



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA

ctSEMBARQ
México

Modelación para la identificación de línea base y medias de mitigación de Emisiones de Compuestos de Efecto Invernadero para el Desarrollo Orientado al Transporte (DOT) en Guadalajara

MEXICO LOW EMISSIONS DEVELOPMENT PROGRAM (MLED).
CONTRACT: AID-523-C-11-00001



Octubre, 2015

Este informe fue elaborado por CTSEMBARQ México. para la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, USAID

AVISO LEGAL

Las opiniones expresadas en esta publicación no reflejan necesariamente la opinión de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional ni la del Gobierno de los Estados Unidos.

www.mledprogram.org

Modelación para la identificación de línea base y medias de mitigación de Emisiones de Compuestos de Efecto Invernadero para el Desarrollo Orientado al Transporte (DOT) en Guadalajara

El presente estudio fue elaborado por el CTSEMBARQ México. Los autores principales son Leticia Ramos y Sayel Cortés bajo la supervisión de Cynthia Menéndez y Ricardo Troncoso de WWF, en el marco del Programa para el Desarrollo Bajo en Emisiones de México (MLED), patrocinado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), bajo el contrato “AID-523-C-11-00001” implementado por Tetra Tech ES Inc.

Para mayor información, por favor contacte a: info@mledprogram.org

www.mledprogram.org

Modelación para la identificación de línea base y medias de mitigación de Emisiones de Compuestos de Efecto Invernadero para el Desarrollo Orientado al Transporte (DOT) en Guadalajara

Resumen

A nivel global, y particularmente en México, el sector del transporte es una de las principales fuentes de emisiones de CEI. En nuestro país, según el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del 2013, el sector transporte es responsable del 26.2% de las emisiones de GEI y del 37.8% de las emisiones de carbono negro. Para conocer los beneficios derivados de la implantación de proyectos para la reducción de emisiones de compuestos de efecto invernadero (gases de efecto invernadero y carbono negro), existen diversas metodologías para su estimación; cada una con un objetivo específico de acuerdo a lo que se pretende hacer con los resultados.

Por ello, CTS EMBARQ México ha diseñado una metodología de rigurosidad media –sujeta a datos disponibles– que los gobiernos de las ciudades pueden utilizar de manera práctica, con la finalidad de calcular el potencial de mitigación de CEI en zonas de Desarrollo Orientado al Transporte (DOT) a través de la movilidad urbana. Este documento contiene los supuestos e información disponible para el modelo para la estimación de emisiones de compuestos de efecto invernadero en proyectos de zonas DOT, que busca estimar el impacto de la implementación de zonas DOT.

1. Lógica del modelo y supuestos generales

Este modelo busca estimar el impacto de la implementación de zonas con criterios de Desarrollo Orientado al Transporte (DOT) en las emisiones de Compuestos de Efecto Invernadero (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y carbono negro) a través de la movilidad. Para esto parte del supuesto fundamental de que el ambiente construido influye en la forma en que las personas que viven en ese ambiente se transportan. Por lo tanto, los criterios urbanos usados pueden afectar las decisiones de movilidad de las personas para generar patrones de movilidad más sustentables, que a su vez derivan en menores emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. A pesar de que este modelo habla de la relación entre el ambiente urbano y la movilidad, es fundamental recordar que es la persona quien transmite estos efectos. Se reconoce también que existen otras variables que afectan las decisiones de movilidad de las personas (factores económicos, demográficos, etc.), sin embargo, bajo el alcance actual, este modelo se diseña para considerar solo los factores construidos, y la incorporación de factores socio-económicos queda como una sugerencia para una futura expansión del modelo. En síntesis, la secuencia de efectos sigue la siguiente dirección

Entorno Urbano → Patrón de Movilidad → Emisiones de CEI

Además de esta secuencia de efectos, la escala de los impactos depende de la cantidad de personas que vivan en estas zonas DOT ya que éstas son las que cambian su forma de transportarse y por lo tanto sus emisiones. Por esto, este modelo utiliza a la cantidad de personas que viven en las zonas DOT, como unidad de magnitud de la implementación de estas zonas en la ciudad (en lugar de considerar superficie o número de viviendas, por ejemplo). Esta persona modelo, es un promedio de los patrones de movilidad de los habitantes de una zona y facilita ajustar la escala de los impactos urbanos, así como comparar los efectos de un entorno urbano con los de otros, o con una combinación de éstos. Siguiendo esta lógica se construye la estructura fundamental del modelo en cuestión.

