



INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA
Y CAMBIO CLIMÁTICO



INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
ELÉCTRICAS

**ESTUDIO DE POLÍTICAS, MEDIDAS E INSTRUMENTOS PARA
LA MITIGACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DEL
SECTOR TRANSPORTE EN LA ZONA CENTRO DE LA
REPÚBLICA MEXICANA.**

**DIVISIÓN DE SISTEMAS MECÁNICOS
GERENCIA DE PROCESOS TÉRMICOS**

Diciembre del 2012

"DOCUMENTO CONSIDERADO COMO RESERVADO DE ACUERDO AL ARTÍCULO 14, FRACCIÓN II DE LA LEY FEDERAL DE TRANSPARENCIA Y ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA GUBERNAMENTAL, CON FUNDAMENTO EN LOS ARTÍCULOS 82 Y 83 DE LA LEY DE PROPIEDAD INDUSTRIAL Y ARTÍCULO 5 DE LA LEY FEDERAL DE DERECHOS DE AUTOR Y ARTÍCULO 210 Y 211 DEL CÓDIGO PENAL FEDERAL".

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELÉCTRICAS

DIVISIÓN DE SISTEMAS MECÁNICOS

Gerencia de Procesos Térmicos

INFORME FINAL

ESTUDIO DE POLÍTICAS, MEDIDAS E INSTRUMENTOS PARA LA MITIGACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DEL SECTOR TRANSPORTE EN LA ZONA CENTRO DE LA REPÚBLICA MEXICANA.

DAVID CASTREJÓN BOTELLO
MARCO POLO FLORES LÓPEZ
ESMERALDA LÓPEZ AYÓN
ROBERTO HURTADO JIMÉNEZ

Proyectos:

14367: Estudio de políticas, medidas e instrumentos para la mitigación de gases de efecto invernadero del sector transporte en la Zona Centro de la República Mexicana.

Preparado para:

Coordinación del Programa de Cambio Climático.
INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO.

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	5
1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. DIAGNÓSTICO	8
2.1. Metodología, información y análisis.....	8
2.2. Ámbito geográfico	10
2.3. Características socio-económicas.	11
2.4. Parque vehicular.....	14
2.4.1. Automóviles.....	17
2.4.2. Autobuses	17
2.4.3. Carga.....	18
2.4.4. Motocicletas.....	19
2.4.5. Actividad y rendimiento vehicular	20
2.4.5.1. Recorrido anual	21
2.4.5.2. Rendimiento	21
2.5. Consumo de combustibles y estimación de emisiones de GEI	23
2.6. Conclusiones	26
3. ESCENARIOS PROSPECTIVOS.....	28
3.1. Metodología y premisas	28
3.1.1. Población y PIB	29
3.1.2. Crecimiento del parque vehicular automotriz.....	29
3.1.3. Crecimiento del resto del parque vehicular	31
3.2. Escenario de referencia	31
3.3. Escenarios de mitigación	32
3.3.1. Mejorar la eficiencia energética de los vehículos nuevos.....	34
3.3.2. Uso de servicio de transporte público eficiente	35
4. EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN.....	37
4.1. Escenarios de Referencia	37
4.1.1. Consumo de combustibles por zona metropolitana	38
4.1.2. Emisiones de GEI por zona metropolitana.....	38
4.2. Escenarios de Mitigación	39
4.3. Conclusiones	42
5. BARRERAS A LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS	43
5.1. Mejorar la Eficiencia Energética de Autos Nuevos	43
5.1.1. Barreras políticas	43
5.1.2. Barreras Financieras	43
5.1.3. Barreras tecnológicas.....	43
5.1.4. Barreras sociales	43
5.2. Uso de Servicio de transporte público eficiente.....	44
5.2.1. Barreras políticas	44
5.2.2. Barreras Financieras	44
5.2.3. Barreras tecnológicas.....	44
5.2.4. Barreras sociales	44
6. SEGUIMIENTO DE LA IMPLEMENTACIÓN.....	45
6.1. Medición	45
6.2. Reporte46	
6.3. Verificación.....	46
6.4. Elementos Facilitadores Complementarios.....	46

7. CONCLUSIONES	47
8. ANEXOS	49
8.1. ANEXO A ÁREAS Y MUNICIPIOS DE ZONAS METROPOLITANAS DEL ESTUDIO ..	50
8.1.1. Zona metropolitana del Valle de México (ZMVM)	50
8.1.2. Zona Metropolitana de Toluca (ZMT).....	51
8.1.3. Zona Metropolitana de Pachuca (ZMP).....	51
8.1.4. Zona Metropolitana de Cuernavaca (ZMC).....	52
8.1.5. Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala (ZMPT)	52
8.1.6. Zona Metropolitana de Querétaro (ZMQ)	53
8.2. ANEXO B. MODELO ENERGÉTICO DE TRANSPORTE EN LA REGIÓN CENTRO DE MÉXICO.	54
8.2.1. Estructura.....	54
8.2.2. Variables de usuario	54
8.2.3. Módulo de demanda de energía.....	55
8.2.4. Módulo de transformación de energía	56
8.2.5. Módulo de recursos energéticos	57

RESUMEN EJECUTIVO

Este documento contiene el informe de actividades y resultados obtenidos de acuerdo a los alcances establecidos para el “*Estudio de políticas, medidas e instrumentos para la mitigación de gases de efecto invernadero del sector transporte en la Zona Centro de la República Mexicana*”, que se llevó a cabo para la Coordinación del Programa de Cambio Climático (CPCC) del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

El objetivo general del estudio fue realizar la evaluación técnica-económica, en base comparativa con la situación actual y un escenario tendencial del comportamiento del sector transporte en la región central del país, de dos medidas de mitigación que coadyuven a alcanzar las metas de reducción de emisión de GEI.

Las actividades realizadas fueron las necesarias para dar cumplimiento a los alcances definidos en los términos de referencia del INECC, en términos generales consistieron en: recopilar información del estado actual de la zona, análisis de la información, diagnóstico de la situación actual, establecer premisas y criterios para el escenario tendencial del comportamiento del sector transporte al 2050 en la zona, seleccionar dos medidas de mitigación que contribuyan a alcanzar las metas de reducción de emisiones GEI, establecer las posibles barreras a la implementación, e identificar los elementos necesarios para el desarrollo de metodologías para la medición, reporte y verificación de la implementación de las medidas de mitigación propuestas.

La construcción del escenario tendencial de emisiones (línea base) y el impacto ambiental de las medidas de mitigación seleccionadas se realizaron por medio del Modelo METRO, el cual se desarrolló en la Gerencia de Procesos Térmicos del IIE, a partir del Modelo MEM70, previamente elaborado en la misma gerencia. Ambos modelos utilizan la plataforma LEAP®, desarrollada por el Instituto Ambiental de Estocolmo (SEI, siglas en inglés).

El presente contiene, además de este resumen ejecutivo, siete secciones, más una sección de anexos. Acompaña a este documento un disco compacto con una copia digital del informe final, copia digital de la información de referencia y una copia del modelo de METRO que incluye los datos de línea base y los resultados del escenario tendencial y de los escenarios esperados producto de la aplicación de las medidas de mitigación propuestas.

Las conclusiones más importantes de este estudio son las siguientes:

1. Las zonas metropolitanas de la región de estudio participan con cerca de 22% del total nacional. Sin embargo, es importante observar la enorme diferencia demográfica que hay en la población de la ZM Valle de México y las otras zonas metropolitanas, donde 78% de la población de las zonas metropolitanas de la zona centro del país corresponde a la ZM Valle de México.
2. Las zonas metropolitanas consideradas resultan con densidades cercanas o superiores a los 1,000ha/km², lo cual es normal para ciudades. La ZMVM es un caso que debe resaltarse, con una población cercana a los 20 millones es posible encontrar áreas con densidades de población extremas del orden de más de 15,000 ha/km² (Nezahualcóyotl, Iztacalco, Cuauhtémoc, Iztapalapa).
3. las zonas metropolitanas consideradas para este estudio contienen un 23% del parque vehicular, a pasar de representar el 5% de la superficie del país y su número de vehículos por habitante es de alrededor de 300 ha/veh. que estaría considerada como un valor bajo comparado con obtenidos para países más desarrollados.

4. El consumo de energía por modalidad de transporte a nivel nacional muestra que el autotransporte a base de combustibles fósiles representa más del 92% porciento del consumo de energía destinada a transporte en el país y es el principal responsable de la emisión de GEI del sector transporte. Este dato evidencia la falta de diversificación en tipos de transporte en México.
5. Un dato destacable es que las zonas metropolitanas consideradas tienen casi el 30% de los vehículos tipo sedan del país que le permite participar solo en el 20.5% del consumo de gasolina del país.
6. Las dos medidas propuestas parece tener un efecto poco significativo respecto a las emisiones totales del sector energía del país, 0.86% para la medida de regulación de la mejora en rendimiento vehicular y 0.10% del uso de BRT en zonas urbanas, en términos de emisiones acumuladas durante al 2050.
7. Si la evaluación se realiza comparando con las emisiones GEI del sector autotransporte y solo para las zonas metropolitanas del estudio, el efecto es más notorio, 15.33% para la medida de regulación de la mejora en rendimiento vehicular y 1.81% para el mayor uso de BRT en zonas urbanas, en términos de las emisiones acumuladas al 2050.
8. Una de las principales barreras a una mejora de eficiencia en autos nuevos es la resistencia de las compañías fabricantes que tiene estrategias de mercadotecnia de orden global en términos de mantener el usufructo de tecnologías obsoletas por mayores tiempos y de mayores ingresos por mantenimientos (refacciones), adicional a los intereses de las compañías petroleras globales para mantener la dependencia de los combustibles fósiles
9. Otra barrera a la mejora de eficiencia a los vehículos es la gran cantidad de vehículos usados importados son destinados a agrupaciones agropecuarias que mostrarían oposición política a medidas como reducir las cantidades de importación o límites a la edad de los vehículos que la implicaría mayores costos de los vehículos.
10. Para la inversión es sistemas de transporte la principal barrera es los cortos periodos entre cambios de administración a nivel municipal dificulta la realización de proyecto de largo plazo. Los proyecto de instalación de sistemas de transporte público eficiente en zonas urbanas puede rebasar fácilmente los 3 años que tiene disponibles una administración municipal, lo que generalmente los lleva a que deban ser proyectos estatales o federales, pero aun así puede que 6 años no se suficientes y tenga que ser heredados a las siguientes administraciones.
11. Las barreras técnicas a los sistemas de transporte público modernos son la falta de espacios, podría afectares la capacidad de las vialidades o desaparecer áreas destinadas a otras actividades (camellones, parques, etc.). También se ha encontrado oposición de la población en la zona de construcción que ve afectados sus intereses económicos por pérdida de acceso durante el tiempo que dure la construcción de la infraestructura.

Los programas de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) deberán estar sustentados en sistemas de calidad, identificado que las etapas fundamentales que un sistema de calidad debe incluir son: Medición, Reporte y Verificación. Los sistemas de calidad que contienen estos tres elementos se conocen como Sistemas MRV. Su importancia es que la ONU está promoviendo su aplicación en los programas de mitigación de GEI, con el fin de estandarizar los procedimientos asociados.

1. INTRODUCCIÓN

En el año 2010, las emisiones totales de CO₂ debido a la quema de combustibles, a nivel mundial, fueron de 30,276.1 millones de toneladas (Mt), de las cuales el 22.3% correspondió al sector transporte (IEA, 2012). En ese mismo año, las emisiones totales de CO₂, que tuvo México, por el mismo concepto, fueron de 466.1 Mt, ocupando el lugar 13 entre los países que tienen las mayores emisiones de CO₂ o el lugar 16 en términos de emisiones per cápita, con un valor de 4.1 toneladas anuales por persona (CDIAC, 2010).

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) es un órgano desconcentrado de la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales (SEMARNAT) y es a través de su Coordinación del Programa de Cambio Climático (CPCC), es el encargado de la generación del conocimiento técnico científico que contribuya al cumplimiento de los compromisos nacionales de mitigación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012, la Estrategia Nacional de Cambio Climático 2007 (ENACC) y el Programa Especial de Cambio Climático (PECC); así como con los adquiridos ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

En una visión de largo plazo, México asume el objetivo indicativo o meta aspiracional de reducir en 50% sus emisiones de GEI al 2050, con relación a las emitidas en el año 2000, lo que podría contribuir a un escenario de estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera.

De acuerdo al PECC 2009-2012, existe un gran potencial de reducción de emisiones, donde se establece una meta de reducción de emisiones en la subcategoría de transporte de 5.74 millones de toneladas de CO₂ eq, lo que representa el 11% de la meta total de reducción del PECC al año 2012. El sector transporte en México ocupa hoy en día el segundo lugar, después de la generación de electricidad, en las emisiones de CO₂ eq. Consume aproximadamente 47% del consumo final total de energía. Dentro de este sector, el autotransporte representa el 91% de dicho consumo, y cerca del 98% de este consumo proviene de productos petrolíferos, lo que explica porque este sector aporta 27.2% de las emisiones totales de CO₂, siendo el autotransporte responsable del 19.4 %.

Los datos que ha reportado el PECC, el BNE y otros estudios, han permitido al INECC determinar la importancia del sector transporte, como fuente de emisión de GEI, y la necesidad de diseñar las estrategias adecuadas para reducir sus emisiones, de tal manera que ha considerado conveniente la realización de este proyecto.

Es importante destacar que el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) ha venido colaborando con el INECC en la elaboración de estudios de evaluación de escenarios de medidas de mitigación de GEI en el mediano y largo plazo.

De acuerdo a lo anterior el INECC solicitó al IIE el desarrollo de un estudio sobre dos medidas de mitigación de GEI en el subsector transporte de la región central del país, y emitió los términos de referencia a los cuales se sujetaron los trabajos. El presente documento es el reporte final de dichos trabajos.

2. DIAGNÓSTICO

Como actividad inicial del estudio se consideró la realización de un diagnóstico de la situación actual del transporte en la región central del país, con el objetivo de determinar los actuales niveles de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se generan por la actividad de este sector.

El presente diagnóstico esta basado en la información documental disponible de las dependencias gubernamentales, estudios e investigaciones previas e información de bases de datos de los estados y municipios. Por lo tanto, la mayor parte del material incluido en el presente capítulo representa el análisis de la compilación de diversos documentos y fuentes de información, a todo lo cual hemos dado cierta lógica y orden de exposición.

2.1. Metodología, información y análisis.

La metodología utilizada para la realización del diagnóstico, se resume en las siguientes acciones:

- 1) Definición de la región de estudio e indicadores
- 2) Adquisición y procesamiento de datos
- 3) Análisis de resultados
- 4) Diagnóstico del sector transporte
- 5) Estimación de emisiones de GEI

El punto inicial es fundamental para el diagnóstico, da la respuesta de cual es el objeto de estudio y determinan cuales son las variables a analizar. En la siguiente punto (2.2) se defina el ámbito geográfico del estudio, respecto a los indicadores a utilizar serán los que de alguna forma tienen mayor impacto en el crecimiento del parque vehicular.

El parque vehicular de una zona geográfica está directamente relacionado con las características socio-económicas de la población (Joyce Dargay, 2007). De acuerdo a Dargay, el crecimiento del parque vehicular es función del Producto Interno Bruto por habitante (PIB/hab); en el momento que una población alcanza un cierto valor de PIB/hab, el crecimiento del parque vehicular se acelera drásticamente hasta llegar a una punto de saturación cercano a los 800 vehículos por cada 1,000 habitantes, donde la curva se vuelve asintótica y el crecimiento del parque vehicular se estabiliza o crece lentamente. Esta relación se ha utilizado para el análisis del sector transporte en otros estudios, tales como el MEDEC del Banco mundial y estudios previos INECC-IIE sobre el transporte. Por lo cual, el presente diagnóstico del sector transporte en la Zona Centro del país se basa en el análisis de los siguientes parámetros característicos de cada región y que establecen las bases para el análisis de un escenario tendencial y de medidas de mitigación hacia el futuro:

- a) Características demográficas y socioeconómicas de la población (número de habitantes, producto interno bruto, superficie territorial, ingreso por habitante, densidad de población, etc.)
- b) Tamaño y características del parque vehicular

- c) Actividad y rendimiento vehicular
- d) Otras opciones de transporte
- e) Estimación de emisiones de GEI

La adquisición de datos es una de las tareas fundamentales para la realización del diagnóstico del sector transporte en la región centro del país. Sin embargo, los datos existentes no siguen un patrón común que permita llevar a cabo un diagnóstico preciso, debido a que en la mayoría de los casos los datos disponibles provienen de distintos estudios o bases de datos con diversos objetivos que no necesariamente tienen que ver con la integración de información respecto a las emisiones de GEI, consumo energético y estadísticas del parque vehicular.

El INECC lleva muchos años tratando de resolver este problema, uno de los mayores avances en este tema fue la integración del libro titulado “Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Vehiculares en Ciudades Mexicanas” (SEMARNAT, INE, 2009); el cual, proporciona los elementos básicos para estandarizar los procesos de elaboración de inventarios de emisiones vehiculares y con ello fomentar su integración, desarrollo y actualización de manera uniforme y homogénea en el país, así mismo menciona la incertidumbre de la información existente, destacando lo siguiente:

- “La estimación de las emisiones de fuentes móviles es, de por sí compleja y a menudo costosa. Es por ello que una gran inversión de recursos y tiempo debe verse reflejada en los esfuerzos por reducir la incertidumbre del inventario.”
- “Además de la incertidumbre asociada con el uso de modelos y con la calidad de los datos o insumos para la modelación, la incertidumbre también puede estar determinada por elementos o características propias del inventario, como lo son su precisión geográfica o resolución, el nivel requerido de confianza y la precisión deseada en la magnitud.”
- “En el caso particular de las poblaciones que conforman la zona centro del país, la información disponible es muy limitada ya que ni está actualizada ni está desagregada, de tal manera que se tiene que hacer proyecciones, que en algunos casos tienen un considerable grado de incertidumbre.”

Siguiendo la metodología mencionada en dicho documento para la estimación de emisiones de GEI, se procedió a recopilar la información requerida para la realización del diagnóstico. Cabe mencionar que en algunos casos los datos encontrados se pueden usar en forma directa, pero en otros se requiere algún tipo de procesamiento posterior, que permita tener datos estandarizados o indicadores comunes para el diagnóstico.

Se utilizó el año 2010 como el año de referencia en los datos requeridos para la elaboración del diagnóstico, debido a que a pesar de que las fuentes son más recientes, los datos que contienen son de datos de años anteriores, por lo cual se seleccionó el año 2010 en el que la mayoría de las fuentes consultadas incluyen datos para dicho año. Es importante mencionar que en la mayoría de los casos se buscó consultar una sola fuente de información para tener cierta consistencia en los datos y evitar alguna mala interpretación en cuanto a los distintos conceptos que cada una de las fuentes maneja.

En México no existe un único órgano administrador y concentrador de las actividades del sector autotransporte. Por su parte, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) es la

dependencia del Gobierno Federal que regula las actividades de transporte y provee de infraestructura carretera a la población son, en mayor medida, los gobiernos locales (estatales y municipales) los responsables de administrar y monitorear el parque vehicular, así como de construir y mantener las vialidades locales del país. Con ello, cada estado tiene su propio sistema y control del registro vehicular. Por su parte, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) recopila, como parte de sus registros administrativos, la Estadística de Vehículos de Motor Registrados en Circulación, a través de un cuestionario enviado a las 32 entidades federativas del país. Esta información se encuentra detallada por clase de vehículo: automóvil, motocicleta, camión y autobús; y por tipo de servicio: público, privado y oficial. En este sentido, el INEGI fue la fuente de información oficial sobre el parque vehicular en México que se utilizó. No obstante, se considera que está sobre contabilizado debido a las fallas en el control vehicular de cada estado, y en particular a la inexistencia de un procedimiento eficiente en el registro de bajas de vehículos.

Es las siguientes secciones de este capítulo se muestran los datos e indicadores utilizados para la realización del diagnóstico del transporte en la región centro del país.

2.2. Ámbito geográfico

Para la realización de este estudio es conveniente aclarar a que se refiere cuando se menciona la Zona Centro del país, el ámbito geográfico del presente estudio considera la región centro de México. En la república mexicana existen diversas regionalizaciones, tomando en cuenta la división política estatal, la región centro esta localizada en la parte central del territorio nacional, entre las coordenadas: 18°07' a 21°35' latitud norte y 96°52' a 100°36' longitud oeste. Está constituida por el Distrito Federal y los estados de: Hidalgo, México, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala. La figura siguiente ilustra la ubicación precisa de cada estado.



Figura 2.1 División política estatal de la zona centro de la república mexicana.

Asumiendo que el sector transporte, constituye un factor de desarrollo económico, social, político y tecnológico para la vida de México y un elemento estratégico para el logro de los objetivos de desarrollo sustentable y ordenamiento territorial de la región centro del país, se considera que un diagnóstico del transporte en dicha región, no puede concebirse a partir del análisis del transporte a nivel estatal por sé, por lo que es necesario orientar esta investigación con un enfoque de carácter regional en el que se analicen con mayor detalle los datos vinculados a la actividad del transporte en zonas metropolitanas.

