



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



Modelación para la identificación de línea base y medidas 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



Mayo, 2016

Este informe fue elaborado por el CTS EMBARQ 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 medidas de mitigación de emisiones de Compuestos de Efecto Invernadero para el Desarrollo Orientado al Transporte (DOT) en Guadalajara

El presente estudio fue elaborado por CTS EMBARQ México. Los autores principales son Leticia Ramos y Sayel Cortés, bajo la supervisión de Cynthia Menéndez y Ricardo Troncoso de World Wildlife Fund; 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

Tabla de contenido

Índice de tablas.....	5
Índice de ilustraciones	5
Tabla de acrónimos y abreviaturas	6
Resumen	7
1. Introducción	8
2. Generalidades	10
2.1. Desarrollo Orientado al Transporte (DOT)	10
2.2. Estimación de emisiones en un proyecto DOT	10
2.3. Objetivos de la metodología	12
3. Metodología	12
3.1. Lógica del modelo y supuestos generales	12
3.2. Estructura del modelo	13
3.2.1. Estimación de línea base.....	13
3.2.2. Estimación de emisiones en la Zona DOT	14
3.2.3. Comparación de escenarios	15
3.3. Detalles del cálculo.....	15
3.3.1. Estimación de línea base.....	15
3.3.2. Estimación de emisiones en la Zona DOT	18
3.3.3. Comparación de Escenarios.....	21
4. Uso del modelo.....	23
4.1. Descripción del contenido.....	23
4.1.1. Portada.....	23
4.1.2. Captura de datos	24
4.1.3. Resultados	27
4.1.4. Cálculos línea base	28
4.1.5. Cálculos zona DOT.....	28
4.1.6. Escenarios.....	29
4.1.7. Constantes	29
4.1.8. Cálculos auxiliares.....	29

5. Bibliografía.....	31
6. Anexos.....	32
Anexo I. Constantes.....	32
Anexo II. Caso de estudio del modelo con datos de la ZMG	35

Índice de tablas

Tabla 1. Compuestos de efecto invernadero y su potencial de calentamiento global	11
Tabla 2. Proceso de cálculo de la línea base	14
Tabla 3. Proceso de cálculo de emisiones en la Zona DOT	14
Tabla 4. Hojas de cálculo del modelo y descripción de contenido	23

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Portada del modelo	24
Ilustración 2. Datos de insumo de la ciudad	24
Ilustración 3. Datos de insumo de la zona DOT	26
Ilustración 4. Cálculos de línea base.....	28
Ilustración 5. Cálculos auxiliares.....	30

Tabla de acrónimos y abreviaturas

ASI	Avoid, Shift, Improve (Evitar, Cambiar, Mejorar)
BAU	Business as Usual
BRT	Bus Rapid Transit (Autobuses de Transporte Rápido Masivo)
CEI	Compuestos de Efecto Invernadero
CH ₄	Metano
CN	Carbono Negro
CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂ e	Dióxido de carbono equivalente
DOT	Desarrollo Orientado al Transporte
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GWP	Global Warming potential (potencial de calentamiento global)
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
iNDC	<i>intended Nationally Determined Contribution</i> (Contribuciones nacionales, previstas y determinadas)
INEGI	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática
IPCC	Intergovernmental Panel for Climate Change (Panel Intergubernamental de Cambio Climático)
kWh	kilowatt-hora
MJ	Megajolues, 1,000,000 Jolues
MRV	Medición, Reporte y Verificación
N ₂ O	Óxido Nitroso
PM _{2.5}	Partículas menores a 2.5 micrómetros, 0.0000025 metros

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 manual describe el contenido del 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.

Este modelo 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 deriven en menores emisiones de CEI a la atmósfera.

Así, los principales objetivos de este modelo son:

- Proveer a las ciudades de una herramienta de uso práctico de estimación de emisiones de CEI de acuerdo a sus patrones de movilidad por la implementación de zonas DOT.
- Estimar la línea base de emisiones de CEI del transporte público y privado de una ciudad.
- Calcular el potencial de mitigación de emisiones de CEI a través de cambios en la movilidad de las personas por la implementación de proyectos DOT.

1. Introducción

El cambio climático es un efecto ambiental global a largo plazo de las emisiones atmosféricas de gases y compuestos de efecto invernadero (CEI), considerados como los responsables del calentamiento global, que se caracteriza por el aumento de las temperaturas medias mundiales.

Desde la era preindustrial, las emisiones crecientes de CEI debido a actividades antropogénicas han tenido un incremento muy marcado en las concentraciones de estos gases en la atmósfera. El objetivo último de la comunidad internacional es lograr la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera. Para ello, se han definido acciones como las descritas en el Protocolo de Kioto y las recientemente adoptadas Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional (INDC).

Según datos de la Agencia Internacional, México contribuye con el 1.37 por ciento de las emisiones globales de CO₂ derivadas de la quema de combustibles fósiles, ocupando el 13° lugar (INDC, 2015). Algunas de las medidas para reducir emisiones atmosféricas en México han estado orientadas hacia la promoción de estrategias integrales de planeación urbana con ciudades más densas, diversas y diseñadas; con proyectos que dan prioridad a la movilidad no motorizada y a la planeación a partir de sistemas de transporte público, concepto conocido como Desarrollo Orientado al Transporte (DOT).

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 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 (INECC, 2015).

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 metodología tiene un objetivo específico de acuerdo a lo que se pretende hacer con los resultados. Los aspectos que varían son: la rigurosidad de los cálculos, la disponibilidad de datos, los costos asociados al cálculo y recolección de información, entre otros.

Basándose en esto, 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, sin el uso intensivo de recursos tanto humanos como económicos; con la finalidad de calcular el potencial de mitigación de CEI en zonas DOT a través de la movilidad urbana.

En este manual se busca describir el contenido del modelo para la estimación de emisiones de compuestos de efecto invernadero en proyectos de Desarrollo Orientado al Transporte (DOT). Este modelo busca estimar el impacto de la implementación de zonas DOT. 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. En síntesis, la secuencia de efectos sigue la siguiente dirección:

Entorno Urbano → Patrón de movilidad → Emisiones de CEI

Este modelo pretende apoyar a las ciudades que, mediante el establecimiento de zonas DOT, busquen reducir sus emisiones de CEI; para que a través de la metodología aquí descrita puedan estimar dicha reducción.

2. Generalidades

2.1. Desarrollo Orientado al Transporte (DOT)

La teoría de ***Transit-Oriented Development*** tiene auge en Estados Unidos en la década de los noventa del siglo pasado y se concreta en un modelo urbano que busca alcanzar la calidad de vida que sostienen ciudades de consolidación milenaria; así como dar respuesta a la crisis ambiental que, entre otras causantes, ha provocado la expansión urbana desmedida. Sostiene el principio de que el ser humano es el eje rector de la planeación (CTS, 2008).

La expansión urbana también puede generar externalidades negativas como la pérdida de servicios ambientales y biodiversidad en las áreas urbanizadas, y genera externalidades negativas asociadas a los medios de transporte, especialmente al uso del automóvil. Hay evidencia suficiente de que las ciudades expandidas generan un mayor uso del automóvil, lo cual provoca mayores costos sociales, entre ellos la emisión de gases y compuestos de efecto invernadero.

Dada esta situación, se requiere replantear el desarrollo urbano para generar una movilidad eficaz, incluyente, equitativa y sustentable para los habitantes de las ciudades mexicanas. Esto quiere decir que se debe transitar hacia modelos y estrategias de desarrollo urbano en donde caminar y usar la bicicleta y el transporte público sean los elementos alrededor de los cuales se genera el desarrollo de las ciudades. A esto se le conoce como Desarrollo Orientado al Transporte (DOT) (ITDP, 2013).

2.2. Estimación de emisiones en un proyecto DOT

Dentro de los esfuerzos realizados para mejorar el transporte a nivel mundial, se han implementado proyectos con un enfoque ASI (del inglés Avoid, Shift, Improve) cuyo significado es Evitar - Cambiar - Mejorar la manera en que nos movemos. Este enfoque menciona que, en cuestiones de movilidad, lo más efectivo es evitar kilómetros innecesarios para realizar las actividades cotidianas, lo cual se consigue con una política integral de gestión urbana. Pero en caso de tener que trasladarse, lo mejor es cambiar hacia modos más sustentables como el transporte masivo, la bicicleta o la caminata y mejorar las tecnologías del transporte motorizado para contaminar menos, que es uno de los enfoques del concepto de DOT.

