión importante de Villahermosa a Coatzacoalcos, así como de Salina Cruz a Arriaga. Otros flujos de interés en este mapa van hacia Mexicali partiendo de Guadalajara a lo largo de la costa del Pacífico, y en la Península de Yucatán, en la ruta Campeche - Mérida – Cancún - Chetumal.

En la figura 2.9 se muestra la estimación de flujos para el movimiento de autobuses, con los flujos más importantes en el centro del país, hacia Puebla, Tlaxcala, Pachuca, Querétaro, Morelia y la costa de Veracruz.

En la península de Baja California, el patrón de flujos es cualitativamente similar al de automóviles, pero la diferencia numérica es importante; mientras que los flujos de autobuses están en el rango de 1 a 56 unidades al día, el correspondiente de automóviles está en el rango de 1 a 789 diarios. En la costa del Pacífico se observa movimiento importante en la ruta Guadalajara a Mexicali, a diferencia del caso de automóviles, que es menor en esa ruta.

En la península de Yucatán, también se observa una dominancia del movimiento de automóviles en el flujo Mérida – Cancún – Chetumal.

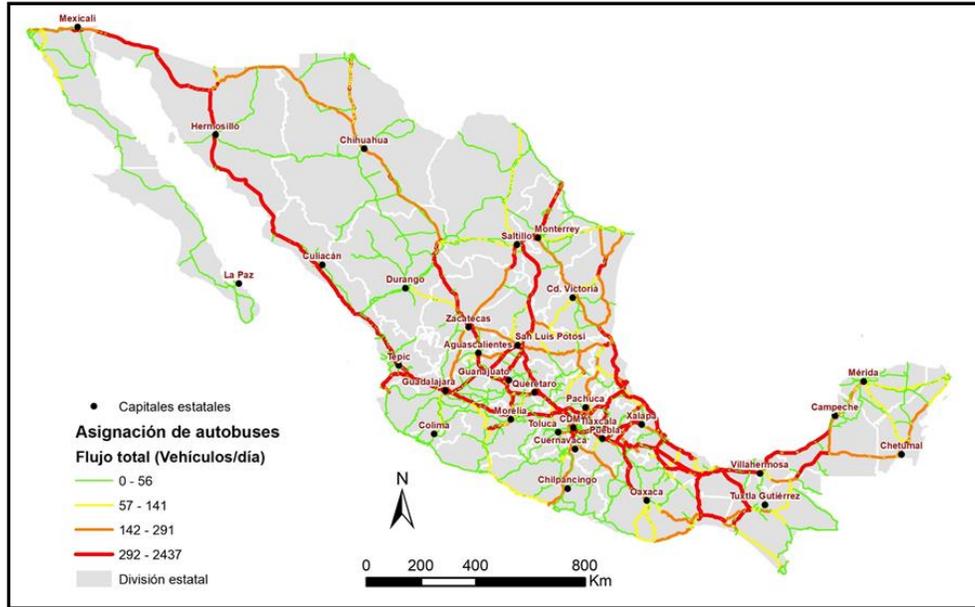


Figura 2.9. Asignación de flujos de autobuses (elaboración propia)

La figura 2.10 muestra los flujos para los camiones C2. Aquí se observan los niveles más importantes en rutas que salen de CDMX a ciudades circundantes, como Querétaro, Puebla, Tlaxcala, Toluca y Pachuca. También resaltan los flujos que van de Guadalajara a Nuevo Laredo y de San Luis Potosí a Nuevo Laredo, así como los de Villahermosa a Campeche y a Tuxtla Gutiérrez.

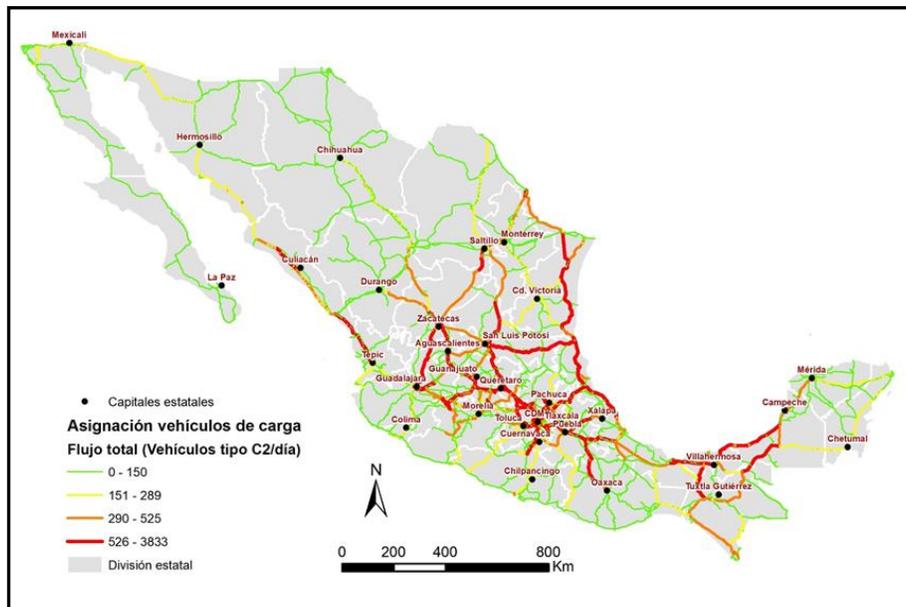


Figura 2.10. Asignación de flujos de camiones C2 (elaboración propia)

En la figura 2.11 se tienen los flujos correspondientes a los camiones C3, donde se observa que hay niveles importantes en la ruta CDMX – Querétaro – San Luis Potosí, así como flujos relevantes en la ruta Guadalajara – Aguascalientes – Zacatecas – Saltillo – Nuevo Laredo. En esta ruta desde Guadalajara hasta Nuevo Laredo, hay similitud con los flujos de camiones C2, tanto por la ruta trazada como por los rangos de veh/día en cada caso.

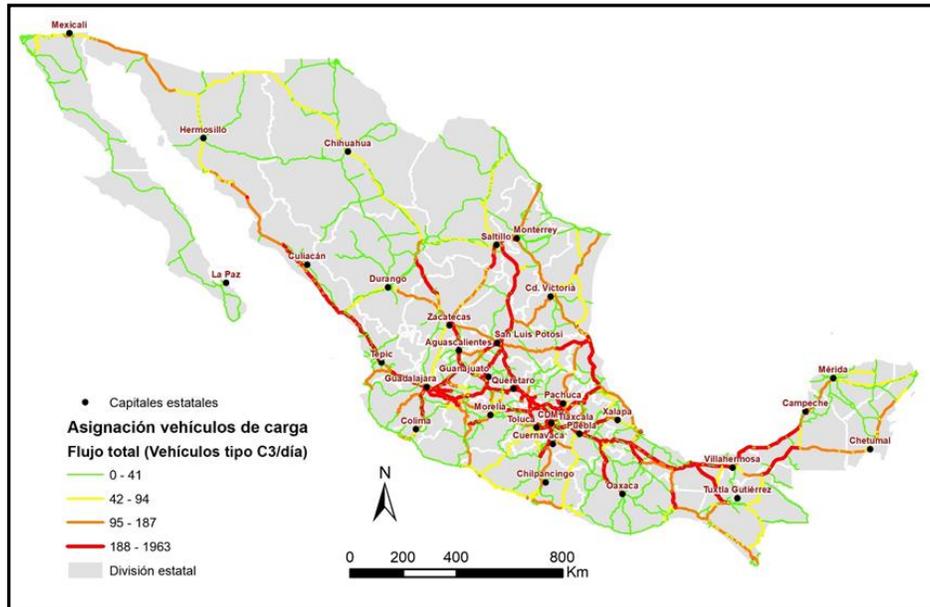


Figura 2.11. Asignación de flujos para camiones C3 (elaboración propia)

La figura 2.12 muestra los flujos de asignación para camiones T3-S2.

Los flujos más importantes van de CDMX hacia Nuevo Laredo pasando por Querétaro, San Luis Potosí y Monterrey, así como flujos también importantes de Guadalajara a Nuevo Laredo pasando por León y San Luis Potosí, así como la ruta en la costa del Pacífico que va de Tepic a Mexicali pasando por Culiacán y Hermosillo.

En la figura 2.13 se tienen los flujos de asignación para la configuración T3-S3.

Los patrones de flujo son cualitativamente similares a los del articulado T3-S2, con niveles importantes en la ruta CDMX a Nuevo Laredo pasando por Querétaro, San Luis Potosí y Monterrey, pero numéricamente hay diferencias notables. Mientras que los articulados T3-S2 tienen los niveles más altos de flujo en el rango aproximado de 500 a 5,100 veh/día, los T3-S3 están en el rango aproximado de 150 a 900 veh/día.

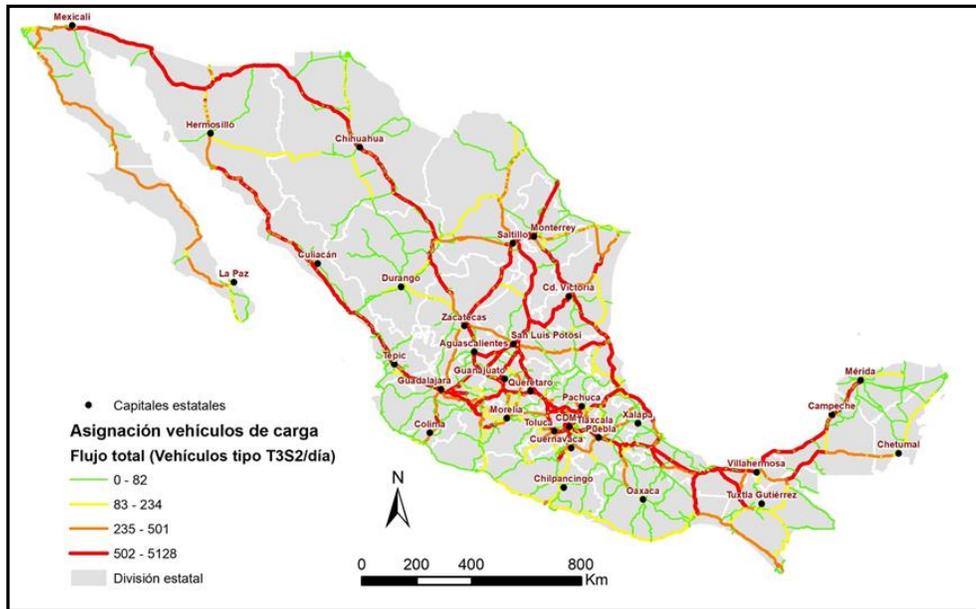


Figura 2.12. Asignación de flujos para camiones T3S2 (elaboración propia)

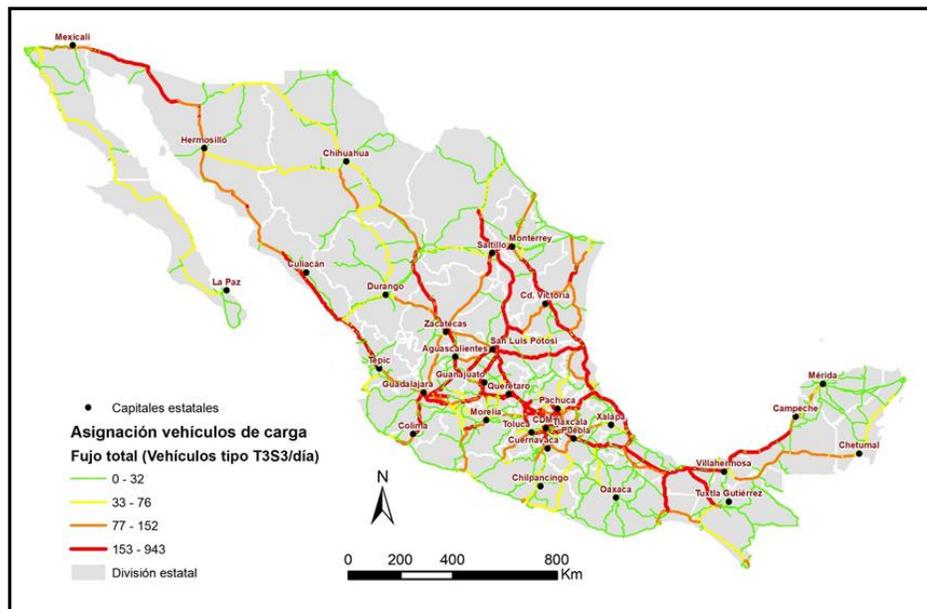


Figura 2.13. Asignación de flujos para camiones T3S3 (elaboración propia)

Para la configuración T3-S2-R4, la figura 2.14 muestra la asignación de flujos correspondiente.

En este mapa se observan flujos importantes en el corredor que va de CDMX a Nuevo Laredo, de modo parecido a las otras configuraciones articuladas, igualmente en las rutas de Chihuahua a Mexicali; así como la ruta de Manzanillo a Guadalajara y León siguiendo luego al corredor hacia Nuevo Laredo.

∴ Aunque los niveles más elevados de flujos están en el rango de 200 a 1,650 veh/día aproximadamente, ya que esta configuración es de doble remolque, su movimiento de carga es comparable a la de los articulados T3-S2.

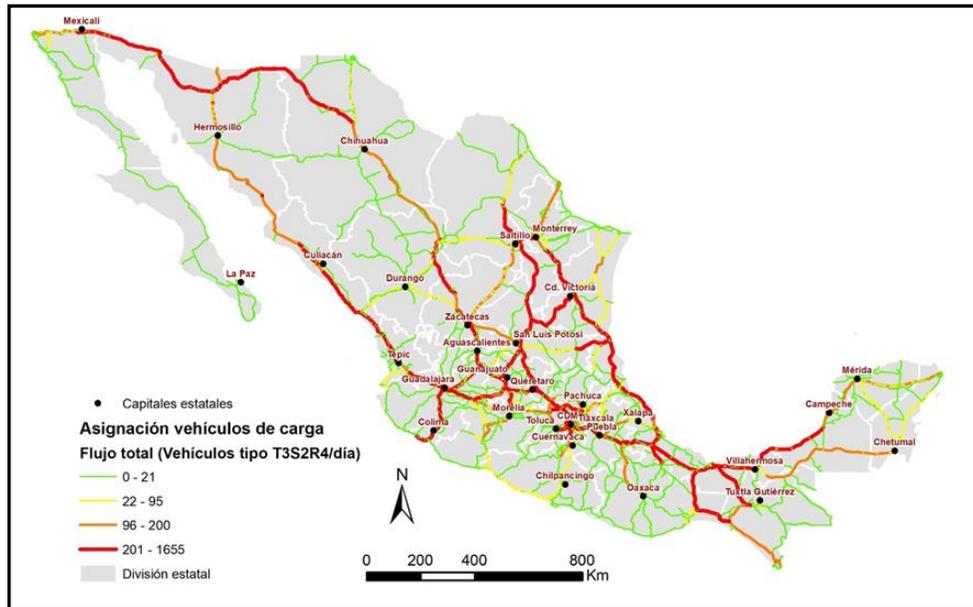


Figura 2.14. Asignación de flujos para camiones T3S2R4 (elaboración propia)

Para complementar las vistas de flujos anteriores, con la nueva información agregada al modelo, se realizó un ejercicio adicional considerando la totalidad de tipos vehiculares para conformar el flujo total en el sistema carretero, aunque no se consideraron efectos de peaje en esta primera aproximación para determinar las preferencias de rutas en el sistema carretero nacional.