Es importante destacar que las principales ciudades que se encuentran dentro de la región centro, han tenido un crecimiento tal que forman parte de una “zona conurbada”, que se conoce también como zona metropolitana porque incluye poblaciones de diversos municipios ya sea de la misma entidad federativa o de entidades colindantes. Sin embargo, debido a que la información se encuentra agrupada entidades estatales y en algunos casos municipales, las zonas metropolitanas se definieron tomando como referencia las delimitaciones políticas estatales, municipales y delegacionales.

Tomando de base el estudio “Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010” (SEDESOL, CONAPO, INEGI, 2012); el cual establece un marco de referencia que tiene como objetivo sistematizar la configuración territorial de las zonas metropolitanas. Y a partir de la observación de imágenes satelitales de Google Earth 2012© de las zonas conurbadas, además de la configuración de la división política municipal, se definen para este estudio las siguientes zonas metropolitanas:

- Zona metropolitana del Valle de México (ZMVM)
- Zona Metropolitana de Toluca (ZMT)
- Zona Metropolitana de Pachuca (ZMP)
- Zona Metropolitana de Cuernavaca (ZMC)
- Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala (ZMPT)
- Zona Metropolitana de Querétaro (ZMQ)

En el Anexo A se muestran los municipios que conforman cada una de estas zonas y se ilustra la región conurbada que define la zona metropolitana.

2.3. Características socio-económicas.

Las características socio-económicas de una población se pueden conocer por medio del análisis de datos estadísticos e índices que se han diseñado para este propósito, en un determinado periodo de tiempo.

La Tabla 2.1, muestra el crecimiento demográfico de los últimos tres censos de población y vivienda del INEGI, nacional y para las regiones de estudio. Se observa que el total de población a nivel nacional una TMCA de 1.84% en el período 1990-2000, valor que se redujo a 1.43% en el período 2000-2010. Esta tendencia de reducción en la TMCA en la última década la siguieron todas las zonas metropolitanas, en mayor medida la ZM Cuernavaca y ZM Toluca, en menor medida ZM Pachuca.

Tabla 2.1 Población y tasa de crecimiento histórica.

	Miles de habitantes			TMCA (%)		
	1990	2000	2010	1990-2000	2000-2010	1990-2010
Total nacional	81,249	97,483	112,336	1.84%	1.43%	1.63%
ZM Valle de México	14,839	17,381	18,772	1.59%	0.77%	1.18%
ZM Toluca	736	1,020	1,241	3.31%	1.98%	2.64%
ZM Pachuca	201	287	395	3.62%	3.24%	3.43%
ZM Cuernavaca	483	659	753	3.15%	1.34%	2.24%
ZM Puebla	1,311	1,710	2,063	2.69%	1.90%	2.29%
ZM Querétaro	500	716	945	3.65%	2.81%	3.23%
Total Zonas Metropolitanas ZC	18,072	21,775	24,170	1.88%	1.05%	1.46%

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI-SIMBAD.

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010, se registró una población de alrededor de 37 millones de habitantes en las entidades federativas de la Región Centro, la cual representó una tercera parte de la población total del país, corroborando la importancia de la región. Las zonas metropolitanas de la región de estudio participan con cerca de 22% del total nacional. Sin embargo, es importante observar la enorme diferencia demográfica que hay en la población de la ZM Valle de México y las otras zonas metropolitanas, donde 78% de la población de las zonas metropolitanas de la zona centro del país corresponde a la ZM Valle de México. La ZM Pachuca es la de menor contribución a la población de la Zona Centro, con el 1.64%.

Las TMCA para los períodos 1990-2000 y 2000-2010, muestran que: (1) las ZM de la región centro han resultado en un crecimiento sostenido de su población total, (2) las ZM de Pachuca y Querétaro son las que han tenido el mayor crecimiento poblacional; (3) la ZM Valle de México es la que presenta la menor crecimiento; y (4) todas las regiones tuvieron una disminución en sus TMCA en los últimos 10 años, en comparación con el período 1990-2000.

La Tabla 2.2 muestra como ha venido creciendo la densidad de población en los últimos 20 años. Los estados de la región centro suman una superficie de poco menos de 100 mil kilómetros cuadrados, lo que equivale a 5% de la superficie total del país. En dicha superficie, en el año 2010 se estima una densidad de 374 habitantes por kilómetro cuadrado, valor poco significativo cuando se compara con las densidades estimadas por zona metropolitana de la región de estudio. Como referencia, la Figura 2.2 muestra algunas densidades de población en algunas ciudades seleccionadas del mundo.

Tabla 2.2 Superficie urbana y densidad de población.

	Superficie	Densidad media urbana (hab/km ²)			Índice
	km ²	1990	2000	2010	2010
Total nacional	1,959,248	41	50	57	
ZM Valle de México	4,057	3,658	4,285	4,628	143
ZM Toluca	760	969	1,343	1,633	50
ZM Pachuca	270	747	1,066	1,466	45
ZM Cuernavaca	427	1,133	1,545	1,765	54
ZM Puebla	973	1,347	1,758	2,121	65
ZM Querétaro	975	513	734	969	30
Total Zonas Metropolitanas	7,462	2,422	2,918	3,239	100

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI-SIMBAD.

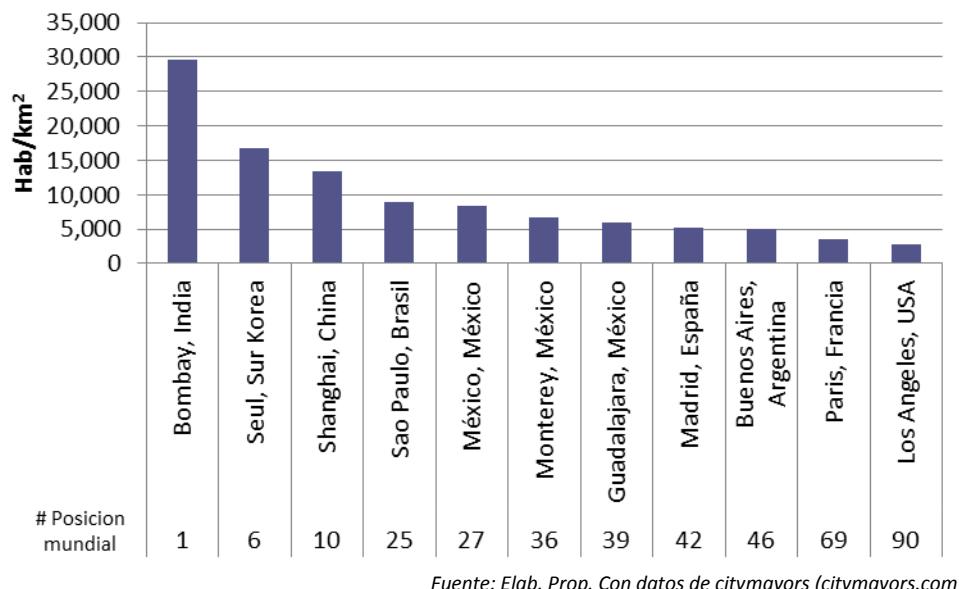


Figura 2.2 Densidades de población en algunas ciudades seleccionadas del mundo.

Se observa que el dato de la ciudad de México en el grafico es mayor en magnitud que el estimado de la ZM Valle de México de la tabla, esto se debe a que el dato del grafico solo considera el área y la población del Distrito Federal.

En cuanto a los niveles de ingreso, según datos del INEGI para el 2010, la región centro del país participa en 36 % del PIB nacional, teniendo la mayor participación el Distrito Federal, el Estado de México y el estado de Puebla con una participación de 18%, 10% y 3% respectivamente. El resto de las entidades federativas de la zona centro del país participan con menos del 2% del PIB nacional. La Tabla 2.3 muestra la evolución del PIB y PIB per cápita en los estados del centro y sus TMCA en el periodo 2003 y 2010.

Tabla 2.3 Producto interno bruto histórico.

	PIB			PIB/hab		
	Millones de Pesos 2003		TMCA	Miles de pesos 2003/hab		TMCA
	2003	2010	2003-2010	2003	2010	2003-2010
Total nacional	7,162,773	8,377,281	2.26%	73	75	0.21%
Distrito Federal	1,325,152	1,501,611	1.80%	154	170	1.39%
Hidalgo	101,847	122,017	2.61%	46	46	0.07%
México	645,873	815,995	3.40%	49	54	1.24%
Morelos	90,331	101,731	1.71%	58	57	-0.21%
Puebla	244,943	299,380	2.91%	48	52	1.02%
Querétaro	118,150	155,805	4.03%	84	85	0.19%
Tlaxcala	41,937	46,106	1.36%	44	39	-1.42%
Total región centro	2,568,234	3,042,644	2.45%	78	82	0.67%

Los valores de la tabla anterior de PIB por habitante muestran una significativa disparidad entre el Distrito Federal (DF) y el resto de los estados considerados. El DF tiene un PIB per cápita de más del doble del promedio nacional. Esta cifra y la densidad de población anticipan que las características urbanas del DF son sensiblemente diferentes al resto de las regiones urbanas consideradas y deberá considerarse en la forma de implementación de cualquier medida de mitigación en el sector transporte.

2.4. Parque vehicular

El factor más importante en la caracterización del sector transporte es el parque vehicular. Básicamente el parque vehicular esta compuesto por diversos tipos de vehículos que por sus características de uso y rendimiento es conveniente agruparlos en cinco categorías que se describen brevemente a continuación:

- Automóviles sedan de uso privado
- Automóviles sedan de uso publico (taxis)
- Automóviles compactos y subcompactos de menor rendimiento (SUV y deportivos)
- Autobuses de pasajeros (incluyendo los sistemas BRT, metrobus)
- Camiones de carga ligera (de hasta 5 toneladas de carga, se caracterizan por tener un solo eje trasero, se incluyen camionetas de carga y microbuses)
- Camiones de carga pesada (de más de 5 toneladas de carga con dos o más ejes traseros)

La Figura 2.3 muestra la evolución del parque vehicular total nacional desde 1980. Se observan dos periodos muy marcados de crecimiento, el primero de 1980 a 1995 una TMCA de 4.6% y el segundo con una TMCA de 7.2% en el periodo 1996-2010, debido principalmente a la facilidad de adquisición de vehículos mediante créditos a los consumidores. El mayor número de vehículos se registra en las unidades tipo sedan (privados, taxis y SUVs) con una participación de 67% en el 2010, seguido de los camiones de carga con 28%, motocicletas con 4% y el 1% restante de autobuses.

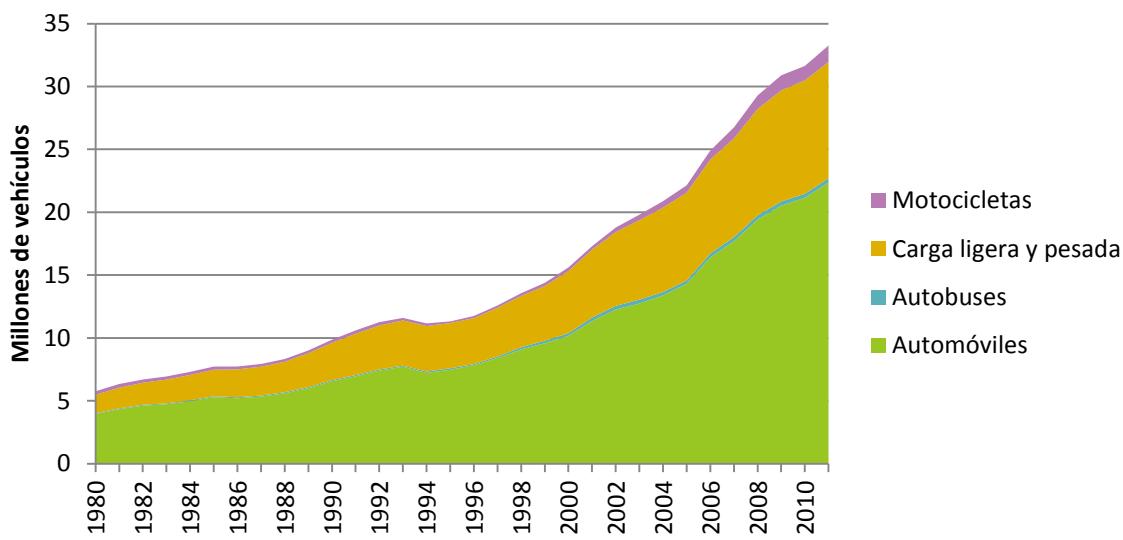


Figura 2.3 Parque vehicular total nacional por tipo. Fuente: INEGI-SIMBAD.

Impacto de la importación de vehículos usados

Como puede observarse de la gráfica anterior en los últimos 15 años el parque muestra una actividad más dinámica con incrementos en la tasa de crecimiento, parte de este efecto se debe a la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), que

reglamente las condiciones para la importación de vehículos con una antigüedad de 10 años o más originarios de Estados Unidos o Canadá. Se estima que en el 2011 35.3% del parque vehicular del país fueron vehículos de usados importados (solo 14% regularizados) con una antigüedad promedio de 18 años, el resto del parque se estima tendría 13 años promedio; esta diferencia en edad es causa de un mayor consumo de combustibles y por consecuencia de mayores emisiones de GEI.

Parque vehicular nuevo

El crecimiento del parque vehicular nuevo tiene un efecto positivo en el consumo de combustibles, debido a la incorporación de tecnologías más eficientes. En 2011, la producción de vehículos en México creció 11.0%, debido principalmente a los altos niveles de exportación registrados desde 2010 (véase Gráfica 42). Asimismo, la evolución deseada del parque vehicular es hacia vehículos subcompactos de altos rendimientos, ya sean diesel o gasolina, híbridos o eléctricos, que incrementen considerablemente el promedio de kilómetros-pasajero por unidad de volumen de combustible.

La Figura 2.4, muestra la evolución del parque vehicular en la zona centro del país, tanto para las entidades federativas como para las metrópolis de la región de estudio de este proyecto. Se observa que la zona centro del país sigue la tendencia de crecimiento del parque vehicular nacional. Sin embargo la participación de la zona centro en el parque nacional ha venido disminuyendo de valores cercanos al 40% en los 80s hasta 33% y 23% en el 2010 de los estados y metrópolis, respectivamente. Esto puede atribuirse a un mayor crecimiento económico de otras regiones del país.

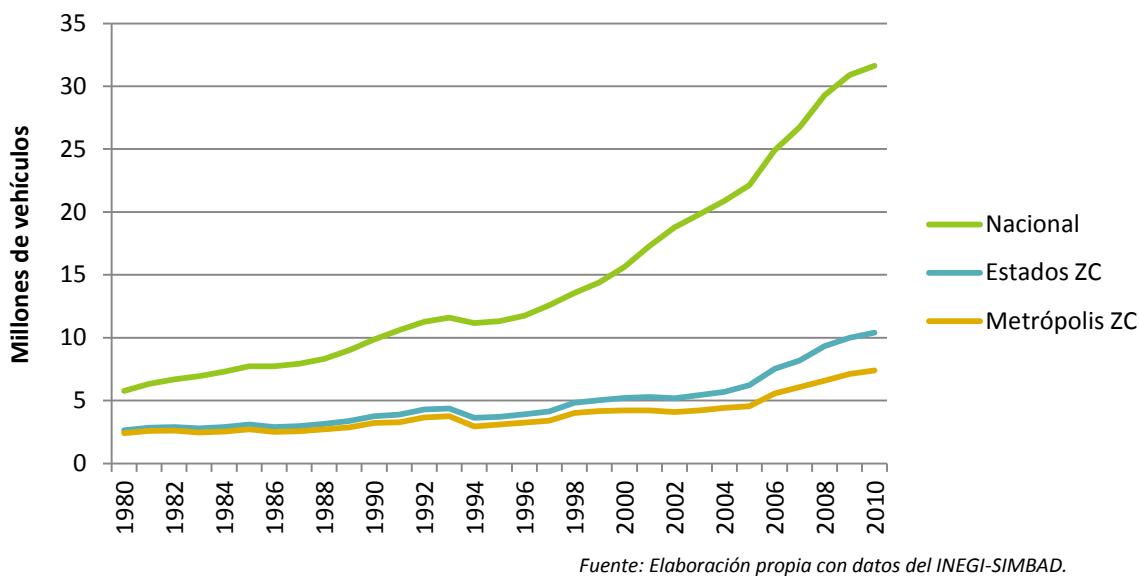


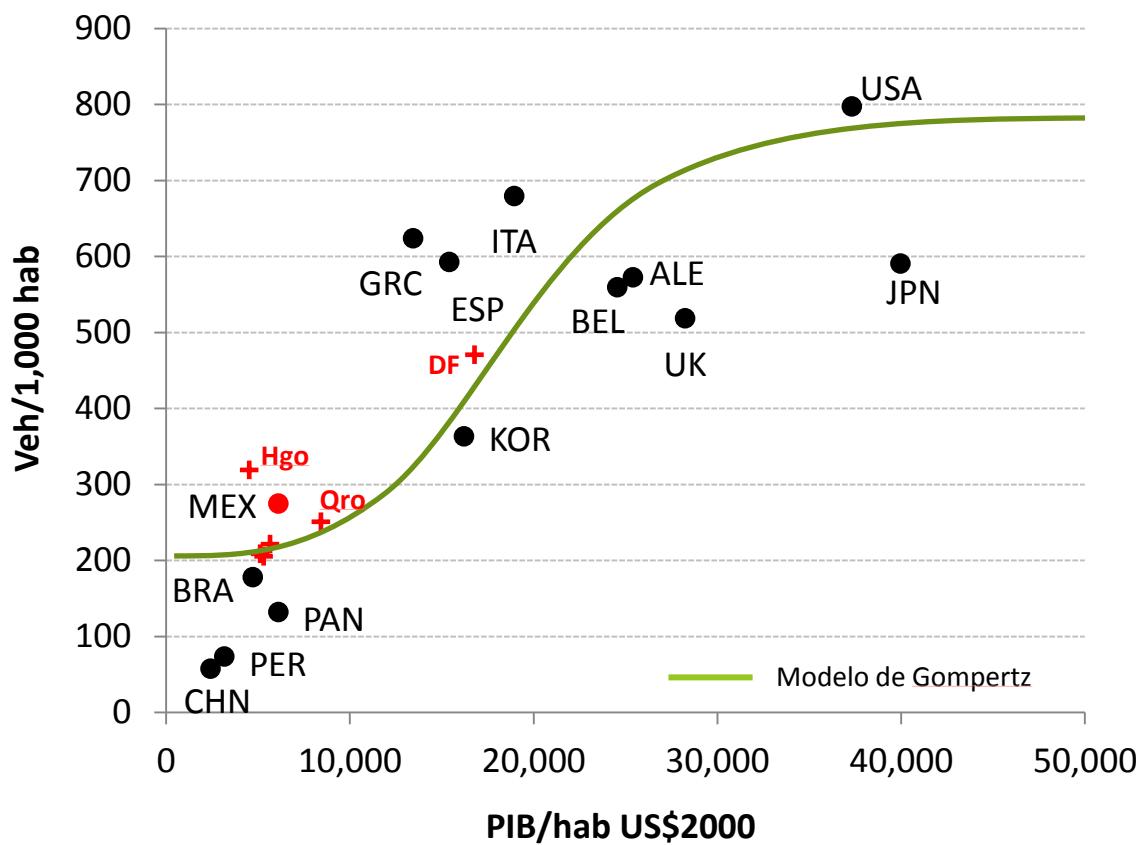
Figura 2.4 Parque vehicular total de la zona centro del país (ZC).

Se estima que al año 2010, las metrópolis de la región de estudio se componen de 7.4 millones de vehículos, de los cuales el 87% son automóviles sedan, taxis y SUV; 11% de carga, 1% autobuses y 1% motocicletas. La Tabla 2.4 muestra los datos de la composición del parque vehicular de cada zona metropolitana de la región de estudio.

Tabla 2.4 Parque vehicular por tipo (2010).

	Autos	Autobús	Carga	Motos	Total (Veh)	Veh/1,000 hab
Total nacional	21,152,773	313,984	9,015,356	1,154,145	31,636,258	282
ZM Valle de México	5,155,390	32,149	436,093	57,693	5,681,325	303
ZM Toluca	299,225	623	64,344	10,380	374,572	302
ZM Pachuca	134,582	917	47,580	2,778	185,857	470
ZM Cuernavaca	158,806	1,917	39,219	10,785	210,727	280
ZM Puebla	466,458	8,636	146,194	22,736	644,024	312
ZM Querétaro	224,880	2,624	75,157	6,318	308,979	327
Total Zonas Metropolitanas	6,439,341	46,866	808,587	110,690	7,405,484	306

Un indicador útil en el análisis del sector transporte es el número de vehículos por cada mil habitantes, este indicador se muestra en la última columna de la tabla anterior. A manera de comparación, la Figura 2.5 muestra este indicador para algunos países seleccionados, junto con la curva del modelo de Gompertz pospuesta por Dargay, Gately y Sommer (Joyce Dargay, 2007).