Otro supuesto clave de este modelo es que, para enfocarnos en los impactos del entorno urbano en la movilidad, otros factores de ésta (renovación de la flota, mejoras en el combustible, etc.) se consideran constantes. Los factores urbanos que se incluyen están representados en los “indicadores urbanos” considerados en el modelo y en la posibilidad de incluir una diferente distribución modal para los habitantes de la zona DOT (lo cual funciona como proxy de diversas consideraciones urbanas como cercanía con el transporte masivo, cantidad de estacionamientos, etc.). Estas variables y su impacto en el modelo se explican con mayor detalle en el manual del modelo.

2. Estructura del Modelo

La estructura del modelo se divide en las siguientes tres partes:

1. Estimación de Línea Base
2. Estimación de Emisiones en la Zona DOT
3. Comparación de Escenarios

Estimación de Línea Base

Esta etapa consiste en utilizar la información de movilidad actual en la ciudad para estimar las emisiones de CEI actuales. Éstas además se proyectan usando la población y su tasa de crecimiento para tener una referencia de las emisiones a través del tiempo causadas por los patrones actuales de movilidad.

Este proceso se puede ver en la siguiente tabla.

Proceso de Cálculo de la Línea Base	
Datos de entrada	<ul style="list-style-type: none"> - Información de movilidad de la ciudad. - Información sobre los vehículos. - Características de los combustibles utilizados. - Población total. - Tasa de crecimiento de la población.
Etapas del cálculo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estimar los kilómetros recorridos totales para cada vehículo a partir de los datos de movilidad. 2. Estimar el combustible consumido.

	<ol style="list-style-type: none"> 3. Calcular la energía consumida en ese combustible y usar factores de emisión para obtener las emisiones de CEI normalizadas por persona promedio. 4. Proyectar esta información usando la tasa de crecimiento poblacional para obtener la línea base.
Información de salida	<ul style="list-style-type: none"> - Línea base de emisiones de CEI. - Kilómetros-persona recorridos en la ciudad

Es importante considerar que esta línea base asume que las condiciones de movilidad permanecen constantes a través del tiempo. Esto es importante para que al analizar los cambios en emisiones, éstos puedan ser atribuibles a los cambios urbanos y no a otros cambios en la movilidad (por ejemplo mejoras en eficiencia o en la calidad de los combustibles).

Estimación de Emisiones en la Zona DOT

Para estimar las emisiones en la zona DOT, primero se utiliza el cambio en las condiciones urbanas y la población que viviría en la zona DOT propuesta para estimar cómo afectarían estos en la movilidad. Además, se puede asumir una distribución modal para esta zona, partiendo de que la infraestructura urbana afecta las decisiones de transporte. Esto deriva en una serie de una nueva cantidad de kilómetros-persona recorridos en cada modo de transporte para los habitantes de la zona DOT. De forma similar a los cálculos de la línea base, se estiman las emisiones bajo este nuevo patrón de movilidad y con esto se proyectan las emisiones que se emitirán con el nuevo patrón de movilidad.

La siguiente tabla muestra este proceso

Proceso de Cálculo de Emisiones en la Zona DOT	
Datos de entrada	<ul style="list-style-type: none"> - Diferencia en los indicadores urbano entre la ciudad y la zona DOT - Información sobre el impacto de los indicadores urbanos en la movilidad - Kilómetros-persona recorridos por persona en la ciudad - Información sobre los vehículos - Características de los combustibles utilizados - Población y distribución modal en la zona DOT
Etapas del cálculo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estimar el impacto de los cambios urbanos en los kilómetros-persona recorridos por cada habitante de la zona DOT 2. Asignar los nuevos kilómetros-persona a cada modo de transporte 3. Estimar los kilómetros recorridos totales para cada vehículo a partir de los datos de movilidad 4. Estimar el combustible consumido 5. Calcular la energía consumida en ese combustible y usar factores de emisión para obtener las emisiones de CEI normalizadas por persona promedio 6. Proyectar esta información usando la estimación de crecimiento de zonas DOT

Información de salida	- Estimaciones de movilidad y emisiones de CEI para los habitantes de la zona DOT
-----------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

Comparación de Escenarios

En la última sección se integran ambas estimaciones para comparar las diferencias. También se calculan las reducciones de kilómetros recorridos, energía, y emisiones. Dado que aquí se generan los resultados que serán usados por tomadores de decisión, el modelo integra gráficas y tablas resumiendo los resultados para facilitar su interpretación.