Ahora bien, para conocer los beneficios derivados de la implementación de proyectos es importante estimarlos. Para el caso del impacto de emisiones de contaminantes, existen metodologías que permiten contabilizarla, ya sea *ex ante* o *ex post*.

Para ello, es importante distinguir dos conceptos que son fundamentales en la evaluación de reducción de emisiones en un periodo determinado. El primer concepto es la línea base, que es el escenario en el que se determinan las condiciones iniciales considerando un escenario BAU (*Business as usual*); es decir, cómo seguirían las cosas según las tendencias históricas. El segundo concepto es el del escenario alternativo de intervención, en el que se muestre algún cambio o mejora en el modo de transportarse.

Este modelo busca estimar el impacto de la implementación de zonas con criterios de DOT en las emisiones de CEI derivados de la combustión de fuentes móviles, cuyo potencial de calentamiento global se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Compuestos de efecto invernadero y su potencial de calentamiento global

Compuesto de efecto invernadero (CEI)	Fórmula o abreviación	Potencial de calentamiento global a 100 años (GWP-100)
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	28
Óxido nitroso	N ₂ O	265
Carbono Negro	CN	900

Fuente: Elaboración propia con información de DO, 2015

Esta metodología es del tipo “*bottom up*”¹ (de abajo hacia arriba), pues está basada en la actividad de los vehículos del escenario del proyecto. De igual forma, su estructura sigue un enfoque ASIF (*Activity, Structure, Intensity, Fuel*) que se basa en la actividad total del transporte; en este caso, de los kilómetros recorridos por la flota. Asimismo, las emisiones se calculan mediante el factor de emisión de CEI según el tipo de combustible.

Este modelo 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 deriven en menores emisiones de CEI a la atmósfera.

Además, 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. 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 estos.

¹ La metodología *bottom up* (de abajo hacia arriba) parte de datos particulares y detallados para calcular, en este caso, las emisiones de la línea base como la actividad vehicular. Este proceso va de lo particular a lo general.

2.3. Objetivos de la metodología

Los principales objetivos de este modelo son:

- Proveer a las ciudades de una herramienta de uso práctico de estimación de emisiones de CEI de acuerdo a sus patrones de movilidad por la implementación de zonas DOT.
- Estimar la línea base de emisiones de CEI del transporte público y privado de una ciudad.
- Calcular el potencial de mitigación de emisiones de CEI a través de cambios en la movilidad de las personas por la implementación de proyectos DOT.

3. Metodología

3.1. Lógica del modelo y supuestos generales

Este modelo busca estimar el impacto de la implementación de zonas con criterios DOT en las emisiones de CEI, a través de la movilidad urbana. 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 deriven en menores emisiones 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, como factores económicos y demográficos, entre otros. 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 de la metodología subyacente.

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 estas 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 estos. 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 relacionados con la movilidad –renovación de la flota, mejoras en el combustible, entre otros– 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 y cantidad de estacionamientos).

3.2. 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.

3.2.1. Estimación de línea base

Esta etapa consiste en utilizar la información de movilidad actual en la ciudad para estimar las emisiones de CEI actuales. Estas 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.

Usar el crecimiento poblacional como variable para “guiar” el modelo a través del tiempo es importante porque el modelo utiliza a la población para vincular el entorno urbano con la movilidad. La población es fundamental en este modelo porque tanto desde el punto de vista del desarrollo urbano, como desde el punto de vista de la movilidad, las personas son una variable clave de diseño; por ejemplo, cuando se consideran “cuántos habitantes habrá en un desarrollo urbano” o “cuántos pasajeros por dirección moviliza un determinado sistema de transporte”. Por eso se eligió esta variable como eje central del modelo conectando estos dos sistemas de la ciudad. En términos de análisis, esto también permite entender fácilmente el impacto de las políticas en la persona típica considerada. Esto queda evidente en el paso 3 del cálculo de la línea base, donde las emisiones se normalizan por persona, permitiendo comparaciones a nivel individual claras también para los tomadores de decisiones.

En la Tabla 2, se observa el proceso del cálculo de la línea base de emisiones.

Tabla 2. Proceso de cálculo de la línea base

Etapas	Información / Etapas
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 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 - Kilómetros-persona recorridos por persona en la ciudad

Fuente: Elaboración propia

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, estos 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).

3.2.2. 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 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. Este proceso se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Proceso de cálculo de emisiones en la Zona DOT

Etapas	Información / Etapas
Datos de entrada	<ul style="list-style-type: none"> - Diferencia en los indicadores urbanos 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	Información / Etapas
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 para los habitantes de la zona DOT

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Comparación de escenarios

En la última sección se integran ambas estimaciones para comparar las diferencias. También se calculan las reducciones de kilómetros recorridos, uso de 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.

3.3. Detalles del cálculo

3.3.1. Estimación de línea base

Este proceso tiene las siguientes sub-etapas:

1. Estimación de kilómetros-vehículo recorridos,
2. Estimación del uso de combustible,
3. Conversión de combustible en energía,
4. Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI),
5. Estimación de carbono negro,
6. Estimación de los kilómetros-persona recorridos,
7. Normalización de valores por persona.

A continuación, se describe cada una de estas sub-etapas.

1. Estimación de kilómetros-vehículo recorridos

Se comenzó por estimar los kilómetros totales recorridos por cada vehículo. Estos se llaman kilómetros-vehículo pues constituyen la distancia que los vehículos recorren, en contraposición con los kilómetros-persona que es la adición de la distancia recorrida por cada individuo. Para calcularlos, si se cuenta con un inventario de los vehículos existentes y los kilómetros recorridos por cada modo de transporte, puede usarse la siguiente ecuación.

$$\text{Kilómetros}_{\text{vehículo}} = (\text{Cantidad de vehículos}) * (\text{Kilómetros recorridos por vehículo por año})$$

El cálculo de estos kilómetros-vehículo puede cambiar un poco según la información de movilidad con la que se cuente inicialmente. Incluso en muchas ocasiones los kilómetros-vehículo son un valor muchas veces ya estimado en los estudios de movilidad que se usan como base.

Un valor auxiliar que se calculó en esta etapa es la distribución modal de acuerdo a los kilómetros-vehículo, que consiste en el porcentaje de los kilómetros-vehículo totales que es recorrido por cada tipo de vehículo. Esta distribución modal tiene relevancia pues es la distribución que se vería si solo se observaran los vehículos en la vía pública. Sin embargo, debido a que diferentes vehículos transportan un número distinto de personas, es diferente a la distribución modal en la que se transportan las personas en realidad.

2. Estimación del consumo de combustible

La estimación de consumo de combustible se realiza usando la eficiencia del vehículo y los kilómetros-vehículo recorridos. El cálculo es directo y utiliza la siguiente fórmula para cada vehículo considerado:

$$\text{Combustible consumido} = \frac{\text{km}_{\text{vehículo}}}{\text{eficiencia}}$$

Esta ecuación, aunque es sencilla, engloba muchos factores. La eficiencia incluye el aspecto tecnológico de cada vehículo, así como consideraciones sobre la forma como se maneja. Cuestiones como el inflado de las llantas, velocidad, condiciones del terreno y, en general, las condiciones del motor afectan la eficiencia de este. También es de esperar que la eficiencia promedio aumente con el tiempo debido a mejoras tecnológicas. Sin embargo, en este modelo todas estas consideraciones se asumen constantes y se engloban en un factor promedio para centrar los análisis en el impacto del entorno construido y no en cambios en la movilidad. CTS EMBARQ México y otros centros de investigación han desarrollado modelos específicos para estas consideraciones, que permiten analizar escenarios de eficiencias energéticas de forma desglosada y con mucho más detalle.

El cálculo de la electricidad consumida por el tren ligero fue diferente, ya que esta energía es independiente del entorno construido en el corto plazo; es decir, la construcción de una zona DOT no afectará el programa de operación del tren ligero y por lo tanto su consumo de kilómetros, combustible y energía es constante. De cualquier forma, para estimar este consumo con la información disponible se multiplicó el consumo de electricidad por pasajero por el número de pasajeros reportado anual.

3. Conversión de combustible en energía

Los vehículos utilizan diferentes combustibles, cada uno de estos con una cantidad de energía diferente. La cantidad de energía contenida en una sustancia se conoce como valor calorífico y se tienen estimaciones de laboratorio precisas para los diferentes combustibles. Dado que estos se refieren a la energía por unidad de masa del combustible, también fue requerida la densidad para estimar la energía consumida al consumir el combustible.

Energía consumida

$$= (\text{combustible consumido}) * (\text{densidad del combustible}) \\ * (\text{valor calorífico neto})$$

En el caso del tren ligero, como la electricidad ya es energía solo se hizo una conversión de unidades para manejar megajoules (MJ) para todos los vehículos.

4. Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

La estimación de las emisiones de GEI se realizó a partir de la estimación de la energía consumida. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) ha compilado factores de emisión que permiten estimar las emisiones de combustibles a partir de la energía producida con ellos. Estos factores se usaron para estimar las emisiones de los siguientes gases de efecto invernadero (GEI): dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). La fórmula para cada uno de estos gases es la misma solo ajustando los factores de emisión de acuerdo al combustible y al gas. Así, la siguiente ecuación se realizó tres veces para cada vehículo:

$$\text{Emisión} = (\text{Energía consumida}) * (\text{Factor de emisión})$$

Una vez que se tienen las emisiones para cada gas, estas se convierten en dióxido de carbono equivalente (CO₂e). Esto se refiere a estimar el equivalente en dióxido de carbono que tendría el mismo potencial para calentar la atmósfera. De esta forma las emisiones de diferentes GEI pueden sumarse de acuerdo al impacto que tienen para el cambio climático. Para esto, el IPCC ofrece potenciales de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) a un horizonte de 100 años, mismos que se usaron en este modelo. Así, la ecuación para calcular las emisiones totales en CO₂e es la siguiente:

$$\text{Emisiones totales [CO}_2\text{e]} \\ = \text{Emisión}_{\text{CO}_2} + (\text{Emisión}_{\text{CH}_4}) * (\text{GWP}_{\text{CH}_4}) + (\text{Emisión}_{\text{N}_2\text{O}}) * (\text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}})$$

5. Estimación de carbono negro

Las emisiones de carbono negro (CN) como CO₂e se determinaron de acuerdo al factor de emisión de las partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}), el contenido de carbono en estas partículas, la distancia recorrida por cada tipo de vehículo en kilómetros, y el potencial de calentamiento global como se muestra en la siguiente fórmula:

Emisiones de CN [CO₂e]

$$= (km \text{ recorridos}) * (Factor \text{ de Emisión}_{PM_{2.5}}) * \left(relación \frac{CN}{PM_{2.5}} \right) * (GWP_{CN})$$

6. Estimación de los kilómetros-persona recorridos

Aunque en el paso anterior ya se estimaron las emisiones de CEI, para vincular el escenario de línea base con el escenario con Zona DOT se usaron los valores por persona. Esto se hizo porque se quiere conocer el impacto de la gente viviendo en diferentes ambientes, así que la unidad a la que todo está ligado es la persona.

Para esto, lo primero que se hizo fue calcular los kilómetros recorridos por persona en cada vehículo. Es decir, la distancia recorrida pero no en función al vehículo, sino a la cantidad de personas:

$$Kilómetros_{persona} = (Kilómetros_{vehículo}) * (ocupación \text{ promedio})$$

Estudios muestran que cambios en el entorno construido modifican estas distancias recorridas. El impacto en los kilómetros recorridos por los vehículos puede ser diferente, pues la ocupación promedio no necesariamente permanece constante. Por ejemplo, aún si más gente usa el tren ligero, este seguirá recorriendo la misma distancia solo con más gente.

7. Normalización de valores por persona.

Finalmente, para hacer las proyecciones en el tiempo de la línea base y las comparaciones de los escenarios, se dividieron los totales de kilómetros recorridos, la energía consumida y las emisiones por la población total, a fin de tener un valor por persona.

3.3.2. Estimación de emisiones en la Zona DOT

Este proceso tiene las siguientes sub-etapas:

1. Estimación de impacto de cambios urbanos en kilómetros recorridos por persona,
2. Estimación de los kilómetros-persona recorridos por los habitantes de la zona DOT,
3. Asignación de los nuevos kilómetros por persona en los diferentes modos de transporte,
4. Estimación de kilómetros-vehículo para los habitantes de la zona DOT,
5. Estimación de emisiones de GEI y carbono negro,
6. Cálculo de diferencias entre habitante de zona DOT y habitante promedio de la ciudad.

A continuación se describe cada una de estas sub-etapas.

1. Estimación de impacto de cambios urbanos en kilómetros recorridos por persona

Para estimar el impacto de una Zona DOT, es necesario cuantificar las diferencias entre la Zona DOT con respecto al resto de la ciudad. Esto se realiza a través de indicadores urbanos que permiten tener medidas objetivas de las diferencias urbanas.

Existen muchos posibles indicadores urbanos, sin embargo, para poder usarlos en este modelo se requiere contar con estudios estadísticos que hayan cuantificado previamente el impacto de estos indicadores en los patrones de movilidad. Estos estudios utilizan datos de movilidad y urbanos, para así tratar de vincular ambos asumiendo que la movilidad depende (al menos parcialmente) del entorno construido.

El resultado de estos estudios normalmente es un conjunto de coeficientes que vinculan el impacto de los cambios en los indicadores urbanos considerados sobre los indicadores de movilidad que se estudien (comúnmente distancia recorrida o número de viajes), ambas en términos porcentuales. Estos coeficientes se llaman “elasticidades” y son parte de los insumos necesarios para este modelo.

Entre los estudios que se han hecho en muchas ciudades –principalmente de Estados Unidos– dos elementos urbanos que parecen consistentemente tener impactos en la movilidad son la densidad poblacional y el nivel de uso mixto. Por default estos son los dos indicadores que el modelo permite utilizar, aunque de tenerse las elasticidades adecuadas, es posible integrar más indicadores urbanos. También es importante recordar que lo importante es el cambio en términos porcentuales de los indicadores, por lo que las unidades en las que se manejen no son muy importantes, siempre y cuando sean las mismas para evaluar la ciudad y la Zona DOT.

Como ya se mencionó en el párrafo anterior, este modelo considera dos indicadores urbanos: la densidad poblacional y el índice de uso mixto (como medida de los usos mixtos). La fórmula para calcular la densidad poblacional es la siguiente:

$$\text{Densidad poblacional} = \frac{\text{Habitantes en la zona considerada}}{\text{Área de la zona considerada}}$$

Existen varias medidas para evaluar el nivel de usos mixtos en una zona urbana, en este caso se utiliza el Índice de Entropía de Uso Mixto. Este índice “evalúa la homogeneidad en la distribución de las categorías de uso de suelo consideradas” (CTS, 2011). Su fórmula es la siguiente

$$\text{Índice de Uso Mixto} = - \frac{\sum_i^k p_i \ln(p_i)}{\ln(k)}$$

Donde p_i es la proporción de uso de suelo i , mientras que k es el número total de categorías de uso de suelo considerado. Este índice toma el valor de 1 cuando cada categoría de uso de suelo considerado tiene la misma proporción que las demás, y el valor de 0 cuando una categoría tiene la totalidad del uso de suelo considerado.

Una vez estimados los indicadores urbanos (densidad poblacional e índice de uso mixto), tanto para la ciudad como un todo como para la Zona DOT considerada, se obtiene la diferencia en términos porcentuales. Estas diferencias se multiplican por la elasticidad para obtener el impacto del cambio urbano en la movilidad, en particular el impacto en el número de viajes promedio de cada persona, y en la distancia promedio de cada viaje. Por la naturaleza de las elasticidades, los efectos son aditivos, así que los impactos de los diferentes indicadores urbanos se suman para obtener el impacto total en el número de viajes y la distancia promedio de cada viaje.

Como ya se ha mencionado anteriormente, la variable que el modelo utiliza para vincular los escenarios son los kilómetros recorridos por persona, por lo que los efectos en el número de viajes y la distancia promedio por viaje se integran con la siguiente fórmula para obtener el efecto total del entorno construido en los kilómetros recorridos por persona:

$$\begin{aligned} \text{Efecto Total en Km persona} \\ &= (1 + \text{efecto en numero de viajes}) \\ &\quad * (1 + \text{efecto en distancia promedio por viaje}) - 1 \end{aligned}$$

Este efecto total está en unidades porcentuales y refleja el cambio que habrá por la Zona DOT en los kilómetros por persona recorridos por la gente que viva en ella.

2. Estimación de los kilómetros-persona recorridos por los habitantes de la zona DOT

Una vez que se cuenta con el efecto total en los kilómetros por persona, solo es necesario aplicar este efecto a los kilómetros recorridos por persona en la línea base para obtener los kilómetros que se espera recorran los habitantes de la Zona DOT. Esto se hace con la siguiente fórmula:

$$Km_{persona} \text{ en Zona DOT} = (Km_{persona} \text{ en linea base}) * (1 + \text{Efecto Total en } Km_{persona})$$

3. Asignación de los nuevos kilómetros por persona en los diferentes modos de transporte

Debido a la cantidad de datos necesarios para poder calcularlas, solo se cuenta con elasticidades para el efecto total en los kilómetros recorridos, y no para los efectos en cada uno de los diferentes modos de transporte. Por este motivo se permite que el usuario especifique la distribución modal en la Zona DOT (la cual podría obtenerse de encuestas en zonas similares, por ejemplo) o se asume que la distribución modal no cambia con respecto al promedio del resto de la ciudad.