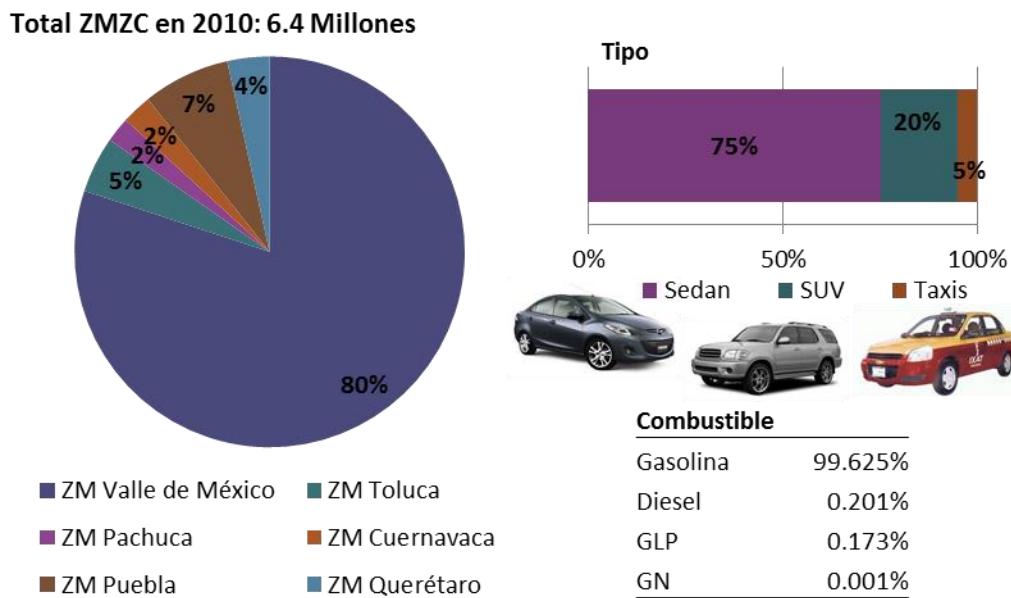
Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial, incluye vehículos de uso privado y comercial.

Figura 2.5 Número de vehículos por cada mil habitantes (2010 para países seleccionados).

Del análisis de este indicador para las ZMZC se observa que sólo la ZM de Cuernavaca se encuentra por debajo del valor del total nacional, en general las ZMZC presentan valores altos de este índice respecto a su PIB per cápita, estimado en alrededor de 5 mil USD2000/hab exceptuando el DF que tiene un valor de 13 mil USD2000/hab.

2.4.1. Automóviles

La Figura 2.6 muestra la distribución del parque de automóviles en el año 2010 en las Zonas Metropolitanas de la Zona Centro (ZMZC), el tipo de vehículo y el tipo de combustible que consumen.



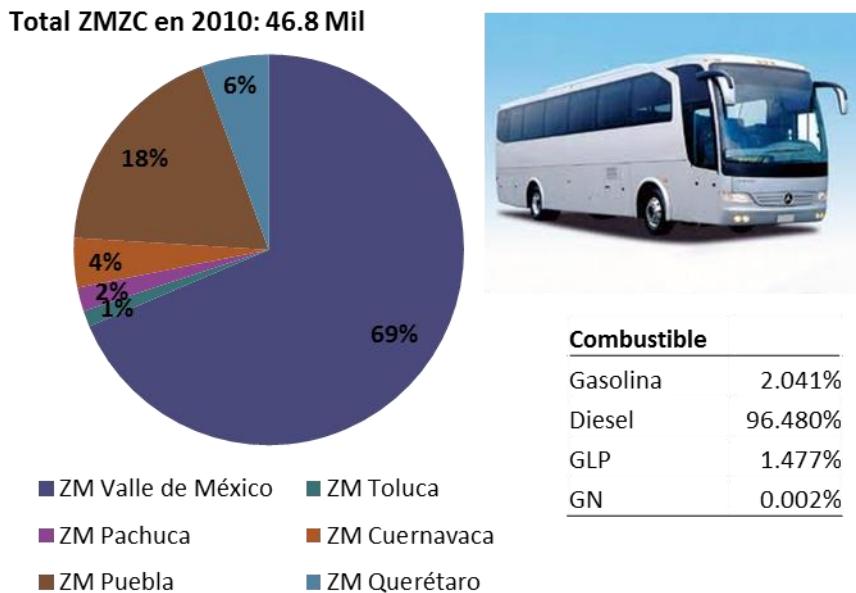
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI-SIMBAD y de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.

Figura 2.6 Integración de automóviles de las ZMZC, los tipos de vehículo y de combustible (2010).

Se observa que la mayor contribución en el parque de automóviles de la zona centro del país corresponde a la ZM del Valle de México, seguido en menor magnitud de las zonas metropolitanas de Puebla, Toluca, Querétaro y finalmente Pachuca y Cuernavaca. De acuerdo con datos del inventario emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2010 (SMA-GobDF, 2012), se estima que 75% de los automóviles son de uso particular tipo sedan, 20% son tipo SUV y el 5% restante corresponde a taxis; así mismo se estima que la mayor parte del parque de automóviles con dichas características, utiliza gasolina como combustible y solo existe una pequeña contribución de diesel, gas LP y gas natural. Cabe mencionar que no se encontró información confiable respecto al tipo de vehículos y combustible utilizado, en el parque de automóviles del resto de las zonas metropolitanas. Sin embargo, de la revisión de estudios correspondientes a cada zona metropolitana, se pudo constatar que las proporciones son similares.

2.4.2. Autobuses

La Figura 2.7 muestra la distribución del parque de autobuses en el año 2010 en las Zonas Metropolitanas de la Zona Centro (ZMZC) y el tipo de combustible que consumen.



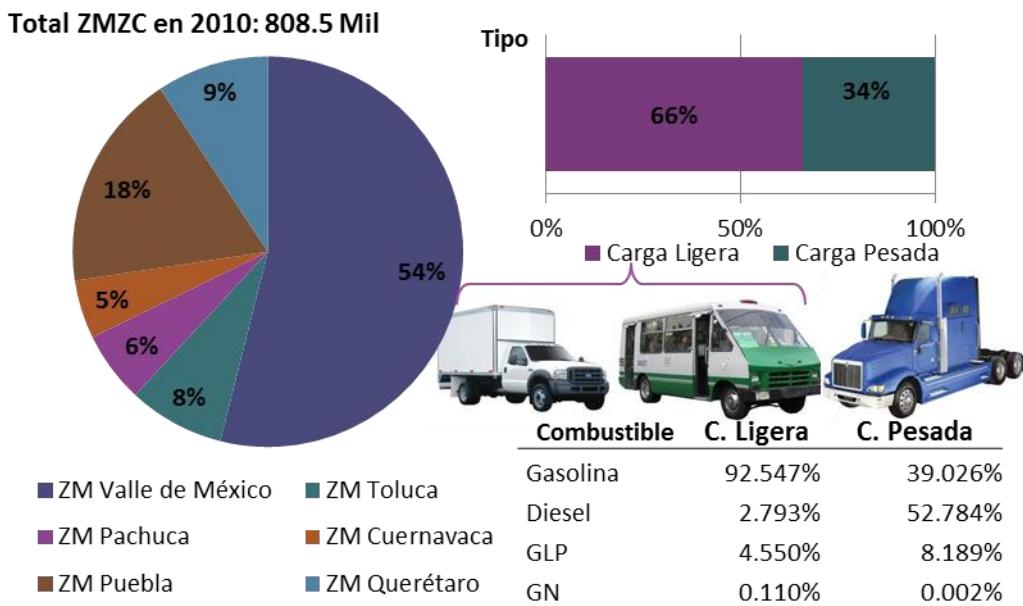
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI-SIMBAD y de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.

Figura 2.7 Integración de autobuses de las ZMZC, los tipos de autobuses y de combustible que consumen (2010).

Se observa que la mayor contribución en el parque de autobuses de la zona centro del país corresponde a la ZM del Valle de México y la ZM del Puebla, seguido de las zonas metropolitanas de Querétaro, Cuernavaca y en menor magnitud Pachuca y Toluca. De acuerdo con datos del inventario emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2010 (SMA-GobDF, 2012), se estima que la mayor parte del parque de autobuses utiliza diesel como combustible y solo existe una pequeña contribución de gasolina, gas LP y gas natural.

2.4.3. Carga

La Figura 2.8 muestra la distribución del parque de camiones y camionetas de carga en el año 2010 en las ZMZC, su tipo y el combustible que consumen.



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI-SIMBAD y de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.

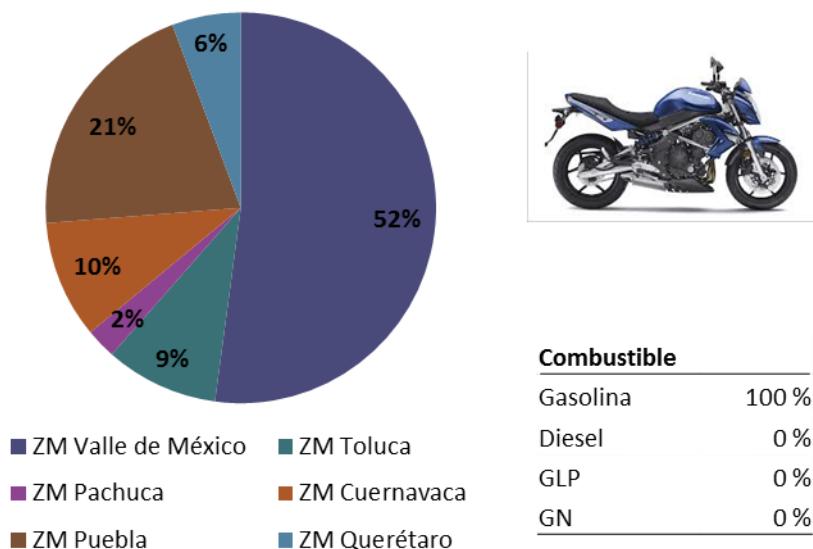
Figura 2.8 Integración de camiones de las ZMZC, los tipos de camión y de combustible (2010).

Se observa que la mayor contribución en el parque de camiones de carga de la zona centro del país corresponde a la ZM del Valle de México y la ZM del Puebla, seguido de las zonas metropolitanas de Querétaro, Toluca y en menor magnitud Pachuca y Cuernavaca. De acuerdo con datos del inventario emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2010 (SMA-GobDF, 2012), se estima que la mayor parte son de carga ligera es decir, con una capacidad de carga menor a 5 toneladas, en esta categoría se consideran las camionetas y microbuses de carga de un solo eje trasero; de esta categoría de vehículos la mayor parte consume gasolina como combustible. Para la categoría de carga pesada, la mayor parte consume diesel y gasolina.

2.4.4. Motocicletas

La Figura 2.9 muestra la distribución del parque de motocicletas en el año 2010 en las ZMZC y el tipo de combustible que consumen.

Total ZMZC en 2010: 110.7 Mil



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI-SIMBAD y de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.

Figura 2.9 Integración de motocicletas de las ZMZC y los tipos combustible que consumen (2010).

Se observa que la mayor contribución en el parque de motocicletas de la zona centro del país corresponde a la ZM del Valle de México y la ZM del Puebla, seguido de las zonas metropolitanas de Cuernavaca y Toluca, en menor magnitud Querétaro y Pachuca. De acuerdo con datos del inventario emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2010 (SMA-GobDF, 2012), se estima que prácticamente todas consumen gasolina como combustible.

2.4.5. Actividad y rendimiento vehicular

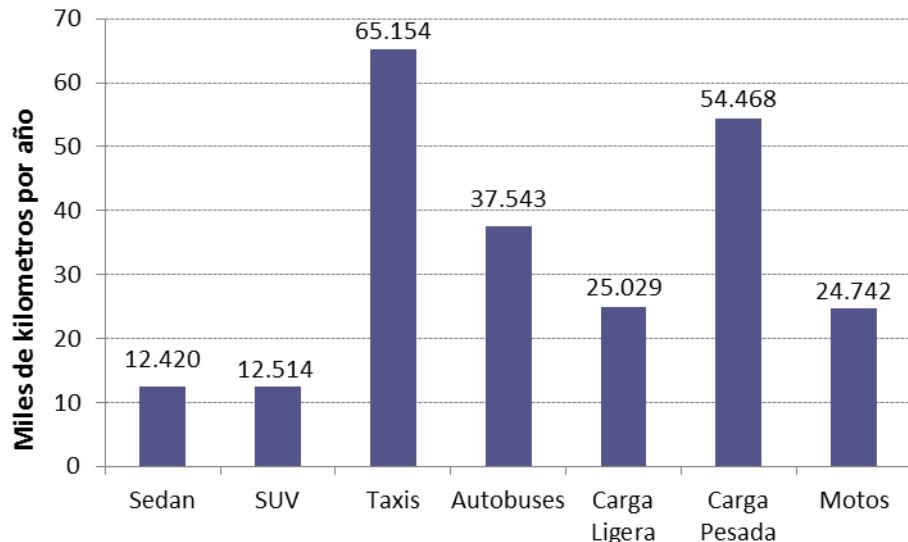
Para estimar las emisiones de GEI asociadas al consumo de energía en el transporte, es necesario estimar los hábitos de uso del autotransporte, para lo cual se realizó una extensa revisión documental y estadística. Para ello se manejaron datos recabados de diferentes fuentes, en especial de los Inventarios de Emisiones disponibles para ciertas ciudades en el país, así como del INEGI, la SENER, la SCT y los diferentes organismos encargados del transporte en cada ciudad. Cabe mencionar que en algunos casos se obtuvieron datos específicos de acuerdo con el tipo de vehículo, el servicio brindado y la región o estado del país. Sin embargo, no se encontró ninguna fuente de información que proporcionara datos completos para la estimación de todas las variables e indicadores requeridos.

Para tener una descripción básica de la actividad del parque vehicular, se utilizan algunas variables e indicadores que permiten estimar tanto el uso de los vehículos, como el rendimiento de los mismos. Las variables comúnmente utilizadas para describir la actividad vehicular son: (a) distancia recorrida (km/día, km/semana, km/año); (b) consumo de combustible (pesos/semana, km/litro); (c) tipo de uso del vehículo (particular, pasaje, carga, etc.), (d) origen-destino (flujos diario, casa-trabajo, casa escuela). Los datos Kilómetro-Vehículo Recorrido proporcionan información crucial sobre el volumen de tráfico y su crecimiento. Es la primera aproximación de la cantidad de viajes realizados en una

determinada vía o área de estudio, es decir, su medición está en función del número de viajes observados y la distancia de los mismos. (ITDP-Embajada Británica en México, 2012).

2.4.5.1. Recorrido anual

La Figura 2.10 muestra los datos del recorrido anual típico del parque vehicular por su en las zonas metropolitanas de la región de estudio.



Fuente: Elaboración propia con datos de los Inventarios de emisiones en distintas ciudades y la Encuesta sobre el consumo de combustibles en el sector autotransporte de carga y pasajeros por modalidad de la SENER.

Figura 2.10 Recorrido anual típico estimado por tipo de vehículo en la ZC

2.4.5.2. Rendimiento

El rendimiento de combustible de un automóvil es la relación entre la distancia recorrida y la cantidad de combustible consumido por el vehículo. No hay unidades definidas en los estándares internacionales para este concepto. Las dos formas más comunes para medir el rendimiento de los vehículos son:

- Unidades de combustible por distancia fija: La cantidad de combustible utilizado en cierta distancia, por lo general se mide en litros por cada 100 kilómetros (l/100 km), según el SI se utiliza en Europa, China, Sudáfrica, Australia y Nueva Zelanda. La ley canadiense permite el uso de litros por cada 100 kilómetros o millas por galón imperial.
- Unidades de distancia por unidad fija de combustible: En los automóviles es la distancia recorrida por unidad de combustible utilizado, por lo general en millas por galón (mpg) o en kilómetros por litro (km / l), de uso común en el Reino Unido y los Estados Unidos (mpg); y en Japón, Corea, India, Pakistán, Tailandia, partes de África, los Países Bajos, Dinamarca y América Latina (km / l).

En ocasiones es necesario comparar rendimientos de distinto combustible, para ello se utiliza comúnmente los litros de gasolina equivalentes por 100 km (Lge / 100 km) en los que el contenido energético de los combustibles se expresa en términos del contenido

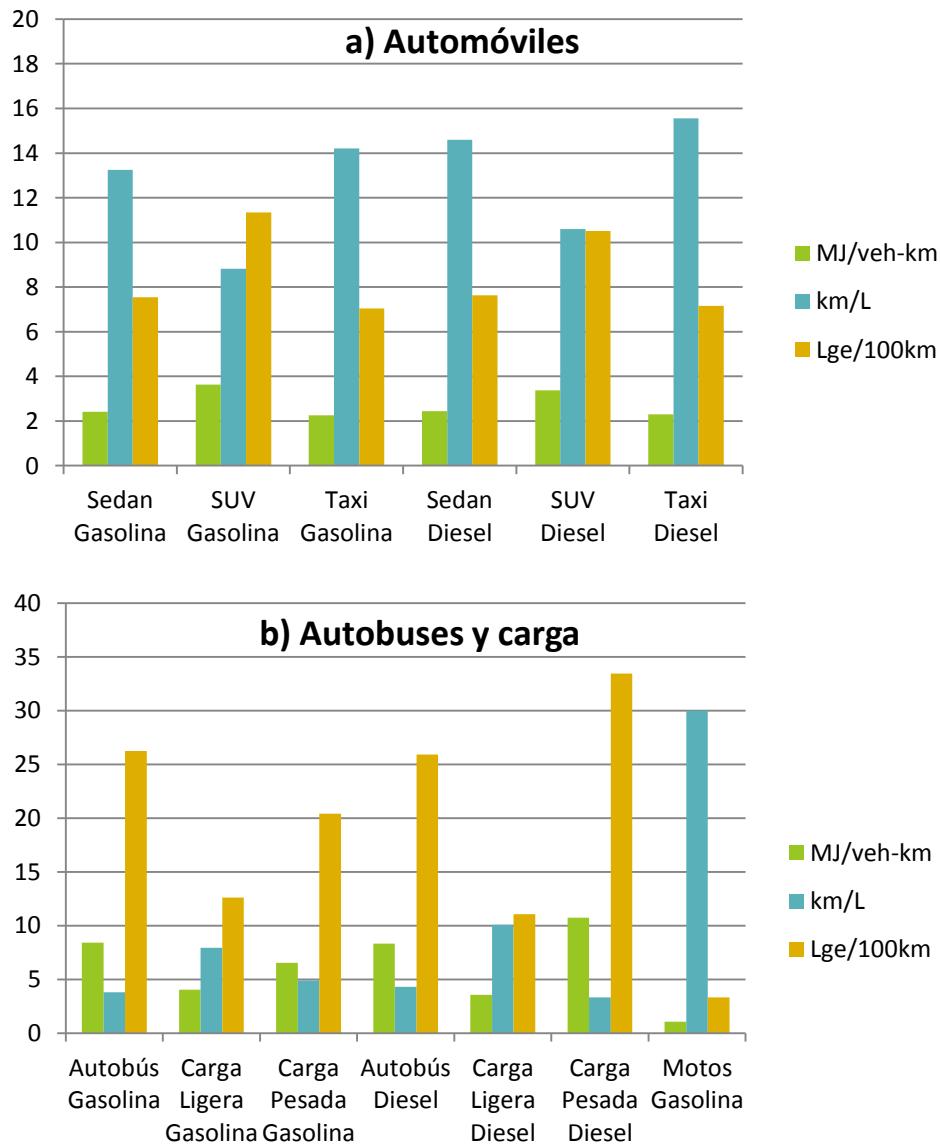
energético de la gasolina. El poder calorífico de los combustibles en México se muestra en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Poder calorífico de los combustibles utilizados en los vehículos.

Combustible	PCC	Unidades
Gasolina	5,097	MJ/B
Diesel	5,681	MJ/B
Gas LP	4,256	MJ/B
Gas Natural	33,913	kJ/m ³

Fuente: Balance de energía 2010 SENER

La Figura 2.11 muestra el rendimiento típico de los vehículos en función del tipo de vehículo y combustible utilizado.



Fuente: INE-Portal de indicadores de eficiencia energética y emisiones vehiculares (www.ecovehiculos.gob.mx, consulta: 05/feb/2013); IEA-Fuel economy of road vehicles 2012.

Figura 2.11 Rendimiento típico de los vehículos en función del tipo de vehículo y combustible utilizado

Como referencia internacional la Figura 2.12 muestra la evolución del rendimiento vehicular desde los 90s estimados por la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2012).