3. Constantes, y fuentes de información

La eficiencia energética y la ocupación promedio se pueden tomar como constantes en el caso de que no se cuente con información más precisa para la ciudad bajo estudio.

Tabla 1. Eficiencia energética y ocupación promedio por tipo de vehículo

Vehículo	Combustible	Eficiencia energética (km/l, eléctrico km/kWh)*	Ocupación promedio (personas/vehículo)**
Motocicleta	Gasolina	23.9	1
Automóvil particular	Gasolina	9.6	1.2
Taxi	Gasolina	9.6	1.2
Camioneta particular	Gasolina	7.5	1.2
Microbús transporte público	Gasolina	5.2	20
Autobús transporte público	Diésel	2.8	40
Macrobus (BRT)	Diésel	1.2	44
Trolebús	Eléctrico	0.85	100
Tren Ligero	Eléctrico	0.64	635
Transporte no motorizado (peatón y bicicleta)	NA	0	1

Nota: Éstos son los mejores datos disponibles hasta el momento, pero se recomienda adecuarlos conforme se cuente con datos más actuales y/o fuentes más certeras.

*Fuente: Metodología de Línea Base de Emisiones GEI y Escenarios de Reducción para Proyectos de Transporte Público, CTS-USAID, 2014

** Fuente: Adaptación de base de datos del IMP, 2010 e información propia de CTS

Fuente eficiencia del tren ligero y trolebús: Emisiones atmosféricas de las centrales eléctricas en América del Norte.

Fuente ocupación promedio BRT y tren ligero: calculado a partir de datos de: <http://www.siteur.gob.mx/tren-ligero/caracteristicas.html>

Trolebús Asumiendo ocupación máxima (supuesto conservador)

Para la distribución modal deben considerarse los mismos modos de transporte que en la Ciudad, se puede capturar la información en caso de tenerla, de no ser así se deben dejar en blanco y se utilizará la distribución modal de la ciudad.

Las constantes usadas para la herramienta se describen en las siguientes tablas, en la primera se consideran, entre otras, las constantes de los combustibles y factores de emisión y en la segunda las de impacto urbano y movilidad.