En cualquiera de los dos casos, los kilómetros recorridos en la Zona DOT que fueron estimados en el paso anterior se distribuyen en los diferentes modos de transporte, utilizando la distribución modal en kilómetros-persona. Para esto solo basta multiplicar los kilómetros persona por el porcentaje de correspondiente a cada modo de transporte.

4. Estimación de kilómetros-vehículo para los habitantes de la zona DOT

Los kilómetros persona se multiplican por la cantidad de habitantes en la Zona DOT para obtener el total de distancia recorrida por los habitantes de la zona. Además, gracias al paso anterior, ya se tiene esta distancia en los diferentes modos de transporte. Sin embargo, para poder estimar las emisiones de CEI es necesario tener la distancia recorrida no por las personas, sino por los vehículos. Esto se logra dividiendo la distancia entre la ocupación promedio para cada modo de transporte de la siguiente forma:

$$Km_vehículo = \frac{km_persona}{ocupación\ promedio}$$

Con esto se obtienen la distancia que se recorre en vehículos debido a los habitantes de la Zona DOT. Sin embargo, se asume que la población de la Zona DOT no es suficiente para modificar los kilómetros que se recorren en el transporte masivo como tren ligero o BRT. Esto quiere decir que las personas extra que utilizan estos sistemas de transporte masivo aumentan la ocupación promedio de estos, pero no lo suficiente para que sea necesario incluir más vehículos o nuevas estaciones.

5. Estimación de emisiones de CEI

Una vez que se tienen los kilómetros recorridos por vehículo, la estimación de emisiones en esta etapa es similar a la realizada en las estimaciones de la línea base, pasos 2 a 5. Por favor refiérase a estas secciones para ver los detalles.

6. Cálculo de diferencias entre habitante de zona DOT y habitante promedio de la ciudad

Finalmente se dividen indicadores como los kilómetros totales recorridos por día, la energía total consumida, y las emisiones totales de CEI por el número de habitantes para que sea posible compararlas, y se calculan las diferencias con respecto a la línea base.

3.3.3. Comparación de Escenarios

Este proceso tiene las siguientes sub-etapas:

1. Proyección de escenarios en el tiempo,
2. Tablas resumen de resultados y gráficas

A continuación, se describe cada una de estas sub-etapas.

1. Proyección de escenarios en el tiempo

Para proyectar los resultados en el tiempo se utilizaron dos datos: por un lado, la tasa de crecimiento poblacional esperada; y, por el otro, una estimación de la cantidad de gente que vivirá en Zonas DOT en el futuro.

El primer factor permite hacer una proyección sencilla de la población total en el futuro lo que mantiene el modelo enfocado en la población como motor de cambio. Esto es importante para que los resultados del modelo se refieran únicamente a aquellos derivados del cambio en el entorno urbano de la población, asumiendo constantes otros factores económicos o de desarrollo tecnológico.

$$Población_{t*1} = (Población_t) * (1 + \text{tasa de crecimiento poblacional})$$

La estimación de la cantidad de personas que vivirán en la Zona DOT refleja la política que el gobierno quiera promover, por lo que es un factor que el gobierno decide y así pueden analizarse diferentes escenarios de implementación de zonas DOT.

Una vez que se tiene la población total y la que vivirá en la Zona DOT a través del tiempo, se obtiene la diferencia para saber qué población no vivirá en Zona DOT. Al multiplicar los diferentes indicadores por persona de línea base y de Zona DOT por estos valores se obtienen los totales.

2. Tablas resumen de resultados y gráficas

Para facilitar el análisis de los resultados del modelo, se generan tablas y gráficas de resultados automáticamente. Estas incluyen las emisiones y reducciones de GEI y carbono negro a través del tiempo, los cambios en los indicadores urbanos y la distribución modal, las proyecciones de población en la Zona DOT y fuera de ella, así como las comparaciones por persona.

4. Uso del modelo

4.1. Descripción del contenido

El modelo de estimación de emisiones de compuestos de efecto invernadero en proyectos DOT está desarrollada en Microsoft Excel y consta de ocho hojas de cálculo, cuyo contenido se resume brevemente en la Tabla 4 y se describe con mayor amplitud a continuación.

Tabla 4. Hojas de cálculo del modelo y descripción de contenido

Nombre de hoja	Descripción
Portada	Proporciona información general sobre el modelo.
Captura de datos	De manera general, esta hoja es la única que se debe intervenir; es decir, donde se captura la información necesaria para hacer la estimación.
Resultados	Aquí se presentan, de manera tabulada y gráfica, algunos datos comparativos y resultados de las emisiones en la línea base y en una proyección de un escenario a 15 años.
Cálculos línea base	En esta hoja se realizan, de manera automática, los cálculos para estimar las emisiones de la línea base bajo un escenario ' <i>Business As Usual</i> ' (BAU).
Cálculos zona DOT	Aquí se realizan, de manera automática, los cálculos para estimar las emisiones del escenario de implementación del DOT.
Escenarios	En esta hoja se proyecta en el tiempo el escenario de implementación de las zonas DOT a partir de los cálculos de las otras hojas.
Constantes	Contiene las constantes usadas para los cálculos de emisiones de CEI de manera agrupada.
Cálculos auxiliares	En caso de contar con los datos adicionales, permite el cálculo del índice de uso mixto y la conversión de número de viajes, distancia promedio por viaje, y distribución modal a km-vehículo recorridos.

4.1.1. Portada

La portada es la primera hoja del modelo y, como se muestra en la Ilustración 1, contiene una breve descripción del modelo con los supuestos subyacentes al mismo; así como la explicación de cada hoja –contenida en la Tabla 4– y la guía de colores de las celdas para la ayuda visual de acuerdo a la información que contienen:





	Datos informativos.
	Datos de captura (a modificar).
	Información que se puede modificar, o bien, usar en caso de no contar con información más precisa.
	Fórmulas o referencias a otras celdas que no se deben modificar.