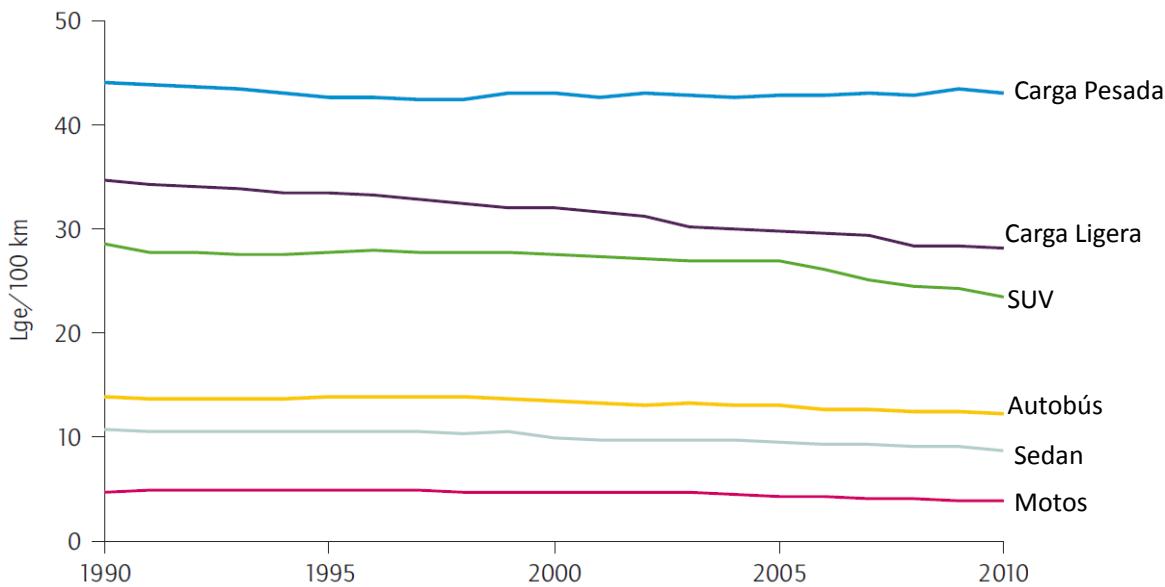


Figura 2.12 Evolución del rendimiento típico por tipo de vehículo y combustible utilizado (IEA, 2012).

Se observa que la mejora tecnológica ha sido de forma gradual en los últimos 20 años y se espera que se mantenga esta tendencia por lo menos para los próximos 20 años, debido a que la penetración de los autos híbridos y eléctricos será de forma gradual, considerando que ya están disponibles en el mercado pero sus costos aún son muy altos (aprox. 200 % del valor de un vehículo con similares características), por lo cual, suponiendo que los costos sean accesibles en los próximos 10 años, la penetración en el mercado nacional se daría de forma natural, es decir con un desfasamiento de aproximadamente 20 años para la renovación del parque vehicular completo.

2.5. Consumo de combustibles y estimación de emisiones de GEI

El sector transporte en México es un alto demandante de energía y un emisor considerable de emisiones contaminantes, entre las cuales los gases de efecto invernadero (GEI). De acuerdo al inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) en el 2010, en México se emitieron 748.252 millones de toneladas de CO₂e (t CO₂e) para los seis gases enunciados en el Anexo A del Protocolo de Kioto. La categoría de Energía se mantiene con la mayor contribución en el total de emisiones de GEI en México, la cual representó 67.3% (503.817 Millones t CO₂e, incluyendo emisiones fugitivas del minado del carbón y de la industria de petróleo y gas). Como parte de esta categoría el sector transporte es el mayor generador de emisiones de GEI, se estima que en el año 2010 se emitieron 166.412 millones t CO₂e alcanzando una TMCA1990-2010 de 3.2% y contribuyendo con 33% del total de la categoría de energía y 22% del total nacional. La contribución por modalidad en el transporte fue: automotor, 94.5% (157.242 millones t CO₂e); aéreo, 2.9% (4,886 mil t CO₂e); marítimo, 1.4% (2,341 mil t CO₂e), y ferroviario, 1.2% (1,942 mil t CO₂e). (SEMARNAT-INECC, 2012).

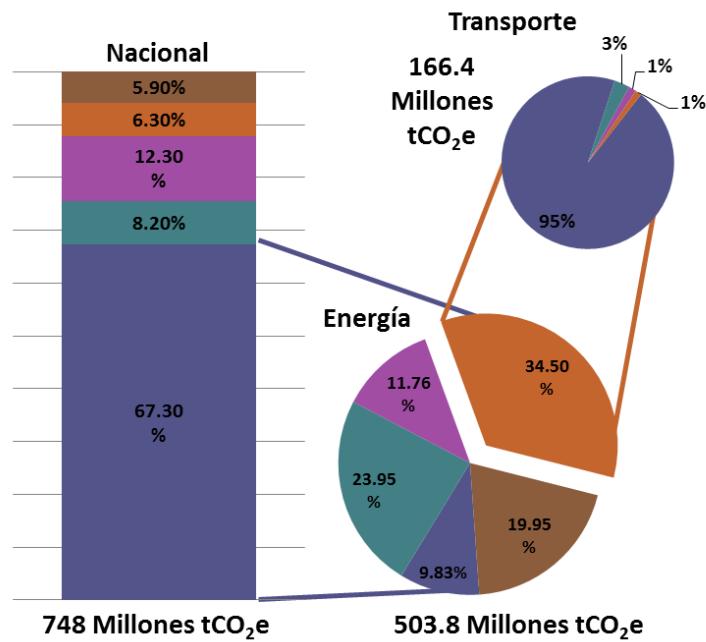


Figura 2.13 Contribución a la emisión de GEI del sector transporte en México (2010).

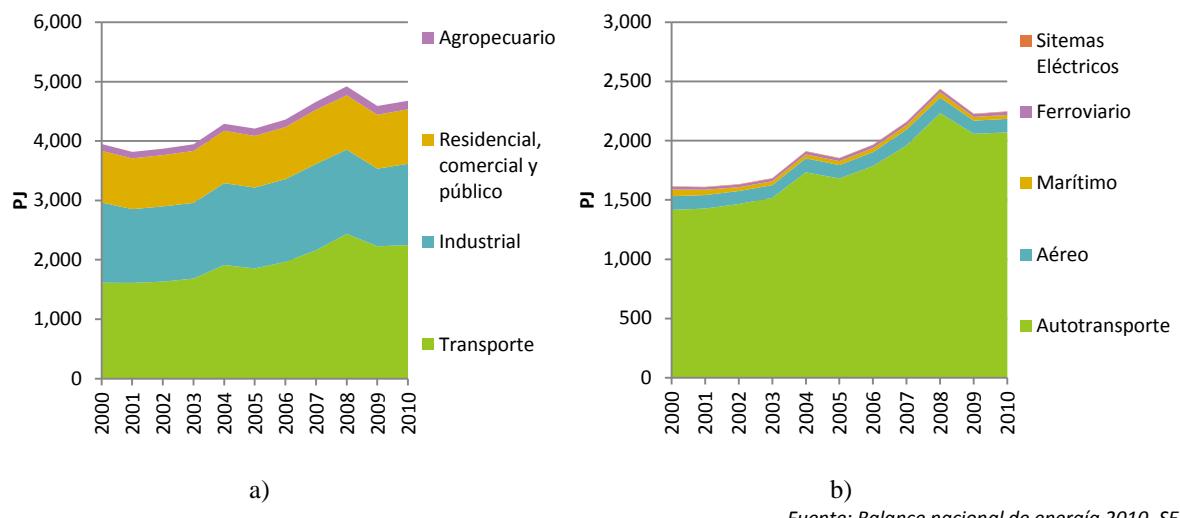
Las emisiones de GEI del sector transporte se atribuyen principalmente a la combustión de combustibles petrolíferos de origen fósil. Según el Balance Nacional de Energía 2010 de SENER, el sector transporte es el mayor consumidor de energía de uso final, por encima de los sectores residencial, comercial, agropecuario e industrial, contribuye con 48% (2,248 PJ) del consumo final de energía a nivel nacional que en el 2010 se estima en 4,678 PJ. De dicho consumo energético del sector transporte, la mayor contribución corresponde al autotransporte con 92% (2,070 PJ), muy por encima de los otros modos de transporte tales como el aéreo con 5% (114 PJ), el marítimo con 1.46% (33 PJ) y el ferroviario y eléctrico con 1.36% (31 PJ). La Tabla 2.6, muestra el consumo de energía por energético en cada tipo de transporte para el año 2010.

Tabla 2.6 Consumo de energéticos en el sector transporte en México (2010).

(PJ)	Autotransporte	Aéreo	Marítimo	Ferroviario	Total
Gasolina	1,491.35	0.93			1,492.27
Diesel	537.12		28.07	26.38	591.56
Gas LP	40.92				40.92
Gas natural	0.48				0.48
Querosenos		113.36			113.36
Combustóleo			4.84		4.84
Electricidad				0.14	0.14
	2,069.87	114.29	32.91	26.52	2,243.59

Fuente: Balance de energía 2010, SENER

La Figura 2.14 muestra la evolución histórica del consumo nacional de energía de uso final y el desglose de esta evolución para el sector transporte, según datos del balance nacional de energía 2010 de SENER. Se observa que el sector transporte fue el mayor consumidor de energía de uso final en la década pasada, siendo el auto transporte el de mayor participación en los modos de transporte.



Fuente: Balance nacional de energía 2010, SENER

Figura 2.14 Evolución histórica del consumo de energía por sector de uso final a) Nacional b) Desglose de transporte.

Respecto a la zona de estudio, se estimaron los datos de consumo de combustibles del sector autotransporte en función de la distribución del parque vehicular en cada zona metropolitana mediante la siguiente ecuación:

$$C_{ij} = PV_i * \%Tipo_{ik} * \%Comb_{ij} * Recorrido_{ik} * Rendimiento_{jk}$$

Donde,

C_{ij}	Consumo de combustible (j) en la zona metropolitana (i) en PJ,
PV_i	Parque vehicular en la en la zona metropolitana (i) en millones de vehículos,
$\%Tipo_{ik}$	Participación por tipo de vehículo (k) en la zona metropolitana (i) en %,
$\%Comb_{ij}$	Participación por tipo de combustible (j) en la zona metropolitana (i) en %,
$Recorrido_{ik}$	Recorrido anual por tipo de vehículo (k) en la zona metropolitana (i) en miles de kilómetros y
$Rendimiento_{jk}$	Rendimiento por tipo de vehículo (k) y tipo de combustible (j) en MJ/veh-km.

La Tabla 2.7 muestra los resultados de consumo de combustibles y emisiones estimadas por zona metropolitana para el año 2010. Las emisiones de GEI, se estimaron mediante el consumo de combustibles que toma en cuenta la distribución del parque vehicular y los factores de emisión de los combustibles para cada tipo de tecnología vehicular, cargados en la base de datos tecnológica del programa LEAP en concordancia con el IPCC, el US DOE y la IEA.

Tabla 2.7 Resumen de consumo de combustibles y emisiones GEI del sector transporte en la región de estudio (2010).

	ZM VMx	ZM Tol	ZM Pch	ZM Cue	ZM Pue	ZM Qro	Total ZM	Resto P	Nacional
Consumo de combustible (PJ)									
Gasolinas	229.615	15.778	8.509	8.920	28.409	13.930	305.161	1,186.049	1,491.209
Diesel	14.796	3.222	2.495	2.360	9.175	4.246	36.296	500.928	537.224
Gas LP	2.292	0.530	0.387	0.326	1.211	0.616	5.362	34.983	40.345
Gas Nat. Comp.	0.030	0.004	0.003	0.003	0.010	0.005	0.055	0.534	0.589
Total	246.733	19.534	11.394	11.609	38.805	18.796	346.872	1,722.494	2,069.367
Consumo de combustible por tipo de vehículo (PJ)									

Sedan	111.468	6.762	3.041	3.589	10.541	5.082	140.482	332.478	472.960
SUV	54.907	2.704	1.216	1.435	4.215	2.032	66.508	132.941	199.449
Taxi	37.304	1.041	0.468	0.552	1.623	0.782	41.771	51.124	92.894
Autobús	8.446	0.167	0.246	0.514	2.317	0.704	12.394	71.654	84.048
Carga Ligera	23.151	3.416	2.526	2.082	7.761	3.990	42.926	435.681	478.607
Carga Pesada	9.929	5.171	3.824	3.152	11.749	6.040	39.863	671.026	710.890
Motocicletas	1.525	0.274	0.073	0.285	0.601	0.167	2.926	27.587	30.513
Total	246.732	19.534	11.394	11.609	38.805	18.796	346.871	1,722.491	2,069.361
Emisiones de GEI por combustible (Millones de ton CO₂e)									
Gasolinas	18.683	1.255	0.672	0.707	2.244	1.100	24.661	96.278	120.939
Diesel	1.093	0.238	0.184	0.174	0.678	0.314	2.682	37.017	39.699
Gas LP	0.631	0.062	0.035	0.034	0.114	0.057	0.934	3.953	4.887
Gas Nat. Comp.	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.004	0.037	0.041
Total	20.410	1.556	0.892	0.915	3.037	1.472	28.281	137.286	165.566
Emisiones de GEI por tipo de vehículo (Millones de ton CO₂e)									
Sedan	9.203	0.558	0.251	0.296	0.870	0.420	11.598	27.449	39.047
SUV	4.813	0.237	0.107	0.126	0.369	0.178	5.830	11.650	17.480
Taxi	3.039	0.085	0.038	0.045	0.132	0.064	3.402	4.164	7.566
Autobús	0.619	0.012	0.018	0.038	0.170	0.052	0.909	5.255	6.164
Carga Ligera	1.868	0.249	0.183	0.151	0.563	0.289	3.303	35.425	38.728
Carga Pesada	0.760	0.395	0.290	0.239	0.890	0.457	3.030	51.379	54.410
Motocicletas	0.109	0.020	0.005	0.020	0.043	0.012	0.208	1.963	2.171
Total	20.410	1.556	0.892	0.915	3.037	1.472	28.281	137.285	165.566

Se observa que los totales nacionales concuerdan con los datos publicados en el Balance nacional de energía 2010 de SENER (SENER a, 2010) y las emisiones estimadas en el inventario de GEI de la Quinta Comunicación Nacional de México ante la Convención Nacional (SEMARNAT-INECC, 2012). La ZM del Valle de México es la que presenta mayor consumo de energía para el transporte y la que presenta mayor cantidad de emisiones de GEI.

Estos datos se tomaran en cuenta como punto de partida para la formulación del escenario tendencial que se describe en el siguiente capítulo del presente informe.

2.6. Conclusiones

El análisis de los datos presentados en esta sección, permite presentar, en forma resumida el siguiente diagnóstico:

1. Las zonas metropolitanas de la región de estudio participan con cerca de 22% del total nacional. Sin embargo, es importante observar la enorme diferencia demográfica que hay en la población de la ZM Valle de México y las otras zonas metropolitanas, donde 78% de la población de las zonas metropolitanas de la zona centro del país corresponde a la ZM Valle de México. La ZM Pachuca es la de menor contribución a la población de la Zona Centro, con el 1.64%.
2. Las zonas metropolitanas consideradas resultan con densidades cercanas o superiores a los 1,000ha/km², lo cual es normal para ciudades. La ZMVM es un caso que debe resaltarse, con una población cercana a los 20 millones es posible encontrar áreas con densidades de población extremas del orden de más de 15,000 ha/km² (Nezahualcóyotl, Iztacalco, Cuauhtémoc, Iztapalapa) que no se dan en ninguna otra parte del país, esto hay que considerarlo si se quiere implementar proyectos con requerimientos de disponibilidad de áreas.
3. El DF tiene un PIB per cápita de más del doble del promedio nacional. Esta cifra y la

densidad de población anticipan que las características urbanas del DF son sensiblemente diferentes al resto de las regiones urbanas consideradas.

4. Las características socioeconómicas de la ZCRM, están grandemente influenciadas por las de la ZMVM, lo cual es el resultado de su elevada contribución a las variables que aquí se analizan tales como tamaño de la población, producto interno bruto, características del parque vehicular, y por lo tanto nivel de emisiones de gases de efecto invernadero.
5. Las zonas metropolitanas consideradas para este estudio contienen un 23% del parque vehicular, a pasar de representar el 5% de la superficie del país y su número de vehículos por habitante es de alrededor de 300 ha/veh. que de acuerdo con la curva de Gompertz (Joyce Dargay, 2007) estarían considerada como un bajo valor comparado con obtenidos para países más desarrollados.
6. El consumo de energía por modalidad de transporte a nivel nacional muestra que el autotransporte a base de combustibles fósiles representa más del 92% porciento del consumo de energía del país y es el principal responsable de la emisión de GEI del sector transporte. Este dato evidencia la falta de diversificación en tipos de transporte en México.
7. Las emisiones GEI del sector autotransporte en las ZM de estudio en el 2010 (28.29 MtCO₂e) representaron el 3.8% del total nacional (748 MtCO₂e) y el 5.6% del sector energía (503.8MtCO₂e).
8. El parque vehicular de las zonas metropolitanas consideradas es demasiado alto (16.7% del total nacional), debido a la gran contribución de la ZMVM (11.9% del total nacional), esto tiene su efecto en porcentajes similares en las emisiones de GEI, 17.1% para las zonas metropolitanas consideradas y 12.3% respecto a las totales del país.
9. Un dato que es de destacar es que las zonas metropolitanas consideradas tienen casi el 30% de los vehículos tipo sedan del país que le permite participar solo en el 20.5% del consumo de gasolina del país.

3. ESCENARIOS PROSPECTIVOS

Como parte de los objetivos específicos del presente proyecto es definir la línea base (caracterización en un año dado) de emisiones de GEI del sector transporte y, a partir de dicha base, construir escenarios prospectivos estimados bajo la ocurrencia o no ciertos eventos que afectan el desarrollo del sector transporte.

En la sección anterior fueron definidas las zonas geográficas de estudio y determinados los indicadores y su correspondiente valor de acuerdo a la información disponible (2010). Los términos de referencia para el presente estudio determinan que será el año 2011 el que se deberá utilizar para la línea base, pero debido a la que no es posible obtener información suficiente para la caracterización los indicadores para este año, estos se estimarían como extrapolación de los datos del 2010. También, de acuerdo a los mismos términos, es importante a la hora de estimar los escenarios, obtener adicionalmente a los del año base, los indicadores para los años 2020, 2030 y 2050.

En este capítulo se define la línea base de emisiones de GEI y se describe la construcción de los escenarios.

3.1. Metodología y premisas

La estimación línea base y los escenarios se realizaron con ayuda del modelo METRO (Modelo Energético de Transporte en la Región CentrO) que se ha desarrollado recientemente en la Gerencia de Procesos Térmicos del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), con el fin de estimar las emisiones de GEI, ocasionadas por el consumo de combustibles de origen fósil del sector transporte en las Zonas Metropolitanas de la región centro de la república mexicana.

El modelo METRO está basado en el Modelo Energético de México al 2070 (MEM70), desarrollado en el año 2009 por la misma gerencia del IIE en colaboración con especialistas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). El MEM70 se ha utilizado en diversos estudios de evaluación de escenarios para el Instituto Nacional de Ecología (INE). El modelo METRO se desarrolló con el propósito de cumplir con los objetivos del presente estudio. Ambos modelos utilizan la plataforma comercial LEAP (Heap, 2012), desarrollada por el Instituto Ambiental de Estocolmo (SEI, por su nombre en inglés) y de reconocimiento internacional. En el anexo B se incluye la descripción detallada del modelo METRO.

En la construcción de escenarios se inicia con la construcción de un escenario de referencia (Business as usual) donde se supone que el crecimiento se dará mediante los métodos actuales o históricos del sistema, una forma de estimarlo es manteniendo las correlaciones entre los distintos elementos del sistema, en este método no se consideran ningún tipo de cambio.

Para el caso la construcción del escenario de referencia se realizó a partir de los datos más recientes que se obtuvieron del diagnóstico del transporte descrito en la sección anterior y se estima el crecimiento del sector transporte y del resto de los sectores económicos en base al crecimiento de la demanda, a su vez basada en el crecimiento de la población y de la economía del país, esta última representada por el Producto Interno Bruto (PIB).

3.1.1. Población y PIB

Según datos del Banco Mundial (World Bank, 2013), el PIB per cápita de México en términos de paridad de poder de compra en el 2010 se estima en 12,481 USD₂₀₀₅/hab. Para determinar su proyección en el periodo de análisis 2011-2050, se mantiene la tasa de crecimiento del PIB esperada en los próximos años de 3.6%, según datos de las prospectivas de SENER para el periodo 2012-2026 (Prospectiva del Sector Eléctrico SENER, 2012) y los datos de la proyección de la población de CONAPO al 2050, que se ajustó al valor de la población de 112.3 Millones de habitantes en el 2010 del Censo general de población y vivienda del INEGI. La Figura 3.1 muestra la proyección del PIB per cápita.

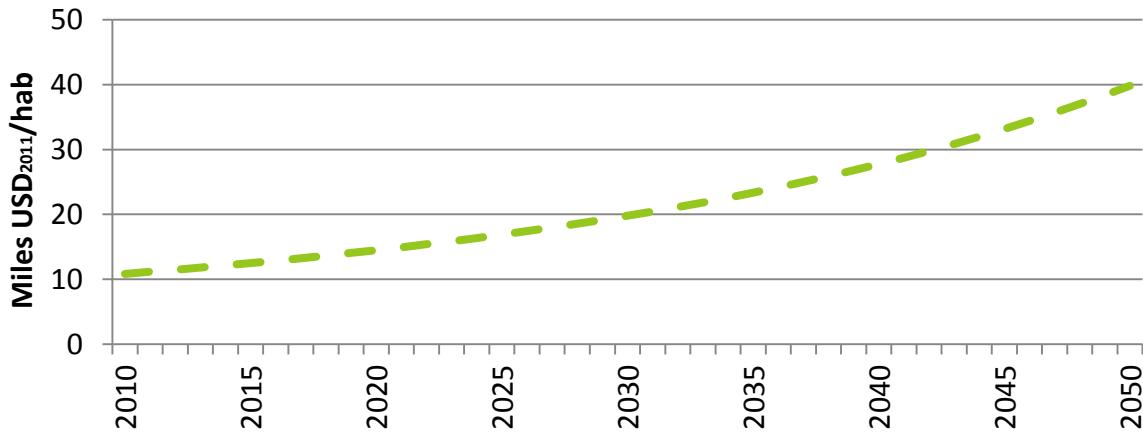


Figura 3.1 Proyección de PIB per-cápita.

