



Externalidades negativas asociadas al transporte terrestre en México

Estimaciones para México y 20 zonas metropolitanas.



INICIATIVA CLIMÁTICA DE MÉXICO

AUTORES Y AGRADECIMIENTOS

Coordinación

Santiago Fernández, Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo

Elaboración

Isaac Medina, Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo

Santiago Fernández, Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo

Clara Vadillo Quesada, Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo

Revisión

Clara Vadillo Quesada, Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo

Gonzalo Peón Carballo, Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo

Mariana Gutiérrez, Iniciativa Climática de México

Edición y revisión de estilo

Diana Vernon, Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo

Diseño editorial

Brenda Martínez Sandoval, Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo

Formato de referencias

Theresa Doppelbauer, Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo

El ITDP desea expresar su especial agradecimiento a las siguientes expertas y expertos por sus valiosos comentarios que sirvieron para la elaboración y mejora de este reporte:

Dr. Carlos Muñoz Piña, Mtra. Marisol Rivera Planter y Mtra. Mariana Gutiérrez Grados

ÍNDICE

6	Resumen ejecutivo
9	1. Introducción
11	2. Externalidades negativas asociadas al transporte terrestre y su impacto
13	2.1 Contaminación del aire
16	2.2 Gases de efecto invernadero
19	2.3 Congestión
21	2.4 Siniestros de tránsito
24	2.5 Contaminación por ruido
27	2.6 Discusión de la situación
29	3. Políticas públicas para mitigar las externalidades del transporte terrestre
29	3.1 Gestión de la demanda
30	3.2 Mejor tecnología vehicular y mayor inversión en movilidad sustentable
31	3.3 Seguridad vial
33	3.4 Mitigación del ruido
35	4. Conclusiones
36	Referencias
42	Anexo metodológico

TABLAS

- 12 **Tabla 1.** Principales categorías de externalidades asociadas al transporte terrestre
- 14 **Tabla 2.** Costo externo nacional de la contaminación por PM₁₀ y PM_{2.5} asociada al
- 15 transporte terrestre como porcentaje del PIB (2017)
- 17 **Tabla 3.** Muertes prematuras por PM₁₀ y PM_{2.5} asociadas al transporte terrestre y su valor monetario para las principales Zonas Metropolitanas de México
- 18 **Tabla 4.** Costo externo nacional de emisiones de CO₂ del transporte terrestre como porcentaje del PIB
- 18 **Tabla 5.** Toneladas emitidas de CO₂ por el transporte y su costo externo para las principales Zonas Metropolitanas de México
- 20 **Tabla 6.** Horas perdidas en la congestión y su costo externo para las principales Zonas Metropolitanas de México
- 22 **Tabla 7.** Costo externo nacional de los siniestros de tránsito como porcentaje del PIB
- 23 **Tabla 8.** Número de muertes prematuras y lesiones causadas por el tránsito, y su costo externo para las principales Zonas Metropolitanas de México
- 25 **Tabla 9.** Cálculo de impacto en salud a causa del ruido proveniente de vías terrestres
- 26 **Tabla 10.** Impacto en salud a causa del ruido en 20 zonas metropolitanas de México
- 27 **Tabla 11.** Comparación a nivel nacional del costo del transporte terrestre en México como porcentaje del PIB

GRÁFICAS

- 14 **Gráfica 1.** Muertes prematuras por Material Particulado en México
- 16 **Gráfica 2.** Muertes prematuras por PM₁₀ y PM_{2.5} asociadas al transporte y costo externo equivalente como porcentaje del PIB para las principales Zonas Metropolitanas de México
- 17 **Gráfica 3.** Toneladas de CO₂ emitidas por el transporte terrestre y costo externo equivalente como porcentaje de PIB para las principales Zonas Metropolitanas de México
- 21 **Gráfica 4.** Número adicional de horas perdidas debido a la congestión y costo externo equivalente como porcentaje de PIB para las principales Zonas Metropolitanas de México
- 22 **Gráfica 5.** Número de muertes prematuras y lesiones causadas por el tránsito y costo externo equivalente como porcentaje de PIB para las principales Zonas Metropolitanas de México
- 27 **Gráfica 6.** Número de personas afectadas por un nivel de ruido dañino asociado al transporte terrestre y costo externo equivalente como porcentaje de PIB para las principales Zonas Metropolitanas de México

FIGURAS

- 25 **Figura 1.** Área con población expuesta a niveles altos de ruido por transporte terrestre en la ZMVM

Resumen ejecutivo

El transporte terrestre genera beneficios y costos a la sociedad. Por un lado, conecta a las personas con sus destinos, y por otro, puede generar impactos negativos, como la contaminación del aire o la congestión, entre otros. Ciertos modos de transporte, como el automóvil o la motocicleta particular, tienen un impacto negativo y generan un costo que absorbe toda la sociedad, a pesar de que se utilicen por una minoría de la población. Estos costos son denominados externalidades negativas. A nivel global y en México, la literatura indica que las externalidades negativas del transporte terrestre tienen un impacto sustancial en la sociedad y la economía. Sin embargo, la evidencia en México es aún desconocida por el público general y no ha generado una respuesta de políticas públicas integrales por parte de autoridades nacionales y locales para mitigar eficientemente los impactos negativos del transporte terrestre.

En este estudio realizado con el apoyo de ICM, el ITDP estima, para México y las 20 zonas metropolitanas más pobladas del país, cinco externalidades negativas principales asociadas al transporte terrestre: contaminación por partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5}, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), congestión, siniestros de tránsito y ruido. Para lograr este objetivo, se realizó una extensa revisión de literatura sobre las externalidades del transporte terrestre, que permitió definir una metodología de estimación posteriormente retroalimentada por personas expertas en México. Al mismo tiempo, se recopiló la información disponible para estimar los costos generados por el transporte terrestre en el contexto mexicano, a nivel nacional y metropolitano.

Los resultados muestran que el peso de las cinco externalidades estudiadas en México es importante, y varía en cada una de las 20 zonas metropolitanas analizadas. **A nivel nacional, las externalidades generan un costo estimado entre 2.9% y 4.9% del producto interno del bruto (PIB) del país.**

COSTO NACIONAL COMO PORCENTAJE DEL PIB			
Externalidad	Promedio	Rango	
		Mínimo	Máximo
PM 2.5	0.72%	0.57%	0.86%
PM 10	0.45%	0.36%	0.54%
GEI	0.61%	0.49%	0.74%
Siniestros	0.68%	0.60%	0.75%
Congestión	1.19%	0.69%	1.64%
Ruido	0.31%	0.25%	0.37%
Total	3.96%	2.97%	4.90%

El impacto negativo del transporte terrestre en la salud de la población y su alto costo para la economía justifican la urgente adopción de políticas integrales para la mitigación de las externalidades. Lo anterior da lugar a recomendaciones de implementación de una serie de políticas públicas, a nivel local y nacional.

1. **Gestión de la demanda.** La limitación del estacionamiento para vehículos motorizados particulares, cargos por congestión, sobrecostos a los combustibles o gestión ambiental del transporte de carga, son estrategias que pueden desincentivar el traslado de personas o bienes en modos de transporte poco eficientes. La correcta instrumentación de esas medidas puede a su vez generar recursos para la inversión en modos de transporte e infraestructura para la movilidad sustentable. En conjunto, estas medidas pueden mitigar los cinco tipos de externalidades estudiadas.
2. **Mejora de la tecnología vehicular y aumento en la inversión en movilidad sustentable.** Las flotas de vehículos particulares y colectivos pueden ser mejoradas a través de programas de verificación vehicular, instalación de dispositivos de retrofit, y fomento de la movilidad eléctrica. Estas medidas brindan mayores beneficios a la sociedad si son priorizadas en modos colectivos, considerando que vehículos particulares energéticamente eficientes no contribuyen a reducir las externalidades de congestión, siniestros, y en cierta medida tampoco la de emisiones de GEI. Al mismo tiempo, la inversión en modos de transporte público masivo, estructuración del transporte público convencional, e infraestructura peatonal y ciclista, corresponden a inversiones cuyo costo será recuperado en el tiempo a través de la reducción de las cinco externalidades presentadas.
3. **Seguridad vial.** Reducir el costo de las muertes y lesiones causadas por el tránsito requiere de acciones integrales a nivel local y nacional para reducir la ocurrencia y gravedad de los siniestros de tránsito en el país. Para tener mayor impacto en la reducción de externalidades, estas acciones deben abarcar los ámbitos de la gestión de la seguridad vial, la inversión en infraestructura vial segura, la adecuación y aplicación de la reglamentación del tránsito, y el fomento de una cultura de movilidad sostenible y segura.
4. **Mitigación del ruido.** Existen distintas estrategias para mitigar el ruido del transporte terrestre y sus consecuencias en la salud de las personas, como la reducción de las velocidades y volúmenes del tránsito motorizado, los cambios y la modernización del parque vehicular, la sanción a conductores de vehículos ruidosos, y la disminución de la exposición de la población afectada.