En la figura 2.15 se muestra este ejercicio con datos del año 2015.

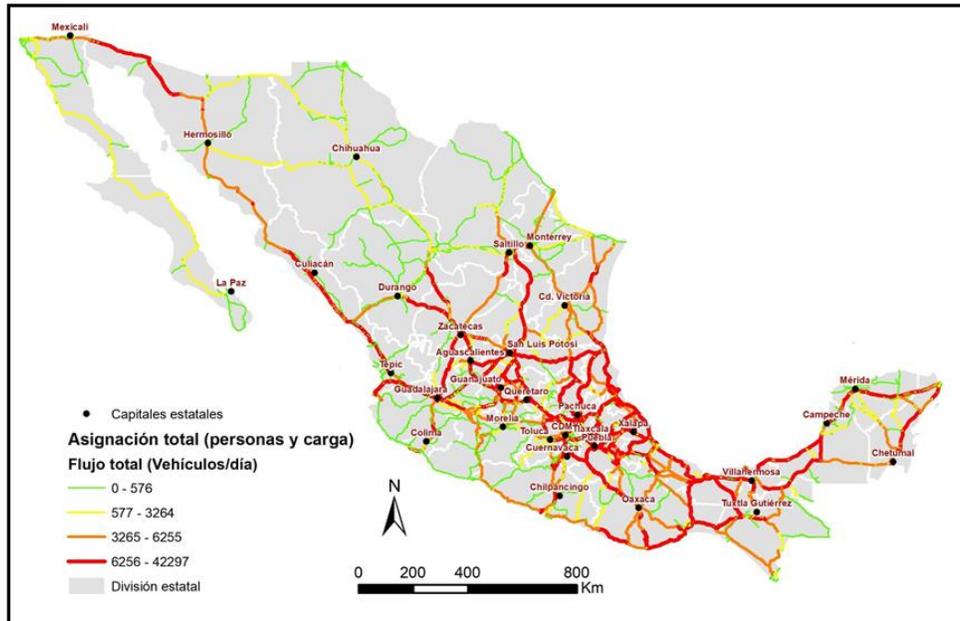


Figura 2.15. Asignación de flujos del total de vehículos (elaboración propia)

La figura 2.15 con el mapa de asignación de la totalidad de los vehículos permite observar que los flujos más altos ocurren entre el centro del país, las principales ciudades del Bajío (Querétaro, León, Aguascalientes) y puntos importantes en la costa de Veracruz, pasando por Puebla y Tlaxcala.

En la zona norte, se observan flujos importantes hacia la frontera, pasando por San Luis Potosí, Monterrey, Saltillo y Ciudad Victoria, hacia Piedras Negras, Nuevo Laredo y Reynosa. Los flujos en la península de Baja California son mucho menores que en el resto del sistema carretero. En la península de Yucatán hay flujos relevantes entre Mérida, Campeche y Cancún, los cuales conectan al interior del país a través de Villahermosa y conexiones hacia Chiapas.

2.3 El nivel de servicio

En esta sección se revisa el procedimiento de estimación de capacidad y nivel de servicio. La relación entre el nivel de servicio de una carretera y el cociente entre el volumen del flujo vehicular y la capacidad de la vía ha sido tratada en Torres et. al. (2013), con base en el Manual de Capacidad Vial de la SCT.

Para estimar el nivel de servicio en que opera una carretera, se considera el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), y su composición vehicular, a partir de los cuales se estima el volumen horario de máxima demanda, mismo que constituye el insumo para obtener el volumen de servicio con que cuenta la carretera actual. En el manual de la SCT (como en el *Highway Capacity Manual* norteamericano) se tratan distintos

escenarios de análisis, que consideran uno, dos o más carriles por sentido de circulación; enseguida se describen los dos más comunes:

Caso 1. Nivel de servicio considerando un carril por sentido.

Para determinar el nivel de servicio se parte de la siguiente expresión:

$$(VS)_i = C \frac{V}{C_i} fD fA fP fVP$$

Donde:

$(VS)_i$ = Volumen de servicio para el nivel de servicio i , en *vph* en ambos sentidos de circulación. Este volumen de servicio puede convertirse a volumen multiplicando por el factor de hora de máxima demanda.

C = Capacidad en condiciones ideales en ambas direcciones (2800 vph).

$\frac{V}{C_i}$ = Máxima relación Volumen/Capacidad asociada al nivel de servicio i .

fD = Factor de ajuste por efecto de la distribución direccional. Su valor es 1 cuando la distribución es 50/50, y disminuye conforme la relación se va alejando.

fA = Factor de ajuste por efecto de restricciones en el ancho de carril y acotamientos o distancia a obstáculos laterales.

De esta forma, para una carretera de dos carriles, el nivel de servicio depende además de la proporción del tramo en el que se pueden realizar rebases con respecto a la longitud total y del tipo de terreno.

Por ejemplo, para una proporción de tramo con posibilidad de rebasar de 50/50 en un terreno plano, el nivel de servicio queda como se muestra en la tabla siguiente.

Niv.Serv.	Capac.	V/C _i
A	2800	0.08
B	2800	0.20
C	2800	0.35
D	2800	0.60
E	2800	1.00

La proporción V/C_i cambia en tramos con posibilidad de rebasar diferente a la relación 50/50. Por otra parte, la relación V/C_i cambia también cuando se trata de terrenos en lomerío o en montaña.

El factor de ajuste fA que agrega el efecto de restricciones de ancho de carril y de acotamientos, se obtiene como indica el cuadro siguiente.

Ancho de acotamiento	Ancho de carril			
	3.5 m		3.3 m	
	A-D	E	A-D	E
1.8 m	1.00	1.00	0.93	0.94
1.2 m	0.92	0.97	0.85	0.92
0.6 m	0.81	0.93	0.75	0.88
0.0 m	0.70	0.88	0.65	0.82

Los otros factores referidos son:

fP = Factor de ajuste por efecto sobre los automóviles de la pendiente en tangentes verticales. Es igual a uno, si el análisis es generalizado.

fVP = Factor de ajuste por efecto de vehículos pesados. Para análisis generalizados se obtiene de la siguiente expresión.

$$fVP = (Pp + PcEc + PrEr + PbEb)^{-1}$$

Donde:

Pp, Pc, Pr y Pb = las proporciones de automóviles, camiones, vehículos recreativos y autobuses.

Ec, Er y Eb = Los automóviles equivalentes respectivos, que se obtienen del siguiente cuadro.

Tipo de vehículo	Niv.Serv.	Terreno		
		Plano	Lomerío	Montañoso
Camión	A	2	4	7
	B-C	2.2	5	10
	D-E	2	5	12
Autobús	A	2.2	3.2	5
	B-C	2.5	3.9	5.2
	D-E	1.6	3.3	5.2
Recreativo	A	1.8	3	5.7
	B-C	2	3.4	6
	D-E	1.6	2.9	6.5

Por otro lado, para carreteras multicarril, la capacidad y el nivel de servicio están en función de la velocidad de proyecto, como se puede ver en la siguiente tabla.

Vel. de proyecto (km/h)	100	90	80	70
Capacidad (veh/carril)	2200	2100	2000	1900
Proporciones de ocupación para nivel de servicio				
A	0.32	0.3	0.28	0.26
B	0.5	0.47	0.44	0.41
C	0.72	0.68	0.64	0.59
D	0.92	0.89	0.85	0.81
E	1	1	1	1

Caso 2. Nivel de servicio considerando una carretera multicarril.

Al igual que para el caso de carreteras de dos carriles de circulación (un carril por sentido), en carreteras de dos o más carriles por sentido de circulación, se puede obtener el nivel de servicio, pero ahora con la siguiente expresión.

$$(VS)_i = C \frac{V}{C_i} N f_A f_c f_{VP}$$

Donde: N = Número de carriles por sentido.

f_c = Factor de ajuste por efecto de los conductores. Es de 1.00 cuando están familiarizados con la autopista; en caso contrario varía entre 0.90 y 0.75.

Los factores son prácticamente los mismos que en el caso de una carretera de dos carriles, aunque cambian los valores que éstos toman. La capacidad por carril en condiciones ideales es de 2,000 automóviles por hora por carril (aphpc) para velocidades de proyecto de 90 km/h o mayores, y de 1,900 aphpc para velocidades menores. La razón $\frac{V}{C}$ depende de la velocidad de proyecto de la carretera, como muestra el cuadro siguiente.

VELOCIDAD DE PROYECTO EN km/h						
Niv. Serv.	110		100-90		80	
	Vel.	V/C	Vel.	V/C	Vel.	V/C
A	95	0.36	95	0.36	95	0.36
B	90	0.6	79	0.52	79	0.52
C	84	0.80	74	0.70	68	0.68
D	70	0.95	66	0.86	61	0.86
E	48	1.00	48	1.00	48	1.00
F						

El factor fA depende del ancho del carril y la distancia libre a obstáculos, tal como se muestra en el siguiente cuadro.

N ambos sentidos	Distancia libre lateral	Ancho de carril	
		3.5 m	3.3 m
4	1.8	1	0.97
	1.5	0.99	0.96
	1.2	0.99	0.96
	0.9	0.98	0.95
	0.6	0.97	0.94
	0.3	0.93	0.9
	0	0.9	0.87
6 a 8	1.8	1	0.96
	1.5	0.99	0.95
	1.2	0.99	0.95
	0.9	0.98	0.94
	0.6	0.97	0.93
	0.3	0.95	0.92
	0	0.94	0.91

Este factor disminuye para carriles más angostos.

El factor fVP se calcula con la expresión siguiente

$$fVP = \frac{1}{1 + Pc(Ec - 1) + Pr(Er - 1) + Pb(Eb - 1)}$$

Los valores de automóviles equivalentes E_c , E_b y E_r se obtienen del siguiente cuadro.

Tipo de vehículo	Terreno		
	Plano	Lomerío	Montañoso
Camión	1.7	4.0	8.0
Autobús	1.5	3.0	5.0
Recreativo	1.6	3	4

3 El marco de planeación: principales corredores portuarios y ZEE

Dos temas principales se eligieron para conformar el marco de planeación para este trabajo.

El primero hace referencia a los principales corredores portuarios del país, que representan una parte muy importante del sistema de transporte nacional, particularmente como soporte del comercio internacional de México.

El segundo considera las Zonas Económicas Especiales (ZEE), un proyecto de desarrollo para las áreas geográficas con mayor retraso económico del país, y que es impulsado por el gobierno federal a través de diversos apoyos económicos, fiscales y financieros.

En este trabajo se comienza con un breve análisis de la zona del Istmo de Tehuantepec, dada la relevancia que tiene en el proyecto de las ZEE; las estimaciones estadísticas de tendencia se hicieron con el software Minitab.

3.1 Los principales corredores portuarios

El movimiento de carga a través de los puertos marítimos es de gran relevancia para el comercio exterior de México. En este contexto, cuatro de los puertos nacionales resaltan como los más importantes: en el Golfo de México, Veracruz y Altamira; en el Pacífico, Manzanillo y Lázaro Cárdenas.

La participación de estos puertos en el movimiento de carga de altura y el de contenedores se muestra enseguida.

La figura 3.1 muestra el reparto de las toneladas de carga entre movimientos de altura y movimientos de cabotaje en ambos litorales entre 2015 y 2016; donde se observa claramente cómo los movimientos de altura resultan los más importantes en ambos casos.

Estos movimientos de carga marítima de altura están directamente relacionados con el comercio exterior; y tienen una conexión muy directa con el movimiento de carga terrestre, ya sea por autotransporte o por ferrocarril, de ahí la importancia que tienen en el desempeño de esos modos de transporte.

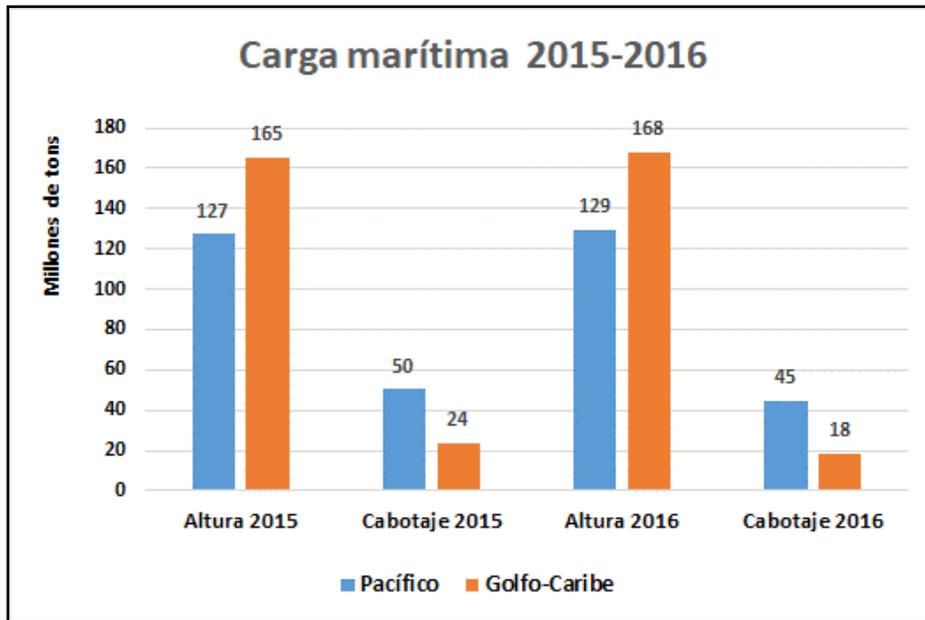


Figura 3.1. Toneladas de carga marítima 2015-2016 (SCT, 2016).

En el movimiento de contenedores, la dominancia de estos cuatro puertos en los últimos años es evidente. La figura 3.2 muestra la participación de Lázaro Cárdenas y Manzanillo en el movimiento de contenedores en el litoral Pacífico, donde cubren entre los dos más del 92% del movimiento total en esas costas.