3.1.2. Crecimiento del parque vehicular automotriz

El crecimiento del parque automotriz nacional se estima mediante la aplicación del modelo de Gompertz propuesto por Dargay, Gately y Sommer (Joyce Dargay, 2007). El crecimiento del parque vehicular se aproxima mediante la siguiente ecuación:

$$V_t^* = \gamma * \exp[-5.897 * \exp(-0.17 * \text{PIB}_t)]$$

Donde,

- V_t^* Nivel de saturación vehicular en el año (t) en vehículos/1000 hab,
- γ Nivel de saturación esperado (i) en vehículos/1000 hab, estimado para México en cerca de 600 veh/1000 habitantes,
- PIB_t PIB per cápita en el año (t) en dólares PPP (Paridad de poder de compra, por siglas en inglés) por habitante, estimado en 12,481 USD₂₀₀₅/hab para el 2010 y con una tasa de crecimiento de

Según Dargay, la función de Gompertz describe la relación a largo plazo entre la propiedad del vehículo y el ingreso per cápita. Con el fin de tomar en cuenta el retraso en la renovación del parque vehicular se requiere del siguiente mecanismo de ajuste:

$$V_t = V_{t-1} + \theta * (V_t^* - V_{t-1})$$

Donde,

V_t	Nivel de saturación vehicular ajustado en el año (t) en vehículos/1000 hab,
V_t^*	Nivel se saturación vehicular en el año (t) en vehículos/1000 hab,
θ	Velocidad de ajuste ($0 < \theta < 0.1$), se aplica 0.095 para economías emergentes como México.
PIB_{C_t}	PIB per cápita en el año (t) en dólares PPP (Paridad de poder de compra, por siglas en inglés) por habitante.

La Figura 3.2 muestra la evolución histórica del parque automotriz y el crecimiento estimado con el modelo del Gompertz en el periodo 2011-2050.

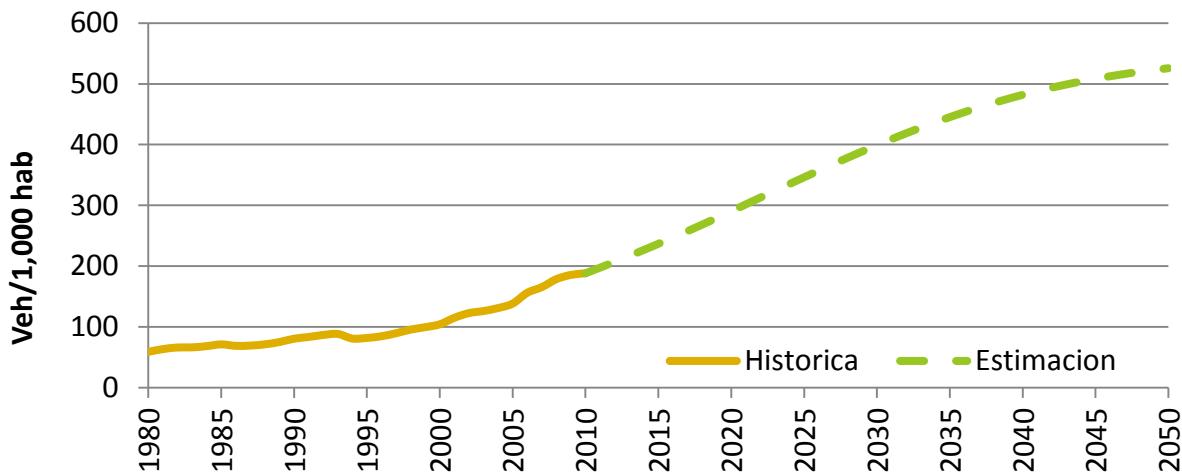


Figura 3.2 Histórico y proyección de automóviles en México.

Para determinar el crecimiento del parque automotriz de las zonas metropolitanas de la región centro en el escenario tendencial, se mantuvo constante la distribución del parque vehicular descrita en la sección 2.4 anterior. La figura NN muestra la evolución esperada del parque automotriz de las zonas metropolitanas de la región centro del país para el periodo 2011-2050 del escenario tendencial.

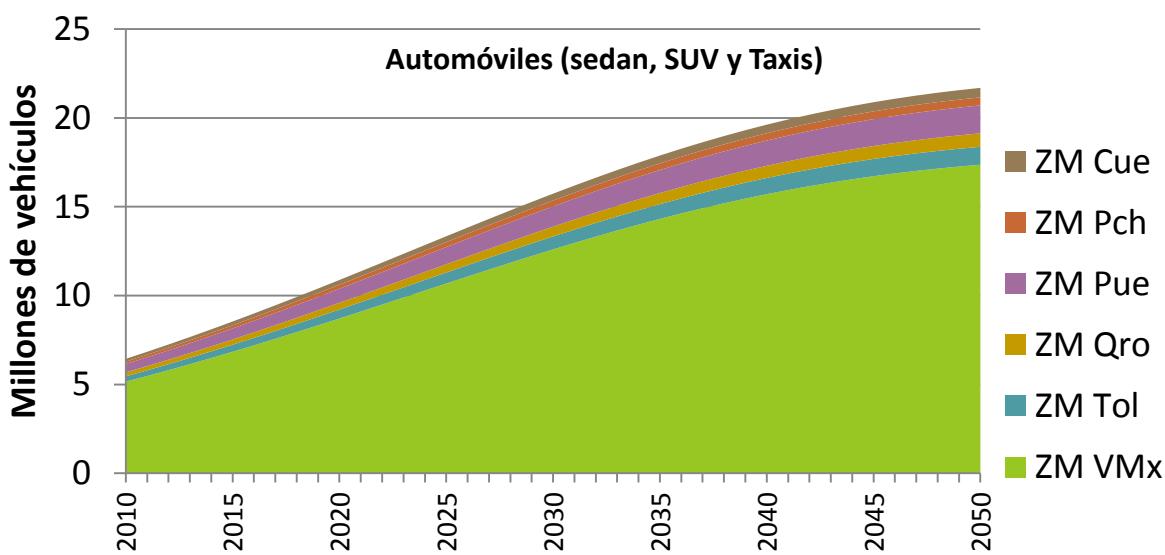


Figura 3.3 Proyección de automóviles en las zonas metropolitanas de estudio.

3.1.3. Crecimiento del resto del parque vehicular

El crecimiento del resto del parque vehicular comercial (autobuses y camiones) y motocicletas, se determinó mediante el análisis de las tendencias de crecimiento de los últimos 30 años, es decir desde 1980 a la fecha; a partir de los datos del SIMBAD del INEGI siguiendo la tendencia a nivel nacional y haciendo un ajuste por el decrecimiento de la población.

Para determinar el crecimiento del parque comercial y motocicletas de las zonas metropolitanas de la región centro en el escenario tendencial, se mantuvo constante la distribución del parque vehicular descrita en la sección 2.4 anterior. La figura NN a) muestra la evolución histórica y la proyección al 2011-2050 de parque vehicular comercial y de motocicletas a nivel nacional estimadas para el escenario tendencial; y b) muestra la distribución de este parque en las zonas metropolitanas de la región centro en el periodo 2011-2050 del escenario tendencial.

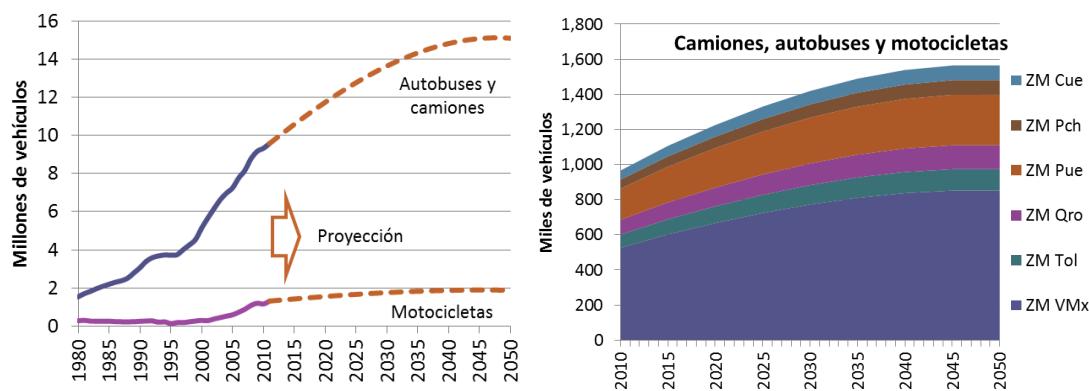


Figura 3.4 a) Histórico y proyección nacional de autobuses, camiones y motocicletas y b) Distribución en las ZM seleccionadas.

3.2. Escenario de referencia

Con la información hasta este punto es posible construir un escenario de referencia, sin embargo debido a la suficiente evidencia de la mejora histórica del rendimiento de los vehículos, por lo que se consideró, con fines comparativos establecer dos escenarios de referencia, un escenario “Base” (BAU) y otro “Tendencial”, en el primero no se considera cambios y en el segundo se considera que existen cambios en el rendimiento de los vehículos argumentado bajo la tendencia histórica.

Los indicadores de rendimiento de combustible en kilómetros por litro (km/l) ayudan a medir de forma indirecta el consumo de combustible y las emisiones de GEI de los vehículos que se incorporan al parque vehicular. Se entiende que por razones de uso el rendimiento de los vehículos disminuye a lo largo de su vida útil, sin embargo la proporción no está suficientemente documentada y no está considerada en las estimaciones del presente trabajo.

La mejora tecnológica en los vehículos que se deriva de diversos factores como son, nuevos materiales para vehículos más ligeros, técnicas de combustión para el incremento en la eficiencia, diseños de vehículos más compactos y por lo tanto más ligeros, etc.; Para tomar en cuenta la mejora en el rendimiento de los vehículos en el escenario tendencial, se observó la tendencia en la mejora en el rendimiento de los últimos tres años para cada tipo de vehículo y se

elaboró un modelo en hojas de cálculo de Excel, en donde se representó la evolución histórica del rendimiento del parque vehicular, en función del rendimiento y las ventas históricas de vehículos nuevos más una cierta participación de vehículos usados que entran al país (chocolates). Con dicho modelo se determinó el rendimiento actual del parque vehicular, sin embargo para proyectar el rendimiento al 2050, se tomó la meta indicativa al año 2020 de los vehículos nuevos para Europa de 60.6 millas por galón (25.76 km/L), según datos del *Center for Climate and Energy Solutions* (E2ES, <http://www.c2es.org>), y se puso como meta indicativa para México en el año 2050. Con esta meta en los vehículos nuevos y con el modelo de rendimiento del parque, se determinó que en promedio se alcanzarían 23.94 km/L de rendimiento en el año 2050.

Esta tendencia de mejora en el rendimiento se adoptó para el parque automotriz (Sedan, SUV, Taxis y Motocicletas). Partiendo de los datos históricos de rendimiento de vehículos nuevos, según datos del “Portal de indicadores de eficiencia energética y emisiones vehiculares” del INECC (www.ecovehiculos.gob.mx) y la “Nota técnica sobre la evolución de las emisiones de bióxido de carbono y rendimiento de combustible de los vehículos ligeros nuevos en México 2008-2011” (INE-SEMARNAT, 2012). Para el parque comercial (Autobuses y de carga), a partir de los datos de la agencia internacional de energía (IEA, 2012).

La Figura 3.5 muestra el rendimiento esperado del parque vehicular por tipo de vehículo en el periodo 2011-2050 del escenario tendencial

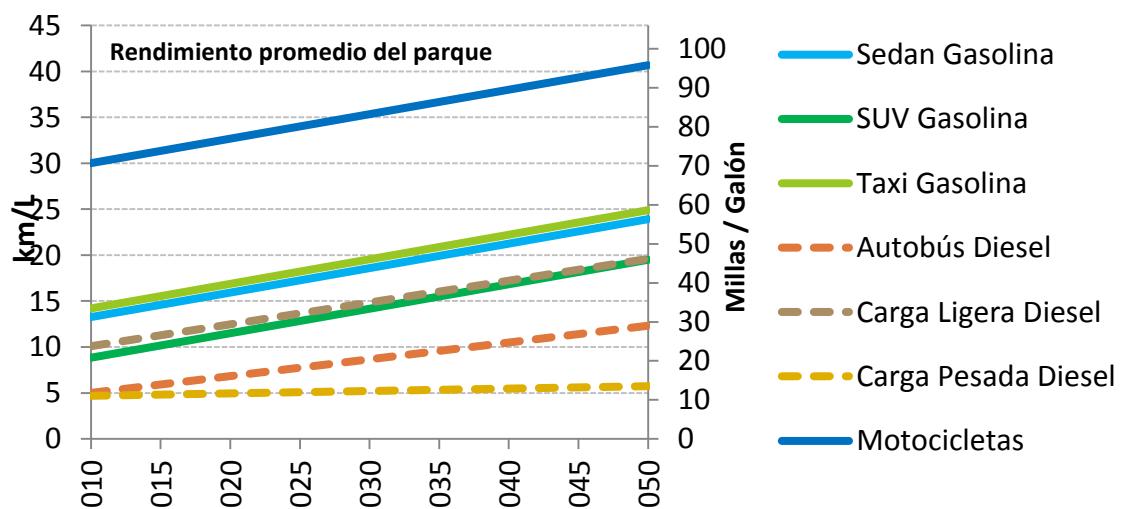


Figura 3.5 Rendimiento esperado por tipo de vehículo para el escenario tendencial.

Para el escenario Base se mantienen constantes los rendimientos del año base (2011).

3.3. Escenarios de mitigación

El objetivo central de este proyecto es seleccionar las dos medidas de mitigación que, a mediano y largo plazo, representen la mayor contribución para la mitigación de las emisiones GEI que está generando actualmente el sector transporte en la ZCRM. El objetivo consecuente es la realización de un análisis costo-beneficio, que permita a los tomadores de decisión correspondiente, determinar la forma y las fuentes de financiamiento potenciales para establecer los mecanismos de implementación de dichas medidas.

El propósito de seleccionar únicamente dos medidas de mitigación que representen la mayor contribución a la reducción de GEI es para que los recursos económicos se utilicen en una forma más eficiente.

En la Cuarta Comunicación de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), se presenta una proyección (2002 a 2030) que hizo el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) sobre la posibilidad de reducir las emisiones de GEI del sector transporte mexicano (INE, 2009). Los datos publicados indicaban que, a nivel nacional, era posible reducir anualmente 21.4 MtCO₂eq, del 2002 al 2030 con tres medidas de mitigación: (1) introducción de normas para mejorar la eficiencia energética; (2) incrementar el número de vehículos que consumen diesel; y (3) acelerar la penetración de vehículos híbridos.

Estudios más recientes patrocinados por el INECC indican que es factible alcanzar en 2030 una reducción de 47 MtCO₂eq, únicamente mejorando la eficiencia energética en el sector transporte. Además, se podría lograr en el 2030 una reducción de 79 MtCO₂eq, adicionando otras medidas tales como el uso de biocombustibles (en gasolina y diesel), control de importación de vehículos usados, mayor participación de sistemas modernos de transporte público tales como metro y BRT (INE, 2010).

A partir de la información anterior y diversas publicaciones de investigadores e interesados en el tema, donde se proponen algunas medidas de mitigación que ellos consideran importantes es que se ha elaborado una lista potencial, la cual se muestra a continuación:

1. Mejorar la eficiencia de los autos nuevos
2. Uso de biocombustibles para el sector transporte
3. Incentivar el transporte público de pasajeros
4. Mayor penetración de sistemas metro y BRT.
5. Mejorar la eficiencia del transporte de carga, remplazando las unidades antiguas.
6. Reducir el número de taxis y autos particulares que utilizan gasolina.
7. Otorgar subsidios al remplazo de vehículos que utilizan gasolina por vehículos híbridos o que utilizan diesel.
8. Incentivar el uso de transporte no-motorizado (ej.: bicicletas), para distancias cortas.
9. Fomentar el crecimiento del transporte escolar.

Evaluación preliminar de medidas de mitigación

En el 2011 la Coordinación del Programa de Cambio Climático del Instituto Nacional de Ecología encargo al IIE el “Diseño de una cartera de proyectos para la convergencia del eje rector de Sustentabilidad Ambiental de la Estrategia Nacional de Energía con los objetivos y metas de mitigación de gases de efecto invernadero en México” que en términos generales buscaba encontrar las potenciales sinergias entre la estrategia energética con las metas de reducción de emisiones propuestas por el INE en el estudio *“Potencial de mitigación de Gases de Efecto Invernadero (PMGEI) en México al 2020”* en el contexto de la cooperación internacional. En dicho documento se evaluaron cuatro medidas de aplicación para el sector transporte:

1. Eficiencia vehicular por normatividad
2. Sustitución de combustibles
3. Sistema moderno de transporte público

Los resultados mostraron que las medidas de mayor mitigación son las de mejoramiento de rendimiento por norma (1) y de sustitución de combustibles (uso de etanol) (2), pero la evaluación costo-beneficio determinó que las medidas de mayor rendimiento de mitigación por unidad de costo son la de mejoramiento de rendimiento por norma (1) y de utilización de sistemas modernos de transporte público (3).

Las medidas 1 y 2 son de tipo de aplicación global, es decir su aplicación es más sencilla si se implementa a nivel nacional y la medida 3 es de aplicación local.

Por lo anterior y por el tipo de medidas que se requieren en el presente estudio se considera que las medidas que mejor oportunidad tienen y que podrían tener los mejores resultados son las medidas 1 y 3.

1. Mejorar la eficiencia energética de los vehículos nuevos. Mejorar el rendimiento de los vehículos nuevos comercializados en territorio nacional mediante la regulación.
2. Uso de servicio de transporte público eficiente. Reducir el uso de combustibles petrolíferos mediante la utilización de servicio de transporte público más eficiente, específicamente autobús de tránsito rápido, BRT por sus siglas en inglés (Bus rapid transit)

A continuación se describe el proceso de implementación que consideró factible y con el cual se alimentó al Modelo para su evaluación en cuanto a emisiones abatidas.

3.3.1. Mejorar la eficiencia energética de los vehículos nuevos

En el escenario “Tendencial” descrito en la sección 3.2 se justifica un mejoramiento de la eficiencia energética de los vehículos en base a la tendencia histórica. En el caso de una medida adicional de mitigación se propone forzar un adelanto de las metas de rendimiento de los vehículos, dado que se ha comprobado también que históricamente los autos nuevos comercializados en México tienen un retraso tecnológico respecto a los vehículos más modernos disponibles en el mundo, en algunos casos de más de 20 años, se propone adelantar las meta del escenario tendencial del 2050 al 2030 y adicionalmente lograr al 2050 un aumento de 5 Millas más por galón. Para el caso de los autos sedan nuevos con rendimiento promedio a 60 Millas/Gal* (25.5 km/L) según metas internacionales (Europa y Japón) estarían disponibles para el 2020, se propone estén disponibles en México en el 2030 (retraso de solo 10 años) y continuando hasta alcanzar 65 Millas/Gal (27.6 km/L) en 2050.

Con las premisas antes descritas se estima cuál sería la proyección del rendimiento promedio del parque de vehículos en México. La gráfica de la Figura 3.6 siguiente muestra el programa esperado de rendimiento del parque vehicular por tipo. En esta medida no se considera un mejoramiento del rendimiento en los vehículos de carga mayor a lo ya considerado en el escenario tendencial.

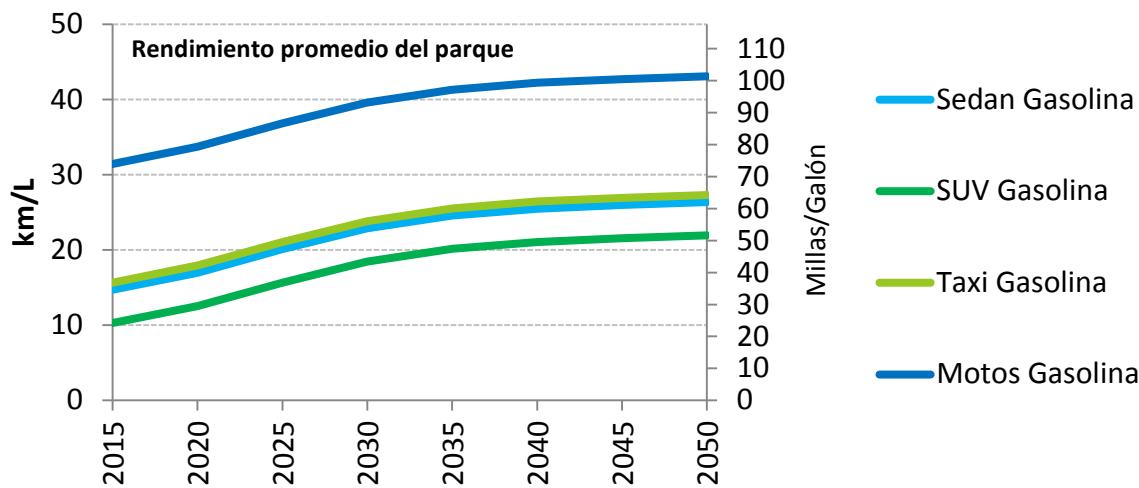


Figura 3.6 Escenario de rendimiento del parque vehicular con la medida de mitigación por regulación.