Este estudio contribuye a la discusión sobre el costo del transporte terrestre en México y 20 zonas metropolitanas para la sociedad y la economía. Se espera que la evidencia aquí presentada sea utilizada para sustentar la implementación de políticas públicas que reduzcan las externalidades de contaminación del aire, cambio climático, congestión, siniestralidad y ruido generadas por el transporte terrestre en el país, y favorezcan la consolidación de una movilidad sustentable, segura y equitativa en las ciudades mexicanas.



Introducción

1

El transporte terrestre es el movimiento de vehículos en las vías para trasladar mercancías, pasajeras y pasajeros. Por un lado, este genera múltiples beneficios a la sociedad, al conectar a las personas con los destinos que necesita, como trabajos, educación, y recreación, que son fundamentales para su desarrollo personal. Por otro, conecta a empresas con insumos, trabajadores y consumidores potenciales, que les permiten generar ganancias y contribuir a la economía. Sin embargo, el desplazamiento de vehículos en las vías urbanas e interurbanas también genera costos, algunos de los cuales no son absorbidos por quienes realizan los viajes. Es decir que hay costos que absorbe la sociedad en conjunto, sin importar si realizaron viajes o no. Estos impactos son conocidos como externalidades negativas.

Algunas externalidades negativas asociadas al transporte terrestre son la contaminación del aire, el ruido, los siniestros de tránsito y la ineficiencia en el uso del espacio público, cuyos efectos impactan negativamente el medio ambiente y la salud de las personas, e incrementan los costos monetarios y el tiempo invertido en cada traslado. La evidencia para México y otros países indica que los costos externos pueden tener una magnitud sustancial. **En este estudio, con el apoyo de Iniciativa Climática de México (ICM), el Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP por sus siglas en inglés) se dio a la tarea estudiar cinco de las principales externalidades negativas asociadas al transporte terrestre: contaminación por partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5}, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), congestión, siniestros de tránsito y ruido. Se evidencia que la suma del costo de estas externalidades negativas ronda entre 2.9% y 4.9% del producto interno del bruto (PIB) del país.** Es decir, la sociedad pierde anualmente una suma significativa de recursos a causa de impactos del transporte que podrían ahorrarse o utilizarse para atender otras necesidades sociales.

Diseñar políticas de transporte apropiadas que nos ayuden a mitigar estos impactos, que sean congruentes con los compromisos de mitigación de GEI de México y que apoyen la transición hacia un sistema de transporte terrestre más justo y sostenible, requiere entender la magnitud de estos impactos. La estimación de externalidades es esencial, pues constituye el primer paso para determinar la asignación más eficiente y justa de los recursos disponibles para la sociedad.

A pesar de que el impacto de las externalidades negativas del transporte terrestre ha sido documentado por instituciones gubernamentales, no gubernamentales, y académicas, aún no ha recibido una respuesta apropiada en las políticas públicas, a pesar de su pertinencia para el bienestar público y la sostenibilidad ambiental (IPCC, 2017; INSP & INECC, 2017; ITDP, 2012). Utilizando nuevas bases de datos y herramientas disponibles, este reporte tiene el objetivo de cuantificar la magnitud de una serie de impactos del transporte terrestre en México y en particular en 20 zonas metropolitanas de mayor peso demográfico del país ya que, los efectos del uso del transporte terrestre tienen mayor impacto en áreas altamente pobladas¹. Con él, esperamos realizar una actualización de las medidas de estos impactos para profundizar la discusión sobre una gestión eficiente del sector transporte en México.

Este reporte está compuesto de cuatro secciones principales. La introducción establece el contexto general sobre externalidades negativas asociadas al transporte terrestre. La sección dos, define los conceptos claves del reporte y ahonda sobre lo que implica cada una de las cinco externalidades, sus antecedentes a nivel internacional y nacional, y su impacto tanto en México como en las 20 zonas metropolitanas del país. En la sección tres, identificamos las políticas públicas requeridas para mitigar el impacto de estas externalidades y finalmente, cerramos el reporte con conclusiones sobre cómo avanzar hacia un transporte más eficiente, sostenible y justo en las ciudades mexicanas.

¹ La metodología descrita en este reporte se basó en el estudio realizado por Cravioto et al. (2013) que cuantifica 6 externalidades del transporte para México, de las cuales 5 fueron conservadas. Para conocer más a fondo la metodología seguida para cada externalidad, consultar la Nota Metodológica que acompaña este reporte.





Externalidades negativas asociadas al transporte terrestre y su impacto

2

En términos generales, cualquier externalidad generada es un costo o beneficio que los individuos no consideran cuando toman una decisión (ver cuadro “¿Qué son las externalidades?”). Existen externalidades positivas generadas por el transporte, como el incentivar la actividad económica al disminuir los costos de viaje. Sin embargo, la mayor parte de estos beneficios son recibidos directamente por las personas, es decir, son internalizados. Debido a esto, se estima que las externalidades negativas son sustancialmente más importantes (Rothengatter, 1994).

¿Qué son las externalidades?

Todas las actividades generan impactos. Algunos impactos son absorbidos directamente por la persona que realiza estas actividades, pero otros afectan a las demás personas. Las y los economistas llaman a estos últimos externalidades, y pueden ser positivas o negativas.

Por un lado, una externalidad positiva podría existir cuando algún residente decide plantar un árbol para embellecer su jardín. Aunque no fue la intención cuando lo plantó, ese árbol dará sombra y oxígeno para otras personas que habitan o transitan por el vecindario.

Por otro lado, una externalidad negativa corresponde por ejemplo a la actividad de fumar en espacios públicos. La persona que fuma paga el costo de los cigarrillos y las afectaciones en salud que sufrirá, sin embargo, el humo que genera también afecta la salud de las personas que no fuman pero se encuentran a su alrededor.

Las externalidades pueden ser positivas o negativas



En el ámbito del transporte, las personas pagan algunos costos cuando se trasladan, como el costo del vehículo, el del combustible, el del seguro de daños, o su tiempo de viaje. Sin embargo, las personas también pueden generar costos y afectaciones que absorbe toda la sociedad. Algunas de las externalidades negativas ligadas al transporte terrestre más importantes son las emisiones de contaminantes y gases de efecto invernadero, su contribución a la congestión, siniestros viales y ruido en la ciudad.

Una vez que identificamos estos costos y estimamos su magnitud, podemos diseñar políticas públicas apropiadas para lograr que esas externalidades sean internalizadas, por sus causantes.

Las externalidades negativas relacionadas al transporte terrestre podrían ser agrupadas en cinco categorías en función de sus impactos ambientales y socioeconómicos (Rothengatter, 1994; Korzhenevych et al., 2014; Maibach et al., 2007; Brons & Christidis, 2012). Cada una de estas externalidades tiene impactos negativos en el medio ambiente, o la sociedad de manera directa o indirecta, en múltiples dimensiones. Por ejemplo, la contaminación afecta la salud de las personas de manera directa, a la vez que daña la biodiversidad, y las afectaciones a la biodiversidad tienen un impacto a la salud de manera indirecta. Por otro lado, costos que podrían parecer puramente económicos, como la congestión, también generan costos ambientales y de salud, al incrementar las emisiones y contribuir a la morbilidad de las personas

(Korzhenevych et al., 2014). En este reporte nos enfocamos en los impactos principales de estas externalidades, haciendo énfasis en la contaminación del aire y el cambio climático, pero extendiendo el análisis a congestión, siniestros de tránsito y ruido para dimensionar el valor relativo de estos impactos.

Tabla 1
Principales categorías de externalidades asociadas al transporte terrestre
Fuente: Elaboración propia

Externalidad	Impacto	Indicador
Contaminación del aire	Daños a la salud, pérdida de biodiversidad	Afectaciones en la salud por concentraciones de partículas (PM ₁₀ , PM _{2.5}), y gases contaminantes (CO, SOx)
Gases efecto invernadero	Contribución al cambio climático	Costo por tonelada de CO ₂ e, O ₃ , CO ₂ CH ₄ , N ₂ O
Contaminación por ruido	Daños a la salud, pérdida de biodiversidad	Decibeles de exposición (<45 recomendación OMS, 45-55 Tranquilo, 55-65 Moderado, 65-85 ruidoso, >110 Peligroso)
Congestión	Impactos económicos, pérdida de accesibilidad	Tiempo extra y retrasos, estrés, incertidumbre por tiempos de viaje
Siniestros de tránsito	Daños a la salud, impactos sociales	Costo de una vida, morbilidad, lesiones permanentes, retrasos en el tráfico

Podemos detectar la presencia y medir la magnitud de estas externalidades a través del cálculo de una serie de indicadores, algunos de los cuales son incluidos en la tercera columna de la Tabla 1.