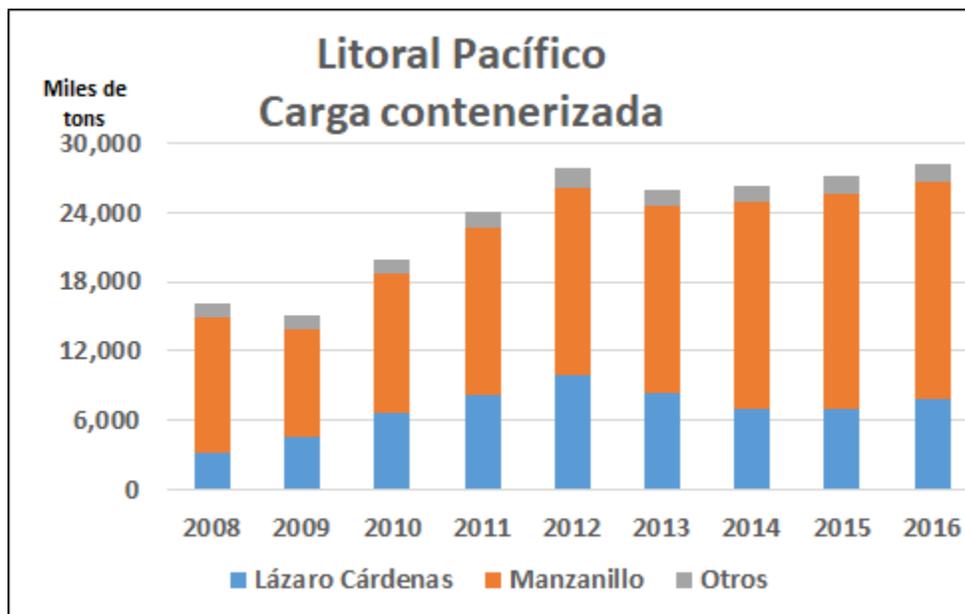


Figura 3.2. Carga contenerizada 2008-2016. Costa del Pacífico (SCT, 2016).

La figura 3.3 muestra las participaciones de Altamira y Veracruz en la carga contenerizada que se mueve en la costa del Golfo de México, cubriendo entre los dos más del 95% del movimiento total allí.

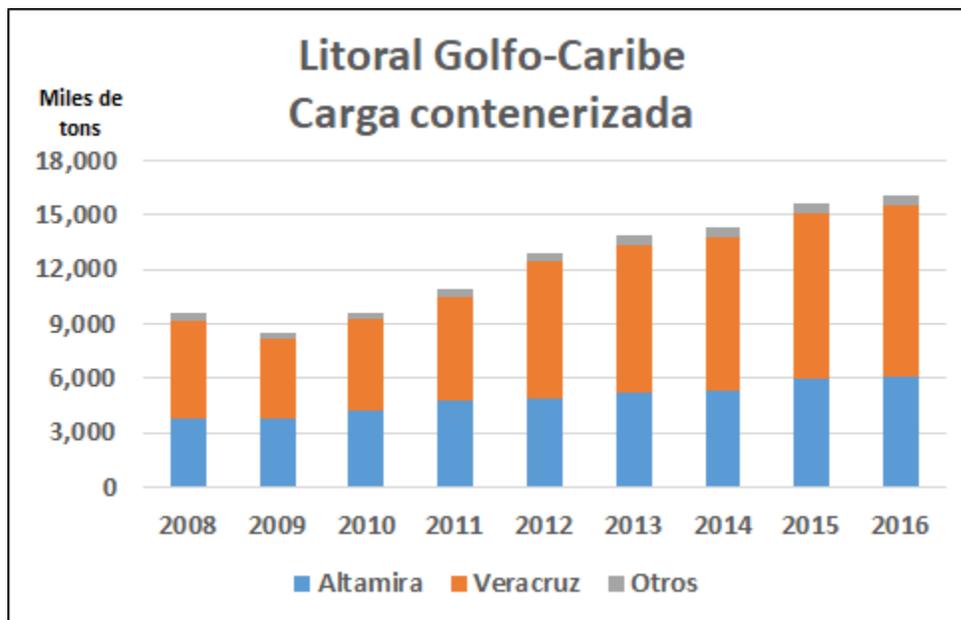


Figura 3.3. Carga contenerizada 2008-2016. Costa del Golfo (SCT, 2016).

Las tasas de crecimiento medio anual de la carga contenerizada en el periodo 2009-2015 son de 7.3% para el litoral Pacífico y 6.6% para el Golfo-Caribe como se muestra en la Tabla 3.1, que también indica las correspondientes tasas de crecimiento para los cuatro puertos dominantes.

Tabla 3.1. Tasa media de crecimiento 2008-2016. Carga contenerizada (elaboración propia)

TCMA 2008 - 2016	
Total Pacífico	7.8%
L. Cárdenas	11.9%
Manzanillo	6.8%
Otros Pacífico	3.8%
Total GolfoCaribe	7.1%
Altamira	6.5%
Veracruz	7.9%
Otros Golfo Caribe	3.1%

Las variaciones en el crecimiento de la carga contenerizada para los cuatro puertos dominantes se muestran en la figura 3.4.

En esta gráfica se observa que solamente Lázaro Cárdenas ha tenido una tendencia a la baja en los últimos años del periodo, misma que recupera en 2016, mientras que los otros puertos tienen, en general, tendencias crecientes.

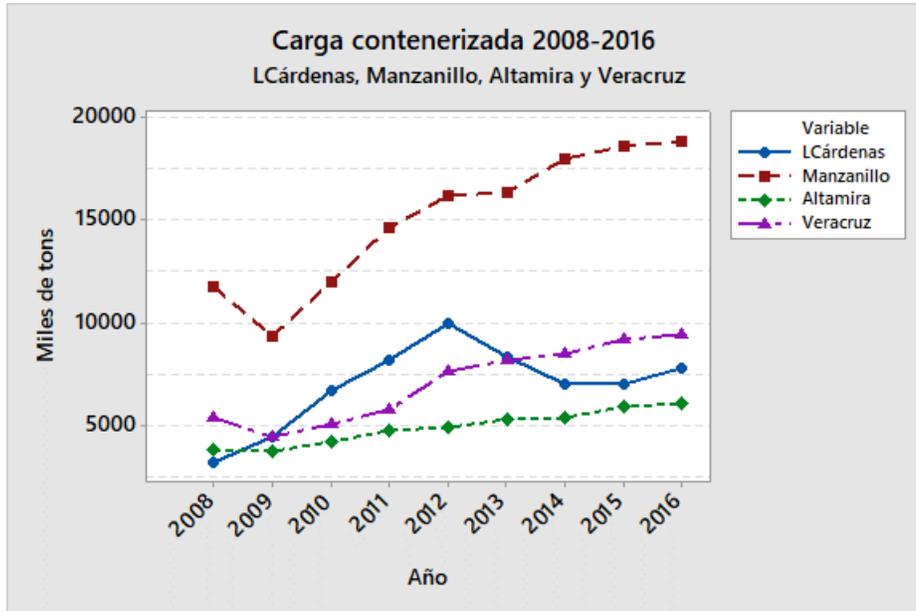


Figura 3.4. Carga contenerizada 2008-2016 de los cuatro puertos- (elaboración propia con base en SCT, 2016).

Las figuras 3.5 y 3.6 muestran las estimaciones de tendencia lineal del movimiento total de contenedores para ambos litorales; puede verse que en los dos casos hay una tendencia creciente al término de 2016.

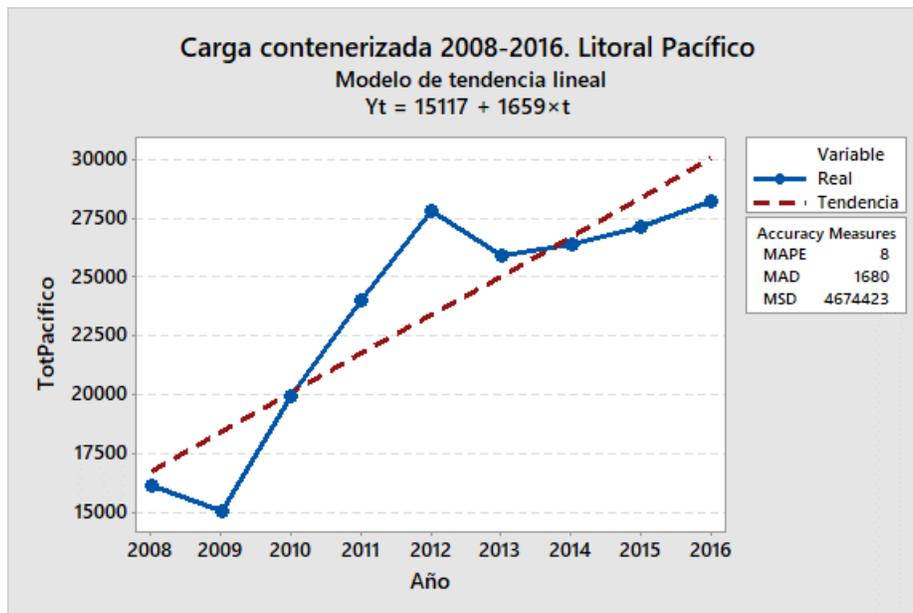


Figura 3.5. Tendencia carga contenerizada 2008-2016. Litoral Pacífico- (elaboración propia con base en SCT, 2016).

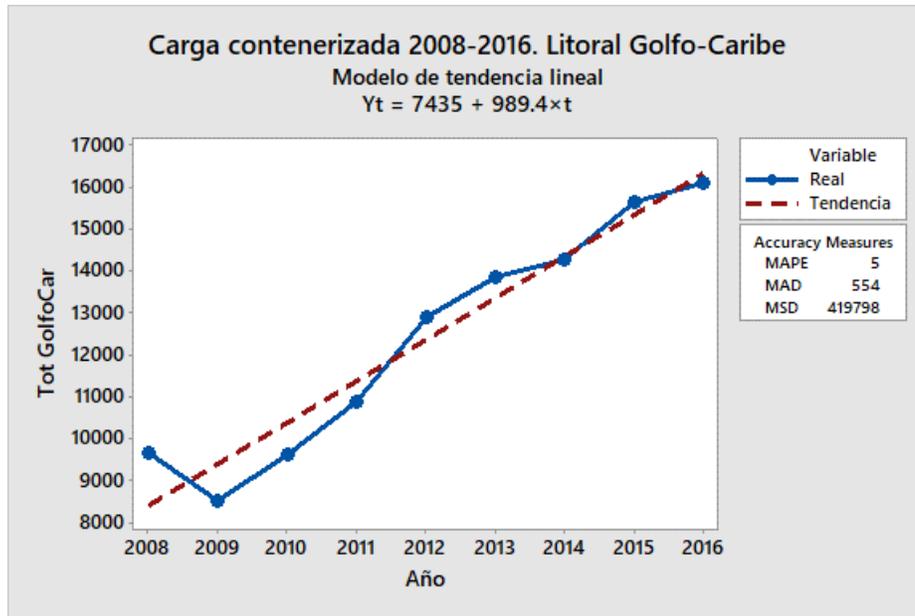


Figura 3.6. Tendencia de carga contenerizada 2008-2016. Litoral Golfo-Caribe. (elaboración propia con base en SCT, 2016).

La tabla 3.2 muestra el resumen de tendencias lineales, los errores de estimación y los valores pronosticados en ambos litorales para los siguientes tres años.

Tabla 3.2. Resumen de tendencias en carga contenerizada (elaboración propia).

Litoral	Medidas de precisión			Pronóstico (miles de tons)		
	Tendencia lineal	MAPE	MAD	2017	2018	2019
Pacífico	$Y_t = 15117 + 1659 \times t$	8	1680	31,704.9	33,363.8	35,022.6
Golfo-Caribe	$Y_t = 7435 + 989.4 \times t$	5	554	17,329.4	18,318.8	19,308.3

Las medidas de precisión que se muestran son el error porcentual absoluto medio (*mean absolute percentage error, MAPE*) y el error absoluto medio (*mean absolute deviation MAD*) de los modelos de tendencia lineal.

Los errores porcentuales medios son 8% y 5% para Pacífico y Golfo respectivamente, mientras que los errores absolutos medios correspondientes fueron de 1,680 y 554 miles de toneladas, indicando un desempeño aceptable de los modelos de tendencia.

El comportamiento de la carga marítima total en el periodo de 2005 a 2016 se muestra en la Figura 3.7 para carga marítima de altura y de cabotaje.

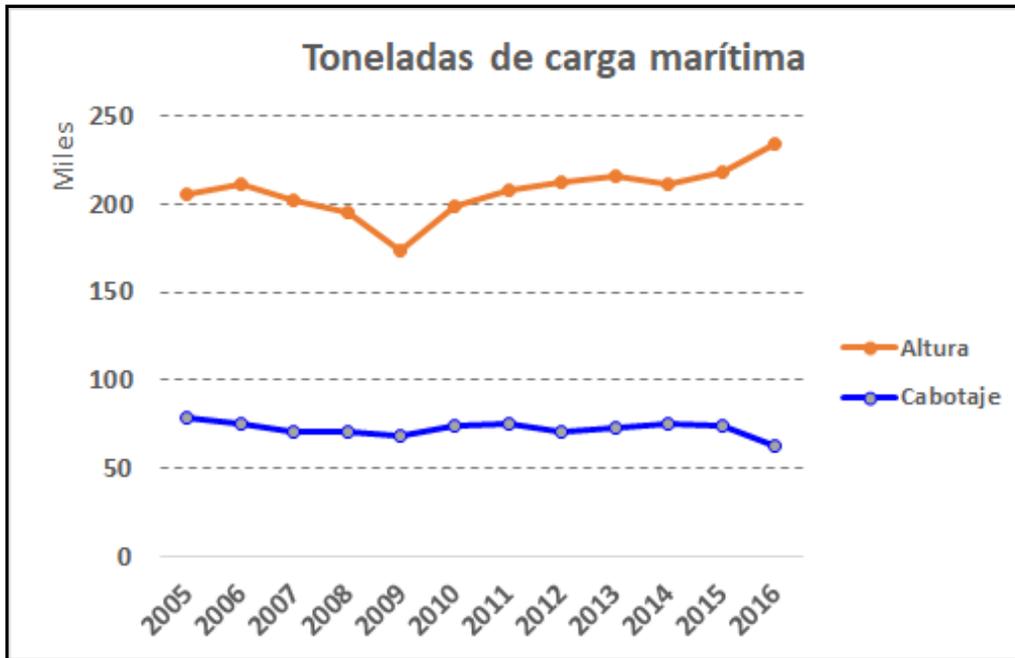


Figura 3.7. Carga marítima 2005-2016 (Anuarios Estadísticos SCT 2012 a 2016).

La evolución de la carga marítima de altura, que es la más relevante, se muestra con un análisis de tendencia lineal, ilustrado en la figura 3.8. El análisis estadístico de la tendencia lineal es como sigue.

Trend Analysis for TOT_alt

```
Data      TOT_alt
Length    11
NMissing  0
```

Fitted Trend Equation

$$Y_t = 189703 + 2965 \times t$$

Accuracy Measures

```
MAPE      4
MAD       7804
MSD      127518269
```

Forecasts

Period	Forecast
12	225284
13	228249

Las medidas de precisión, MAPE = 4% y MAD = 7,804 miles de toneladas dan una representación lineal razonable. Los pronósticos de los periodos 12 y 13 corresponden a los años 2017 y 2018, con 225,284 y 228,249 miles de toneladas esperadas, respectivamente.