3.3.2. Uso de servicio de transporte público eficiente

Esta es una medida de aplicación local, se trata de remplazar actuales medios de transporte por un servicio colectivo que permita disminuir el uso de energía y un uso más eficiente de los espacios urbanos, esta medida permitiría finalmente contribuir a la reducción de emisiones de GEI. La medida propuesta es específicamente la introducción de sistemas de transporte rápido masivo tipo Metrobús, también conocidos como BRT (Bus Rapid Transit). Las premisas básicas propuestas para su implementación fueron:

- Un sistema por cada 750,000 habitantes
- Tasa de sustitución modal veh/BRT de 8% autos, 4% taxi y 88% microbús; según datos del MEDEC (World Bank, 2009).

En Valle de México se tienen operando 5 sistemas con 289 buses (58 buses/sistema), según datos del Centro de Transporte Sustentable (CTS Metrobus, 2009).

Con estos datos y el crecimiento de la población, se estimó el número de sistemas BRT (buses requeridos) y vehículos que dejan de circular en cada zona metropolitana para el año 2050, esta información se muestra en la siguiente Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Datos de la implementación de BRT considerados hasta el 2050.

Año: 2050	BRT Requeridos:		Vehículos retirados:		
	Sistemas	Buses	Autos	Taxis	Microbuses
ZM Valle de México	30	1,711	15,162	4,928	6,883
ZM Toluca	2	126	1,117	363	507
ZM Pachuca	1	37	328	107	149
ZM Cuernavaca	1	69	611	199	278
ZM Puebla	3	193	1,710	556	776
ZM Querétaro	2	95	842	274	382
Total ZM	38	2,231	19,770	6,427	8,975

Se propone una introducción gradual de sistemas BRT, iniciando en 2015 hasta alcanzar los necesarios en 2020 para ciudades pequeñas (Toluca, Pachuca, Cuernavaca y Querétaro) y en 2025 para Valle de México y Puebla.

4. EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN

4.1. Escenarios de Referencia.

Uno de los motivos de emplear dos escenarios de referencia fue estimar el impacto de la mejora tendencial del rendimiento energético de los vehículos respecto a un escenario sin cambios (BAU). La gráfica de la Figura 4.1 siguiente muestra los escenarios de emisión resultantes para el sector energético nacional hasta el 2050 para ambos escenarios de referencia. La razón de presentar los resultados completos del sector energético y no solo los del sector transporte, se basa en que los cambios entre escenarios pueden impactar la actividad del sector producción y transformación de energéticos que también generan GEI.

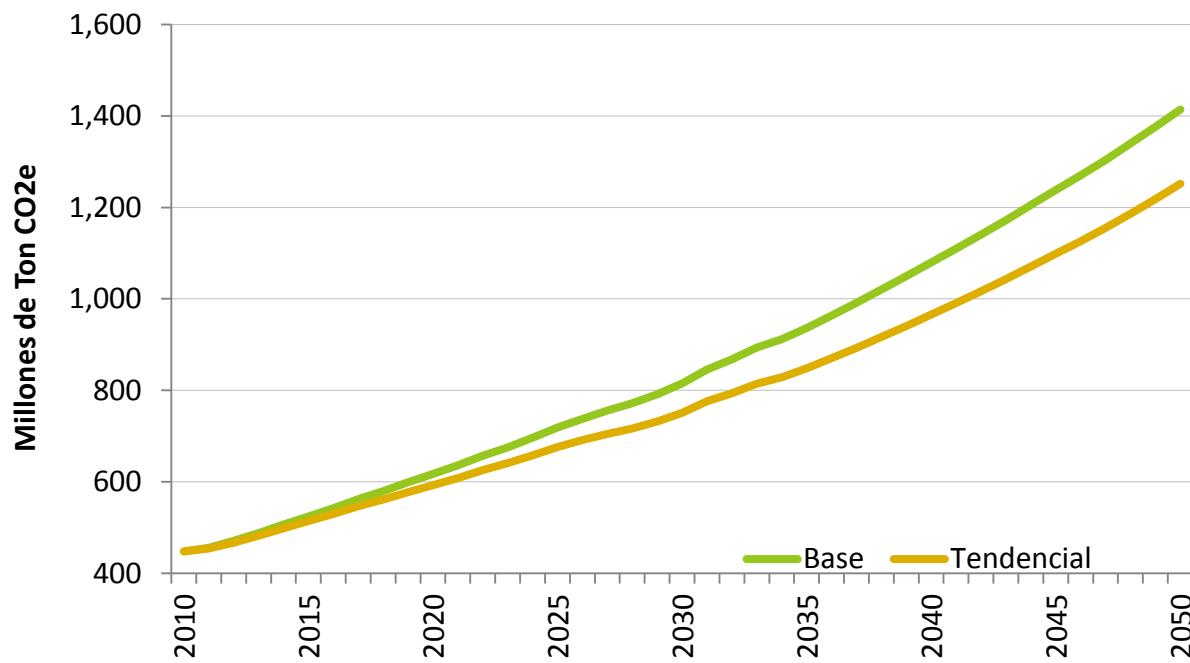


Figura 4.1 Emisiones GEI del sector energético resultantes para escenarios de referencia.

Las curvas de la gráfica anterior parten de un valor de 454 Mt CO₂e en línea base (2011). Este valor difiere de la cifra reportada para el sector energético en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) en el 2010 (503.8 Mt CO₂e) por dos razones principales, 1) en la cifra del presente estudio no están cuantificadas las emisiones fugitivas del sector petrolero, gas y carbón (83 Mt CO₂e para el 2010) y 2) existen diferencias metodológicas en la estimación de los GEI entre ambos estudios. Al respecto, cabe mencionar que en el presente estudio se prestó especial cuidado en realizar una completa compatibilidad del balance nacional de energía y de las prospectivas de la SENER (2010) en cuanto a producción y uso de energéticos.

Respecto las diferencias entre escenarios resultantes se puede observar que hay un impacto significativo de la mejora de rendimiento, logrando representar más del 10% de las emisiones anuales del sector energético en el 2050. La Tabla 4.1 siguiente muestra las diferencias en valores.

Tabla 4.1 Impacto del mejoramiento tendencial del rendimiento energético de los vehículos en escenario al 2050 (Mt CO₂e).

Escenario	2011	2020	2030	2040	2050
BAU	454	618	815	1,079	1,415
Tendencial	454	593	751	966	1,252
Diferencia	0	25	64	114	163
		4.0%	7.9%	10.6%	11.5%
Acumulado	0	120	573	1,485	2,897

Para el presente estudio se considera que es mejor utilizar el escenario tendencia como referencia comparativa para los escenarios de mitigación resultantes de la aplicación de las medidas propuesta, dado que se considera altamente probable la continuación de la tendencia de mejoramiento del rendimiento energético de los vehículos que se ha mantenido en las últimas décadas. Por lo anterior las subsecuentes evaluaciones de las medidas de mitigación se harán partiendo como base del escenario “Tendencial”, a continuación se detallan los resultados obtenidos del escenario tendencial para las zonas metropolitanas de la región centro del país, en cuanto a consumos de combustibles y emisiones de GEI para el periodo 2011-2050, haciendo énfasis en los datos del 2011 (año base), 2020, 2030, 2040 y 2050.

4.1.1. Consumo de combustibles por zona metropolitana

La Figura 4.2 muestra el consumo esperado de combustibles por zona metropolitana de la región centro en unidades de energía.

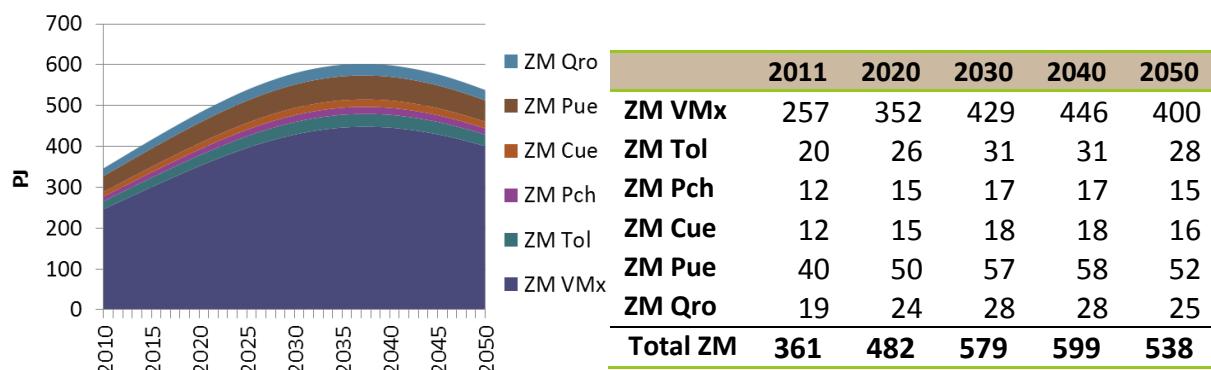


Figura 4.2 Consumo de combustibles para transporte en la ZM consideradas para el escenario de tendencial, por zona metropolitana.

La tendencia de las curvas de la gráfica anterior muestra un resultado interesante, resulta en un valor máximo alrededor del año 2038 y posteriormente los consumos descienden, esto se debe a varios factores, los principales son el aumento de los rendimientos de los vehículos y el descenso de la población.

El consumo de ZMVM mantiene el predominio del consumo en estas ciudades.

4.1.2. Emisiones de GEI por zona metropolitana.

La Figura 4.3 muestra el consumo esperado de combustibles por zona metropolitana de la región centro en unidades de energía.

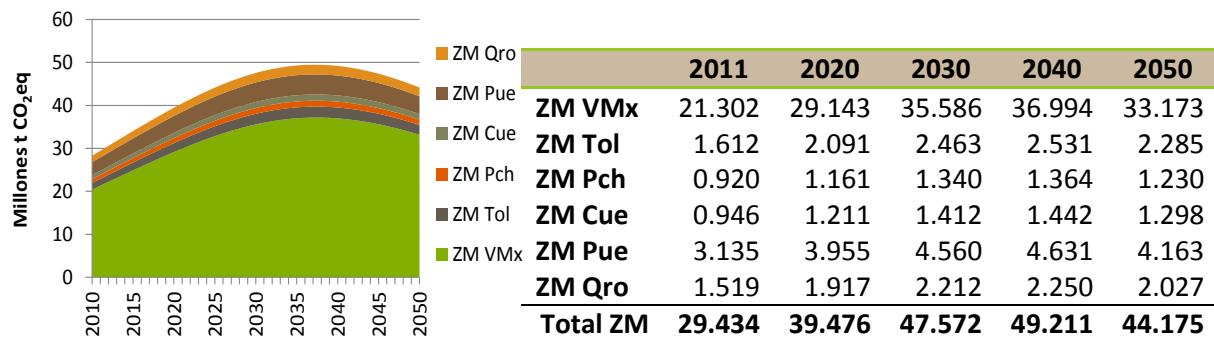


Figura 4.3 Emisiones GEI de autotransporte en las ZM consideradas para el escenario de tendencial (MtCO₂e).

Como se observa, presentan una tendencia similar a las curvas de consumo de combustibles, logran un máximo de casi 50 MtCO₂e alrededor del 2038.

4.2. Escenarios de Mitigación

Una vez aplicados los programas de implementación de las medidas propuesta se estimo los escenarios de emisiones GEI de cada una de las medidas (BRT o Rendimiento) y del escenario conjunto (BRT y Rendimiento). Los resultados que se muestra en las siguientes graficas son para cuatro escenarios:

1. **Rendimiento.** Mejorar la eficiencia energética de los vehículos nuevos.
2. **BRT.** Uso de servicio de transporte público eficiente.
3. **BRT y Rendimiento.** Escenario resultante de aplicar ambas medidas de mitigación.
4. **Tendencial.** Escenario utilizado como referencia (ver sección 4.1).

La gráfica de la siguiente muestra las curvas resultantes para las emisiones GEI del sector energía del país.

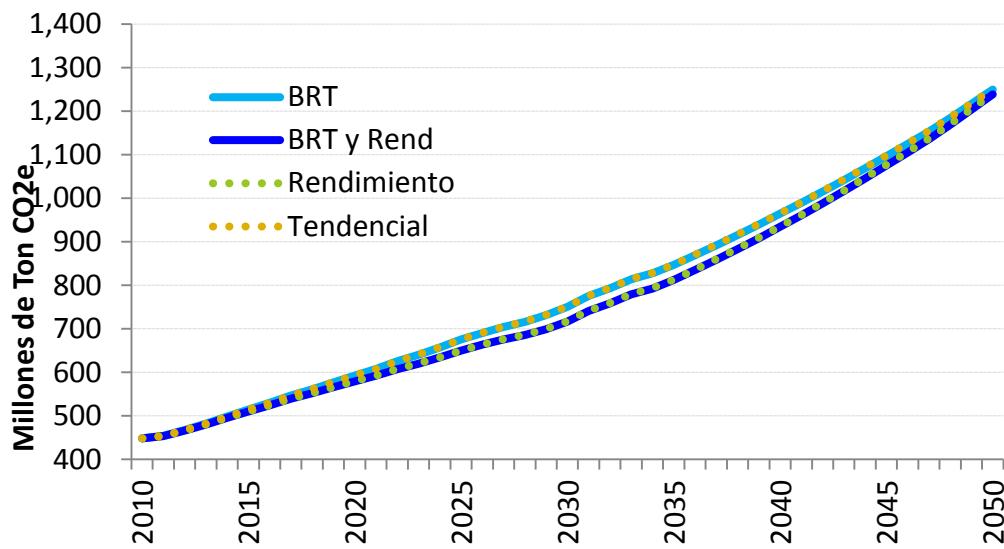


Figura 4.4 Emisiones GEI del sector energético resultantes para escenarios de referencia y mitigación.

Se puede observar que un mayor uso de sistemas BRT parece no tener efecto alguno en la composición de las emisiones totales del sector energía y que la regulación del mejoramiento del

rendimiento vehicular, si bien tiene un mayor efecto, tampoco parece significativo. A continuación se prosigue la valoración de los efectos en términos de comparación de las emisiones del sector autotransporte en las zonas metropolitanas de estudio.

La gráfica de la Figura 4.5 siguiente muestra los resultados de las emisiones GEI esperadas para el sector autotransporte, la gráfica contiene el resultado de la suma de las emisiones de las 6 zonas metropolitanas del estudio; a modo de comparación se encuentran las estimaciones de cada uno de los escenarios de mitigación y del escenario tendencial (ver Figura 4.3).

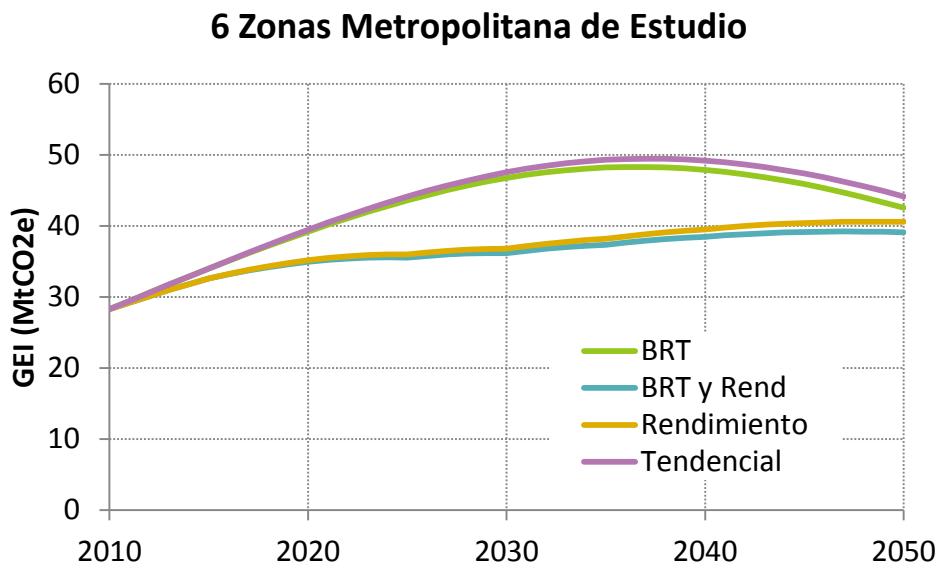


Figura 4.5 Suma de emisiones GEI de autotransporte de las ZM de estudio para cada escenario (MtCO₂e).

Tabla 4.2 Suma de emisiones GEI de autotransporte de las ZM de estudio para cada escenario (Mt CO₂e anual).

Escenario	2011	2020	2030	2040	2050
BRT	29.434	39.216	46.771	47.911	42.564
BRT y Rend	29.208	34.954	36.178	38.482	39.116
Rendimiento	29.208	35.189	36.805	39.530	40.592
Tendencial	29.434	39.476	47.572	49.211	44.175

Es apreciable que la medida que tiene un mayor efecto en la disminución de la emisiones es la de buscar un mayor rendimiento energético de los vehículos, logrando una máxima mitigación de 11.1MtCO₂e/año en el año 2034. La inversión y uso en sistemas BRT logra su mayor efecto al final del periodo con 1.6MtCO₂e/año.

Las curvas de mitigación convergen al largo plazo y se debe a que el escenario de referencia, el tendencial, mantiene también una creciente mejoría del rendimiento de los vehículos y que finalmente alcanza a la propuesta en la medida de mitigación. Entonces, es evidente que el valor agregado de la medida es evitar emisiones en un periodo de tiempo desde que se reglamenta el mínimo de rendimiento de los vehículos hasta que el mercado con su inercia tendencial actual alcanzan los mismos valores de rendimiento. La gráfica de la Figura 4.6 siguiente muestra las emisiones evitadas acumuladas por cada una de las dos medidas hasta el 2050.

6 Zonas Metropolitanas de Estudio

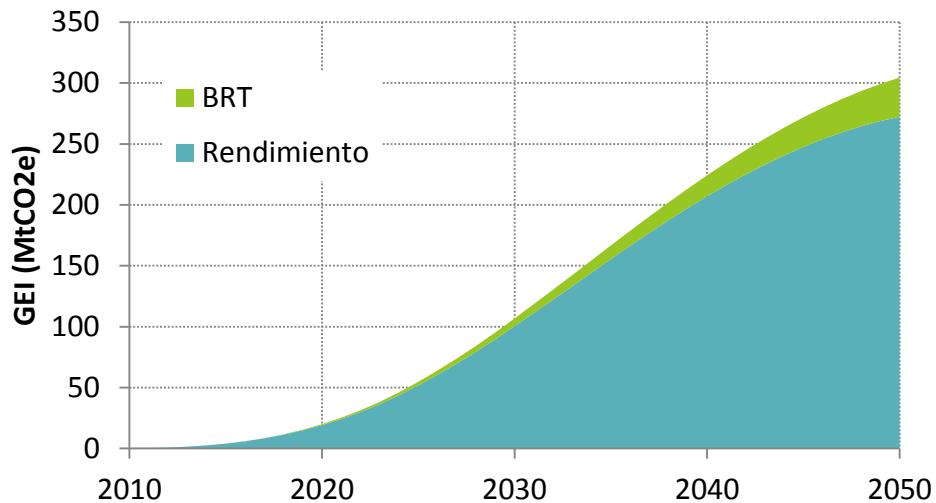


Figura 4.6 Emisiones GEI evitadas acumuladas por las medidas propuestas hasta el 2050 (MtCO₂e).

Tabla 4.3 Emisiones GEI evitadas acumuladas por las medidas propuestas (Mt CO₂e).

Escenario	2011	2020	2030	2040	2050
BRT	0.000	0.763	6.391	17.226	32.138
Rendimiento	0.226	19.188	100.409	207.094	272.410

Los impactos individuales por zona metropolitana de estudio se muestran en las gráficas de la Figura 4.7 siguiente, en ella se muestra una gráfica por cada medida de mitigación y en cada gráfica están las emisiones evitadas anuales respecto al escenario tendencia.

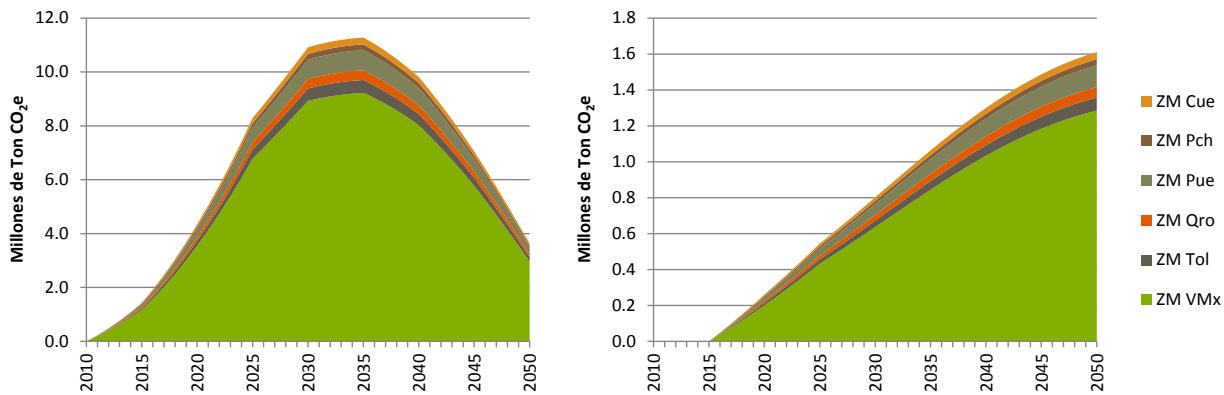


Figura 4.7 Emisiones evitadas anuales por medida de mitigación en cada zona metropolitana de estudio (MtCO₂e).