Tabla 2. Constantes de los Combustibles y sus fuentes bibliográficas

Constante	Valor	Unidad	Fuente
Factor de emisión de CO2 de la gasolina	0.0693	KgCO2/MJ	IPCC06 - Vol2 -Tabla 3.2.1
Factor de emisión de CO2 del diésel	0.0741	KgCO2/MJ	IPCC06 - Vol2 -Tabla 3.2.1
Factor de emisión de CO2 de la energía eléctrica	278	KgCO2/MJ	IPCC06 - Vol2 -Tabla 1.4
Factor de emisión de CH4 de la gasolina	0.0000038	kgCH4/MJ	IPCC06- Cap 3 - Cuadro 3.2.2.
Factor de emisión de CH4 del diésel	0.0000039	kgCH4/MJ	IPCC06- Cap 3 - Cuadro 3.2.2.
Factor de emisión de N2O de la gasolina	0.0000057	kgN2O/MJ	IPCC06- Cap 3 - Cuadro 3.2.2.
Factor de emisión de N2O del diésel	0.0000039	kgN2O/MJ	IPCC06- Cap 3 - Cuadro 3.2.2.
GWP (potencial de calentamiento global) CH4 en horizonte a 100 años	28	adimensiona al	DIARIO OFICIAL 14 de agosto de 2015 (Tercera Sección) "ACUERDO que establece los gases o compuestos de efecto invernadero que se agrupan para efectos de reporte de emisiones, así como sus potenciales de calentamiento"
GWP (potencial de calentamiento global) N2O en horizonte a 100 años	265	adimensiona al	
Potencial de calentamiento global Carbono negro	900	adimensiona al	
Factor de emisión de CO2e de la gasolina	0.0711468	kgCO2e/MJ	Calculado a partir de datos IPCC
Factor de emisión de CO2e del diésel	0.0753909	kgCO2e/MJ	Calculado a partir de datos IPCC
Factor de emisión de CO2e para la electricidad	0.454	kgCO2e/ kWh	http://www.geimexico.org/image/2015/aviso_factor_de_emision_electrico%202014%20Semarnat.pdf
Valor calorífico neto - gasolina	44.5	MJ/ kg gasolina	IPCC06-EFDB-117446, IPCC06-EFDB-117453
Valor calorífico neto - diésel	43	MJ/ kg diésel	IPCC06-EFDB-117446, IPCC06-EFDB-117453
Densidad - gasolina	0.735	kg/L	http://www.ecovehiculos.gob.mx/metodologia2008.php
Densidad - diésel	0.845	kg/L	http://www.ecovehiculos.gob.mx/metodologia2008.php
Factor de conversión de kWh a MJ	3.6	MJ/kWh	http://www.iae.org.ar/equivalencias.pdf
Pasajeros del tren ligero	240000	pasajeros/ día	http://www.siteur.gob.mx/tren-ligero/caracteristicas.html
Consumo energético transporte eléctrico	0.64	kWh/ pasajero	Diagnóstico de la situación energética en el Distrito Federal: Retos, pendientes y potencialidades. CIDAC. Tabla 2.
Factor de Emisión PM2.5 vehículos a gasolina	0.0202	g/km	calculado a partir de la base de datos del Inventario Nacional de Emisiones 2013, INECC
Factor de Emisión PM2.5 vehículos a diésel	0.3871	g/km	calculado a partir de la base de datos del Inventario Nacional de Emisiones 2013, INECC
Factor de Emisión PM2.5 centrales eléctricas	0.767	g/kwh	calculado de: Emisiones Atmosféricas en Centrales Eléctricas en América del Norte, CCA, 2011, cuadro 2.18
Relación de CN/PM2.5 vehículos	43%	%	Temas emergentes en cambio climático: metano y carbono negro, sus posibles co-beneficios y desarrollo de planes de investigación, INE-MEC2, Tabla 10
Relación de CN/PM2.5 centrales eléctricas	6.7%	%	Temas emergentes en cambio climático: metano y carbono negro, sus posibles co-beneficios y desarrollo de planes de investigación, INE-MEC2, Tabla 10

Nota: Éstos son los mejores datos disponibles hasta el momento, pero se recomienda adecuarlos conforme se cuente con datos más actuales y/o fuentes más certeras.

Tabla 3. Constantes del Impacto Urbano en la Movilidad y sus fuentes bibliográficas

Constante	Valor	Unidad	Fuente
Elasticidad Densidad Poblacional sobre Viajes por Persona al Día	-0.199	adimensional	C2C2 - Análisis Multivariable
Elasticidad Índice de Uso Mixto sobre Viajes por Persona al Día	0.337	adimensional	C2C2 - Análisis Multivariable
Elasticidad Densidad Vial sobre Viajes por Persona al Día	0.308	adimensional	C2C2 - Análisis Multivariable
Elasticidad del Balance de Servicios sobre Viajes por Persona al Día	0.503	adimensional	C2C2 - Análisis Multivariable
Elasticidad Balance de Empleo y Trabajadores sobre Viajes por Persona al Día	-0.336	adimensional	C2C2 - Análisis Multivariable
Elasticidad Densidad Poblacional sobre Distancia Promedio de Viaje	-0.101	adimensional	C2C2 - Análisis Multivariable
Elasticidad Índice de Uso Mixto sobre Distancia Promedio de Viaje	-0.177	adimensional	C2C2 - Análisis Multivariable
Elasticidad Empleos por Vivienda sobre Distancia Promedio de Viaje	0.106	adimensional	C2C2 - Análisis Multivariable
Elasticidad Distancia al Centro sobre Distancia Promedio de Viaje	0.186	adimensional	C2C2 - Análisis Multivariable

Nota: Éstos son los mejores datos disponibles hasta el momento, pero se recomienda adecuarlos conforme se cuente con datos más actuales y/o fuentes más certeras.