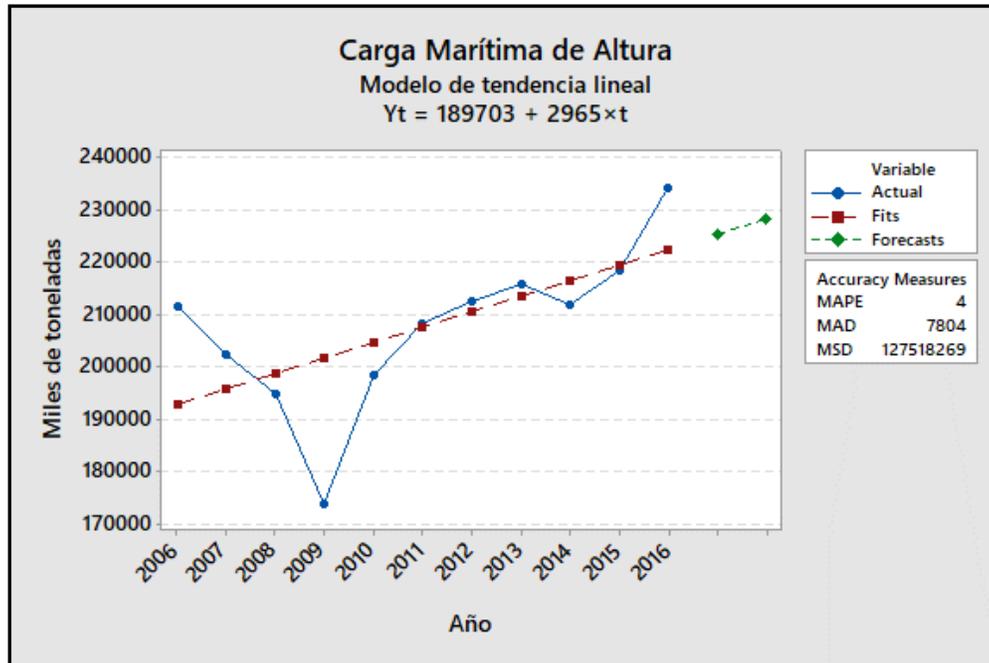


Figura 3.8. Tendencia lineal de la carga marítima de altura (elaboración propia).

3.2 Las Zonas Económicas Especiales

En junio de 2016, la Presidencia de la República publicó en el Diario Oficial de la Federación, la *Ley Federal de Zonas Económicas Especiales*, que tiene entre sus objetivos declarados:

“...impulsar el crecimiento económico sostenible que, entre otros fines, reduzca la pobreza, permita la provisión de servicios básicos y expanda las oportunidades para vidas saludables y productivas, en las regiones del país que tengan mayores rezagos en desarrollo social, a través del fomento de la inversión, la productividad, la competitividad, el empleo y una mejor distribución del ingreso entre la población” (DOF, 01/jun/2016).

Una Zona Económica Especial (ZEE) se define como un área geográfica bien delimitada, en una región que tenga ventajas naturales y logísticas para desarrollar una alta productividad; la cual, a su vez, beneficiará a la población local dándole las mismas posibilidades de progreso y bienestar que tiene el resto del país. Los beneficios esperados para una ZEE incluyen facilidades fiscales y laborales, marcos regulatorios ágiles, sistemas aduaneros especiales, construcción de infraestructura de primer nivel, programas de capacitación; y estímulos asociados a condiciones preferenciales.

El proyecto federal de ZEE ha identificado tres áreas geográficas susceptibles de desarrollo:

- a) El área del Puerto de Lázaro Cárdenas, incluyendo municipios vecinos de Michoacán y Guerrero
- b) El Corredor del Istmo de Tehuantepec, abarcando los puertos de Coatzacoalcos en Veracruz y Salina Cruz en Oaxaca, y
- c) La de Puerto Chiapas. La figura 3.9 muestra un bosquejo de estas áreas geográficas (SE, 2016).



Figura 3.9. Primeras Zonas Económicas Especiales (SE, 2016).

En la figura 3.10; se tiene una primera vista del desarrollo económico en estas zonas se puede observar en la evolución del PIB de los estados dentro de las ZEE en los últimos años.

Las participaciones porcentuales de Chiapas, Guerrero, Michoacán y Oaxaca oscilan entre 1.5% y 2.5% aproximadamente en el periodo 2003 – 2016; mientras que la participación porcentual de Veracruz oscila alrededor del 5%.

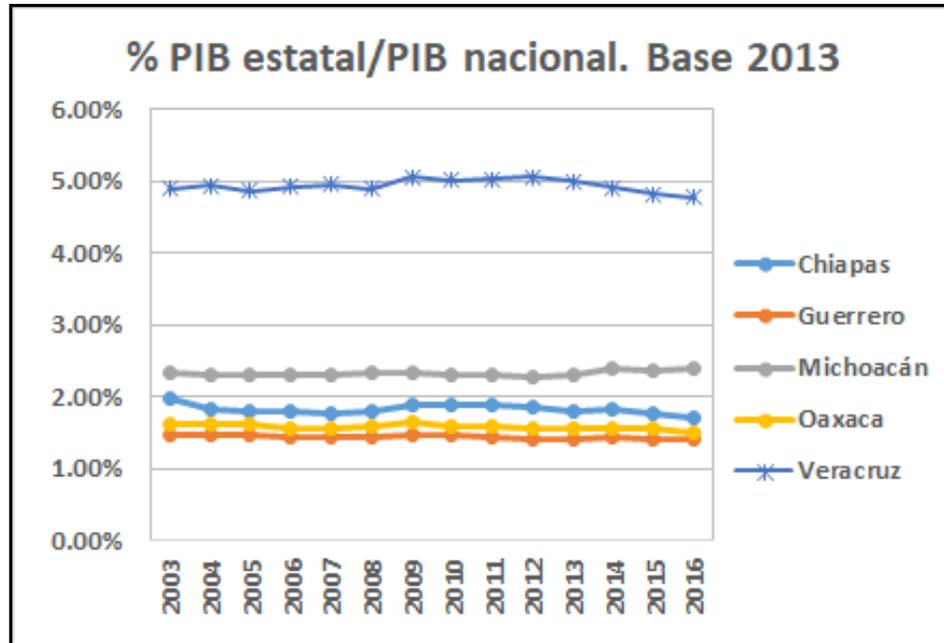


Figura 3.10. Participación del PIB estatal en el Nacional. Zonas Económicas Especiales (con base en datos del BIE, Inegi).

Las tasas de crecimiento del PIB para estos estados se muestran en las figuras 3.11 y 3.12 para el periodo 2004 - 2016.

En estas gráficas se aprecia la caída en el crecimiento del PIB en 2009 para los cinco estados, sin duda reflejo de la crisis económica de ese año, generada por diversos eventos precursores:

“ Durante el segundo trimestre de 2009, la tendencia negativa de la actividad productiva que se venía observando desde los meses previos en la economía mexicana, producto de la contracción de la demanda externa y de su transmisión al mercado doméstico, se vio exacerbada por otros eventos cuyo impacto sobre la actividad económica se estima será temporal. Dentro de éstos destacan: i) el efecto del brote de influenza A(H1N1) sobre los niveles de producción de actividades consideradas de alto riesgo de contagio (restaurantes, hoteles, esparcimiento, comercio al menudeo, entre otras); ii) el paro de actividades en las plantas automotrices de dos empresas armadoras cuyas matrices en Estados Unidos iniciaron un proceso de concurso mercantil; y, iii) el efecto de la Semana Santa sobre los niveles de actividad productiva en abril. A pesar de lo anterior, las perspectivas de una gradual recuperación de la economía estadounidense durante la segunda mitad de 2009 sugieren que la economía mexicana podría empezar a registrar un cambio de tendencia a partir del tercer trimestre de 2009”. (Banco de México, 2009).

La figura 3.11 muestra la variación en las tasas de crecimiento del PIB estatal para Guerrero y Michoacán, que comparten la ZEE de Lázaro Cárdenas y sus alrededores; puede observarse que el patrón de variaciones de los dos estados es semejante cualitativamente, aunque las tasas de crecimiento de Michoacán superan a las de Guerrero en varios años, además de que Michoacán muestra un crecimiento bastante bueno, de 6.5% en 2014.

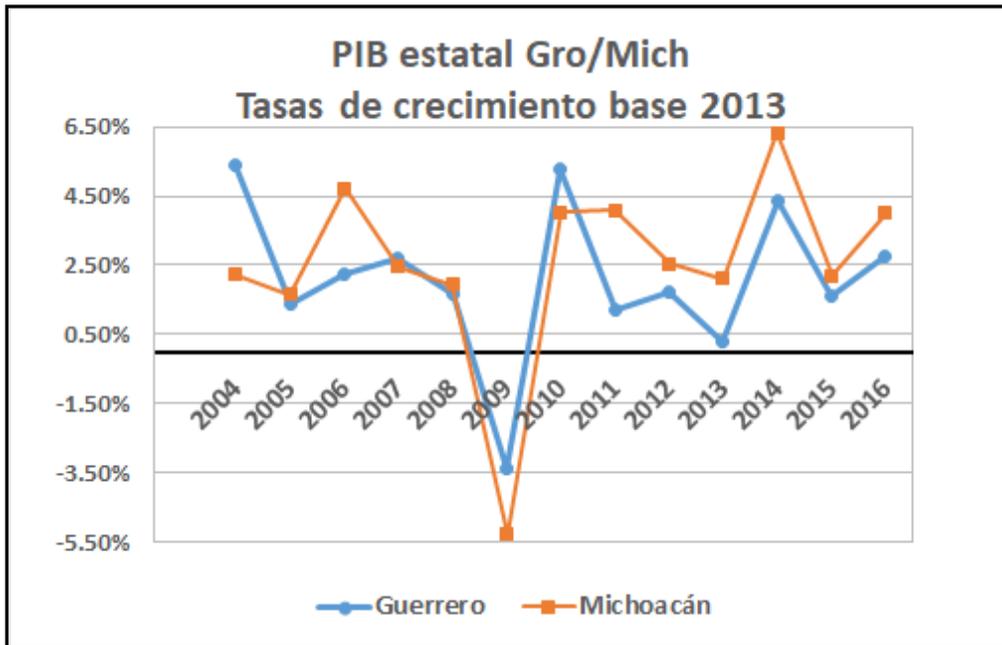


Figura 3.11. Crecimiento del PIB estatal, Guerrero y Michoacán (con base en datos del BIE, Inegi).

En la figura 3.12 se muestran las variaciones en tasas de crecimiento del PIB estatal para Chiapas, Oaxaca y Veracruz. La gráfica muestra que Chiapas es el estado que más valores negativos de crecimiento reporta, en 2004, 2009, 2013, 2015 y 2016.

Los crecimientos más altos, de alrededor del 5%, los muestran Veracruz en 2006 y Chiapas en 2010, el año inmediato posterior a la crisis de 2009. La reducción más notable fue la de Chiapas, con cerca del -4% en 2004.

Las tasas de crecimiento medias (TCMA) en el periodo 2004 – 2016 se muestran en la figura 3.13, donde se observa que solamente Michoacán supera ligeramente a la TCMA del PIB nacional, estando Chiapas con el menor valor de 1.17%.

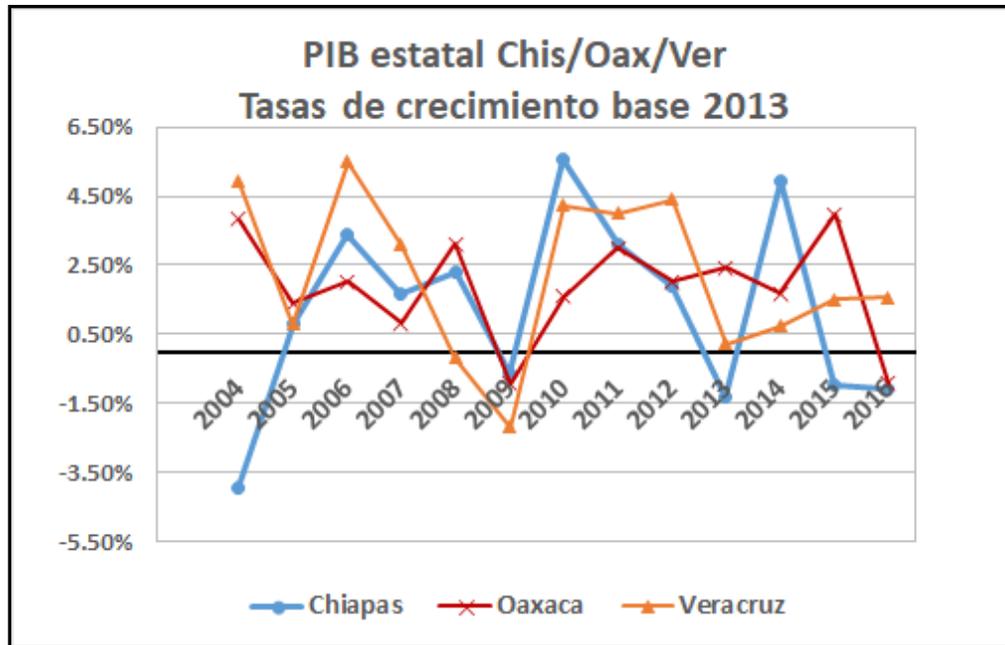


Figura 3.12. Crecimiento del PIB estatal, Chiapas, Oaxaca y Veracruz (con base en datos del BIE, Inegi).

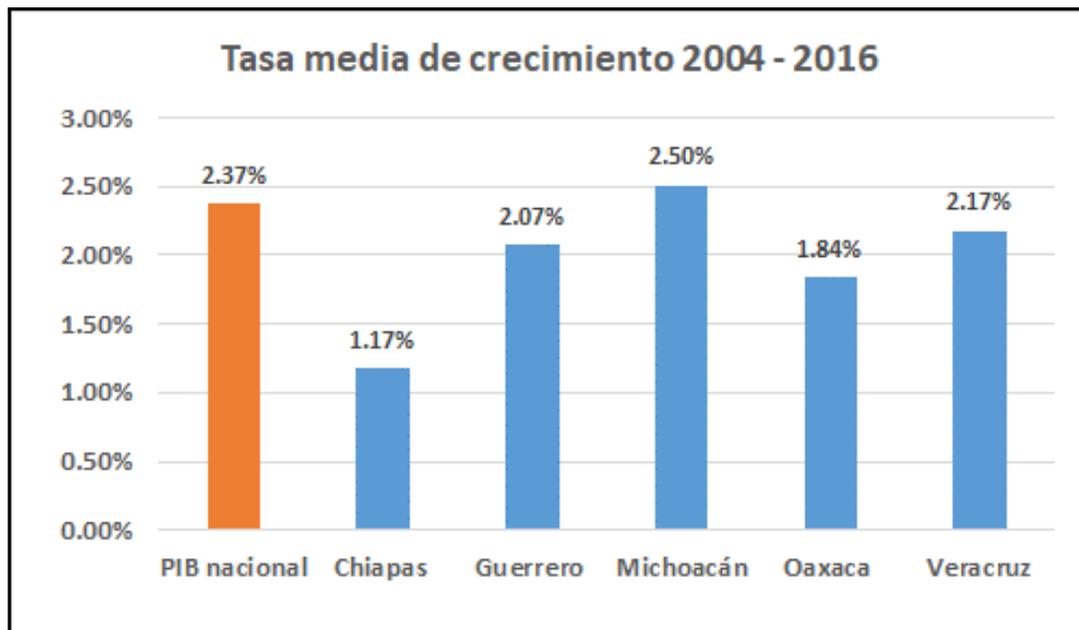


Figura 3.13. Tasas de crecimiento medias ZEE (con datos del BIE, Inegi).