Ilustración 1. Portada del modelo

HERRAMIENTA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE COMPUESTOS DE EFECTO INVERNADERO EN PROYECTOS DE DESARROLLO ORIENTADO AL TRANSPORTE																									
<p>Esta herramienta parte del supuesto de que el ambiente construido influye en la forma en que las personas que viven en ese ambiente se transportan. Con base en este supuesto, puede afirmarse que incorporar determinados criterios urbanos puede afectar las decisiones de movilidad de las personas para generar patrones de movilidad más sustentables, que a su vez derivan en menores emisiones de compuestos de efecto invernadero (CEI) a la atmósfera. Se reconoce también que existen otras variables que afectan las decisiones de movilidad de las personas (factores económicos, demográficos, entre otros); sin embargo, bajo el alcance actual este modelo se diseñó para considerar solo los factores construidos, y la incorporación de factores socio-económicos queda como una sugerencia para la futura expansión del modelo. En síntesis, la secuencia de efectos sigue la siguiente dirección:</p> <p style="text-align: center;">Entorno Urbano -> Patrón de Movilidad -> Emisiones de compuestos de efecto invernadero (CEI)</p> <p>Además de esta secuencia de efectos, la escala de los impactos depende de la cantidad de personas que sean afectadas por el entorno urbano, ya que serán éstas las que definan la escala del transporte utilizado y, por lo tanto, la de las emisiones. Por esto, esta herramienta utiliza como unidad de magnitud a una persona que representa al conjunto de personas que se rigen bajo un determinado entorno urbano. 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.</p> <p style="text-align: center;">Esta herramienta de estimación de emisiones de compuestos de efecto invernadero (CEI) en la implementación de un proyecto de Desarrollo Orientado al Transporte (DOT) consta de 8 hojas:</p> <table border="1"> <tr> <td>PORTADA</td> <td>Proporciona información general sobre la herramienta.</td> </tr> <tr> <td>CAPTURA DE DATOS</td> <td>De manera general, esta hoja es la única que se debe intervenir; es decir, donde se captura la información necesaria para hacer la estimación.</td> </tr> <tr> <td>RESULTADOS</td> <td>Aquí se presentan, de manera tabulada y gráfica, algunos datos comparativos y resultados de las emisiones en la línea base y en una proyección de un escenario a 15 años.</td> </tr> <tr> <td>CÁLCULOS LÍNEA BASE</td> <td>En esta hoja se realizan, de manera automática, los cálculos para estimar las emisiones de la línea base bajo un escenario "Business as usual" (BAU).</td> </tr> <tr> <td>CÁLCULOS ZONA DOT</td> <td>Aquí se realizan, de manera automática, los cálculos para estimar las emisiones del escenario de implementación del DOT.</td> </tr> <tr> <td>ESCENARIOS</td> <td>En esta hoja se proyecta en el tiempo el escenario de implementación de las zonas DOT a partir de los cálculos de las otras hojas.</td> </tr> <tr> <td>CONSTANTES</td> <td>Contiene las constantes usadas para los cálculos de emisiones de CEI de manera agrupada.</td> </tr> <tr> <td>CÁLCULOS AUXILIARES</td> <td>En caso de contar con los datos adicionales, permite el cálculo del índice de Uso Mixto y la conversión de número de viajes, distancia promedio por viaje, y distribución modal a km-vehículo recorridos.</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">En todas las hojas se cuenta con ayudas visuales en las celdas, con los siguientes colores de acuerdo al tipo de información que contienen.</p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td>Datos informativos</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Datos de captura (a modificar)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Celdas que contienen información que se puede usar en caso de no contar con información más precisa</td> </tr> <tr> <td></td> <td>La información contenida en estas celdas consiste de fórmulas o referencias a otras celdas que no se deben modificar</td> </tr> </table>		PORTADA	Proporciona información general sobre la herramienta.	CAPTURA DE DATOS	De manera general, esta hoja es la única que se debe intervenir; es decir, donde se captura la información necesaria para hacer la estimación.	RESULTADOS	Aquí se presentan, de manera tabulada y gráfica, algunos datos comparativos y resultados de las emisiones en la línea base y en una proyección de un escenario a 15 años.	CÁLCULOS LÍNEA BASE	En esta hoja se realizan, de manera automática, los cálculos para estimar las emisiones de la línea base bajo un escenario "Business as usual" (BAU).	CÁLCULOS ZONA DOT	Aquí se realizan, de manera automática, los cálculos para estimar las emisiones del escenario de implementación del DOT.	ESCENARIOS	En esta hoja se proyecta en el tiempo el escenario de implementación de las zonas DOT a partir de los cálculos de las otras hojas.	CONSTANTES	Contiene las constantes usadas para los cálculos de emisiones de CEI de manera agrupada.	CÁLCULOS AUXILIARES	En caso de contar con los datos adicionales, permite el cálculo del índice de Uso Mixto y la conversión de número de viajes, distancia promedio por viaje, y distribución modal a km-vehículo recorridos.		Datos informativos		Datos de captura (a modificar)		Celdas que contienen información que se puede usar en caso de no contar con información más precisa		La información contenida en estas celdas consiste de fórmulas o referencias a otras celdas que no se deben modificar
PORTADA	Proporciona información general sobre la herramienta.																								
CAPTURA DE DATOS	De manera general, esta hoja es la única que se debe intervenir; es decir, donde se captura la información necesaria para hacer la estimación.																								
RESULTADOS	Aquí se presentan, de manera tabulada y gráfica, algunos datos comparativos y resultados de las emisiones en la línea base y en una proyección de un escenario a 15 años.																								
CÁLCULOS LÍNEA BASE	En esta hoja se realizan, de manera automática, los cálculos para estimar las emisiones de la línea base bajo un escenario "Business as usual" (BAU).																								
CÁLCULOS ZONA DOT	Aquí se realizan, de manera automática, los cálculos para estimar las emisiones del escenario de implementación del DOT.																								
ESCENARIOS	En esta hoja se proyecta en el tiempo el escenario de implementación de las zonas DOT a partir de los cálculos de las otras hojas.																								
CONSTANTES	Contiene las constantes usadas para los cálculos de emisiones de CEI de manera agrupada.																								
CÁLCULOS AUXILIARES	En caso de contar con los datos adicionales, permite el cálculo del índice de Uso Mixto y la conversión de número de viajes, distancia promedio por viaje, y distribución modal a km-vehículo recorridos.																								
	Datos informativos																								
	Datos de captura (a modificar)																								
	Celdas que contienen información que se puede usar en caso de no contar con información más precisa																								
	La información contenida en estas celdas consiste de fórmulas o referencias a otras celdas que no se deben modificar																								

4.1.2. Captura de datos

La hoja 'Captura de datos' se divide en los datos de la ciudad y los datos de la zona DOT por analizar a fin de calcular los distintos escenarios que permite la calculadora. De manera general, esta hoja es la única que se debe intervenir; es decir, donde se captura la información necesaria para hacer la estimación. En casi todos los apartados se cuenta con un espacio para comentarios o para especificar la fuente de información, los cuales son importantes en caso de que se quieran validar los datos capturados.

Datos de la ciudad donde se implementará el DOT

La sección de datos de la ciudad donde se implementará el proyecto DOT se divide a su vez en dos subsecciones, como se muestra en la Ilustración 2.

Ilustración 2. Datos de insumo de la ciudad

CAPTURA DE DATOS						
1. Datos de la ciudad donde se implementará la zona DOT						
Captura de información urbana y de movilidad de la ciudad donde se realizará el análisis.						
1.1. Información de la Ciudad						
Nombre de la Ciudad						
Indicadores Demográficos		Valor	Comentarios			
Población Total (hab)						
Tasa de crecimiento poblacional esperada						
Indicadores Urbanos Promedio de la Ciudad		Valor	Comentarios			
Densidad Poblacional (hab/ha)						
Índice de Uso Mixto (adimensional)						
1.2. Información de Movilidad						
Vehículo	Combustible	Cantidad de vehículos ¹	Kilómetros recorridos por vehículo (km/año) ²	Eficiencia (km/l), (KWh/pasajero)	Ocupación Promedio ³	Fuentes de información
Motoricicleta	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	
Sistema articulado (BRT)	Diésel			1,2	44	
Trolebús	Electricidad			0,85	100	
Tren Ligero	Electricidad			0,64	635	
Transporte no motorizado (peatón y bicicleta)	NA			0	1	
Nota: Se recomienda considerar los principales tipos de vehículos que pueden ser afectados en la implementación de un DOT, en general estos son los más comunes.						

1.1. Información de la ciudad, que incluye:

- Nombre de la ciudad o zona metropolitana donde se desarrollará el proyecto;
- Población total, ya sea de la ciudad o la zona metropolitana afectada por el proyecto de zona DOT;
- Tasa de crecimiento poblacional esperada, expresada en porcentaje entendida como la tasa promedio anual de crecimiento de la ciudad o zona metropolitana de los últimos años;
- Densidad poblacional, también denominada población relativa, que indica el número de personas que habitan en una hectárea. Este dato se puede obtener de INEGI;
- Índice de uso mixto, que puede calcularse en la hoja 8 'Cálculos auxiliares' considerando viviendas habitadas y número de unidades de servicio y comercio, a partir de la información contenida en el Inventario Nacional de Vivienda y el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas de INEGI.

1.2. Información de movilidad de la ciudad, descrita en la subsección 1.1. Ésta requiere se complete la siguiente información por columna:

- Tipo de vehículos que se utilizan en la ciudad, así como las modalidades de transporte no motorizado, donde se recomienda considerar los principales tipos de vehículos que pueden ser afectados en la implementación de la zona DOT;
- El tipo de combustible que utiliza dicho vehículo –ya sea diésel o gasolina, que podrá seleccionarse en la columna correspondiente– así como aquellos que requieran electricidad para desplazarse;
- La cantidad de vehículos que existen en la ciudad por cada tipo;
- Los kilómetros recorridos por vehículo durante un año;
- Las fuentes de información de donde se obtuvieron los datos descritos en los puntos anteriores, a fin de facilitar su búsqueda y verificación.

Con esta información, el modelo calcula los kilómetros-vehículo recorridos por año por tipo de vehículo y la distribución modal. Adicionalmente, se incluyen dos columnas cuyo contenido puede utilizarse de no contar con información más precisa:

- Eficiencia del combustible utilizado, medida en número de kilómetros recorridos por el vehículo por cada litro consumido, excepto para los vehículos eléctricos que se miden en kWh por pasajero.
- Ocupación promedio, que indica el número de pasajeros promedio en cada viaje por tipo de vehículo.