Los primeros estudios que realizaron un cálculo de las externalidades del transporte terrestre se centraron, principalmente, en la contaminación ambiental (Demir et al., 2015) y la mayor parte de éstos se realizaron en, y para, países desarrollados, tanto en artículos académicos como a través de organismos gubernamentales y no gubernamentales (Miller & Moffet, 1993; Mauch & Rothengatter, 1995; IBI Group, 1995). Posteriormente, se incluyó el análisis de otros tipos de externalidades; por ejemplo gases de efecto invernadero, ruido, contaminación del agua, congestión, siniestros de tránsito y otros (Levinson et al., 1998; Spellerberg, 1998; Santos et al., 2010). El transporte terrestre tiene un peso significativo porque sus externalidades superan, de forma teórica y práctica, a las que provienen de otros tipos de transporte como el aéreo, marítimo y otros (Forkenbrock, 1999; Lindberg, 2002; Miola et al., 2008), por lo cual, el cálculo es sumamente importante. Estudios para diversas ciudades del norte global² han identificado una gran variedad de acercamientos metodológicos. Un referente metodológico a nivel global, fue el proyecto IMPACT, realizado en 2008, y actualizado en 2014 (Korzhenevych et al., 2014), por la Comisión Europea, con el objetivo central de proveer una revisión de los enfoques para la estimación e internalización de las externalidades, así como para proveer una metodología y definir algunos insumos necesarios (Maibach et al., 2007).

Para los países en vías de desarrollo este tipo de estudios son relativamente complicados de realizar, dada la dificultad de obtención de datos actualizados y confiables (Cravioto, 2013). Sin embargo, en el caso de México ha habido esfuerzos de organizaciones internacionales, nacionales y académicas, para calcular los costos sociales de las distintas externalidades y situar, en la agenda pública, temas con gran relevancia para la salud de las personas. Anteriormente, el ITDP (2012) y Cravioto et al. (2013) realizaron el cálculo de las externalidades del transporte terrestre en México, a raíz de lo cual se implementaron políticas diseñadas para internalizar los costos externos, como impuestos a la gasolina (Parry & Timilsina, 2009; Antón-Sarabia & Hernández-Trillo, 2014), restricciones a la circulación de vehículos (Davis, 2008) así como para disminuir la exposición de usuarias y usuarios del transporte público contaminante (Wöhrenschiemmel et al., 2008). Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, las medidas tomadas para mitigar los efectos del transporte terrestre han tenido un impacto limitado al estar aisladas y carecer de un enfoque integral.

² Dichos estudios se han aplicado en el Reino Unido (Piecyk & McKinnon, 2007; Sanson et al., 2001), Noruega (Eriksen, 2000), Suecia (SIKA, 2004), Estados Unidos (EPA, 1999), Canadá (Zhang et al., 2005), y Australia (BTRE, 2007).

2.1 CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Las emisiones provenientes del transporte terrestre pueden tener efectos a distintas escalas, locales, regionales, y globales, afectando de forma negativa a los seres humanos, animales, ecosistemas, vegetación e incluso edificaciones (OCDE, 1999). En el transporte terrestre resalta el impacto que generan los vehículos de combustión interna alimentado por hidrocarburos, que emiten un amplio rango de contaminantes dañinos y gases tóxicos. Estas emisiones pueden incluir monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (N₂O), metano (CH₄) y material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), que tienen graves impactos en la vida de las personas, particularmente poblaciones vulnerables como niñas, niños, y adultas y adultos mayores (WHO, 2005). Los vehículos eléctricos, a pesar de no generar emisiones locales, producen contaminantes de manera indirecta a través de las fuentes proveedoras de la energía eléctrica, que a su vez puede ser originada por fuentes contaminantes.

El material particulado es una mezcla de partículas sólidas y líquidas que se encuentra presente en la atmósfera (polvo, hollín, cemento, polen, entre otros). Éste se puede dividir en tres grupos principales en función del tamaño de las partículas. Las partículas respirables que tienen un diámetro aerodinámico igual o inferior a los 10 micrómetros se denominan PM₁₀, las partículas finas que tienen un diámetro inferior a los 2.5 micrómetros se conocen como PM_{2.5}, y las partículas ultrafinas, son aquellas cuyo diámetro es menor a 0.1 micrómetros (WHO, 2006; Fernández-Bremauntz et al., 2005). Las partículas suspendidas se consideran un contaminante local³ y tienen un efecto directo y nocivo en la salud de las personas porque son fáciles de respirar e ingresan al torrente sanguíneo y otros órganos, incrementando la probabilidad de contraer enfermedades como cáncer, asma y enfermedades cardiovasculares, entre otras (Giuliano, 2013; Fitzmaurice, 2017; WHO, 2006).

ANTECEDENTES

Internacional

Un estudio de la OCDE (2014) reporta que el costo social de la contaminación del aire en los países miembros fue de 4% del PIB entre 2005 y 2010. Un estudio más reciente que incluye a otros países (Brasil, Rusia, India, y China), reporta que el costo externo en promedio ascendió a 3.5% del PIB de estos países. Rusia fue el país que enfrentó un mayor costo porcentaje del PIB y Nueva Zelanda el menor, con un total de 12.5% y 1.2% del PIB respectivamente (Roy & Braathen, 2017). Este reporte estima que en México el costo externo de la contaminación ambiental ascendió a 2.7% del PIB en 2015.

México

En la Ciudad de México, el sector transporte consume más del 60% de la energía producida, 95% proviene de combustibles fósiles, y por lo tanto, se relaciona con las mayores emisiones de partículas (PM₁₀ y PM_{2.5}), óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono (SEDEMA, 2016). Si bien el material particulado puede encontrarse en el medio ambiente de forma natural, en México, la mayor cantidad proviene de actividades antropocéntricas, y dentro de estas, el transporte terrestre es el que más aporta (SEDEMA, 2016; Brookes, 2011).

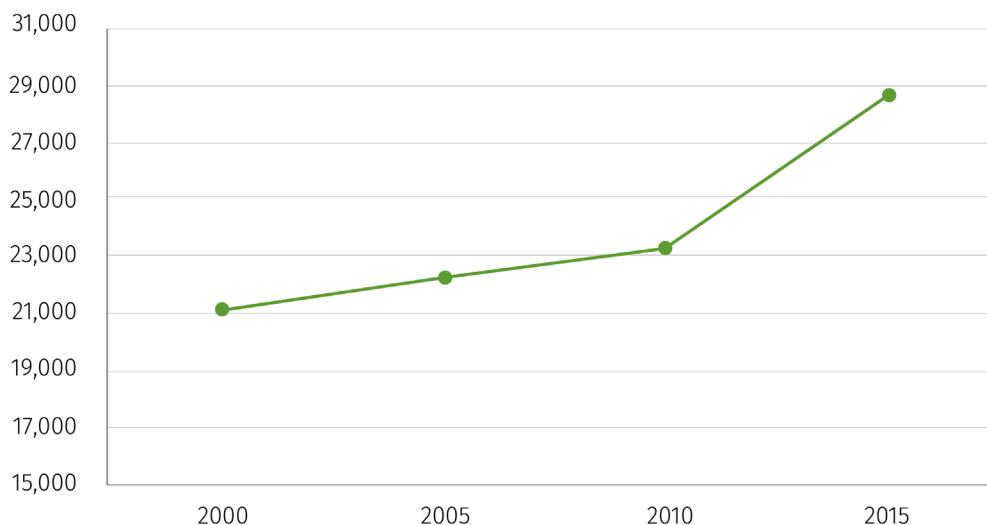
El costo social de la contaminación del aire se manifiesta principalmente a través de las muertes prematuras provocadas por las afectaciones a la salud, las cuales alcanzan niveles preocupantes en México. Roy y Braathen (2017) calcularon que el número de muertes prematuras en México por contaminación ambiental, específicamente por PM_{2.5}, fue cercano a 29 mil. Este número ha ido en aumento y tuvo un crecimiento mayor al 25% entre 2010 y 2015 (Gráfica 1). El Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) estima que 14 mil 666 muertes podrían ser atribuibles tan sólo a concentraciones de PM_{2.5} superiores a los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 10 microgramos por metro cúbico (Trejo-González et al., 2019).