Tabla 4.4 Emisiones GEI evitadas anuales en cada zona metropolitana por cada medida de mitigación (MtCO₂e).

Zona Metropolitana	Mejora de rendimiento					Implementación de BRT				
	2011	2020	2030	2040	2050	2011	2020	2030	2040	2050
Valle de México	0.185	3.554	8.924	8.023	2.969	0.000	0.200	0.636	1.033	1.285
Toluca	0.010	0.184	0.463	0.416	0.154	0.000	0.014	0.037	0.059	0.073
Querétaro	0.007	0.138	0.347	0.312	0.116	0.000	0.012	0.030	0.048	0.059
Puebla	0.015	0.288	0.724	0.651	0.241	0.000	0.020	0.062	0.098	0.120
Pachuca	0.004	0.083	0.208	0.187	0.069	0.000	0.006	0.017	0.028	0.035
Cuernavaca	0.005	0.098	0.247	0.222	0.083	0.000	0.008	0.020	0.032	0.039
Total ZM	0.226	4.345	10.913	9.812	3.632	0.000	0.260	0.802	1.299	1.611

4.3. Conclusiones

Las dos medidas propuestas parece tener un efecto poco significativo respecto a las emisiones totales del sector energía del país, 0.86% para la medida de regulación de la mejora en rendimiento vehicular y 0.10% del uso de BRT en zonas urbanas, en términos de emisiones acumuladas durante al 2050.

Si la evaluación se realiza comparando con las emisiones GEI del sector autotransporte y solo para las zonas metropolitanas del estudio, el efecto es más notorio, 15.33% para la medida de regulación de la mejora en rendimiento vehicular y 1.81% para el mayor uso de BRT en zonas urbanas, en términos de las emisiones acumuladas al 2050.

5. BARRERAS A LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS

En esta sección se describen las condiciones que limitan la implementación de las medidas de mitigación propuestas. Es importante destacar que, en términos generales, existen varios tipos de barreras, a saber: (a) políticas; (b) financieras; (c) tecnológicas; y (d) sociales

A continuación se describen las barreras que podrían dificultar la implementación de cada una de las medidas seleccionadas:

5.1. Mejorar la Eficiencia Energética de Autos Nuevos

5.1.1. Barreras políticas

Bajo conocimiento de las implicaciones técnico económicas de las medidas por los órganos legislativos del país, lo que provoca desviaciones respecto al objetivo de interés público.

5.1.2. Barreras Financieras

Una de las principales barreras es la resistencia de las compañías fabricantes que tiene estrategias de mercadotecnia de orden global en términos de mantener el usufructo de tecnologías obsoletas por mayores tiempos y de mayores ingresos por mantenimientos (refacciones).

Intereses de las compañías petroleras globales para mantener la dependencia de los combustibles fósiles.

En general, la producción de vehículos más eficientes tiene efectos en el aumento en los costos de producción que se refleja en el precio de los vehículos y, aunado al nivel de ingresos per cápita del país contribuiría en principio a una resistencia a la renovación de los vehículos por otros más eficientes.

5.1.3. Barreras tecnológicas

La medida propuesta se basa en un aumento de los rendimientos vehiculares de acuerdo a la situación actual y a la tendencia mostrada por esta variable en los últimos años. Es posible que la tendencia no se mantenga y se empiece a dar muestra de un límite tecnológico para el aumento de la eficiencia.

5.1.4. Barreras sociales

Una gran cantidad de vehículos usados importados son destinados a agrupaciones agropecuarias que mostrarían oposición política a medidas como reducir las cantidades de importación o límites a la edad de los vehículos que la implicaría mayores costos de los vehículos.

Poca conciencia social para:

- Reducción de los impactos ambientales por actividades humanas y el efecto del uso de vehículos ambientalmente amigables.
- Correlaciones gasto - consumo de combustibles – emisión de GEI.
- Efectos de los GEI en la situación socioeconómica de la población.

5.2. Uso de Servicio de transporte público eficiente

5.2.1. Barreras políticas

Los periodos entre cambios de administración a nivel municipal dificulta la realización de proyecto de largo plazo. Los proyecto de instalación de sistemas de transporte público eficiente en zonas urbanas puede rebasar fácilmente los 3 años que tiene disponibles una administración municipal, lo que generalmente los lleva a que deban ser proyectos estatales o federales, pero aun así puede que 6 años no se suficientes y tenga que ser heredados a las siguientes administraciones.

5.2.2. Barreras Financieras

Escasos recursos financieros de los municipios que tienen que recurrir a decisiones de orden estatal y federal para la implementación.

Estudios económicos deficientes que históricamente se han mostrado estos proyectos como no factibles.

5.2.3. Barreras tecnológicas

Falta de espacios, podría afectares la capacidad de las vialidades o desaparecer áreas destinadas a otras actividades (camellones, parques, etc.).

Topografía del terreno o trayectos disponibles que implicarían mayores costos de implementación.

5.2.4. Barreras sociales

La oposición al desplazamiento del servicio actual de baja eficiencia por parte de los operadores, que podría desembocar en conflictos sociales importantes.

La oposición de la población que tendría afectación en sus intereses económicos a la posibilidad de bloquear el acceso por la vía por el tiempo que dure la construcción de la infraestructura. En la implementación de los sistemas existentes se han visto pérdidas económicas importantes en los comercios afectados, incluso con el cierre definitivo de los negocios.

6. SEGUIMIENTO DE LA IMPLEMENTACIÓN

La experiencia obtenida a lo largo de muchos años indica que el logro de los objetivos y metas, de los proyectos y programas de las instituciones públicas, pocas veces se cumplen como estaban programados. En el mejor de los casos, se tiene retrasos importantes, pero se llega al final del proceso; sin embargo, en la mayoría de los casos la calidad del producto final es menor que la que se programó originalmente. Lamentablemente, en muchos casos los proyectos se interrumpen temporalmente, para posteriormente ser cancelados; esto ocurre con mucha frecuencia en el país, principalmente en los cambios de administración, independientemente si es federal, estatal o municipal.

Existen numerosos ejemplos, sin embargo, vale la pena mencionar uno de ellos: “*El caso del proyecto que se canceló en la ciudad de Mexicali, Baja California, cuando se programó la construcción de una planta para la obtención de cloruro de potasio (KCl), a partir de la salmuera geotérmica de Cerro Prieto. En términos generales, las dos actividades más importantes del proyecto eran: (1) la construcción de lagunas de evaporación solar, y (2) la construcción de una planta química para la separación y purificación del KCl. El programa de inversiones indicaba que aproximadamente el 70% correspondía a la construcción de las lagunas y el 30% a la planta. El hecho lamentable fue que el proyecto se suspendió cuando ya casi se terminaba la construcción de las lagunas de evaporación solar (al final del sexenio 1976-1982); la Administración Pública Federal (APF) del siguiente período (1982-1988) decidió cancelar el proyecto, no obstante que se habían invertido varios miles de millones de pesos y el KCl que se obtendría en Mexicali reduciría en un 50% las importaciones de KCl del país. Hubo varias explicaciones para “justificar” el enorme fracaso de la APF en los dos sexenios (1976-1982 y 1982-1988), sin embargo la razón principal fue la falta de un sistema de calidad que sustentara el desarrollo del proyecto”.*

Es importante destacar que en las dos últimas décadas la APF ha venido implementando sistemas de calidad, principalmente en los proyectos industriales con importantes avances tecnológicos. Los ejemplos más notables corresponden a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y PEMEX.

El Instituto Nacional de Ecología (INECC), consciente de la problemática arriba mencionada, está interesado en que los programas de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) estén sustentados en sistemas de calidad. Además, el INECC ha identificado que las etapas fundamentales que un sistema de calidad debe incluir son:

- Medición
- Reporte
- Verificación

Los sistemas de calidad que contienen estos tres elementos se conocen como Sistemas MRV. Su importancia es que la ONU está promoviendo su aplicación en los programas de mitigación de GEI, con el fin de estandarizar los procedimientos asociados.

6.1. Medición

Los programas de mitigación de GEI, que es el tema central de este trabajo, solo podrán ser exitosos si se tiene las herramientas confiables para la medición de las emisiones o los sumideros. Uno de los problemas mas importantes que se ha enfrentado este proyecto es que la información

disponible es muy escasa y no está estandarizada. Lo ideal sería que las seis ZM que conforman la ZCRM utilizaran las mismas herramientas de medición de emisiones.

Otro de los problemas que han dificultado la realización de este proyecto es que se usan diferentes variables o se agregan y desagregan arbitrariamente. Es necesario que todos los estudios sobre mitigación de GEI utilicen las mismas variables. Además, es importante que se utilicen las mismas variables. Un ejemplo concreto es la caracterización del parque vehicular de cada ZM.

6.2. Reporte

Existen diferentes foros a nivel mundial en los que se comunica (reporta) los resultados de los programas de mitigación de GEI, principalmente los que promueve la ONU. Sin embargo, debería establecerse un foro nacional donde periódicamente (por ejemplo cada dos años) los responsables de los programas de cambio climático de cada una de las ZM del país presentaran los resultados de los programas y proyectos de mitigación que se están llevando a cabo. Además, debería utilizarse el mismo lenguaje, de tal manera que los resultados se pudieran comparar.

6.3. Verificación

El análisis de los datos reportados por diferentes organizaciones ambientales muestra que se publican datos que aparentemente no tienen sentido, de tal manera que se dificulta la interpretación de los mismos. La APF debería facilitar la operación de una institución que se encargase de la verificación y certificación de la información.

6.4. Elementos Facilitadores Complementarios

Los países desarrollados han recomendado en diversos foros que los sistemas de calidad MRV, utilizados para la confección de inventarios de GEI, deberían satisfacer los siguientes requisitos:

1. Coherencia
2. Exhaustividad
3. Transparencia
4. Precisión
5. Comparabilidad

La importancia de utilizar sistemas modernos de calidad es porque las empresas especializadas en el tema han desarrollado procedimientos, que si se llevan a cabo en forma adecuada, facilitan que los proyectos planteados alcancen sus objetivos y metas en tiempo y forma.

Una de las empresas especializadas en los sistemas de calidad es la International Standard Organization (ISO), quien ha desarrollado el sistema ISO 14,000 el cual sirve de base para la mayoría de los sistemas de calidad ambiental.

7. CONCLUSIONES

Las conclusiones más importantes de este estudio son las siguientes:

1. Las zonas metropolitanas de la región de estudio participan con cerca de 22% del total nacional. Sin embargo, es importante observar la enorme diferencia demográfica que hay en la población de la ZM Valle de México y las otras zonas metropolitanas, donde 78% de la población de las zonas metropolitanas de la zona centro del país corresponde a la ZM Valle de México.
2. Las zonas metropolitanas consideradas resultan con densidades cercanas o superiores a los 1,000ha/km², lo cual es normal para ciudades. La ZMVM es un caso que debe resaltarse, con una población cercana a los 20 millones es posible encontrar áreas con densidades de población extremas del orden de más de 15,000 ha/km² (Nezahualcóyotl, Iztacalco, Cuauhtémoc, Iztapalapa).
3. las zonas metropolitanas consideradas para este estudio contienen un 23% del parque vehicular, a pasar de representar el 5% de la superficie del país y su número de vehículos por habitante es de alrededor de 300 ha/veh. que estaría considerada como un valor bajo comparado con obtenidos para países más desarrollados.
4. El consumo de energía por modalidad de transporte a nivel nacional muestra que el autotransporte a base de combustibles fósiles representa más del 92% porciento del consumo de energía destinada a transporte en el país y es el principal responsable de la emisión de GEI del sector transporte. Este dato evidencia la falta de diversificación en tipos de transporte en México.
5. Un dato destacable es que las zonas metropolitanas consideradas tienen casi el 30% de los vehículos tipo sedan del país que le permite participar solo en el 20.5% del consumo de gasolina del país.
6. Las dos medidas propuestas parece tener un efecto poco significativo respecto a las emisiones totales del sector energía del país, 0.86% para la medida de regulación de la mejora en rendimiento vehicular y 0.10% del uso de BRT en zonas urbanas, en términos de emisiones acumuladas durante al 2050.
7. Si la evaluación se realiza comparando con las emisiones GEI del sector autotransporte y solo para las zonas metropolitanas del estudio, el efecto es más notorio, 15.33% para la medida de regulación de la mejora en rendimiento vehicular y 1.81% para el mayor uso de BRT en zonas urbanas, en términos de las emisiones acumuladas al 2050.
8. Una de las principales barreras a una mejora de eficiencia en autos nuevos es la resistencia de las compañías fabricantes que tiene estrategias de mercadotecnia de orden global en términos de mantener el usufructo de tecnologías obsoletas por mayores tiempos y de mayores ingresos por mantenimientos (refacciones), adicional a los intereses de las compañías petroleras globales para mantener la dependencia de los combustibles fósiles
9. Otra barrera a la mejora de eficiencia a los vehículos es la gran cantidad de vehículos usados importados son destinados a agrupaciones agropecuarias que mostrarían oposición política a medidas como reducir las cantidades de importación o límites a la edad de los vehículos que la implicaría mayores costos de los vehículos.
10. Para la inversión es sistemas de transporte la principal barrera es los cortos periodos entre cambios de administración a nivel municipal dificulta la realización de proyecto de largo plazo. Los proyecto de instalación de sistemas de transporte público eficiente en zonas urbanas puede rebasar fácilmente los 3 años que tiene disponibles una administración municipal, lo que generalmente los lleva a que deban ser proyectos estatales o federales, pero

aun así puede que 6 años no se suficientes y tenga que ser heredados a las siguientes administraciones.

11. Las barreras técnicas a los sistemas de transporte público modernos son la falta de espacios, podría afectar la capacidad de las vialidades o desaparecer áreas destinadas a otras actividades (camellones, parques, etc.). También se ha encontrado oposición de la población en la zona de construcción que ve afectados sus intereses económicos por pérdida de acceso durante el tiempo que dure la construcción de la infraestructura.

Los programas de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) deberán estar sustentados en sistemas de calidad, identificado que las etapas fundamentales que un sistema de calidad debe incluir son: Medición, Reporte y Verificación. Los sistemas de calidad que contienen estos tres elementos se conocen como Sistemas MRV. Su importancia es que la ONU está promoviendo su aplicación en los programas de mitigación de GEI, con el fin de estandarizar los procedimientos asociados.

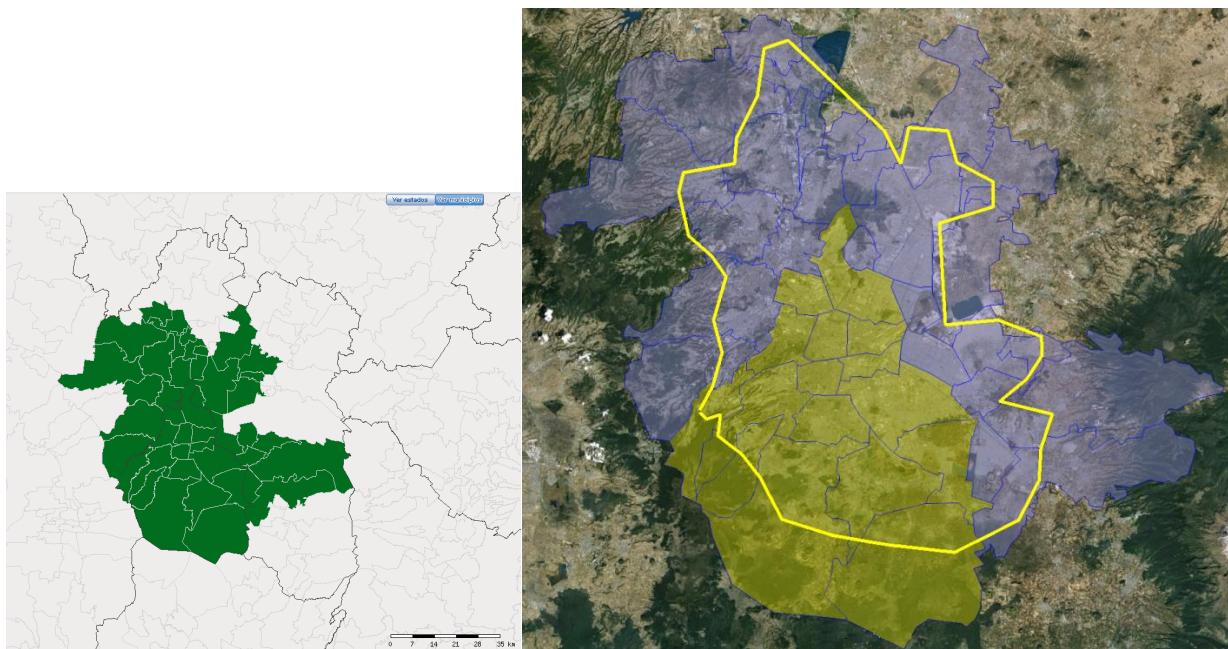
8. ANEXOS

8.1. ANEXO A ÁREAS Y MUNICIPIOS DE ZONAS METROPOLITANAS DEL ESTUDIO

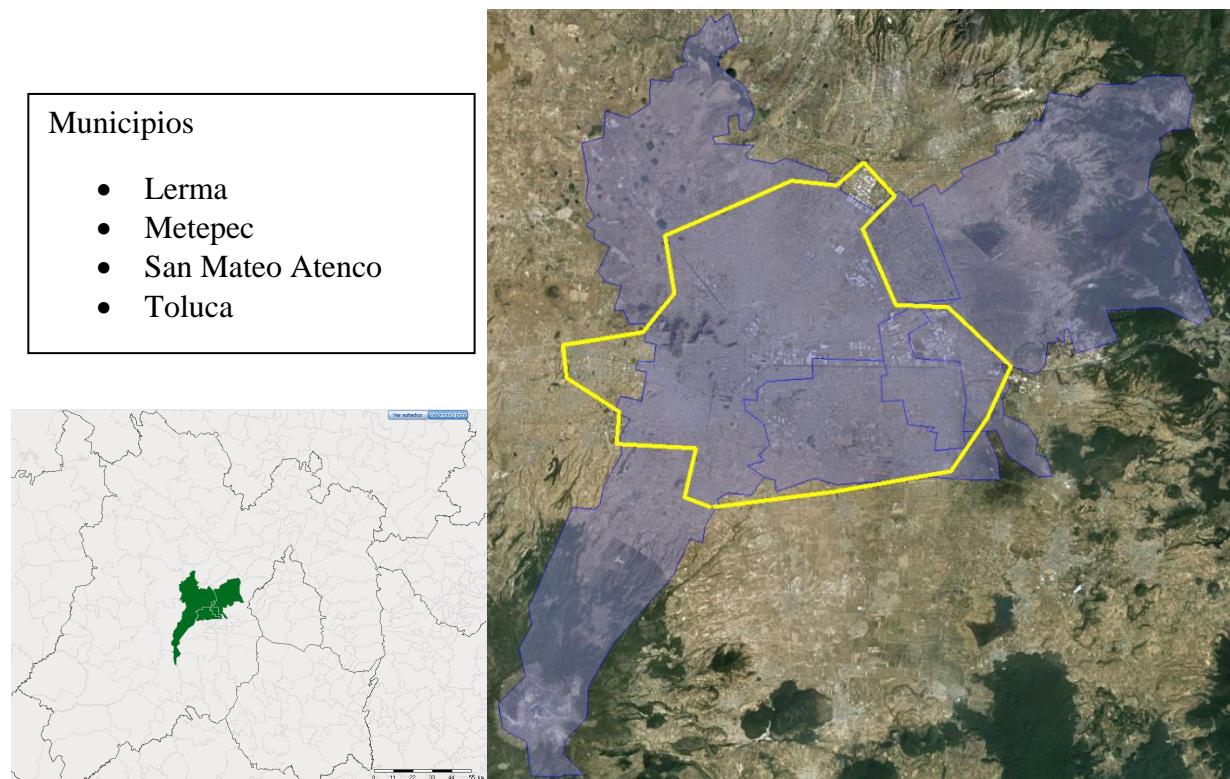
En este anexo se muestran los municipios que conforman cada una de estas zonas y se ilustra la región conurbada que define la zona metropolitana. Se muestran dos ilustraciones, la primera muestra los municipios participantes y en la segunda el área de cada municipio que se consideró dentro de la zona metropolitana (zona urbana).