4. Datos del caso de estudio

Guadalajara, según datos del INEGI, es la tercera ciudad más grande de México, con una población de 1,495,189 habitantes en 2010. Es considerada uno de los centros industriales y comerciales más importantes. Para cubrir adecuadamente las necesidades de movilidad de la población en las ciudades se requiere que las estrategias de movilidad incluyan no sólo transporte motorizado, sino que también mejoren el aprovechamiento del suelo ya urbanizado y de la infraestructura existente, promuevan la integración social, mitiguen los efectos de la contaminación y alienten el desarrollo económico.

En el presente apartado se describen los datos de la Zona Metropolitana de Guadalajara usados en el modelo.

4.1. Datos de demográficos y urbanos

Tabla 4. Población de las principales Municipios de la ZMG

Indicadores Demográficos	Valor	Fuente
Población Total (habitantes)	4,434,878	Censos de población y vivienda 2010, INEGI. Disponible en http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/jal/poblacion/

Tabla 5. Indicadores de población de la ZMG

Indicador	Valor	Unidades	Fuente
Tasa de crecimiento esperada para el escenario considerado	1.72	%	Tasa de crecimiento Medio Anual para la ZMG en 2010 (Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco, basado en conteo 2005 y censo 2010)
Densidad Poblacional	91.3	Habitantes/ha	Reporte "Identificación de Zonas con Potencial DOT en la Zona Metropolitana de Guadalajara", pag. 13, ITDP, 2015
Índice de uso mixto	0.23	Adimensional	Calculado considerando viviendas y unidades de servicios y comercio a partir de información del Inventario Nacional de Viviendas (2010) y el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (2015) (INEGI)

4.2. Datos de movilidad

Para este caso de estudio se consideraron solamente el tipo de vehículos que más podría ser afectado por la implementación de un DOT, incluyendo los vehículos particulares, en las tablas 6 y 7 se muestran los datos usados para la calibración del modelo.

Tabla 6. Cantidad de vehículos y distancia recorrida por tipo de combustible

Vehículo	Combustible	Cantidad de vehículos	Kilómetros recorridos por vehículo (km/año)
Motocicleta	Gasolina	196,255	28,835
Automóvil particular	Gasolina	1,028,169	13,505
Taxi	Gasolina	12,955	72,763
Camioneta particular	Gasolina	671,730	12,410
Microbús transporte público	Gasolina	0	0
Autobús transporte público	Diésel	3,024	104,390
Macrobus (BRT)	Diésel	45	63,559
Trolebús	Eléctrico	25	122
Tren Ligero	Electricidad	48	33,271
Transporte no motorizado (peatón y bicicleta)	NA	0	0

Fuente: Datos proporcionados por la SEMADET, Para el macrobús y tren ligero: calculado a partir de datos de:

<http://www.siteur.gob.mx/tren-ligero/caracteristicas.html> y <http://www.siteur.gob.mx/macrobus/caracteristicas.html>

Trolebús: <http://www.siteur.gob.mx/noticias/item/troleb%C3%BAs-se-suma-a-la-red-de-transporte-del-siteur.html> y

<http://www.siteur.gob.mx/noticias/item/troleb%C3%BAs-se-suma-a-la-red-de-transporte-del-siteur.html>

4.3. Información de la zona DOT

En la parte información de la Zona DOT, toda la información está dada sobre supuestos tomando como base los datos de la ciudad. En las siguientes tablas se resumen los datos y una breve descripción de cada uno de ellos y la consideración que se tomó para determinar el valor.