³ Un contaminante se considera local cuando su dispersión es menor a 500 km de diámetro, regional cuando es mayor a 500 km y global cuando se dispersión puede ser todo el globo terráqueo.

Gráfica 1

Muertes prematuras por Material Particulado en México

Fuente: Elaboración propia con datos de Roy and Braathen (2017)



El INSP y el INECC (2017) analizan las muertes que se podrían evitar si se alcanzaran los niveles recomendados por la OMS, valiéndose de una metodología propuesta por la Agencia de protección ambiental (EPA por sus siglas en inglés). Según sus cálculos, aproximadamente 12 mil muertes podrían evitarse con regulaciones que se acerquen a los estándares internacionales, lo cual tendría un beneficio social de 20 mil millones de pesos.

RESULTADOS

Impactos en México y las 20 Zonas Metropolitanas

Tomando promedios agregados, encontramos que en 2017, a nivel nacional, el transporte terrestre causó alrededor de 16 mil 566 muertes prematuras por PM_{2.5} y 10 mil 375 muertes por PM_{2.5} y/o PM₁₀, las cuales suman un costo total externo al país entre 0.93 y 1.40% del PIB nacional⁴.

Tabla 2

Costo externo nacional de la contaminación por PM₁₀ y PM_{2.5} asociada al transporte terrestre como porcentaje del PIB (2017)

Fuente: elaboración propia

Externalidad	Promedio	Rango	
		Mínimo	Máximo
PM 2.5	0.72%	0.57%	0.86%
PM 10	0.45%	0.36%	0.54%
Total	1.17%	0.93%	1.40%

Con el fin de robustecer este análisis y obtener información que nos permita elaborar recomendaciones puntuales, realizamos el mismo cálculo para las 20 zonas metropolitanas (ZM) mexicanas con mayor peso demográfico. En la tabla 3 se presentan las muertes prematuras relacionadas a las emisiones de material particulado proveniente del transporte terrestre, el PIB de los municipios correspondientes a la zona metropolitana obtenido de IMCO (2018), las muertes prematuras relacionadas a la contaminación del transporte terrestre por cada 100 mil habitantes y el porcentaje que representa el costo externo del PIB de cada ZM. Se puede observar una gran heterogeneidad en el número de muertes prematuras según la ZM. La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) es aquella que tiene un mayor número de muertes prematuras por contaminación ambiental, en términos absolutos. Sin embargo, tomando en cuenta la población de cada ZM se observa que Monterrey es la ZM con mayor tasa de muertes prematuras por PM_{2.5}, equivalente a 16 muertes por cada 100 mil habitantes, seguida de Guadalajara y Chihuahua con 14 muertes prematuras. La ZM con menos tasa de muertes prematuras por cada 100 mil habitantes es Cancún.

⁴ Para mayor información sobre la investigación metodológica, favor de referirse al apéndice metodológico.

Tabla 3Muertes prematuras por PM₁₀ y PM_{2.5} asociadas al transporte terrestre y su valor monetario para las principales Zonas Metropolitanas de México

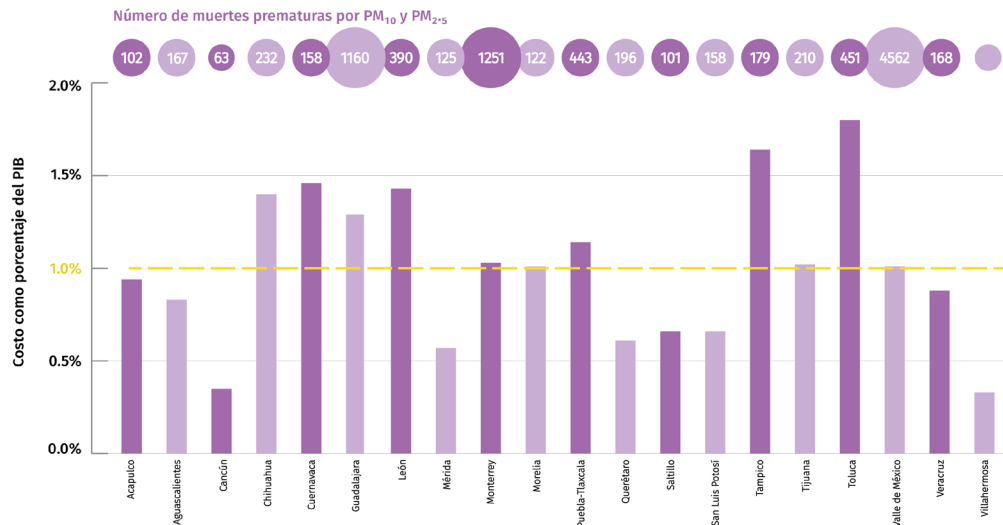
Zona Metropolitana	Muertes prematuras por PM ₁₀	Muertes prematuras por PM _{2.5}	Muertes prematuras por PM ₁₀ por cada 100,000 habitantes	Muertes prematuras por PM _{2.5} por cada 100,000 habitantes	PIB (USD) MAGDA	Costo externo como % del PIB (MIN)	Costo externo como % del PIB (Promedio)	Costo externo como % del PIB (MAX)
Acapulco	43	59	5	6	5,775,258,45	0.75%	0.94%	1.12%
Aguascalientes	70	97	7	10	10,575,379,488	0.66%	0.83%	0.99%
Cancún	27	36	3	4	9,331,421,394	0.28%	0.35%	0.42%
Chihuahua	98	134	10	14	8,660,883,529	1.12%	1.40%	1.69%
Cuernavaca	67	91	7	9	5,728,010,767	1.17%	1.46%	1.75%
Guadalajara	485	675	10	14	46,814,882,624	1.03%	1.29%	1.55%
León	163	227	10	13	14,246,772,259	1.14%	1.43%	1.72%
Mérida	53	72	5	7	11,533,390,094	0.46%	0.57%	0.69%
Monterrey	524	727	12	16	63,546,172,118	0.82%	1.03%	1.23%
Morelia	52	70	6	8	6,358,181,376	0.81%	1.01%	1.21%
Puebla-Tlaxcala	188	255	6	9	20,484,927,994	0.91%	1.14%	1.37%
Querétaro	83	113	7	9	16,905,606,012	0.49%	0.61%	0.73%
Saltillo	43	58	5	6	8,092,812,741	0.53%	0.66%	0.79%
San Luis Potosí-Soledad de graciano Sanchez	67	91	6	8	12,464,402,759	0.53%	0.66%	0.80%
Tampico	76	103	8	11	5,744,439,733	1.31%	1.64%	1.96%
Tijuana	89	121	5	6	10,865,092,300	0.82%	1.02%	1.23%
Toluca	189	262	9	12	13,120,555,700	1.44%	1.80%	2.16%
Valle de México	1,927	2,635	9	12	236,555,967,176	0.81%	1.01%	1.21%
Veracruz	71	97	8	11	10,008,394,759	0.71%	0.88%	1.06%
Villahermosa	35	47	4	6	13,064,243,118	0.27%	0.33%	0.40%
TOTAL	4,350	5,970	8	11	529,876,794,399	0.82%	1.02%	1.23%

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 2

Número de muertes prematuras por PM10 y PM2.5 asociadas al transporte y costo externo equivalente como porcentaje del PIB para las principales Zonas Metropolitanas de México

Fuente: elaboración propia



2.2 GASES DE EFECTO INVERNADERO

El dióxido de carbono en la atmósfera es generado tanto por fuentes naturales, como la descomposición orgánica y la respiración, como por actividades humanas. Dentro de estas últimas, Birol (2017) reporta que la quema de combustibles fósiles representa 87% de todas las emisiones y el transporte tanto de carga como de pasajeros es responsable de 24% del total de emisiones y 76% de estas fue generado solamente por el transporte terrestre a nivel mundial.

El CO2 tiene un efecto global y junto con otros gases de efecto de invernadero y sus precursores, ha sido identificado como uno de los principales causantes del cambio climático (IPCC, 2018). Este fenómeno consiste en un aumento constante de la temperatura del planeta, y de acuerdo al Panel Internacional para el Cambio Climático (IPCC, por su siglas en inglés), si no se implementan acciones urgentes para mitigar la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, los impactos serán de grandes proporciones. Estos incluirán, entre otros, la acidificación de los océanos, daños irreversibles a los ecosistemas, la extinción masiva de especies, aumento en la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos, y el incremento en el nivel del mar. Los costos sociales y económicos de estos se materializan a través de daños a la salud, pérdida de la seguridad alimentaria y del abasto de agua, desplazamientos masivos de comunidades y la propensión a conflictos armados, así como la limitación del crecimiento económico (IPCC, 2018).