Estas gráficas muestran los bajos niveles de PIB estatal en las ZEE, comparado al total nacional. Para abordar esta situación regional, este trabajo plantea escenarios de crecimiento en esos estados, considerando pronósticos recientes de crecimiento del PIB en México. Dada la gran caída del PIB en 2009, la estimación de tendencia

correspondiente se calculó con la técnica de media móvil, para amortiguar los cambios bruscos de la serie. La figura 3.14 muestra el modelo de media móvil ($n = 5$) para el crecimiento del PIB nacional entre 2006 y 2016.

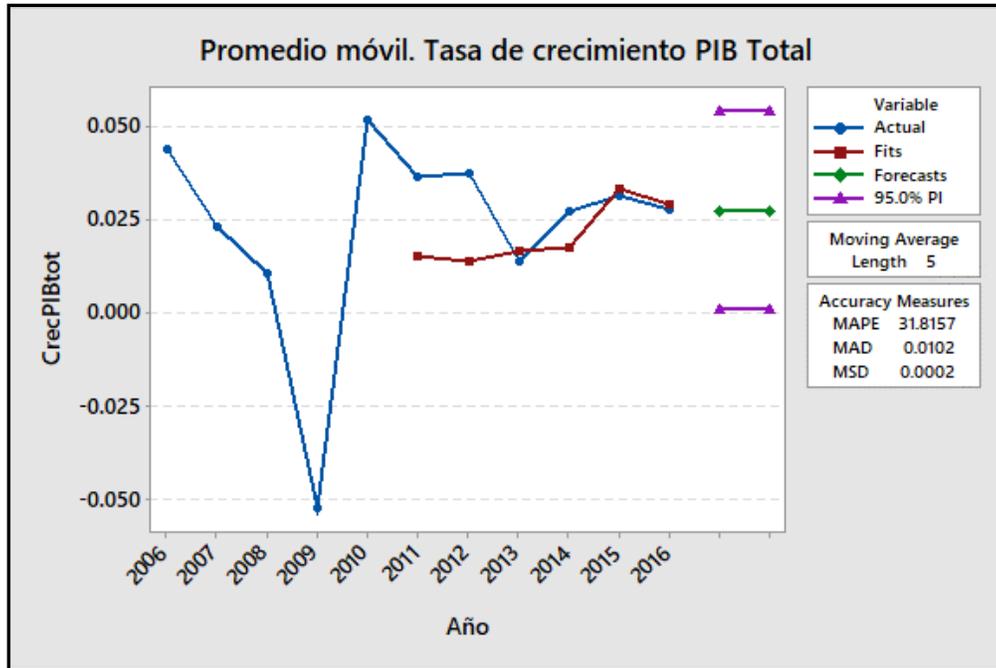


Figura 3.14. Tendencia de crecimiento del PIB nacional: (datos del BIE, Inegi).

Los resultados del modelo de media móvil y los pronósticos para 2017 y 2018 son:

Moving Average for CrecPIBtot

Data CrecPIBtot
 Length 11
 NMissing 0

Moving Average
 Length 5

Accuracy Measures

MAPE 31.8157
 MAD 0.0102
 MSD 0.0002

Forecasts

Period	Forecast	Lower	Upper
12	0.0274248	0.0007595	0.0540902
13	0.0274248	0.0007595	0.0540902

Las medidas de precisión muestran un error porcentual absoluto medio (MAPE) de 31.8157%, reflejando la fuerte caída de crecimiento en 2009; la máxima desviación absoluta (MAD) es de 1.02% y el error cuadrático medio del 0.02%, lo que da un pronóstico razonable del promedio móvil utilizado.

El pronóstico del modelo para los periodos 12 y 13 corresponde a 2017 y 2018 indica una tasa de crecimiento de 2.74248%, aproximada a los pronósticos oficiales del Banco de México que oscilan entre 2.0% y 2.5% para ese periodo:

“Crecimiento del Producto: *El panorama para el crecimiento económico de México parecería haber mejorado respecto a lo que se percibía al momento del Informe anterior. La actividad económica a nivel mundial y el comercio global se han recuperado, al tiempo que el mercado interno se ha mostrado resiliente y la confianza de los empresarios y de los consumidores se ha elevado gradualmente. Asimismo, si bien persiste incertidumbre sobre el futuro de la relación bilateral entre México y Estados Unidos, la información más reciente sugiere que ha disminuido la probabilidad de que se materialicen los escenarios que podrían afectar en mayor medida al crecimiento. En consecuencia, se ajusta el intervalo de pronóstico de crecimiento del PIB de México para 2017 de uno de entre 1.5 y 2.5 por ciento a uno de entre 2.0 y 2.5 por ciento.”* (Banco de México, 2017)

El intervalo de confianza del 95% va de 0.07595% a 5.40902%, lo que sugiere un rango de valores para proponer los escenarios de crecimiento bajo, medio y alto que se desarrollan en este trabajo.

4 Escenarios de modelación

Dos escenarios de interés para el movimiento de carga terrestre en México se revisaron en este trabajo: los corredores de carga asociados a los principales puertos nacionales y el corredor del Istmo de Tehuantepec dentro de las Zonas Económicas Especiales.

4.1 Identificación de corredores

Los principales puertos considerados por su movimiento de carga, como se mostró en el capítulo 3, son: Altamira y Veracruz en la costa del Golfo y Manzanillo y Lázaro Cárdenas en la costa del Pacífico.

Una primera revisión de las líneas de deseo derivadas de la matriz OD de 2015 se muestran enseguida. Las figuras 4.1 y 4.2 muestran las líneas de deseo estimadas para los puertos Altamira y de Veracruz, respectivamente. Estas figuras muestran que de la costa del Golfo se tienen como destinos importantes varios puntos de la frontera norte, como Cd. Juárez, Hermosillo, Nuevo Laredo, Reynosa y Matamoros.

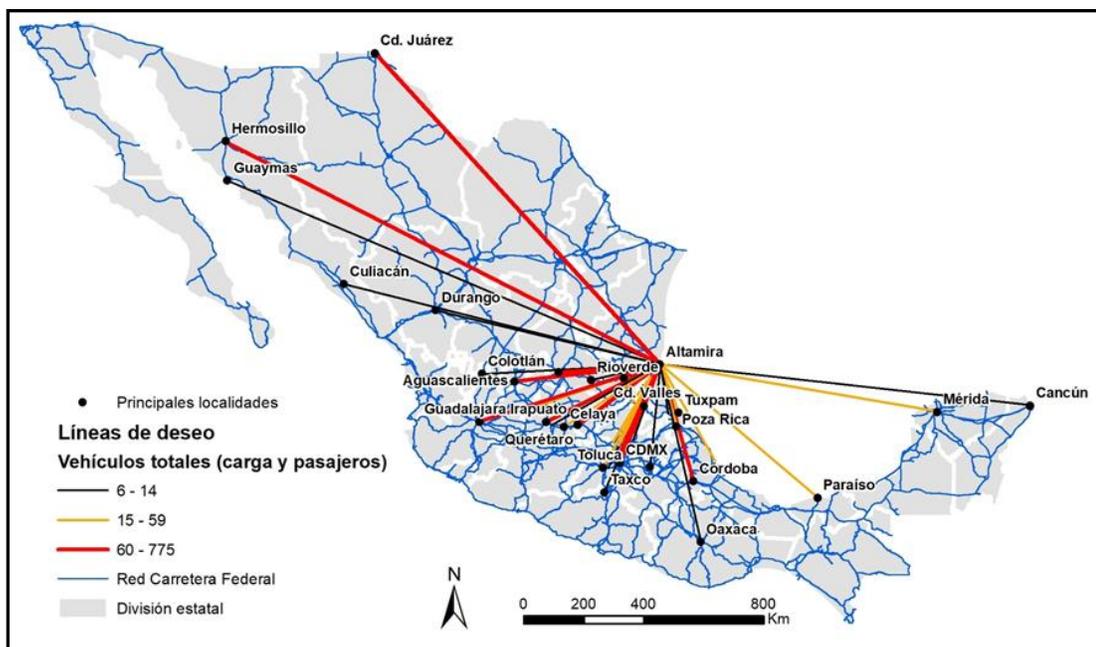


Figura 4.1. Líneas de deseo. Puerto de Altamira. (elaboración propia).

Se observan también destinos en el centro del país y el Bajío como CDMX, Aguascalientes, Guadalajara, y Celaya. En la península de Yucatán se tienen destinos en Mérida, Cancún y Chetumal.

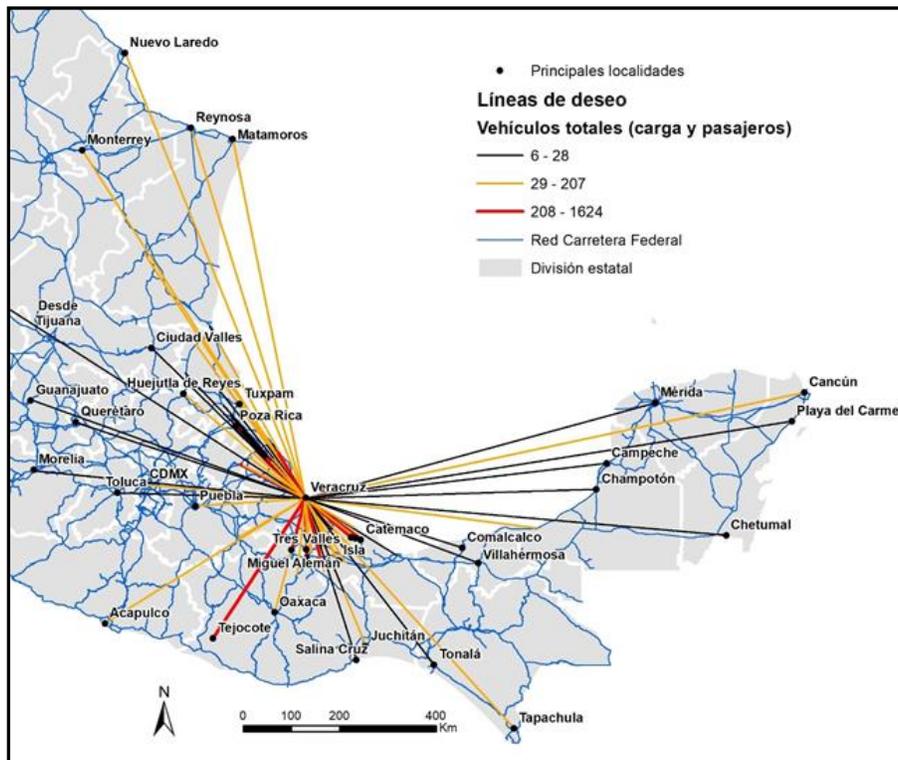


Figura 4.2. Líneas de deseo. Puerto de Veracruz. (elaboración propia).

Para la costa del Pacífico, las figuras 4.3 y 4.4 muestran como destinos importantes desde Manzanillo: Torreón, Monterrey y Reynosa en el norte, más Querétaro y Aguascalientes en el Bajío.

Para Lázaro Cárdenas, destacan los destinos Monterrey y Reynosa en el norte del país y los movimientos hacia el centro: CDMX, Tepeji del Río y Querétaro.

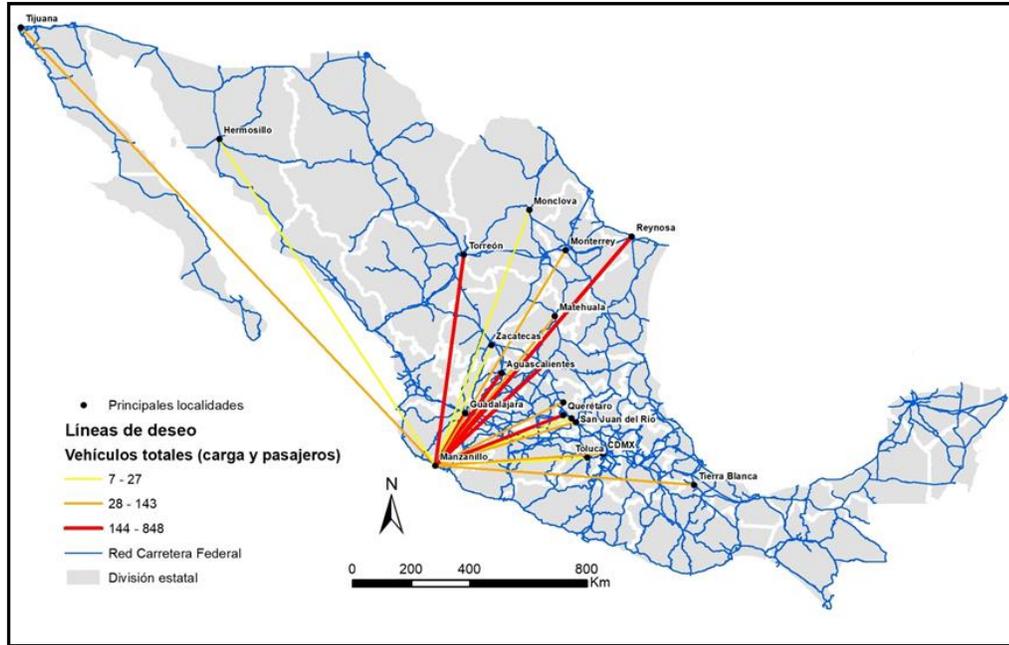


Figura 4.3. Líneas de deseo. Puerto de Manzanillo. (elaboración propia).