Tabla 7. Indicadores Urbanos de Zona DOT

Indicador	Valor	Consideraciones
Densidad Poblacional (habitantes/ha)	105	Se consideró un aumento del 15% en la densidad poblacional de la ciudad
Índice de Uso Mixto (adimensional)	0.29	Aumentando en un 30% el índice de uso de suelo mixto

Tabla 8. Nivel de efecto del indicador urbano en la movilidad

Indicador	Valor	Consideraciones
Densidad Poblacional	Impacto alto	Es el valor que se recomienda usar por defecto
Usos Mixtos	Impacto alto	Es el valor que se recomienda usar por defecto

Distribución modal en la zona DOT

Los Número de viajes por persona por día promedio es de cuatro, este dato es totalmente arbitrario. El porcentaje de número de viajes personales por modo de transporte, la distancia promedio por viaje y el porcentaje en kilómetros persona se dejaron en blanco considerando que no había cambio respecto a los datos de la ciudad.

Habitantes viviendo en zona DOT bajo la implementación esperada

Como año de implementación se tomó como base el año 2017 y la población en las zonas DOT se consideró el 5% de la población de la ciudad viviendo en las zonas DOT que corresponde a 221,744 personas con una tasa esperada de crecimiento poblacional igual a la de la ciudad que es del 1.72% anual proyectado a 15 años

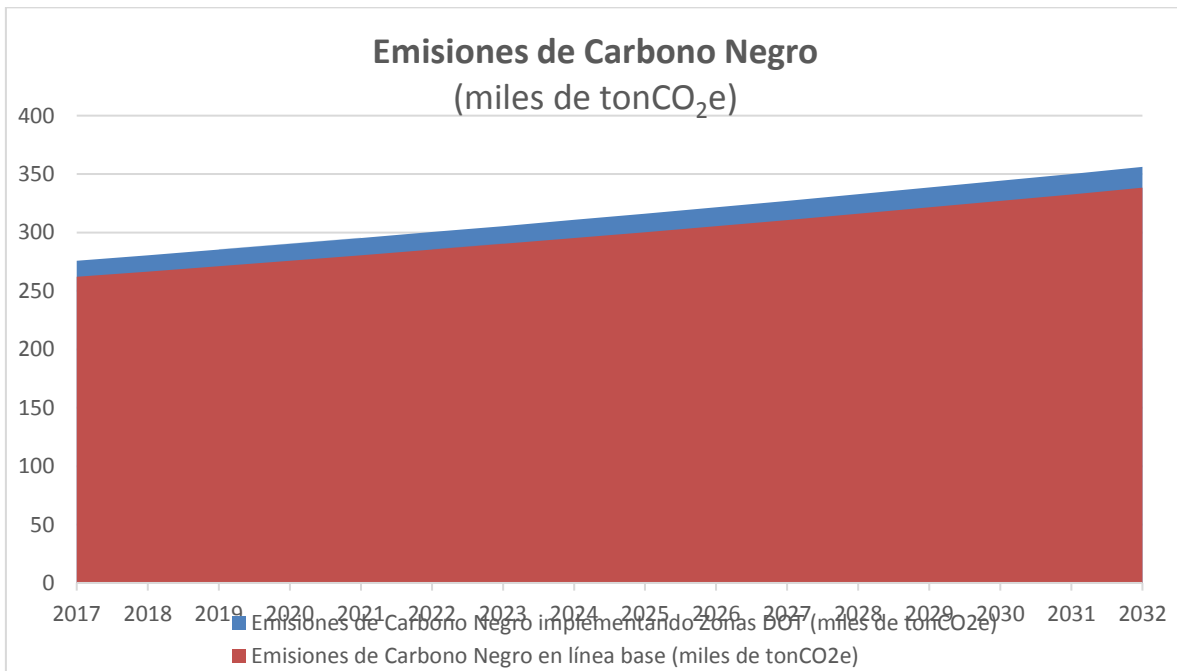
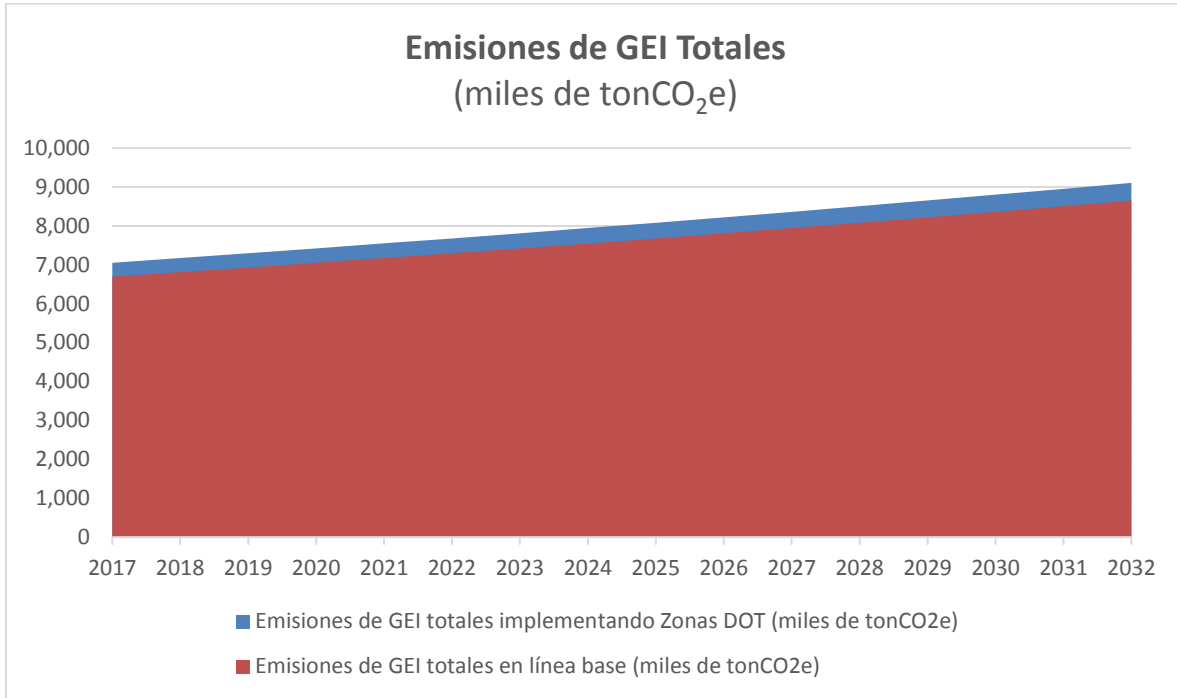
5. Análisis de resultados