ANTECEDENTES

Internacional

Debido a que el CO2e es un gas de efecto global y, por ende, las emisiones tienen un efecto en todo el mundo, sin importar dónde se emita, es necesario cuantificar el costo marginal que reflejan los daños de cada tonelada de CO2 en la atmósfera. Para ello, la literatura ha desarrollado el indicador de toneladas de CO2 equivalente (tCO2e). Este permite convertir el valor del impacto de otros gases de efecto invernadero a una sola medida relacionada con el CO2. El costo estimado de una tonelada de dióxido de carbono (tCO2) varía bastante debido a que puede determinarse de varias maneras, como el costo de mitigación, el valor de mercado cuando existe una política de certificados de emisión, o el costo social total involucrado. Para este reporte utilizamos el costo social calculado por Ricke et al. (2018) a nivel país y publicado en Nature and Climate Change que considera las diferencias geográficas e incertidumbres socio económicas. La India es el país que enfrenta un mayor costo social por tonelada emitida, con 400 dólares por tCO2 y Corea el menor costo social, con 17 dólares por tCO2. El precio de mercado por tCO2 en México tCO2 ronda los 12 dólares, sin embargo, indican que el costo social de una tCO2, considerando el daño económico ocasionado por el cambio climático y proyecciones socioeconómicas, es de 154 dólares⁵.

México

Para México, Birol (2017) reporta que el sector transporte es responsable del 34% del total de emisiones generadas por la quema de combustibles fósiles y de éstas 97% provienen del transporte terrestre, datos que coinciden con los reportados por SEDEMA (2016), pues se reporta que en la Ciudad de México, el 95% del CO₂ es emitido por el consumo de combustibles fósiles, principalmente por el sector transporte.

RESULTADOS

Impactos en México y las 20 Zonas Metropolitanas

Para el cálculo de las externalidades, utilizamos tres parámetros clave: la cantidad de toneladas de CO₂ (tCO₂) emitidas por el transporte terrestre, el precio de mercado de una tCO₂ y el costo social de una tCO₂. El inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero del INECC (2016) reporta que el transporte terrestre fue responsable de la emisión de 171,000,000 tCO₂ en 2015 en México. Mientras que, el Banco Mundial (2018) reporta que las tCO₂ emitidas en 2017 fueron 168,094,500 (World Bank Open Data, 2019). El precio de mercado de una tCO₂ en México es de 3.5 dólares según el Banco Mundial, no obstante este precio no necesariamente expresa los costos sociales. Ricke et al. (2018) menciona que los efectos de una tCO₂ son muy variados y difíciles de medir, sin embargo, bajo ciertos escenarios, **una tCO₂ emitida en México tiene un costo social que fluctúa entre los 8.44 y los 41.3 USD/tCO₂ por año.**

Utilizando el precio superior, estimamos que **las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero asociadas al transporte terrestre tienen un costo social estimado entre 0.49% y 0.74% del PIB nacional.** Este costo incide en la sociedad en conjunto y no es cubierto por aquellos que generan estas emisiones.⁶

Tabla 4
Costo externo nacional de emisiones de CO₂ del transporte terrestre como porcentaje del PIB

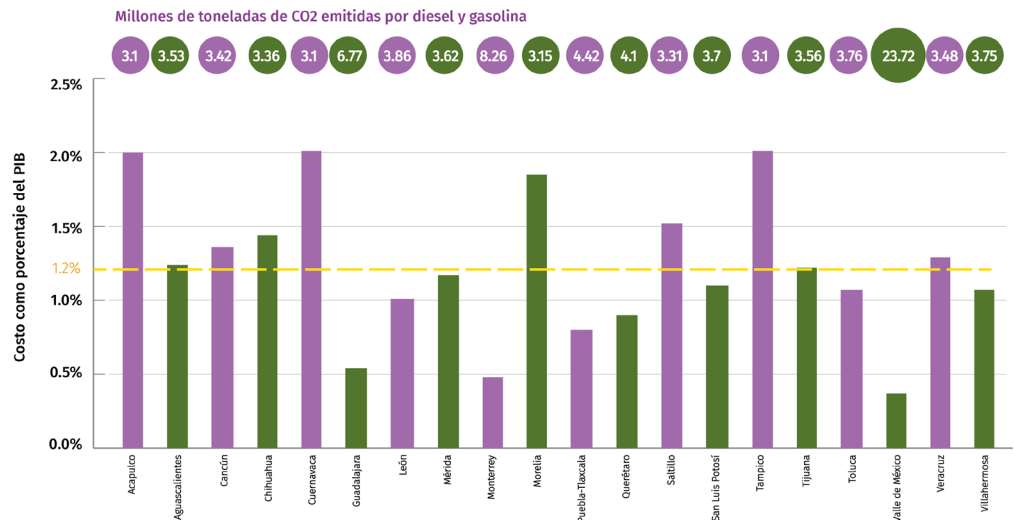
Externalidad	Promedio	Rango	
		Mínimo	Máximo
CO ₂ e	0.61%	0.49%	0.74%

Fuente: elaboración propia

Para conocer la cantidad de toneladas emitidas por el transporte terrestre en cada zona metropolitana, obtuvimos datos de la Secretaría de Energía (SENER) sobre el consumo de gasolinas y diesel a nivel estatal, y relacionamos el PIB estatal con cada cifra de consumo de gasolina. Posteriormente, pronosticamos el consumo de gasolina con el PIB a nivel zona metropolitana. Es importante destacar la heterogeneidad que existe en cuanto al costo, pues mientras este asciende a casi 2% del PIB de zonas metropolitanas como Acapulco, Cuernavaca y Tampico, para la ZMVM este equivale a 0.37% de su PIB. Sin embargo, es ésta última la que emite una mayor cantidad de CO₂ casi 24% del total de las zonas metropolitanas.

Gráfica 3
Toneladas de CO₂ emitidas por el transporte terrestre y costo externo equivalente como porcentaje de PIB para las principales Zonas Metropolitanas de México

Fuente: elaboración propia



5 Escenario disponible en: https://country-level-scc.github.io/csc-web-2018/#/winners?ssp=SSP2&rcp=rcp60&dmg=bhm_sr&discounting=growth%20adjusted
6 Para mayor información sobre la investigación metodológica, favor de referirse al apéndice metodológico.

Tabla 5

Toneladas emitidas de CO2 por el transporte terrestre y su costo externo para las principales Zonas Metropolitanas de México

Zona Metropolitana	Ton CO2 emitidas por consumo de gasolina	Ton CO2 emitidas por consumo de diesel	Costo externo por emisiones de CO2 (USD)	Costo externo como % del PIB (MIN)	Costo externo como % del PIB (Promedio)	Costo externo como % del PIB (MAX)
Acapulco	1,766,723	1,339,255	115,449,209	1.60%	2.00%	2.40%
Aguascalientes	2,102,361	1,432,390	131,386,720	0.99%	1.24%	1.49%
Cancún	2,015,380	1,408,254	127,256,492	1.09%	1.36%	1.64%
Chihuahua	1,968,494	1,395,244	125,030,151	1.15%	1.44%	1.73%
Cuernavaca	1,763,419	1,338,338	115,292,336	1.61%	2.01%	2.42%
Guadalajara	4,636,333	2,135,532	251,710,241	0.43%	0.54%	0.65%
León	2,359,076	1,503,625	143,576,592	0.81%	1.01%	1.21%
Mérida	2,169,348	1,450,978	134,567,536	0.93%	1.17%	1.40%
Monterrey	5,806,234	2,460,163	307,261,987	0.39%	0.48%	0.58%
Morelia	1,807,483	1,350,565	117,384,648	1.48%	1.85%	2.22%
Puebla-Tlaxcala	2,795,266	1,624,662	164,288,710	0.64%	0.80%	0.96%
Querétaro	2,544,989	1,555,213	152,404,534	0.72%	0.90%	1.08%
Saltillo	1,928,773	1,384,222	123,144,025	1.22%	1.52%	1.83%
San Luis Potosí-Soledad de graciano Sanchez	2,234,447	1,469,042	137,658,713	0.88%	1.10%	1.33%
Tampico	1,764,568	1,338,657	115,346,884	1.61%	2.01%	2.41%
Tijuana	2,122,619	1,438,011	132,348,633	0.97%	1.22%	1.46%
Toluca	2,280,328	1,481,773	139,837,293	0.85%	1.07%	1.28%
Valle de México	17,903,585	5,817,009	881,694,470	0.30%	0.37%	0.45%
Veracruz	2,062,716	1,421,389	129,504,199	1.04%	1.29%	1.55%
Villahermosa	2,276,390	1,480,681	139,650,322	0.86%	1.07%	1.28%