A partir de esta información, se calculan los kilómetros-persona totales recorridos por año por tipo de vehículo, así como la distribución modal (en porcentaje) en kilómetros-persona. Esta información es utilizada por las hojas de cálculos para estimar las emisiones de CEI en la línea base.

Información de la zona DOT por analizar

La sección de captura de los datos de la zona DOT, que se muestra en la Ilustración 3, incorpora la información de la zona DOT considerada y del alcance de su implementación estimado para los siguientes 15 años.

Ilustración 3. Datos de insumo de la zona DOT

CAPTURA DE DATOS					
2. Información de la Zona DOT por analizar					
Aquí se incorporará la información de la Zona DOT considerada y del alcance de su implementación estimado para los próximos años					
2.1. Indicadores Urbanos de Zona DOT					
Densidad Poblacional (hab./ha)	<input type="text"/>				
Índice de Uso Mixto (adimensional)	<input type="text"/>				
2.2. Nivel de efecto del indicador urbano en la movilidad [seleccionar uno o dejar por default el impacto alto]					
Densidad Poblacional	<input type="text"/>				
Usos Mixtos	<input type="text"/>				
Los niveles del impacto de los indicadores urbanos en la movilidad te permiten analizar diferentes escenarios en función de qué tanto la población cambia sus patrones de movilidad ante cambios en el entorno construido					
2.3. Distribución modal en la zona DOT					
Número de viajes por persona por día promedio	<input type="text"/>	Población	<input type="text"/>	Viajes totales por año	<input type="text"/>
Vehículo	% en número de viajes personales por modo de transporte	Distancia promedio por viaje (km)	Km-persona recorridos	Distribución modal en km-persona calculado a partir de viajes	% de uso en km-persona [capturar o copiar el valor calculado a partir de los viajes]
Motocicleta	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Automóvil particular	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Taxi	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Camioneta particular	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Microbús transporte público	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Autobús transporte público	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Sistema articulado (BRT)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Trolebús	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Tren Ligero	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Transporte no motorizado (peatón y bicicleta)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Total	0.0%		0	0%	0.0%
Nota: Si se deja la distribución modal en blanco, se asume que no hay cambio de distribución modal en la zona DOT con respecto a la ciudad.					

La sección de información de la zona DOT se divide en cuatro subsecciones:

2.1. Indicadores urbanos de la zona DOT, que solicita:

- Densidad poblacional de la zona DOT, medida en habitantes por hectárea, que por la naturaleza de las zonas DOT se esperaría fuera mayor a la del promedio de la ciudad;
- Índice de uso mixto, que puede calcularse en la hoja 8 ‘Cálculos auxiliares’ considerando viviendas habitadas y número de unidades de servicio y comercio en la zona DOT, a partir de la información contenida en el Inventario Nacional de Vivienda (2010) y el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (2015) de INEGI.

2.2. Nivel de efecto del indicador urbano en la movilidad, de donde deberán elegirse los niveles de impacto de los siguientes indicadores en la movilidad urbana:

- Densidad poblacional, ya sea que su impacto en la movilidad urbana sea alto, medio o bajo;
- Uso mixto del suelo, donde debe seleccionarse si se considera que su impacto en la movilidad urbana es alto, medio o bajo.

2.3. Distribución modal en la zona DOT, donde se debe especificar:

- El número de viajes por persona por día promedio que realizan los habitantes de la zona DOT en el año inicial de implementación;
- El porcentaje en números de viajes personales por cada modo de transporte, tener cuidado con que la suma final sea del 100%;
- La distancia promedio por viaje en la zona DOT por tipo de vehículo, medida en kilómetros;

- El porcentaje de uso en km-persona de cada medio de transporte, que puede capturarse o copiar del valor calculado a partir de los viajes, tener cuidado con que la suma final sea del 100%.

2.4. Habitantes viviendo en la zona DOT bajo la implementación esperada, donde se solicita:

- Año inicial de implementación de la zona DOT;
- La población esperada en la zona DOT durante los próximos 15 años, que depende del plan de desarrollo de la zona DOT, por lo que no necesariamente debe seguir una tasa constante.

4.1.3. Resultados

En esta hoja se presentan, de manera tabulada y gráfica, los resultados de las estimaciones de emisiones en la línea base y en una proyección de un escenario a 15 años, realizados con base en cálculos que tienen como insumo la información de la hoja de captura de datos. Del lado izquierdo de la hoja aparecen seis tablas de resultados, que se describen a continuación:

- **Reducción del potencial de emisiones con respecto a la línea base por año.** Esta tabla muestra los valores absolutos y acumulados² de las emisiones de GEI y de carbono negro –medidas en toneladas de CO₂ equivalente– que potencialmente se reducirán cada año gracias a la implementación de la zona DOT.
- **Escenario de emisiones.** Presenta la trayectoria de las emisiones totales por año –medidas en miles de toneladas de CO₂ equivalente–, tanto de GEI como de carbono negro, para la línea base (BAU) y para el escenario con la implementación de la zona DOT.
- **Indicadores urbanos.** Despliega las diferencias absolutas y porcentuales entre la línea base y la zona DOT en la densidad poblacional y en el índice de uso mixto.
- **Distribución modal.** Exhibe la distribución modal del transporte tanto en la línea base como la esperada en la zona DOT, así como la diferencia porcentual entre ambas por cada medio.
- **Habitantes esperados en zonas DOT.** Presenta la proyección a 15 años de la población de la ciudad, el número de habitantes de la(s) zona(s) DOT y el porcentaje de la población de la ciudad que habita en la(s) zona(s) DOT.
- **Comparación de datos por persona.** Muestra los resultados de las variables per cápita del modelo, tanto para toda la ciudad como para la zona DOT y sus diferencias porcentuales: kilómetros recorridos por día por persona, energía consumida (en kWh/persona), emisiones de GEI y emisiones de carbono negro (ambas en toneladas de CO₂ equivalente / persona-año).

² El valor acumulado hasta un año específico es igual a la suma del valor del año analizado más los valores de todos los años anteriores hasta el de implementación.

Por otra parte, en el lado derecho de la hoja se muestran algunos resultados gráficos de las tablas previamente descritas:

- **Emisiones de GEI totales** –medidas en miles de toneladas de CO₂ equivalente–, tanto en la línea base como en el escenario de implementación de la zona DOT, proyectadas a 15 años.
- **Emisiones de carbono negro** –medidas en miles de toneladas de CO₂ equivalente–, tanto en la línea base como en el escenario de implementación de la zona DOT, proyectadas a 15 años.
- **Densidad poblacional** –medida en habitantes por hectárea–, tanto en la línea base como en la zona DOT analizada.
- **Índice de uso mixto**, tanto en la línea base como en la zona DOT analizada.
- **Cambios en distribución modal**, que muestra los porcentajes de uso de cada medio de transporte tanto en la línea base como en la zona DOT implementada.
- **Habitantes en zonas DOT esperadas**, que muestra la evolución del número de habitantes en la(s) zona(s) DOT durante los 15 años posteriores a la implementación.

4.1.4. Cálculos línea base

La hoja de cálculos de línea base, que se presenta en la Ilustración 4, muestra los cálculos necesarios para estimar la línea base –es decir, el escenario ‘*Business As Usual*’ (BAU)– de kilómetros-vehículo, kilómetros-persona, consumo de energía y las emisiones de compuestos de efecto invernadero, desplegadas tanto por medio de transporte como la suma de sus totales. Adicionalmente, calcula los valores por persona de dichas estimaciones, que se muestran en la última tabla de la hoja.

Atención: Los datos de esta hoja no deberán modificarse.