8.1.1. Zona metropolitana del Valle de México (ZMVM)

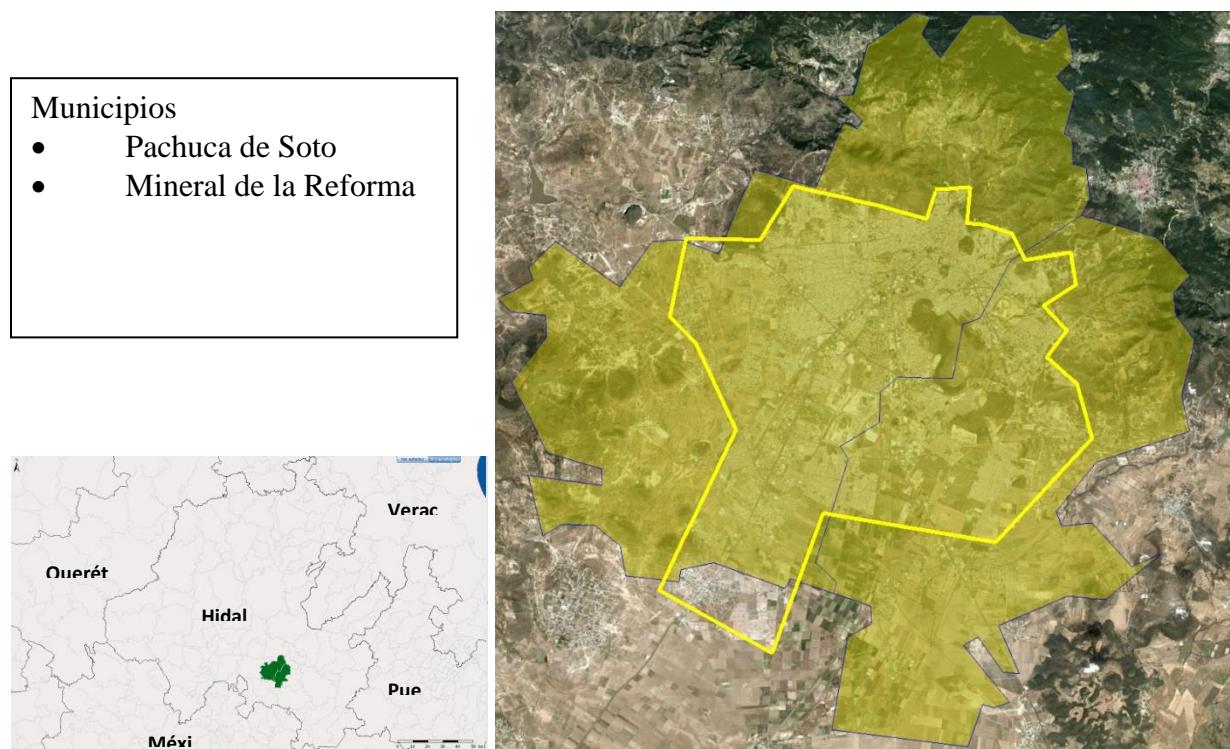
Delegaciones de Distrito Federal	Municipios del estado de México
Azcapotzalco	Acolman
Coyoacán	Atenco
Cuajimalpa de Morelos	Atizapán de Zaragoza
Gustavo A. Madero	Coacalco de Berriozábal
Iztacalco	Coyotepec
Iztapalapa	Cuautitlán
La Magdalena Contreras	Chalco
Milpa Alta	Chicoloapan
Álvaro Obregón	Chimalhuacán
Tláhuac	Ecatepec de Morelos
Tlalpan	Huixquilucan
Xochimilco	Ixtapaluca
Benito Juárez	Melchor Ocampo
Cuauhtémoc	
Miguel Hidalgo	
Venustiano Carranza	



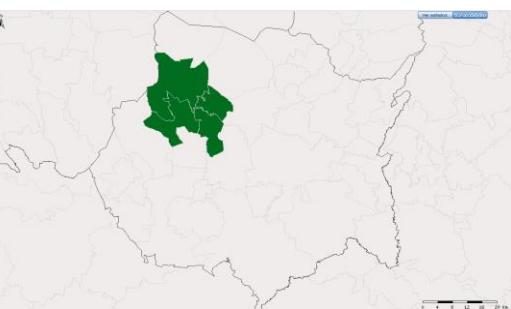
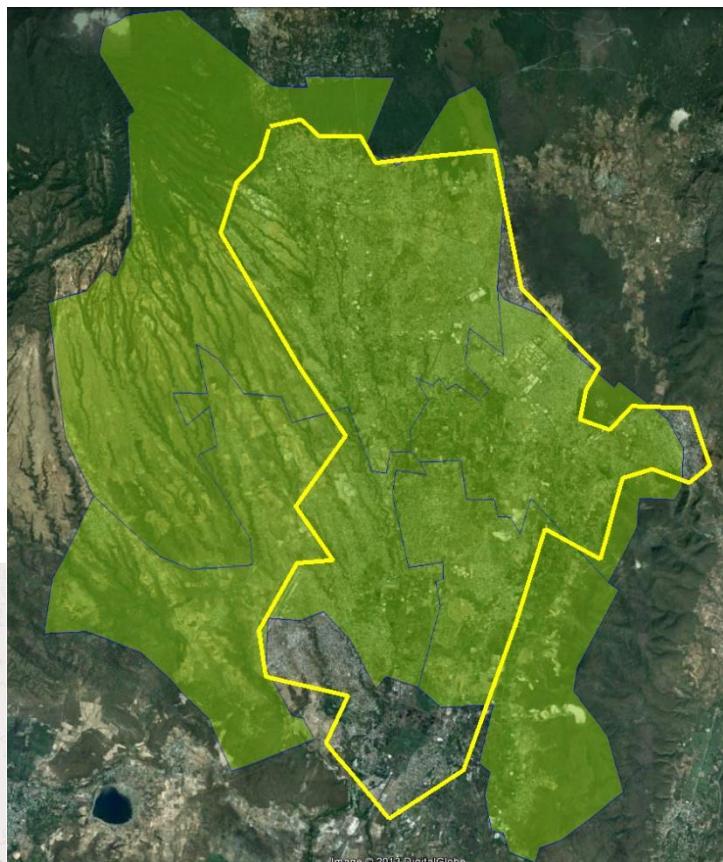
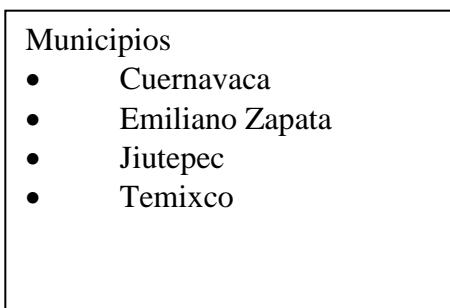
8.1.2. Zona Metropolitana de Toluca (ZMT)



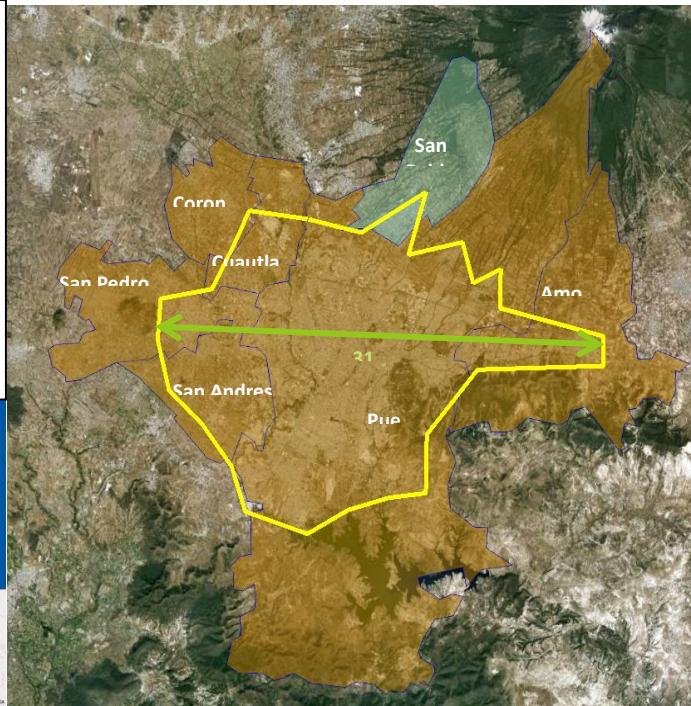
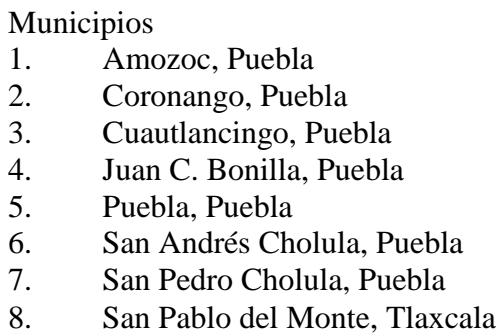
8.1.3. Zona Metropolitana de Pachuca (ZMP)



8.1.4. Zona Metropolitana de Cuernavaca (ZMC)

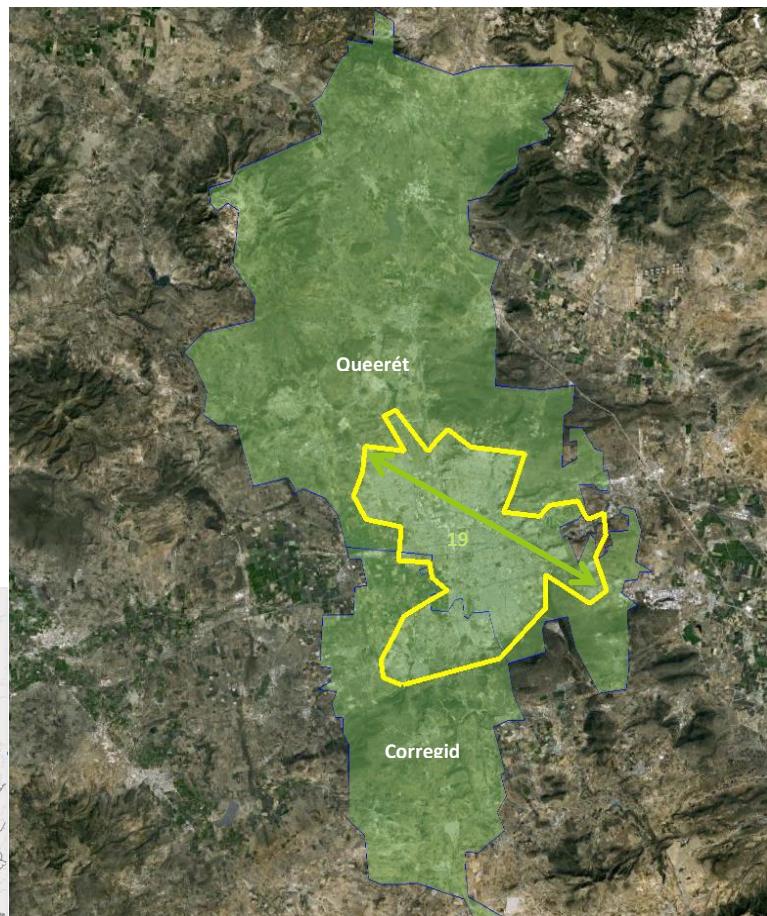
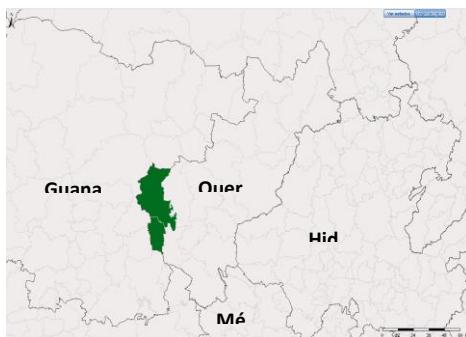


8.1.5. Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala (ZMPT)



8.1.6. Zona Metropolitana de Querétaro (ZMQ)

Municipios
9. Corregidora
10. Querétaro



8.2. ANEXO B. MODELO ENERGÉTICO DE TRANSPORTE EN LA REGIÓN CENTRO DE MÉXICO.

Es importante destacar que en el modelo METRO se representa todo el sistema energético de México, que incluye: (a) las reservas energéticas existentes de petróleo, gas y carbón mineral; (b) los centros de transformación energética como son refinerías, centros procesadores de gas, coquizadoras y centrales eléctricas; (c) la demanda de los distintos sectores económicos tales como, transporte, residencial, industrial, comercial, público y agropecuario; y (d) variables macroeconómicas tales como el producto interno bruto (PIB) y el crecimiento de la población.

El METRO es una herramienta computacional con la que se pueden evaluar diversos escenarios de política energética, desarrollo económico, crecimiento demográfico, desarrollo tecnológico y obtener el impacto de diversas medidas de mitigación para la reducción de las emisiones de GEI por el uso de combustibles de origen fósil en cada uno de ellos. Para determinar la evolución e infraestructura que requiere el sistema energético, que se representa en el modelo, se tiene como premisa básica garantizar el abastecimiento de energía para los sectores de consumo en el periodo de tiempo establecido.

Con el propósito de tener una idea clara del modelo METRO, a continuación se presentan las características básicas del mismo.

8.2.1. Estructura

En la sección de Análisis de LEAP®, se incorpora la información organizada que determina los sectores de demanda, los procesos de transformación y los recursos energéticos, también se definen algunas variables e indicadores útiles para la modelación.

La estructura del METRO, está formada por 4 módulos principales: (1) variables del usuario; (2) demanda; (3) transformación; y (4) recursos. En cada uno de estos módulos se representa la integración de los sectores de transformación y consumo de energía. La lógica que sigue el modelo es presentar los flujos energéticos desde la demanda de energía en usos finales hasta los recursos energéticos requeridos.

La actualización del modelo se realiza con datos del Año Base (Current Accounts), en donde se descarga toda la información correspondiente al año en que inician los escenarios, para este trabajo se estableció el 2010 como año base, debido a que se cuenta con información disponible de documentos oficiales. Posteriormente se elaboran los escenarios de crecimiento para cada variable del modelo. A continuación se describe de forma detallada la información contenida en los módulos principales.

8.2.2. Variables de usuario

En este módulo se crean y organizan las variables utilizadas para auxiliar en la modelación y en los cálculos de demanda, transformación y recursos. Estas variables se definen por el usuario y pueden o no interactuar con los cálculos de LEAP®.

Las variables creadas para el METRO incluyen variables macroeconómicas, demográficas, variables auxiliares para la modelación de sector transporte y el sector eléctrico:

- Las *variables macroeconómicas* incluyen el Producto Interno Bruto (PIB) y PIB Per cápita y su evolución en el tiempo.

- La *variable demográfica* incluye el número de habitantes y su evolución en el tiempo.
- Las *variables auxiliares del sector transporte* contienen información respecto al parque nacional de automóviles determinado por la función de Gompertz (Dargacy, 2007), tipo de automóvil, distribución por combustible, eficiencia de los vehículos, recorrido anual y servicios del parque vehicular (taxi, autobús, carga y privado). También contiene las características de consumo de energía del transporte aéreo, marítimo, ferroviario y eléctrico. A su vez se incluye la distribución del parque vehicular y sus características en las zonas metropolitanas de la región centro del país propias de este estudio.
- Las *variables auxiliares del sector eléctrico* incluyen los algoritmos requeridos para controlar las adiciones de capacidad de generación de energía eléctrica y estimar la aportación de la tecnología eólica al margen de reserva operativo del sistema interconectado nacional.

8.2.3. Módulo de demanda de energía

En este módulo se crea la estructura de los sectores de consumo de energía, estos están agrupados como se indica en el Balance Nacional de Energía 2010 (BNE) de la Secretaría de Energía (SENER), estos son: residencial, comercial, público, industrial, transporte y agropecuario (SENER, 2011).

A su vez, los sectores residencial, industrial y transporte se subdividen en subsectores principales, de la siguiente forma: el sector residencial, se divide en rural y urbano, en función del tipo de combustibles que utilizan. El sector industrial, se subdivide por industrias altamente consumidoras de energía, como son: siderúrgica, química, azúcar, cemento, minería, celulosa y papel, vidrio, fertilizantes, cerveza y malta, aguas envasadas, automotriz, construcción, hule, aluminio, tabaco, petroquímica (energética y no energética) y otras energéticas y no energéticas. El sector transporte se subdivide por tipo en: aéreo, marítimo, ferroviario, eléctrico y automotriz, este último tiene una desagregación detallada del parque de automóviles en función del tipo de servicio que puede ser: comercial (taxi, autobús, carga ligero y carga pesado) y privado (sedan o SUV), además por el tipo de combustible y tecnología que utilizan (gasolina, diesel, gas LP, gas natural, híbridos a gasolina, diesel y/o eléctricos conectables) y motocicletas. Así mismo, el sector transporte nacional se divide en las zonas metropolitanas de la región centro del país propias de este estudio.

Para el modelado de cada grupo de demanda energética se incluyen las siguientes propiedades requeridas por la plataforma LEAP:

- Nivel de actividad. Contiene el porcentaje de participación en el PIB de cada sector y su variación en el tiempo según el escenario.
- Intensidad energética. Es el indicador del consumo de energía por unidad de PIB en cada sector.
- Participación de los combustibles. Indica la participación porcentual de los energéticos en cada una de las ramas de los sectores de demanda.
- Factores de emisión de los combustibles fósiles. Se asignan los factores de emisión a cada combustible de origen fósil cuyo destino de uso final sea la combustión. Estos

factores se obtienen de la base de datos tecnológica (TED, por sus siglas en inglés) de LEAP que son suministrados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el departamento de energía de Estados Unidos (US DOE), la agencia internacional de energía (IEA, por sus siglas en inglés) y diversos organismos que han desarrollado los datos específicos para las tecnologías que se encuentran en los países en desarrollo.

8.2.4. Módulo de transformación de energía

En este módulo se crea la estructura para simular los sectores de transformación de energía primaria a energía secundaria aprovechable. Se compone por los sectores de generación eléctrica, refinación de petróleo, procesamiento de gas natural y producción de carbón mineral y coque. Cada sector contiene uno o varios módulos que auxilian en la modelación de los sectores de transformación, estos a su vez contienen uno o varios procesos que representan tecnologías de conversión energética (ya sean tecnologías existentes y/o futuras).

En general se pueden agrupar 7 tipos de procesos de transformación:

- Procesos de energía no aprovechada. Son procesos que simulan las pérdidas de energía No Aprovechada (NA) que reporta el balance de energía de SENER.
- Procesos de transformación de energéticos. Son los procesos en los que entra cierta materia prima y se obtienen uno o varios productos. En este tipo de procesos se incluye: la refinación de petróleo, coquizadoras, terminales de regasificación de gas natural licuado y plantas procesadoras de gas natural.
- Mezclado de productos. Se utilizan para tener control sobre la proporción en que se combinan productos, para producir un energético.
- Consumos propios. Se utilizan para representar el consumo propio de los procesos de transformación. Se reporta en el balance de energía de SENER como consumo propio del sector, se refiere a la energía que se utiliza para el funcionamiento de las instalaciones y que no es una pérdida en el proceso de transformación.
- Generación de energía eléctrica. El proceso de generación de energía eléctrica se representa con mayor detalle, debido a que involucra distintas tecnologías. Está integrado por un proceso con variables generales y 26 tecnologías que simulan la producción de energía eléctrica, con características propias de cada tecnología. Las variables generales son: el margen de reserva operativo y la curva de carga del sistema. Las tecnologías que simulan la producción de energía eléctrica, incluyen tecnologías existentes y tecnologías aún en desarrollo.
- Transmisión y distribución de electricidad. Este proceso se utiliza para representar las pérdidas por transmisión y distribución de energía eléctrica.

8.2.5. Módulo de recursos energéticos

En este modulo se incluyen las reservas energéticas existentes en el país, su tasa de recuperación, la disponibilidad de energía de las fuentes renovables y las importaciones y exportaciones de algunos energéticos.

OPERACIÓN Y RESULTADOS QUE ARROJA: La operación y ejecución de escenarios en el modelo es sencilla. El METRO, opera mediante las opciones de LEAP® en cuanto a la selección de escenarios, la sección de análisis, la sección de resultados, los diagramas de flujo y los diagramas de balance energético. Los pasos de la operación básica del modelo son los siguientes:

1. Abrir LEAP e instalar el modelo.
2. Configurar y seleccionar los escenarios a evaluar.
3. Correr los escenarios seleccionados mediante la selección de la sección de resultados.
4. Seleccionar el módulo en el que se desee obtener algún tipo de resultado, cada modulo muestra un tipo de resultado, los principales resultados que se pueden mostrar son:
 - a. Las emisiones de GEI totales
 - b. Las emisiones de GEI por sector y sub-sector
 - c. Las emisiones de GEI por tecnología
 - d. Las emisiones de GEI por combustible
 - e. La demanda de energía final para cada sector y sub-sector
 - f. La demanda de energía final por tipo de energético
 - g. La producción de energía por cada modulo de transformación
 - h. Los insumos de energía primaria requeridos
 - i. Los requerimientos de capacidad de transformación
 - j. Los retiros de capacidad por cumplimiento de la vida útil
 - k. La evolución de la capacidad de transformación
 - l. Los márgenes de reserva de capacidad, calculado y requerido
 - m. Los factores de carga en cada modulo de transformación
 - n. Los requerimientos de importación y exportación de energéticos
 - o. El comportamiento de las reservas energéticas
5. Seleccionar la configuración de la vista de resultados, ejemplo: Tablas de datos, gráficos, comparación entre escenarios, unidades de medición, etc.
6. Finalmente, se exportan los datos a otras aplicaciones.