Fuente: Elaboración propia

2.3 CONGESTIÓN

La congestión es generada por las personas usuarias del transporte terrestre, tanto de carga como de pasajeros (público y privado), que usan las vías para desplazarse. A medida que la red vial alcanza su capacidad máxima en un periodo de tiempo, cada vehículo adicional disminuye la velocidad de todas las demás personas usuarias e incrementa los tiempos de traslado. Se considera que la congestión es una externalidad porque las personas no consideran su impacto en el tiempo de traslado de las y los usuarios en su conjunto, sino únicamente en el costo monetario y en el tiempo que enfrentan ellos mismos al usar un determinado modo de transporte (Korzhenevych et al., 2014). El principal efecto externo de la congestión es la pérdida de tiempo. Sin embargo, otros son el estrés generado por el tráfico, reducciones en la productividad, la incapacidad para estimar tiempos de viaje precisos, el incremento en el consumo de combustibles, además de que viajes más largos (en tiempo) están asociados a sobrepeso, menor actividad física y altos niveles de presión, los cuales son predictores de enfermedades cardiovasculares, diabetes y algunos tipos de cáncer (Hoehner et al., 2012).

ANTECEDENTES

Internacional

Existen numerosos estudios que estiman el costo social generado por la congestión, por ejemplo, Christidis & Rivas (2012) calculan que el costo social es de 1% del PIB al año en promedio para los países de la OECD. Para 2017, INRIX (2018) reporta que solo en Estados Unidos, la congestión costó 305 mil millones de dólares, medido en términos de productividad perdida por tiempo extra de viaje. Dicho estudio reporta las horas perdidas en promedio al año en las principales ciudades del mundo, la primera es Los Ángeles, donde al año se pierden 102 horas, seguido de Moscú y Nueva York.

México

Para México, no existe un cálculo a nivel nacional, sin embargo, INRIX (2018) reporta que la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) es la más congestionada, perdiendo 218 horas al año en el tráfico. Por otro lado, Tom-Tom-Index⁷ reporta que la ZMVM es la novena ciudad más congestionada del mundo, con un tiempo extra por día de 59 minutos, lo que ellos traducen a 227 horas extra perdidas al año por persona. El ITDP (2012) calcula que para la ZMVM, el costo social por congestión es de 4,108 millones de dólares, o 2% del PIB de la ciudad.

La congestión es generada por la saturación de las vías, cuyo principal costo social es el tiempo extra que se invierte en cada viaje en comparación con el tiempo invertido en ausencia de congestión (Korzhenevych et al., 2014). La congestión genera otros costos, como mayor contaminación, emisiones de GEI, estrés y daños a la salud, entre otros.⁸ Sin embargo, en este estudio nos concentramos en las pérdidas de tiempo dado que es el costo más estudiado y para el que contamos con datos suficientes a nivel local en México.

RESULTADOS

Impacto en México y en las 20 Zonas Metropolitanas

Para calcular la congestión a nivel nacional, sumamos el nivel de la congestión urbana con el de la congestión interurbana. Particularmente en el caso de la congestión urbana, es necesario tomar en cuenta el tiempo extra que una persona pierde al día, mes o año, así como el salario promedio.

Con estos y otros factores, estimamos que **en México se perdieron alrededor de 5,187 millones de horas debido a la congestión durante el 2017, equivalente al 1.2% del PIB nacional.**⁹

En la tabla 6 se pueden observar las horas perdidas debido a la congestión en cada una de las zonas metropolitanas y el costo que representan como porcentaje del PIB. Se puede observar que la congestión le costó a la Zona Metropolitana del Valle de México 3.12% del PIB metropolitano, a través de la pérdida de 2,772 millones de horas en un año o 219 horas al año por cada habitante que viaja, con un mínimo de 126 y un máximo de 305. Guadalajara es la segunda ciudad a la cual le costó un mayor porcentaje del PIB con 2.66%, lo cual equivale a que cada persona que viaja en dicha ciudad pierde al año 157 horas en la congestión.

7 Disponible en https://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/

8 No se consideraron efectos cruzados debido va más allá del objetivo principal de este estudio pero invitamos a otras organizaciones a que pongan atención en dichos efectos.

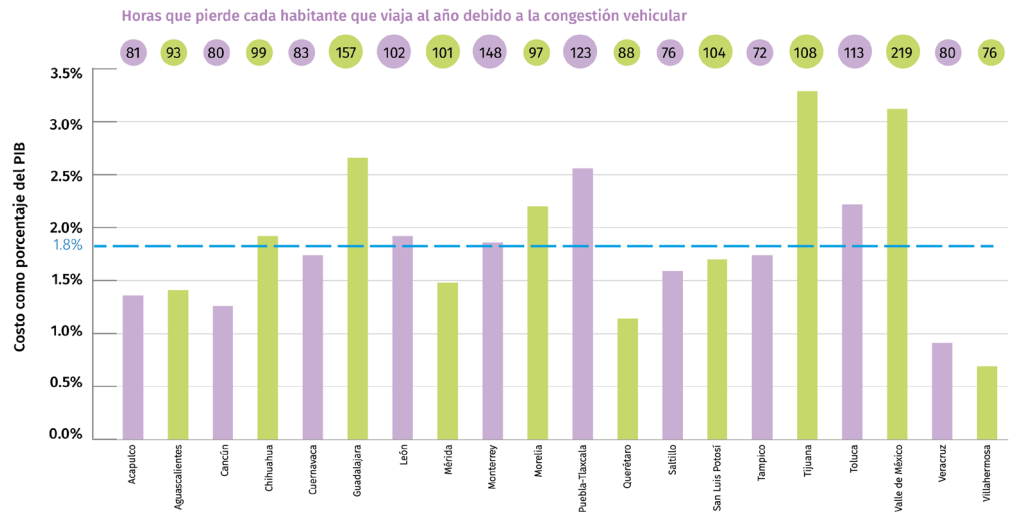
9 Para mayor información sobre la investigación metodológica, favor de referirse al apéndice metodológico

Tabla 6
Horas perdidas en la congestión y su costo externo para las principales Zonas Metropolitanas de México

Zona Metropolitana	Población que viaja por ZM	Horas que pierde cada habitante que viaja al año (min)	Horas que pierde cada habitante que viaja al año (promedio)	Horas que pierde cada habitante que viaja al año (max)	Costo externo como % del PIB (min)	Costo externo como % del PIB (promedio)	Costo externo como % del PIB (max)
Acapulco	513,865	49	81	108	0.82%	1.36%	1.80%
Aguascalientes	672,325	56	93	124	0.84%	1.41%	1.88%
Cancún	501,394	49	80	106	0.76%	1.26%	1.66%
Chihuahua	596,021	59	99	133	1.15%	1.92%	2.58%
Cuernavaca	584,093	50	83	110	1.05%	1.74%	2.31%
Guadalajara	3,000,594	91	157	215	1.55%	2.66%	3.66%
León	1,105,687	61	102	138	1.14%	1.92%	2.58%
Mérida	669,415	60	101	136	0.88%	1.48%	1.98%
Monterrey	2,749,790	86	148	203	1.08%	1.86%	2.55%
Morelia	560,013	58	97	130	1.31%	2.20%	2.95%
Puebla-Tlaxcala	1,811,592	72	123	168	1.50%	2.56%	3.48%
Querétaro	812,410	53	88	117	0.68%	1.14%	1.52%
Saltillo	582,014	46	76	100	0.97%	1.59%	2.09%
San Luis Potosí-Soledad de graciano Sanchez	735,181	62	104	139	1.01%	1.70%	2.29%
Tampico	527,497	44	72	94	1.06%	1.74%	2.27%
Tijuana	1,172,117	64	108	146	1.95%	3.29%	4.44%
Toluca	1,274,398	67	113	153	1.31%	2.22%	3.00%
Valle de México	12,639,616	126	219	305	1.79%	3.12%	4.35%
Veracruz	505,494	48	80	105	0.55%	0.91%	1.20%
Villahermosa	512,055	46	76	100	0.42%	0.69%	0.91%

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4
 Número adicional de horas perdidas debido a la congestión y costo externo equivalente como porcentaje de PIB para las principales Zonas Metropolitanas de México
 Fuente: elaboración propia



2.4 SINIESTROS DE TRÁNSITO

Un siniestro o hecho de tránsito puede ser definido como un “evento producido por el tránsito vehicular, en el que interviene por lo menos un vehículo, causando daños materiales, lesiones y/o muerte de personas” (Reglamento de tránsito de la Ciudad de México, 2015). La mayoría de los siniestros de tránsito son causados por el conductor, ya sea por distracciones durante el manejo o por exceso de velocidad (Secretaría de Salud/STCONAPRA, 2018) y representan un gran costo para la sociedad. El primero de ellos es la pérdida prematura de una vida, que además de impactos emocionales y sociales, genera impactos económicos al afectar la productividad, disminuciones en el PIB debido a incapacidades, costos médicos, legales y otros que no son cubiertos por las aseguradoras, ya sea porque el vehículo se encontraba sin seguro o porque el automovilista no se hizo responsable de los daños (Ministry of Transport, 2019; Korzhenevych et al., 2014). El efecto de los siniestros de tránsito es bastante directo, sin embargo, difícil de medir en algunos países dada la escasez de datos.