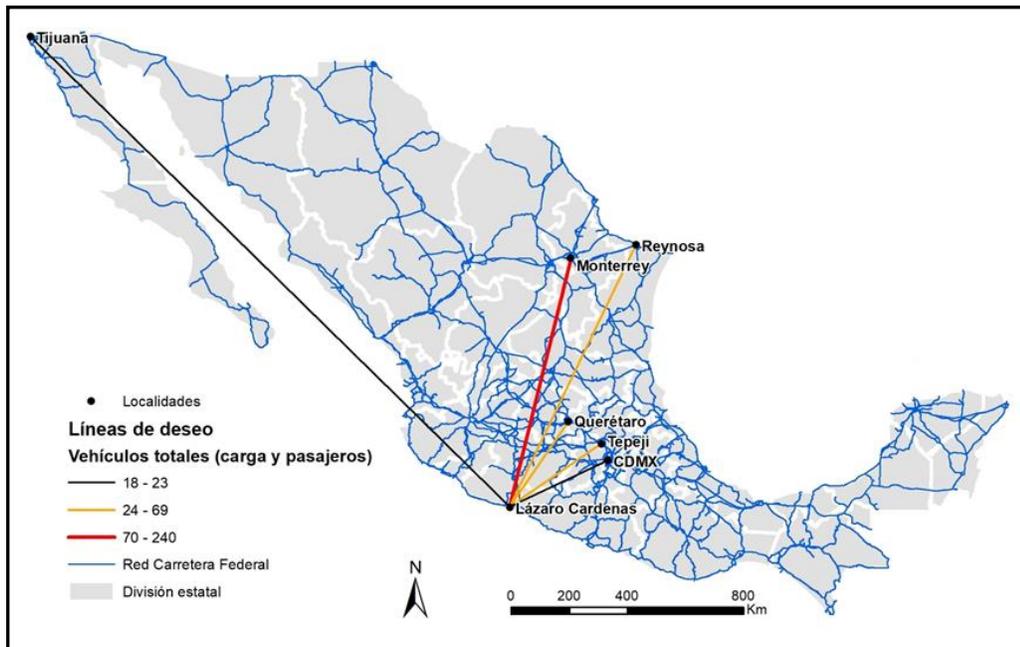


Figura 4.4. Líneas de deseo. Puerto de L. Cárdenas.-(elaboración propia).

La determinación de los principales corredores portuarios se hizo en una primera etapa, analizando las rutas más utilizadas en los resultados del modelo de asignación, considerando la totalidad de los vehículos en los flujos carreteros.

En la figura 4.5 se muestra un primer acercamiento del resultado del modelo de asignación a la zona costera de Altamira – Tampico, donde se observan los flujos

hacia el norte y el occidente del puerto de Altamira. En la figura 4.6 se observan los correspondientes flujos hacia el sur y occidente.



Figura 4.5. Flujos totales en la zona norte de Altamira- (elaboración propia).



Figura 4.6. Flujos totales en la zona sur de Altamira- (elaboración propia).

Las figuras 4.5 y 4.6, muestran las rutas con mayores niveles de flujo:

1. Altamira – Villa Manuel – Cd Victoria
2. Altamira – Tampico – Cd. Valles – Río Verde – San Luis Potosí
3. Altamira – Tampico – Naranjos –Tuxpan
4. Altamira –Tampico – Naranjos
5. – Poza Rica –Tulancingo – Pachuca
6. Altamira – Tampico –Tempoal – Huejutla – Pachuca

Los flujos en estas rutas están en el rango de 9,000 – 42,300 veh/día para movimiento tanto de pasajeros como de carga. En particular, la ruta 4 de Altamira a Pachuca tiene tramos con los niveles más elevados, entre 19,000 y 42,300 veh/día. La figura 4.7 muestra los principales flujos para los corredores del puerto de Veracruz. En esta figura se observan los mayores flujos en las siguientes rutas:

1. Veracruz – Xalapa –Perote – Puebla – CDMX
2. Veracruz – Córdoba – Orizaba – Puebla – Cuernavaca
3. Veracruz – Cardel – Xalapa – Poza Rica – Huachinango – Pachuca

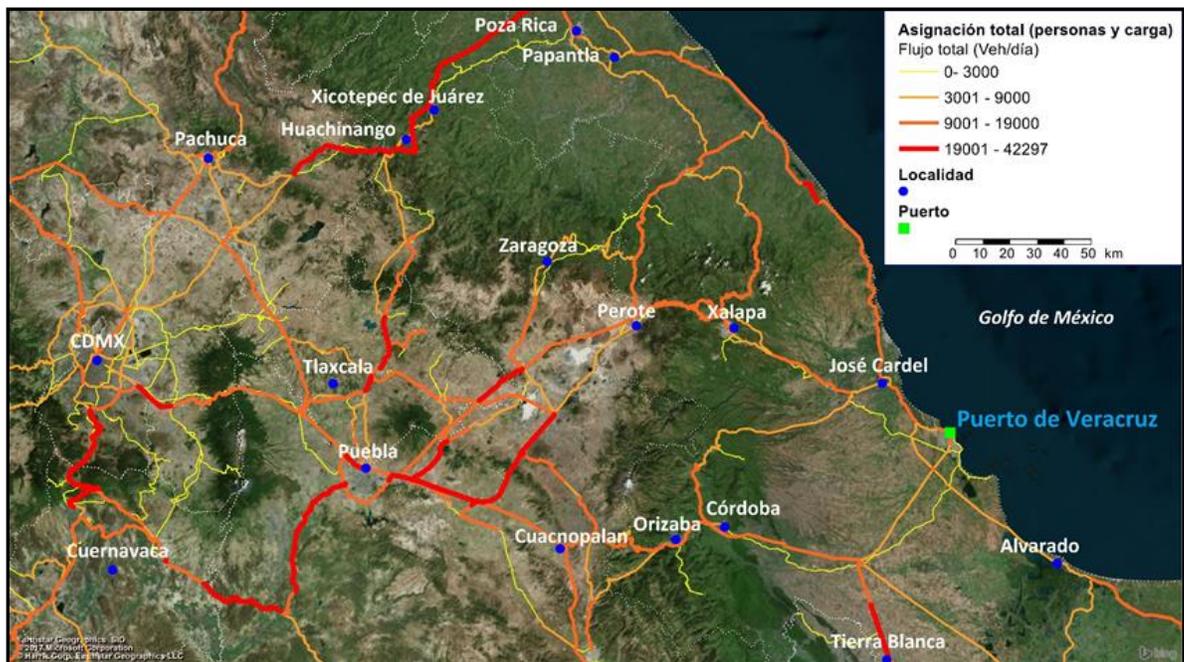


Figura 4.7. Flujos totales en la zona de Veracruz (elaboración propia).

Los flujos que se observan en las rutas hacia el puerto de Veracruz también están en el rango de 9,000 – 42,300 veh/día, con los tramos que llevan los niveles más altos, de 19,000 a 42,300 en las conexiones de Poza Rica a Huachinango y de Perote a Puebla.

En la figura 4.8 se muestran los principales flujos para los corredores de los puertos de Manzanillo y de Lázaro Cárdenas.

En la costa del Pacífico, las principales rutas identificadas en esta figura son:

1. Manzanillo – Tecomán – Colima. – Cd Guzmán – Tlajomulco – Guadalajara.
2. Manzanillo – Sn. Patricio – Autlán – Tlajomulco – Guadalajara.
3. Manzanillo – Lázaro Cárdenas
4. Lázaro Cárdenas – Zihuatanejo – Acapulco
5. Lázaro Cárdenas – Uruapan – Zamora – La Barca – Guadalajara

Los niveles de flujo importantes también están en el rango 9,000 – 42,300 veh/día, aunque los tramos conectando a los puertos tienen a lo más flujos de 19,000 veh/día, como es el caso de Manzanillo – Tecomán – Colima – Guadalajara y el tramo Lázaro Cárdenas – Zihuatanejo – Acapulco.



Figura 4.8. Flujos totales en la zona de Manzanillo y L. Cárdenas- (elaboración propia).

Los flujos observados en estas rutas están en el rango de 9,000 a 19,000 veh/día, en particular en las rutas que van a Guadalajara y la de Lázaro Cárdenas a Acapulco.

El Istmo de Tehuantepec

Este corredor conecta al puerto de Salina Cruz en el Pacífico con el de Coatzacoalcos en el Golfo, separados 300 km aproximadamente. Ambos puertos son relevantes para el comercio exterior de México, ya que Salina Cruz tiene potencial de conexión con la cuenca del Pacífico, en particular para el comercio desde China e India para enlazar a Coatzacoalcos con el comercio de la cuenca del Atlántico. Las conexiones carreteras, junto con la ferroviaria que proporciona el Ferrocarril del Istmo de Tehuantepec (320 km aprox.), le dan a este corredor buenas posibilidades de crecimiento económico en el proyecto de las ZEE.

Con la información OD de 2015, se desarrollaron las principales líneas de deseo para los movimientos carreteros tanto para el puerto de Salina Cruz, que se muestran en la figura 4.9, como para el puerto de Coatzacoalcos, que se muestran en la figura 4.10.

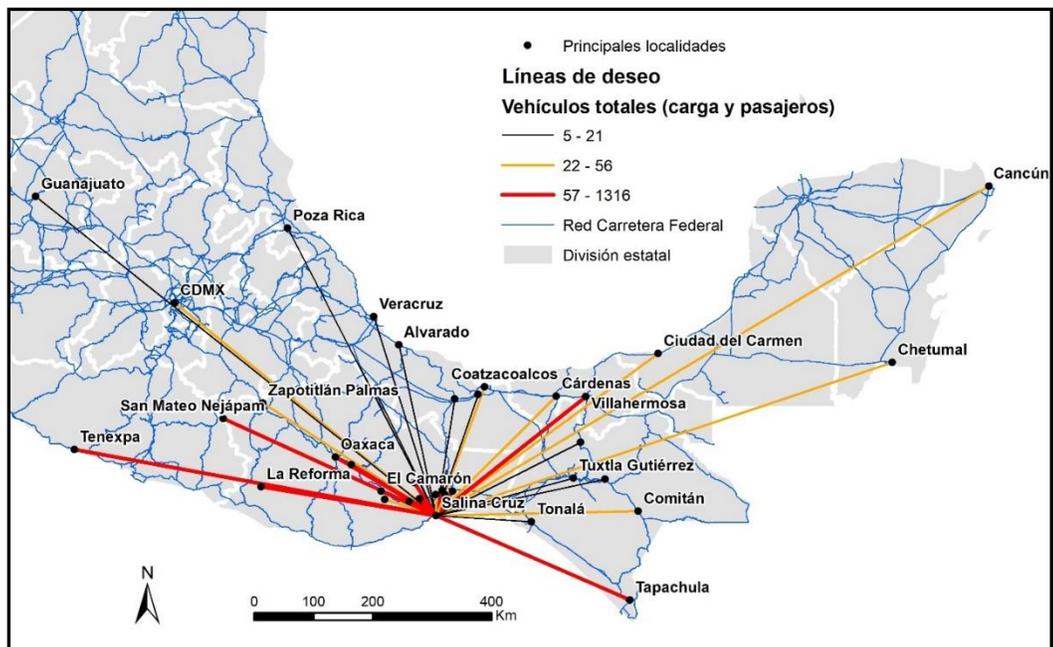


Figura 4.9. Líneas de deseo. Puerto de Salina Cruz- (elaboración propia).

De la figura 4.9 se observan movimientos importantes desde Salina Cruz hacia Tapachula y Villahermosa, así como a puntos de Oaxaca (La Reforma) y Guerrero (Tenexpa). Otros movimientos menos destacados van a Chetumal, Cancún, Ciudad del Carmen, Coatzacoalcos y CDMX.

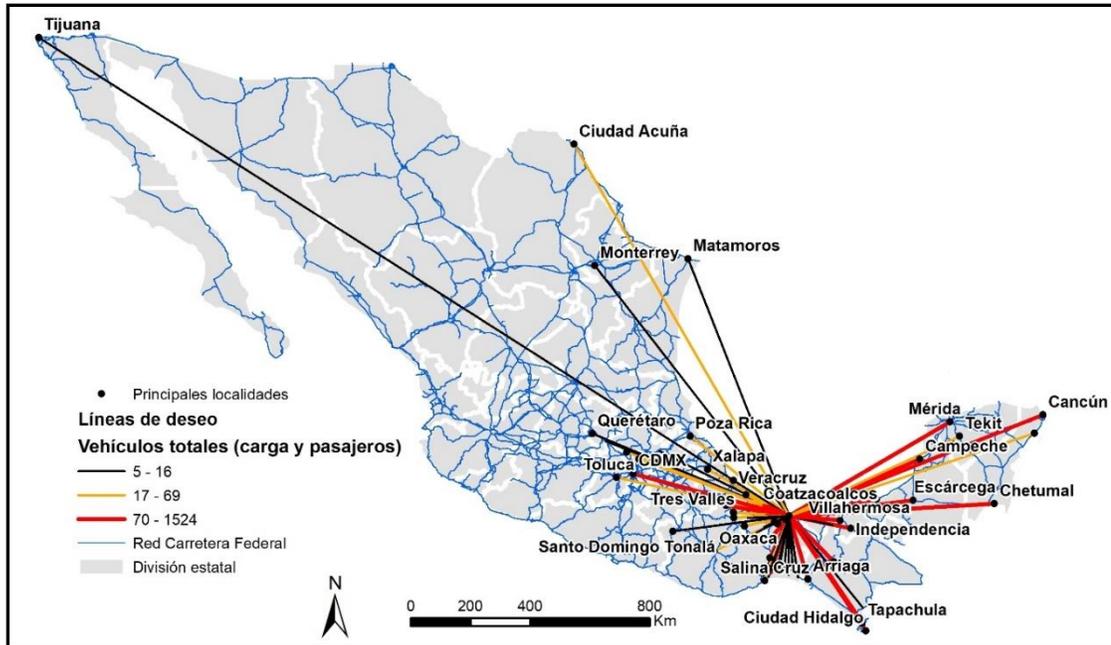


Figura 4.10. Líneas de deseo. Puerto de Coatzacoalcos- (elaboración propia).

En el caso de Coatzacoalcos, las líneas de deseo más relevantes indican movimientos hacia Ciudad Hidalgo, Chetumal, Cancún, Mérida, Campeche, Salina Cruz y CDMX.

Para la estimación de flujos, el resultado de asignación se ve en la figura 4.11.



Figura 4.11. Flujos estimados en el corredor del Istmo- (elaboración propia).

La figura 4.11 muestra los flujos más relevantes, claramente en la ruta Salina Cruz a Coatzacoalcos, y otros, también del mismo orden, en las rutas Salina Cruz a Tuxtla Gutiérrez, Coatzacoalcos a Tuxtla Gutiérrez y Coatzacoalcos a Villahermosa y Ciudad del Carmen.

4.2 El marco de pronóstico

La posible evolución de los escenarios ya mencionados está referida a los cambios previsibles en el PIB nacional, ya que es la actividad económica un elemento fundamental que explica el movimiento de carga y pasaje en el sistema carretero nacional.

El pronóstico del PIB nacional se aplicará en tres escenarios: bajo, medio y alto, considerando el intervalo de confianza del 95% comentado al final del capítulo 3 y mostrado en la figura 3.12.

Escenario:	Bajo	Medio	Alto
Crecimiento PIB	0.08%	2.7%	5.4%

Dos correlaciones relevantes se consideraron para estimar la evolución de los flujos en los corredores, ambas referidas a las correspondientes tasas de crecimiento:

- a) Para corredores portuarios, la correlación entre PIB nacional y los tonelajes de carga movidos por vía marítima.
- b) Para corredores en las ZEE, la correlación entre PIB nacional y tonelajes de carga movidos por el autotransporte.

Estas correlaciones se manejaron implícitamente en los modelos de regresión lineal que se muestran enseguida, en los que la variable explicativa es la tasa de crecimiento del PIB nacional y la respuesta del modelo es, en un caso, la tasa de crecimiento de la carga marítima y, en el otro, la tasa de crecimiento de la carga movida por autotransporte.