Ilustración 4. Cálculos de línea base

ESTIMACIÓN DE LÍNEA BASE DE EMISIONES DE GEI EN UN PROYECTO DOT																									
Condiciones Urbanas																									
Nombre de la Ciudad		Zona Metropolitana de Guadalajara																							
Población Total (hab.)		3,851,748																							
Indicadores Urbanos		Valor																							
Densidad Poblacional (hab./ha)		91.3																							
Índice de Uso Mixto (adimensional)		0.23																							
Cálculos de Emisiones de Movilidad																									
Información de los vehículos				Cálculos de movilidad en km-vehículo				Cálculos de movilidad en km-persona				Estimación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero													
Vehículos de calle	Combustible	Eficiencia (km/l o kWh/persona por el tren ligero)		Ocupación Promedio	Kilómetros recorridos por vehículo (km/año)	Cantidad de vehículos	Kilómetros-vehículo recorridos	Distribución Modal en km-vehículo	Consumo de combustible (l de combustible o kWh)	Kilómetros-persona recorridos (km)	Distribución Modal en km-persona	Consumo de energía (MJ)	Emisiones de CO2 (tonCO2)					Emisiones totales (tonCO2eq)							
													Emisiones de CO2 (tonCO2)	Emisiones de CH4 (tonCH4)	Emisiones de N2O (tonN2O)	Emisiones de carbono negro	Emisiones totales (tonCO2eq)								
Motocicleta	Gasolina	23.9	1		28,835	65,343	1,884,165,405.00	6.78%	78,835,372.59	1,884,165,405.00	2.87%	2,578,557,949.12	178,680.00	9.80	14.70	14,729.27	183,452.59								
Autosmóvil particular	Gasolina	9.6	1.2		18,522	745,061	13,800,209,930.00	49.51%	1,427,509,794.38	16,560,112,716.00	25.23%	47,017,351,273.46	3,288,302.44	178.87	368.00	107,880.85	3,345,134.09								
Taxi	Gasolina	9.6	1.2		72,763	13,037	948,607,971.8	3.40%	98,813,330.39	1,138,328,566.10	1.77%	3,231,937,003.75	223,973.23	12.38	18.42	7,415.05	229,941.08								
Camioneta particular	Gasolina	7.5	1.2		19,845	525,351	10,425,485,524.8	37.40%	1,390,064,736.64	12,510,583,629.76	19.05%	45,485,542,379.65	3,150,762.09	172.77	359.15	81,500.19	3,234,727.85								
Autobús transporte público	Diésel	2.8	40		35,584	8,291	380,408,156.7	1.39%	118,074,341.68	13,224,326,268.00	20.14%	3,861,916,530.45	267,630.82	14.68	32.01	2,584.30	274,763.00								
Autobús transporte público	Gasolina	2.6	40		15,617	24,445	480,312,451.0	1.72%	184,735,558.08	19,212,498,040.00	29.20%	6,712,366,502.73	487,386.36	26.18	26.18	71,854.50	506,051.35								
Microbús (BBT)	Diésel	1.2	44		63,559	45	2,860,140.0	0.01%	2,383,450.00	125,846,180.00	0.19%	86,600,655.75	6,417.26	0.34	0.34	428.47	6,529.05								
Vehículos de vía (metro, tren ligero, etc.)																									
Tren ligero	Electricidad	0.64	635		33271.15	48	1,597,015.2	0.01%	50,064,000.00	1,014,106,052.00	1.54%	201,830,400.00				2,592.87	25,453.06								
No motorizado																									
Transporte no motorizado (peatón o bicicleta)	NA	0	1		0	0	0	0.00%	-	-	0.00%	-													
Totales		291,994.67		1,382,665		27,873,730,594.41		100%		65,689,965,436.86		100%		109,116,054,687.80		7,583,162.80		414.71		608.80		289,086.40		7,806,052.97	
Valores por Persona para la línea base																									
Kilómetros recorridos al año por persona		17,100.28																							
Kilómetros recorridos por día por persona		47.09																							
Energía consumida (MJ/persona)		28,531.39																							
Emisiones de GEI totales (tonCO2 por persona por año)		2.048																							
Emisiones de carbono negro (tonC por persona por año)		0.076																							

4.1.5. Cálculos zona DOT

La hoja ‘Cálculos zona DOT’ realiza la estimación del escenario de emisiones de compuestos de efecto invernadero en el proyecto DOT con base en la información que se

proporcionó en la hoja 'Captura de datos'. Así, calcula el impacto de la implementación de la zona DOT en la densidad poblacional, el índice de uso mixto, el número de viajes y la distancia promedio de viaje; así como el impacto en los kilómetros-persona recorridos y las emisiones de compuestos de efecto invernadero en la zona DOT tanto totales como per cápita.

Atención: Los datos de esta hoja no deberán modificarse. Para conocer la metodología de cálculo, favor de revisar la sección 3, 'Metodología'.

4.1.6. Escenarios

La hoja 'Escenarios' muestra la construcción y el cálculo de los escenarios a 15 años con base en la información introducida en la hoja 'Captura de datos' y los cálculos en las hojas 'Cálculos Línea Base' y 'Cálculos Zona DOT'. Los escenarios calculados, tanto para la línea base como para la zona DOT, son: crecimiento poblacional, kilómetros-persona recorridos al año (en millones), kilómetros-persona recorridos por día (en millones), energía consumida (en miles de MWh/año), emisiones de carbono negro (en miles de toneladas de CO₂ equivalente por persona por año) y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) totales (en miles de toneladas de CO₂ equivalente por año).

4.1.7. Constantes

La hoja 'Constantes' muestra tanto los factores constantes utilizados para los cálculos de las emisiones y del impacto urbano en la movilidad en los escenarios, como los niveles de impacto seleccionados para seleccionar el nivel de efecto de los indicadores urbanos en la movilidad.

En el caso de las constantes utilizadas para la estimación de emisiones y del impacto urbano en la movilidad, se incluye su valor, unidad de medida y fuente documental de donde fue obtenida.

4.1.8. Cálculos auxiliares

Esta hoja de cálculo, mostrada en la Ilustración 5, contiene dos calculadoras para estimar valores requeridos por la calculadora:

- **Cálculo de índice de uso mixto.** Si se conoce el número de viviendas habitadas y de unidades de servicio y comercio— información contenida en el Inventario Nacional de Vivienda (2010) y el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (2015) de INEGI—, esta calculadora estima el índice de uso mixto. Este valor de índice de uso mixto puede copiarse a la celda correspondiente en la hoja 'Captura de datos'.
- **Conversión de número de viajes, distancia promedio por viaje y distribución modal a km-vehículo recorridos.** Al introducir el número de viajes por persona, la distancia promedio por viaje en kilómetros y la distribución modal en porcentaje, esta calculadora estima los kilómetros-vehículo recorridos al año por modo de transporte. Estos valores de kilómetros-vehículo recorridos por año y por modo de transporte

pueden copiarse a las celdas correspondientes en las hojas de 'Captura de datos' y 'Cálculo de línea base', si desea usarse como información inicial en lugar del número de vehículos y los kilómetros por vehículo.

Ilustración 5. Cálculos auxiliares

CÁLCULOS AUXILIARES

Cálculo de Índice de Uso Mixto				
Viviendas habitadas	Unidades de servicios	Proporción vivienda	Proporción unidades servicio	Índice de uso mixto

Este valor de índice de uso mixto puede copiarse a la celda correspondiente en la hoja 'Captura de datos'.

Conversión de número de viajes, distancia promedio por viaje, y distribución modal a km-vehículo recorridos por modo de transporte					
Número de viajes por persona	Distancia Promedio por Viaje (km)	Distancia recorrida al día por persona (km)	Distancia recorrida al año por persona	Poblacion total	Km-persona recorridos totales
		0.00	0.00	4,434,878	0.00
Distribución modal	Distribución modal (%)	Km-persona recorridos al año en cada vehículo	Ocupación	Km-vehículo recorridos al año	Estos valores de kilómetros-vehículo recorridos por año y por modo de transporte pueden copiarse a las celdas correspondientes en las hojas de 'Captura de datos' y 'Cálculo de línea base', si desea usarse como información inicial en lugar del número de vehículos y los kilómetros por vehículo.
Motocicleta		-	1.0	-	
Automóvil particular		-	1.2	-	
Taxi		-	1.2	-	
Camioneta particular		-	1.2	-	
Microbús transporte público - Gasolina		-	20.0	-	
Autobús transporte público - Diésel		-	40.0	-	
Macrobus (BRT)		-	44.0	-	
Tren Ligero		-	635.0	-	
Transporte no motorizado (peatón y bicicleta)		-	1.0	-	

5. Bibliografía

CTS, (2008). Manual Desarrollo Orientado al Transporte Sustentable, DOTS, Centro de Transporte Sustentable de México A.C. México 2008.

CTS, (2010). Centro de Transporte Sustentable México, Estudio Hacia Ciudades Competitivas Bajas en Carbono, 2010

CTS-USAID, (2014). Metodología de Línea Base de Emisiones GEI y Escenarios de Reducción para Proyectos de Transporte Público.

CCA, (2011). Emisiones Atmosféricas en Centrales Eléctricas en América del Norte, Comisión para la Cooperación Ambiental CCA cuadro 2.18, Canadá 2011,

CIDAC, (2015). Diagnóstico de la situación energética en el Distrito Federal: Retos, pendientes y potencialidades. Centro de Investigación para el Desarrollo, CIDAC. Tabla 2.