ANTECEDENTES

Internacional

Según datos de la Organización Mundial de la Salud (2019), los siniestros de tránsito son una de las principales causas de muerte en todos los grupos de edad, y la primera entre personas de entre 15 y 29 años. Este hecho es preocupante, principalmente para países de bajos y medianos ingresos donde ocurren el 93% de las defunciones a nivel mundial. Es importante destacar que la mayoría de las personas fallecidas son usuarios de la vía pública diferentes a los que causan los siniestros en su mayoría (Secretaría de Salud/STCONAPRA, 2018), es decir, no son conductores o pasajeros de vehículos motorizados, sino peatones o ciclistas. Los siniestros de tránsito pueden provocar tres tipos de efectos negativos a la sociedad: la muerte de una persona -y la pérdida definitiva de la capacidad de producción que eso conlleva-, una lesión leve o una lesión grave, que tienen efectos temporales o permanentes en la producción.

La OCDE (2014) reporta los siniestros de tránsito produjeron un costo anual de 1.5% del PIB en promedio para los países miembro. Para Nueva Zelanda, el Ministry of Transport (2019) calcula un costo social de 4,800 millones de dólares, lo que representó 0.03% del PIB. Wijnen y Stipdonk (2016) realizan un análisis a nivel internacional y reportan que el costo social de los siniestros va de 0.5% a 6.0% del PIB, con un promedio de 2.7% para países de altos ingresos y de 1.1% a 2.9% del PIB para países de bajo y medianos ingresos.

México

Para el caso de México, Luis Chías Becerril (2017) mencionó que el costo social de los siniestros de tránsito representó entre 1.7% y 3% del PIB en 2017. La Alianza Nacional por la Seguridad Vial (AMIS, 2018) reportó para el mismo año un costo externo entre 3% y 5% del PIB. El ITDP (2012) reporta 0.4% del PIB como costo social.

RESULTADOS

Impacto en México en las 20 Zonas Metropolitanas

Para el cálculo de las externalidades negativas relacionadas con siniestros de tránsito, es necesario conocer el número de personas fallecidas por esta causa, y la cantidad de personas que fueron lesionadas de manera leve y grave. Sin embargo, no todas las personas lesionadas representan una externalidad pues algunos conductores internalizan dichos costos al contratar un seguro. En este contexto, para calcular las externalidades por siniestros viales restamos el monto total que pagaron las aseguradoras para atender, compensar y apoyar a las personas involucradas en un siniestro.

Utilizando estos datos, se estima que el costo social de los siniestros viales representa entre el 0.60% y 0.75% PIB nacional en 2017.

Tabla 7

Costo externo nacional de los siniestros de tránsito como porcentaje del PIB

Fuente: elaboración propia

Externalidad	Promedio	Rango	
		Mínimo	Máximo
Siniestros	0.68%	0.60%	0.75%

Este mismo análisis se realizó para las 20 ciudades seleccionadas. Los resultados se muestran en la tabla 8, donde se puede observar que los impactos varían considerablemente entre las zonas metropolitanas del país. Es importante destacar el caso de Chihuahua, donde el número de personas lesionadas leves y graves es, por mucho, el más alto pues concentra el 13% del total de las personas lesionadas en estas 20 ciudades. Monterrey es la siguiente zona metropolitana con mayor número de personas lesionadas y representa aproximadamente 0.96% de su PIB. Sin embargo, es en la **Zona Metropolitana del Valle de México**, en términos absolutos, donde más personas fallecieron en 2017 por siniestros de tránsito y albergando **30% de las muertes prematuras en estas 20 ciudades**.

Gráfica 5

Número de muertes prematuras y lesiones causadas por el tránsito y costo externo equivalente como porcentaje de PIB para las principales Zonas Metropolitanas de México

Fuente: elaboración propia

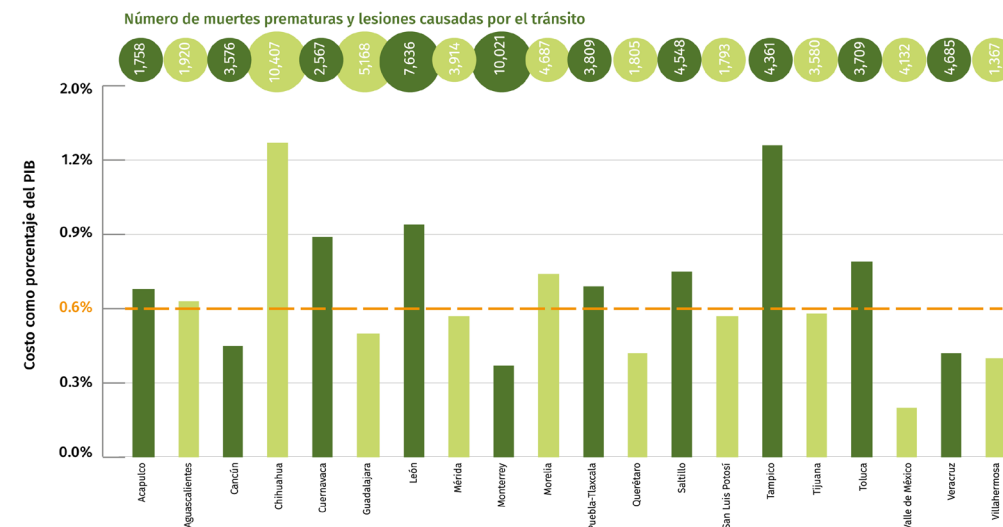


Tabla 8

Número de muertes prematuras y lesiones causadas por el tránsito, y su costo externo para las principales Zonas Metropolitanas de México

Zona Metropolitana	Número de muertes prematuras debido a siniestros viales	Número de personas lesionadas leve	Número de personas lesionadas grave	Número de fallecidos por cada 100,000 habitantes	Número de lesionados por cada 100,000 habitantes	Costo externo como % del PIB (min)	Costo externo como % del PIB (Promedio)	Costo externo como % del PIB (MAX)
Acapulco	71	1,174	175	8	183	0.55%	0.68%	0.82%
Aguascalientes	141	1,238	185	14	175	0.50%	0.63%	0.75%
Cancún	39	2,462	368	5	441	0.36%	0.45%	0.54%
Chihuahua	82	7,186	1,074	9	1,087	1.01%	1.27%	1.52%
Cuernavaca	86	1,727	258	9	249	0.71%	0.89%	1.07%
Guadalajara	532	3,227	482	11	97	0.40%	0.50%	0.60%
León	206	5,171	773	12	433	0.75%	0.94%	1.13%
Mérida	98	2,656	397	9	359	0.46%	0.57%	0.69%
Monterrey	428	6,677	998	10	214	0.29%	0.37%	0.44%
Morelia	31	3,241	484	3	525	0.59%	0.74%	0.89%
Puebla-Tlaxcala	307	2,437	364	10	119	0.55%	0.69%	0.83%
Querétaro	155	1,148	172	13	136	0.33%	0.42%	0.50%
Saltillo	71	3,116	466	8	497	0.60%	0.75%	0.90%
San Luis Potosí-Soledad de graciano Sanchez	155	1,140	170	14	145	0.45%	0.57%	0.68%
Tampico	106	2,961	443	11	458	1.01%	1.26%	1.51%
Tijuana	96	2,425	362	5	180	0.46%	0.58%	0.69%
Toluca	207	2,437	364	9	160	0.64%	0.79%	0.95%
Valle de México	1,214	2,031	303	6	14	0.16%	0.20%	0.24%
Veracruz	16	3,250	486	2	541	0.33%	0.42%	0.50%
Villahermosa	113	873	130	14	152	0.32%	0.40%	0.48%