Los datos de base para estos modelos, fueron las series del PIB nacional reportadas por el BIE del INEGI, los tonelajes de carga marítima reportados por la SCT en sus Anuarios Estadísticos y los tonelajes estimados de carga por autotransporte reportados por la Dir. Gral. de Autotransporte Federal (DGAF).

Modelo lineal PIB-Carga Marítima

Regression Analysis: CrecTotMAR versus Crec_PIBtot

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0419279	41.43%	35.57%	23.30%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Crec_PIBtot	0.965	0.363	2.66	0.024	1.00

Regression Equation

CrecTotMAR = 0.965*Crec_PIBtot

El modelo para carga marítima tiene un valor de R² relativamente bajo (41.43%), indicando una falta de linealidad en el ajuste, como se aprecia en la dispersión de algunos puntos en la figura 4.12. La significación del coeficiente para la tasa de crecimiento del PIB, sin embargo, resulta muy buena con un valor-p de 2.4%, bastante satisfactorio, lo que da a la tasa de crecimiento del PIB validez para pronosticar el comportamiento de la correspondiente tasa de crecimiento de la carga marítima total.

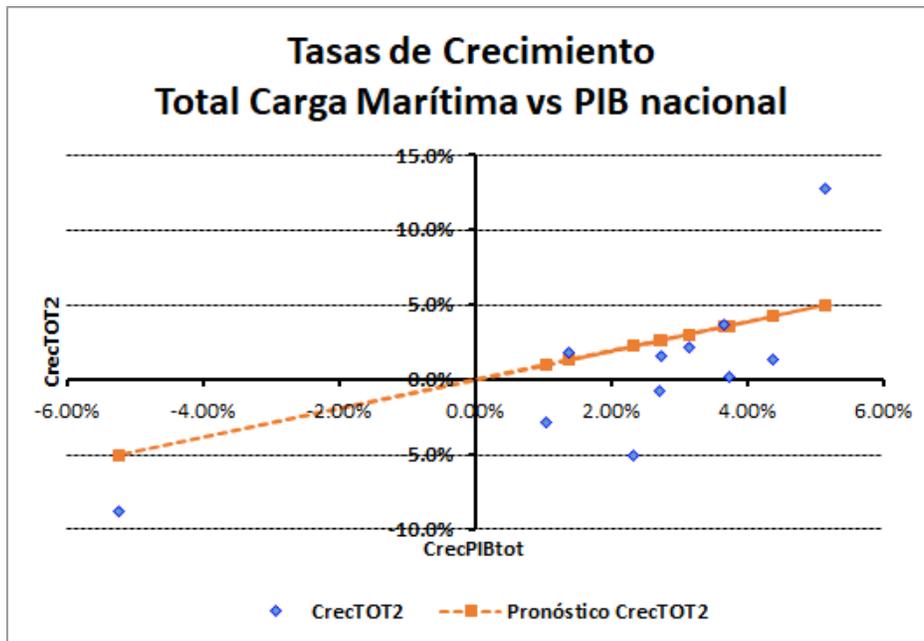


Figura 4.12. Modelo de regresión de tasas de crecimiento Carga Marítima vs PIB nacional (elaboración propia).

La ecuación lineal del modelo indica que, por cada punto porcentual de cambio del PIB nacional, el crecimiento de la carga marítima será el mismo multiplicado por 0.965 y del intervalo de confianza del 95% resultan las tasas de crecimiento:

Escenario:	Bajo	Medio	Alto
Crecim. Carga marítima	0.08%	2.6%	5.2%

Modelo lineal PIB-Carga en el Autotransporte

Regression Analysis: Crec_TonCarr versus Crec_PIBtot

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0169734	80.65%	78.71%	76.90%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Crec_PIBtot	0.948	0.147	6.46	0.000	1.00

Regression Equation

$$\text{Crec_TonCarr} = 0.948 * \text{Crec_PIBtot}$$

Este modelo para movimiento de carga del autotransporte tiene un valor de R^2 muy aceptable (80.65%), indicando buena linealidad en el ajuste, como se aprecia en la dispersión de los puntos de la figura 4.13.

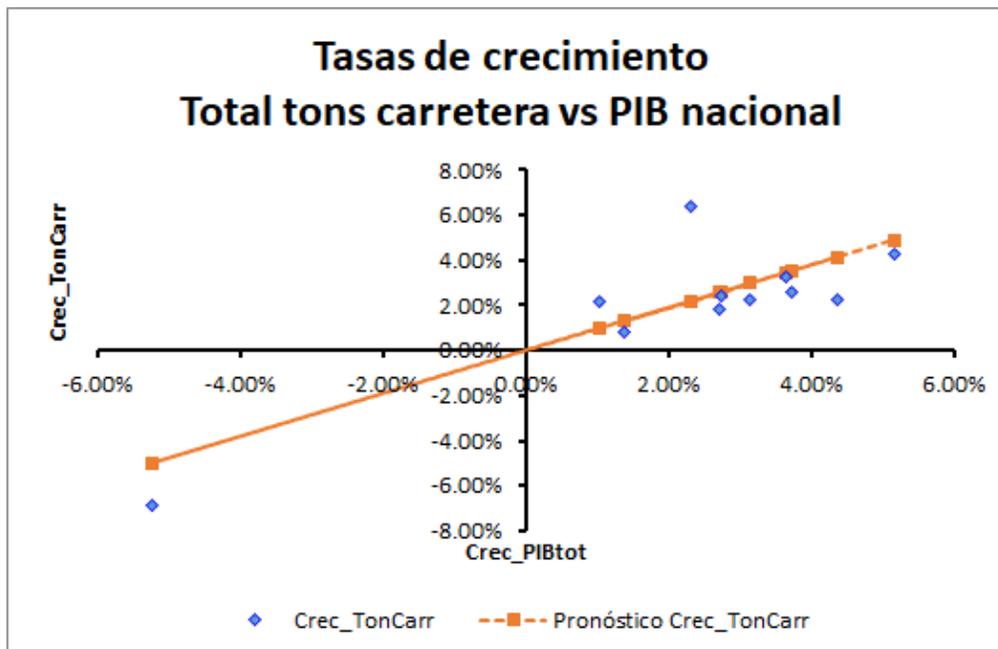


Figura 4.13. Modelo de regresión de tasas de crecimiento Carga Carretera vs PIB nacional (elaboración propia).

La significación del coeficiente para la tasa de crecimiento del PIB, con el *P-Value* igual a 0.000 a tres cifras decimales, resulta muy aceptable con un valor-p bastante menor al 5% usado en el modelo.

La ecuación lineal resultante del modelo indica que, por cada punto porcentual que cambie el PIB nacional, el crecimiento de la carga total marítima será el mismo multiplicado por 0.948, lo que plantea las tasas de crecimiento para la carga carretera total como sigue.

Escenario:	Bajo	Medio	Alto
Crecim. Carga carretera	0.08%	2.6%	5.1%

4.3 Escenarios ensayados

Considerando los porcentajes de crecimiento del PIB obtenidos en el capítulo 3 y los modelos de regresión para carga marítima y para carga del autotransporte mostrados en la sección previa, en esta sección se hacen estimaciones de crecimiento de los flujos vehiculares en los corredores identificados, usando las tasas de crecimiento para escenario bajo, alto y medio asociadas al crecimiento del PIB y tomando como base información reciente del TDPA.

Así, para un escenario de crecimiento bajo, se utiliza la tasa del 0.08%,; para un escenario medio, se usa la tasa de 2.6% y, para el escenario de crecimiento alto, se usa la tasa del 5.1%

Escenario Corredor México-Veracruz

Este corredor conecta al Puerto de Veracruz con la Ciudad de México y puntos intermedios como Puebla y Tlaxcala. Se eligió este corredor por la importancia que tiene Veracruz en el movimiento de carga, y por el papel central que tiene la Ciudad de México en la redistribución y acopio de la carga en el centro del país.

La tasa media de crecimiento de 7.9% para la carga contenerizada en Veracruz (Tabla 3.1) y su tendencia creciente en el litoral del Golfo (Figura 3.6), así como el pronóstico creciente de la carga marítima de altura (Figura 3.8) muestran la relevancia de este corredor para el movimiento carretero.

Considerando que el PIB es el factor más importante en el pronóstico de crecimiento, y considerando los escenarios bajo, medio y alto generados en el capítulo anterior, se hicieron corridas de asignación de tráfico, que se muestran en los mapas enseguida, donde se estimaron los niveles de servicio esperados.

La figura 4.14 muestra los niveles de servicio obtenidos del escenario base 2017. En este mapa la mayor parte del corredor tiene nivel A, y solo una pequeña parte saliendo de la Zona Metropolitana de Ciudad de México aparece con nivel B.

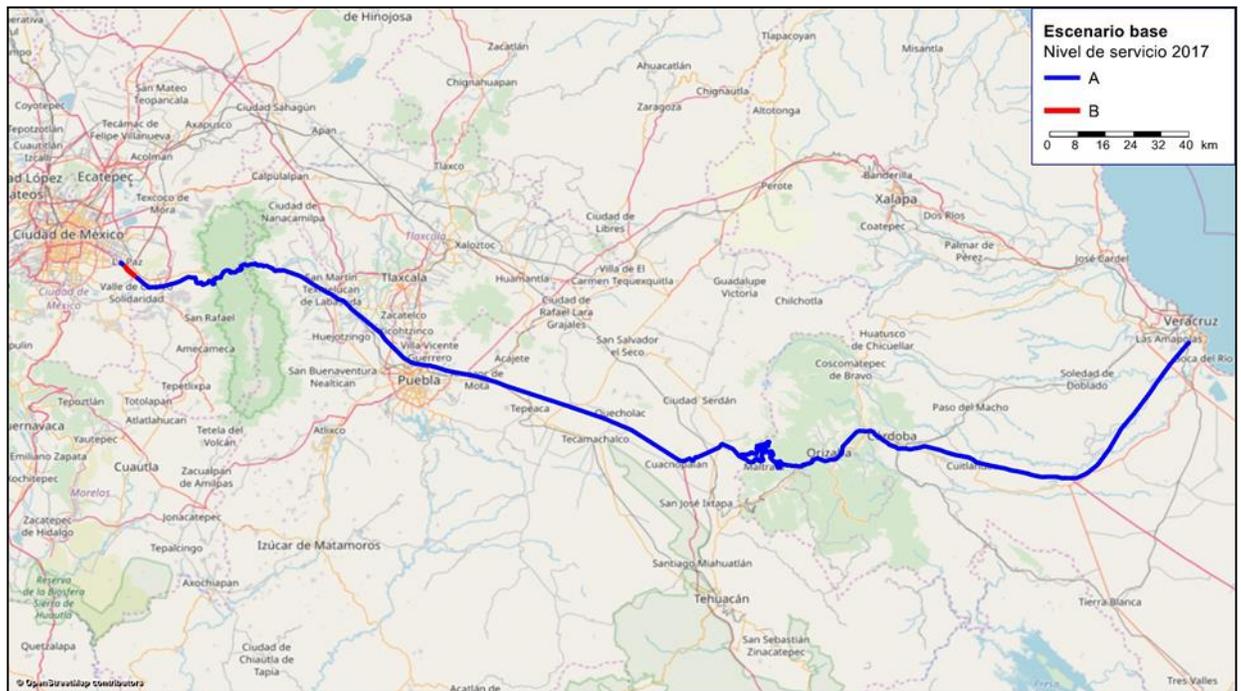


Figura 4.14. Corredor CDMX-Veracruz. Escenario base 2017 (elaboración propia).

Los escenarios de crecimiento del PIB: Bajo (00.8%) y Medio (2.6%) no tuvieron cambios apreciables en niveles de servicio en comparación con el escenario base de 2017.

Para el escenario de crecimiento Alto (5.1%), se extiende el nivel de servicio B a un tramo más largo saliendo de CDMX, y aparece ya también en nivel B la parte del corredor que cruza la parte norte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de Puebla, como se muestra en la Figura 4.15.

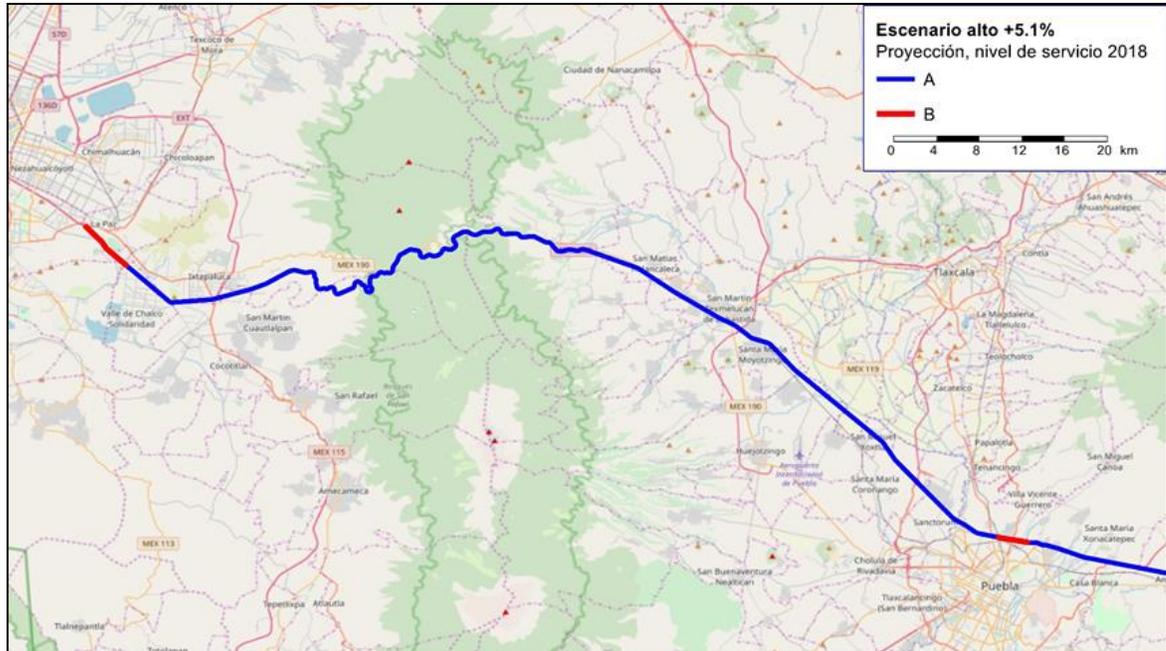


Figura 4.15. Corredor CDMX-Veracruz. Escenario Alto 2017 (elaboración propia).

Los escenarios de este corredor sugieren que aún bajo una tasa de crecimiento del PIB alta, el nivel de servicio se mantiene a lo más en B, con la mayor parte del corredor en un buen nivel de servicio.

Escenario Corredor Transístmico

Este corredor del Istmo de Tehuantepec conecta a los puertos de Salina Cruz y Coatzacoalcos. Este escenario se propuso como respuesta al impulso dado a las ZEE que se espera ver reflejado en el crecimiento del PIB, considerando la instalación de nuevas empresas y el crecimiento esperado en las flotas estatales de las que se deriva ese tráfico, lo que a su vez impactará el correspondiente nivel de servicio en esa carretera.