La LGCC, en sus artículos 8° y 9°, establece las atribuciones de estados y municipios respectivamente, para formular, regular, dirigir e instrumentar acciones de mitigación y adaptación al cambio climático en infraestructura y transporte eficiente y sustentable y en ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y desarrollo de los centros de población en coordinación con sus municipios y transporte público de pasajeros eficiente y sustentable en su ámbito. Y en el artículo 34° establece que, para la reducción de emisiones, las entidades federativas y los municipios promoverán el diseño y elaboración de políticas y acciones de mitigación asociadas al sector transporte, a través de promover sistemas de transporte público integrados, promover la infraestructura de transporte no motorizado, así como la elaboración de planes y programas de desarrollo urbano con criterios de eficiencia energética entre otros.

De acuerdo al inventario estatal de emisiones de GEI en el 2010 en Jalisco se emitieron poco menos de 8.5 MtCO₂e en fuentes móviles carreteras (que incluye automóviles, camiones de servicio ligero, camiones de servicio pesado y motocicletas). Según la línea base de esta herramienta en la ZMG en 2015 se emitieron 6.6 MtCO₂e según las categorías vehiculares consideradas.

Estrategias de Mitigación del PEACCJ: Considerando las metas nacionales y los valores de emisiones de Jalisco en 2010 como año de referencia y con base en el objetivo establecido en la LGCC y el nivel de emisiones de GEI reportado en este primer inventario, la meta estatal de mitigación es reducir en 30% las emisiones en el 2030, bajo esta consideración, la meta en el transporte terrestre sería reducir 2.55 MtCO₂e, lo que en el periodo 2015-2030, según los resultados obtenidos con la implementación de zonas DOT para el 5% de la población se tendría una reducción de 6.4 MtCO₂e de GEI y de 252 ktCO₂e de carbono negro.

A continuación, se muestran de manera gráfica estos resultados de reducción de emisiones.





PROGRAMA PARA EL DESARROLLO
BAJO EN EMISIONES DE MÉXICO (MLED)



PROGRAMA PARA EL DESARROLLO
BAJO EN EMISIONES DE MÉXICO (MLED)

www.mledprogram.org