Densidad de gasolina y diésel consultado en abril de 2016 en: <http://www.ecovehiculos.gob.mx/metodologia2008.php>

DO, 2015. 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”

EFDB, (2006), Panel Intergubernamental de Cambio Climático bases de datos de factores de emisión valor calorífico neto gasolina y diésel.

INE, (2012). Temas emergentes en cambio climático: metano y carbono negro, sus posibles co-beneficios y desarrollo de planes de investigación, Instituto Nacional de Ecología, INE-CCA-UNAM, MCE2MEC2, Tabla 10, México 2012

INECC, (2015). Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, Instituto nacional de Ecología y Cambio Climático, México 2015.

INDC, (2015). Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático, para el periodo 2020-2030 *intended Nationally Determined Contribution* México Gobierno de la Republica, Marzo 2015.

IPCC, (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Volumen 2: Energía, Capítulo 3: Combustión móvil *cuadros 3.2.1 y 3.2.2.*

IPCC-G1, (2006): Panel Intergubernamental de Cambio Climático, grupo de trabajo1: Bases físicas, tabla 2.14

ITDP, (2015) Identificación de Zonas con Potencial DOT en la Zona Metropolitana de Guadalajara, pág. 13, MLED-USAID, México, 2015

MB, (2016) Datos de ocupación, distancia y autobuses del macrobús obtenidos o estimados de: <http://www.siteur.gob.mx/macrobús/caracteristicas.html>, consultada en marzo de 2016.

Semarnat, (2015). Factor de emisión de GEI eléctrico, consultado en mayo de 2016 en: http://www.geimexico.org/image/2015/aviso_factor_de_emision_electrico%202014%20Semarnat.pdf

TL, (2016) Datos de ocupación, distancia y trenes de tren ligero obtenidos o estimados de: <http://www.siteur.gob.mx/tren-ligero/caracteristicas.html>, consultada en marzo de 2016.

6. Anexos

Anexo I. Constantes

Las constantes usadas para en el modelo 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. Se pueden editar en el caso de que se obtengan datos correspondientes a la ciudad o nuevas actualizaciones.

Tabla VII. 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
Sistema Articulado (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)

Tabla VIII. Constantes de los combustibles y sus fuentes bibliográficas

Constante	Valor	Unidad	Fuente
Factor de emisión de CO₂ de la gasolina	0.0693	KgCO ₂ /MJ	IPCC06 - Vol2 -Tabla 3.2.1
Factor de emisión de CO₂ del diésel	0.0741	KgCO ₂ /MJ	IPCC06 - Vol2 -Tabla 3.2.1
Factor de emisión de CO₂ de la energía eléctrica	278	KgCO ₂ /MJ	IPCC06 - Vol2 -Tabla 1.4

Constante	Valor	Unidad	Fuente
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	adimension 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	adimension al	
Potencial de calentamiento global Carbono negro	900	adimension 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%2014%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 (tren ligero 0.85 (trolebús)	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

Constante	Valor	Unidad	Fuente
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

Tabla IX. 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

Anexo II. Caso de estudio del modelo con datos de la ZMG

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.

Para este caso de estudio se obtuvieron datos de población y movilidad, y se hicieron algunas consideraciones con los fundamentos que se detallan en cada una de las secciones de este apartado.

Datos demográficos y urbanos

Se consideraron los nueve municipios pertenecientes a la Zona Metropolitana de Guadalajara: Guadalajara, Zapopan, San Pedro Tlaquepaque, Tonalá, El Salto, Tlajomulco de Zúñiga, Juanacatlán, Ixtlahuacán de los Membrillos, y Zapotlanejo.

Tabla I. Población de los 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/población/ .

Tabla II. 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", pág. 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)

Datos de movilidad

Se consideraron solamente los tipos de vehículos que más podrían ser afectados por la implementación de una zona DOT, incluyendo los vehículos particulares. En las tablas 3 y 4 se muestran los datos usados para la calibración del modelo.

Tabla III. 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
Sistema articulado (BRT)	Diésel	45	63,559
Trolebús	Electricidad	25	43,452
Tren Ligero	Electricidad	48	33,271
Transporte no motorizado (peatón y bicicleta)	NA	0	0

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

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

Datos de la zona DOT por analizar

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 IV. 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 V. Nivel de efecto del indicador urbano en la movilidad

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

Distribución modal en la zona DOT

El número de viajes por persona por día es necesario si se va a estimar una nueva distribución modal en la Zona DOT; en este caso se consideró una nueva distribución modal en la Zona DOT, pero no se estimó como se propone en la hoja de “Captura de Datos” sino con base en los datos de la ciudad como se muestra en la tabla 6.

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

Vehículo	Distribución modal (km-persona)	Consideraciones
Motocicleta	11.4%	Disminuye el transporte particular un 5% respecto al de la ciudad
Automóvil particular	33.4%	
Taxi	2.3%	
Camioneta particular	20.1%	
Microbús transporte público	0.0%	Aumenta el transporte público un 5% respecto al de la ciudad
Autobús transporte público	28.0%	
Sistema Articulado (BRT)	0.3%	
Trolebús	0.2%	
Tren Ligero	2.2%	Completar diferencia generada con las anteriores consideraciones
Transporte no motorizado (peatón y bicicleta)	2.1%	

- **Habitantes viviendo en zona DOT bajo la implementación esperada**

Como año de implementación se tomó como base el año 2017 y para 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 constante igual a la de la ciudad, que es de 1.72% anual, proyectado a 15 años

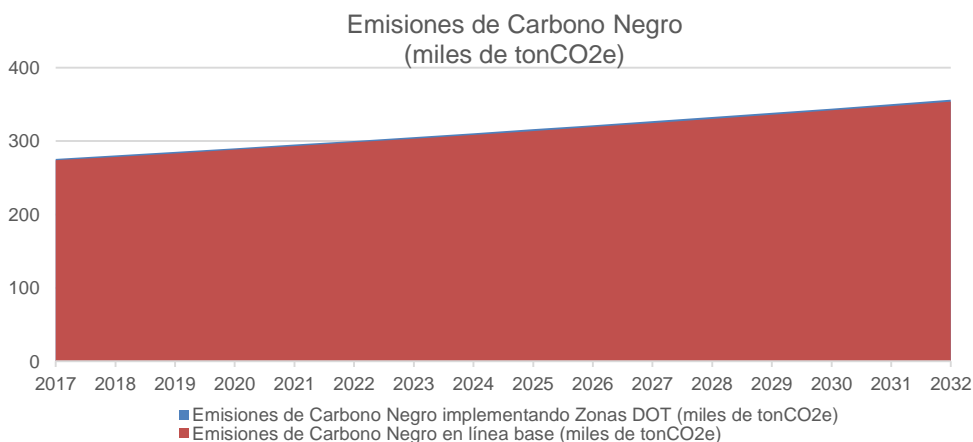
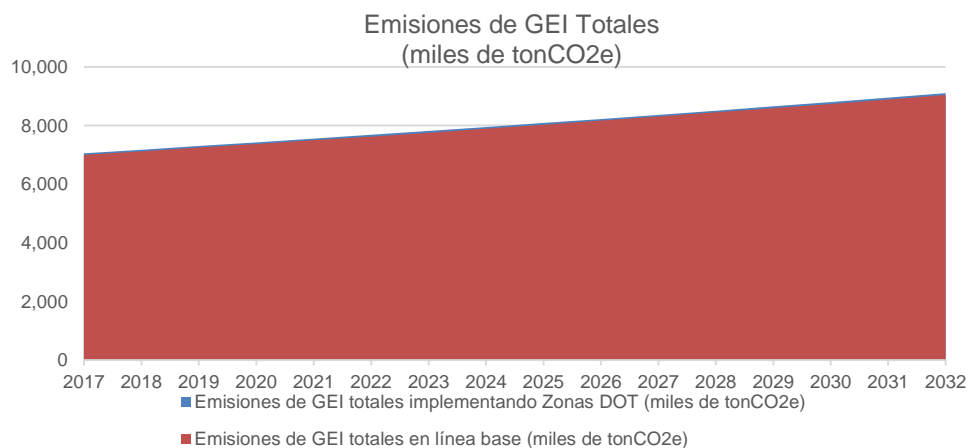
Análisis de resultados

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 7.05 MtCO₂e según los modos de transporte considerados.

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 poco más de 0.6 MtCO₂e de GEI (y de 22 ktCO₂e de carbono negro); es decir, casi la cuarta parte del objetivo de reducción en el sector transporte, se obtendrían implementando este tipo de proyectos.

A continuación, se muestran de manera gráfica estos resultados de reducción de emisiones, tal y como las arroja el modelo, alimentándolo con los datos antes descritos.





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



www.mledprogram.org