Los mapas enseguida muestran estas estimaciones. En la figura 4.16 se ilustra la condición del nivel de servicio del escenario base estimado para el TDPA 2017.



Figura 4.16. Corredor Transísmico, escenario base 2017 (elaboración propia).

Esta figura muestra el TDPA para 2017 en este corredor; los valores son para la totalidad de vehículos circulantes (autos, autobuses y camiones). El mapa muestra buen nivel de servicio en los tramos que conectan directamente a los dos puertos (niveles A y B). Los tramos con peores condiciones son los de nivel de servicio E, aproximadamente entre Acayucan y Minatitlán, y algunos tramos con nivel de servicio D, en la parte central de la ruta Salina Cruz- Tehuantepec, entre Matías Romero y Acayucan. El nivel más alto de TDPA en este escenario base es del orden de 27,214 en el último tramo entre Acayucan y Minatitlán.

Para el escenario de crecimiento bajo, no se observó ningún cambio en los niveles de servicio en comparación con el caso base.

El escenario siguiente, de crecimiento medio con 2.6%, se muestra en la figura 4.17.

En el escenario de crecimiento medio de la figura 4.17, se nota un ligero cambio del nivel de servicio, de "B" a "C", en el tramo de La Ventosa a Matías Romero, además de que el nivel más alto estimado en TDPA es del orden de 27,922.

El último escenario, de crecimiento alto con el 5.1%, se muestra en la figura 4.18.

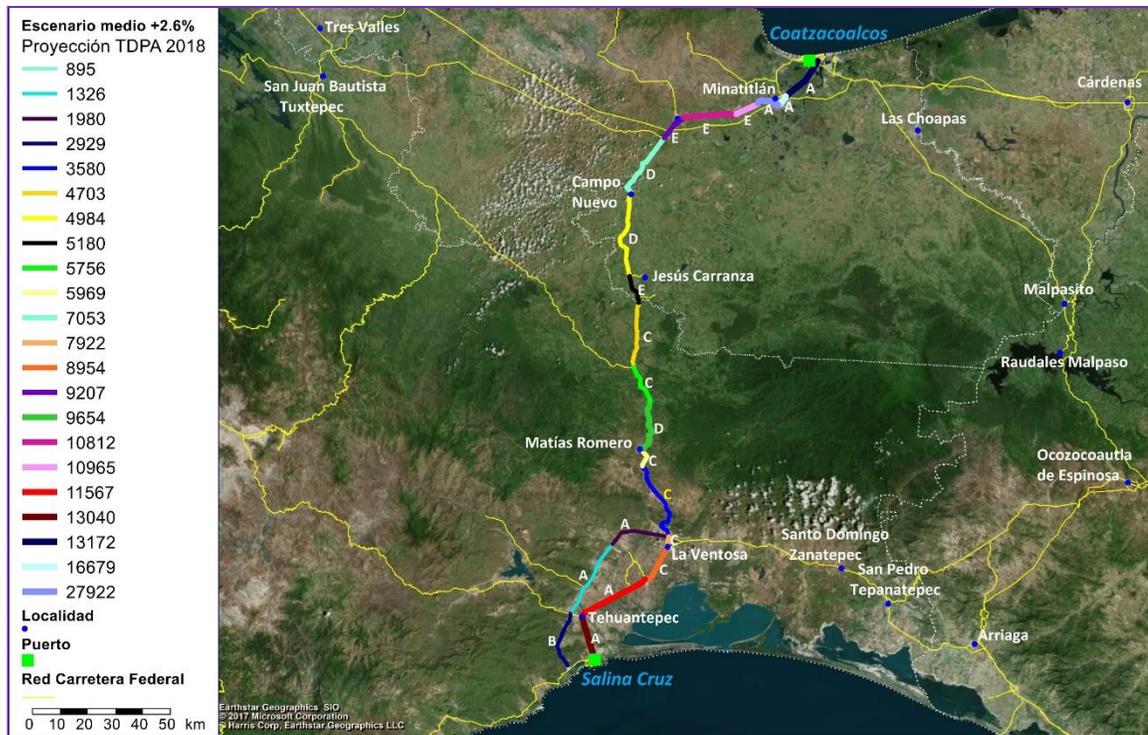


Figura 4.17. Corredor Transístmico. Escenario Medio 2017 (elaboración propia).

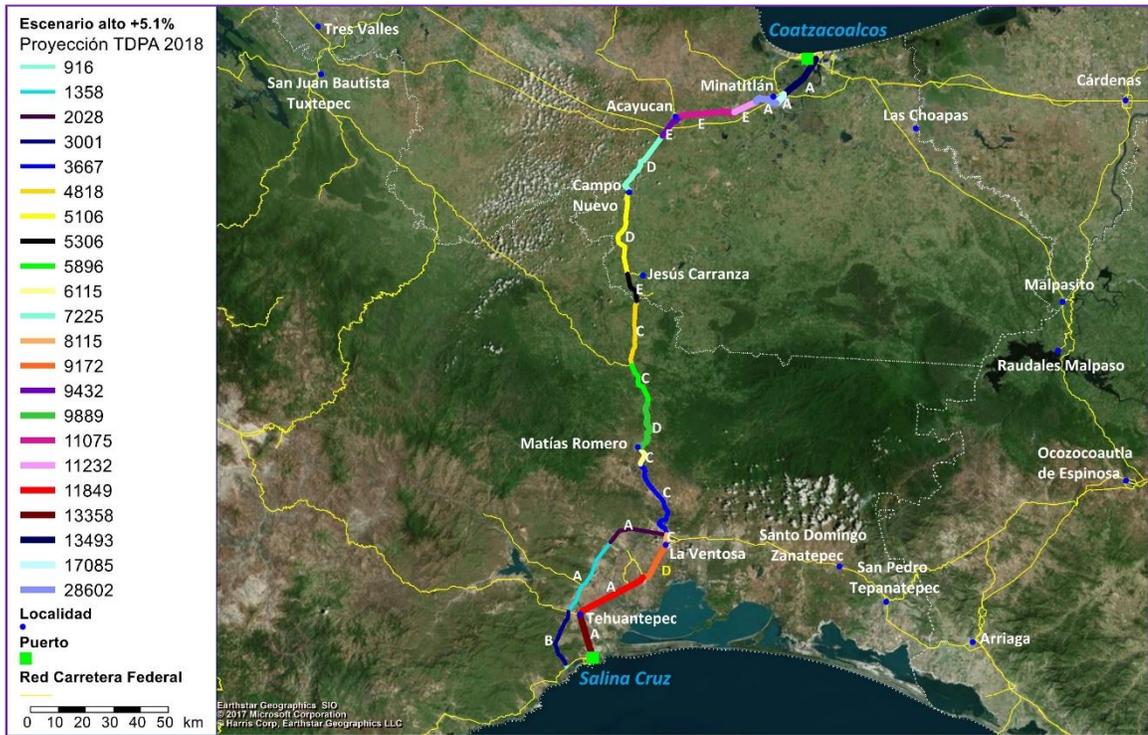


Figura 4.18. Corredor Transístmico. Escenario Alto 2017 (elaboración propia).

En este mapa se observa otro cambio en el nivel de servicio, pasando de “C” a “D” en el último tramo que va de Tehuantepec a La Ventosa; el nivel más alto de TDPA estimado es del orden de 28,602.

Las estimaciones anteriores para el Corredor Transístmico, sugieren que, en el corto plazo, es conveniente pensar en acciones para mejorar los niveles de servicio “E” entre Acayucan y Minatitlán, así como los niveles de servicio “D” en los tramos centrales de la ruta, desde Matías Romero hasta Acayucan, y dejando para planeación a un mediano plazo los tramos entre Tehuantepec y La Ventosa que pudieran alcanzar hasta nivel de servicio “D”, según el crecimiento que se derive del correspondiente crecimiento del PIB.

Estos ejercicios de modelación de diversos escenarios que se han mostrado, podrán mejorarse en desarrollos futuros del Modelo Nacional, en la medida en que se disponga de datos mejorados de las características de la infraestructura, así como datos más precisos de los movimientos OD tanto de carga como de pasajeros.

En las actualizaciones futuras del Modelo Nacional, se agregarán los datos más recientes sobre peajes de la red carretera y se podrán hacer ejercicios de asignación más detallados considerando las funciones de costo generalizado y los efectos de congestión carretera con criterios de equilibrio.

5 Resultados y conclusiones

En este trabajo la orientación ha sido evaluar posibles escenarios con base en el Modelo Nacional de Transporte. El Modelo se ha ido actualizando conforme se ha avanzado en su utilización para diversos proyectos y se ha podido obtener la información que se requiere

La inclusión de la Red Nacional de Caminos y la estimación de la matriz OD, con base en información de encuestas de camino, ha confirmado el carácter fuertemente demandante del Modelo en cuanto a datos recientes necesarios para operarlo. Otros datos relacionados con la temática tratada con el Modelo, como los peajes en la red carretera, la información del TDPA y del estado superficial de los caminos que genera la SCT, que sin duda son de utilidad para mejorar las capacidades de pronóstico y réplica del Modelo, representan un reto para su obtención y actualización, mismo que se abordará en los desarrollos futuros de esta línea de investigación.

En los ejercicios de modelación de escenarios en este trabajo, se comenzó a trabajar ya con la totalidad de flujos vehiculares que circulan en la red carretera; es decir, considerando no sólo camiones de carga, sino también automóviles y autobuses.

Como casos de interés para la modelación de escenarios, en este trabajo se incluyeron los cuatro puertos principales: Altamira y Veracruz en el Golfo y Manzanillo y Lázaro Cárdenas en el Pacífico y, por otra parte, se incluyó el Corredor Transístmico dentro de las ZEE.

El acercamiento al escenario de las ZEE, en particular, es de gran interés por el impulso que se está conformando para las Zonas, promovido por el Gobierno Federal y con claros signos de continuidad por la nueva administración que regirá al país a partir de diciembre de 2018.

El factor fundamental para el crecimiento del tráfico en la red, supuesto en este trabajo, es el correspondiente crecimiento del PIB nacional; la idea de base es que la actividad económica necesariamente implica el movimiento de carga en la red, y, de manera más moderada, el movimiento de pasajeros por razones laborales.

Las estimaciones del crecimiento del PIB se hicieron con la serie cronológica de tasas de crecimiento que publica el INEGI, utilizando una técnica de promedio móvil de periodo 5, a fin de amortiguar las fluctuaciones fuertes en la serie del PIB de los últimos años, en particular la asociada a la crisis económica del 2009.

Con el resultado de la estimación estadística, que proporciona la tasa media esperada con un nivel de confianza del 95%, así como los límites superior e inferior del correspondiente intervalo, se propusieron tres escenarios de crecimiento, como se indica en la tabla enseguida.

Escenario:	Bajo	Medio	Alto
Crecimiento PIB	0.08%	2.6%	5.1%

Cabe señalar que el escenario de crecimiento medio que se propone aquí (2.6%) está bastante cercano al crecimiento del PIB que ha pronosticado y publicado en medios el Banco de México, lo que permite verificar la adecuación de modelo estadístico de promedio móvil.

En los corredores examinados en este trabajo se pudieron hacer los ejercicios de asignación de flujos correspondientes donde se observaron los niveles de flujo y las líneas de deseo. En dos casos concretos, el del corredor de Veracruz y en el Corredor Transístmico, se estimaron las variaciones del nivel de servicio en carretera, con base en información reciente del TDPA, y la metodología descrita en el Capítulo 2.

Los resultados que se obtuvieron en estos escenarios modelados dan una idea del posible comportamiento de los flujos, así como de las medidas de atenuación o mejora que se sugieren a partir de estos comportamientos.

Para ulteriores desarrollos del Modelo, contando con información más reciente de los orígenes y destinos de la carga (en particular por los cambios al TLCAN), así como de actualizaciones de la infraestructura carretera y ferroviaria derivados de conclusiones de obra de la administración saliente en 2018, se espera que el Modelo pueda afinar los pronósticos y sus estimaciones correspondientes y con la experiencia ganada, ensayar otros escenarios de interés para la planeación del sistema de transporte terrestre nacional.

Bibliografía

Banco de México. (2009). *Informe sobre la Inflación. Abril – Junio 2009*. Disponible en: <http://www.banxico.org.mx/dyn/publicaciones-y-prensa/informes-trimestrales/%7B21CAA58B-CD06-97F8-17C6-1439E0187161%7D.pdf>.

Banco de México. (2017). *Resumen Ejecutivo del Informe Trimestral. Octubre–Diciembre 2017*. Disponible en: <http://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-discursos/publicaciones/informes-periodicos/trimestral-inflacion/%7BC534604A-E4B0-E1F5-F96F-38A932E9BDF9%7D.pdf>

Centeno, A. y Mendoza, A. (2003). *Modelo de asignación intermodal multiproducto para las operaciones de carga por autotransporte y ferrocarril*. Publicación Técnica No. 222. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro. México.

DOF. (2016). Diario Oficial de la Federación. *DECRETO por el que se expide la Ley Federal de Zonas Económicas Especiales y se adiciona un quinto párrafo al artículo 9 de la Ley General de Bienes Nacionales*. Secretaría de Gobernación. 01 de junio de 2016. México.

Inegi. (2017). *Datos de Relieve. Continental. Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0)*. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoelevaciones.aspx>.

Moreno, E., Bustos, A., Gradilla, L., Montoya, R. y Martner, C. (2016). *Desarrollo de un modelo nacional de transporte. Segunda fase: actualización de datos y análisis de escenarios*. Publicación técnica No. 482. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro. México.

SCT (2016). *Anuario Estadístico. Sector Comunicaciones y Transportes*. Dirección General de Planeación. Editado por la Dirección General de Comunicación Social. México.

SE. (2016). Secretaría de Economía. *Las Zonas Económicas Especiales de México*. Disponible en: <https://www.gob.mx/se/articulos/las-zonas-economicas-especiales-de-mexico>.

Secretaría de Hacienda y Crédito Público SHCP. (2017). *Comunicado No. 176. Presentación de la propuesta del Paquete Económico 2018*. Disponible en: http://finanzaspublicas.hacienda.gob.mx/work/models/Finanzas_Publicas/docs/ori/Espanol/PE/2018/Presentacion_propuesta_PE_2018.pdf.

Torres, G., Gonzalez, J., González, J., Arroyo, J., Hernández, S. (2013). *Propuesta conceptual para el establecimiento de tarifas en autopistas de cuota: Una visión económica*. Publicación técnica No. 405. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro. México.

Transportation Research Board. (2000). *Highway Capacity Manual*. The National Academies. Washington D.C.



Km 12+000 Carretera Estatal 431 "El colorado-Galindo"
Parque Tecnológico San Fandila
Mpio. Pedro Escobedo, Querétaro, México
CP 76703
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610
Fax +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>

Esta publicación fue desarrollada en el marco de un sistema de gestión de calidad certificada bajo la norma ISO 9001:2015