Fuente: Elaboración propia

2.5 CONTAMINACIÓN POR RUIDO

El transporte terrestre es uno de los sectores que más ruido genera, y que afecta a una mayor población. Este proviene del sonido de los motores y escapes, y el uso del claxon, que genera ruido constante en las vías y afecta a las personas que habitan cerca de ellas. El ruido puede tener impactos significativos en la salud pública. La Organización Mundial de la Salud (WHO, 2018) indica que la exposición prolongada a altos niveles de ruido se relaciona con mayor prevalencia de enfermedades cardiovasculares, perturbaciones del sueño, incrementos en la presión, ritmo cardíaco durante el sueño, déficit en la memoria a corto y largo plazo y déficit de atención. La Agencia Ambiental Europea (EEA, 2017) estima que en 2017, 100 millones de habitantes en Europa fueron afectados por el ruido proveniente del transporte terrestre, y de estos, 32 millones experimentaron niveles considerados como altamente dañinos (por encima de los 65 dB).

ANTECEDENTES

Internacional

Boer y Schroten (2007) mencionan que el costo social del ruido proveniente del transporte terrestre es aproximadamente de 0.4% del PIB para la Unión Europea (UE), sin embargo, Martín et al. (2006) menciona que para algunos países de la UE el costo social asciende hasta 1% de su PIB. DEFRA (2014) estima que para Inglaterra, el costo del ruido es similar al costo relacionado por siniestros de tránsito y mayor al del cambio climático, llegando a 11 mil millones de dólares anuales.

México

La Ciudad de México se encuentra entre las 10 ciudades con mayores niveles de ruido en el mundo (Gray, A., 2017). Sin embargo, no existen datos sobre el número de afectados ni cálculos del costo social que implica. El ITDP (2012), utilizando una medida de costo por kilómetro recorrido, calculó el costo del ruido causado por el transporte para algunas zonas metropolitanas, entre ellas, la Zona Metropolitana del Valle de México, donde se estimó el impacto en 606 millones de dólares.

RESULTADOS

Impacto en México y en las 20 Zonas Metropolitanas

En este primer acercamiento, para estimar la magnitud del impacto de esta externalidad en todas las ciudades mexicanas¹¹, definimos tres niveles: tolerable, molesto e inaceptable (Martinnelli, 2017), en función de los umbrales de afectación definidos por la OMS en 2018. Siguiendo a BRUIT-PARIF (2019), para estimar el valor de los impactos en la población expuesta, medimos el impacto de cada decibel a través de la pérdida de años de vida saludables ajustados por discapacidad, con el objetivo de relacionar la exposición al ruido con el deterioro de la salud. Dada la dificultad de observar a todas las personas que comparten las vías públicas así como el nivel de ruido en cada vía, estimamos el ruido emitido por el transporte terrestre en función del tipo de vía.

Tipo de vías y ruido por tipo de vía

Gracias a la base de Open Street Maps (OSM), identificamos los distintos tipos de vía y el nivel de ruido que pueden producir. Así, clasificamos cada tipo de vía del país y le adjudicamos un nivel y alcance del ruido generado por el transporte terrestre. Se estima que, por ejemplo, una autopista genera más de 65 decibeles a 60 metros, entre 55-65 decibeles a 220 metros, y finalmente entre 45 y 55 decibeles a 500 metros.

Población expuesta y proximidad a vías

Con la información del área expuesta al ruido del transporte terrestre, estimamos la cantidad de población expuesta a ese ruido. Con datos de población del Censo 2010 del INEGI, identificamos a la población de cada área geoestadística básica (AGEB) urbana del país, y con ellos calculamos la cantidad de población que podría estar localizada en zonas con afectaciones a distintos niveles de ruido. En la figura 1 se muestra la ubicación de la población expuesta a cada umbral de ruido en la ZMVM, y en la tabla 11 se muestra el número de personas afectadas por cada nivel de ruido en México.

11 Para mayor información sobre la investigación metodológica, favor de referirse al apéndice metodológico

Figura 1
 Área con población
 expuesta a niveles altos de
 ruido por transporte
 terrestre en la ZMVM

Fuente: elaboración propia
 con datos de OSM, INEGI, y
 ESRI

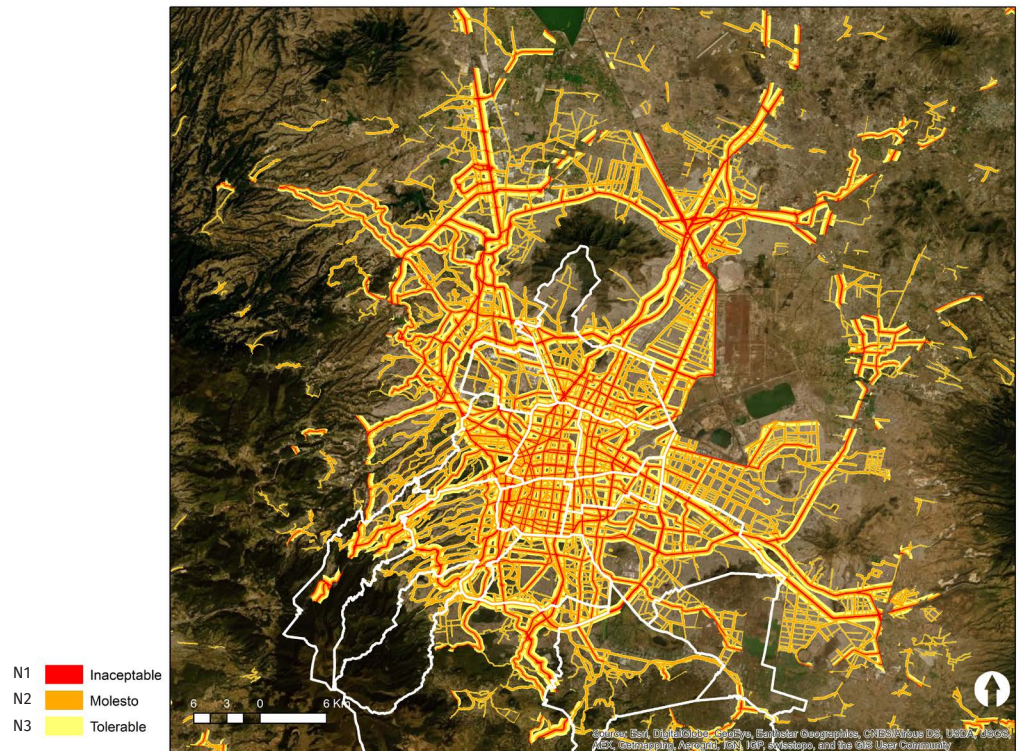


Tabla 9
 Cálculo de impacto en salud
 a causa del ruido
 proveniente de vías
 terrestres

Fuente: elaboración propia

Nivel de ruido	Población afectada	Años de vida ajustados por discapacidad (DALYS)	Costo externo como % del PIB (min)	Costo externo como % del PIB (promedio)	Costo externo como % del PIB (max)
N1	4,223,124	64,561,995	0.05%	0.06%	0.07%
N2	22,327,844	203,992,380	0.14%	0.18%	0.22%
N3	19,726,180	78,655,320	0.06%	0.07%	0.08%
TOTAL	46,277,148	362,928,356	0.25%	0.31%	0.37%

Se estima que 4.3 millones de personas que habitan en ciudades mexicanas, están expuestas a niveles inaceptables de ruido a causa del transporte terrestre, y sufren afectaciones por un valor de 1,692 millones de pesos al año. En conjunto, unos 46 millones de habitantes urbanos en México podrían sufrir de impactos del orden de 0.86% del PIB nacional.

Este mismo cálculo se realizó para las 20 ciudades y los resultados se pueden observar en la tabla 12. La población afectada se contabilizó de los AGEBS urbanos y observamos que la población afectada por el ruido proveniente de las vías, varía bastante entre cada zona metropolitana. Observamos que en el Valle de México es donde un mayor número de población es afectado en cada nivel de ruido, seguido de Guadalajara, Puebla-Tlaxcala, Monterrey y Tijuana. Sin embargo, es la ciudad de Tijuana la que carga con un mayor costo de su PIB, seguida de Tampico y Morelia.

Tabla 10

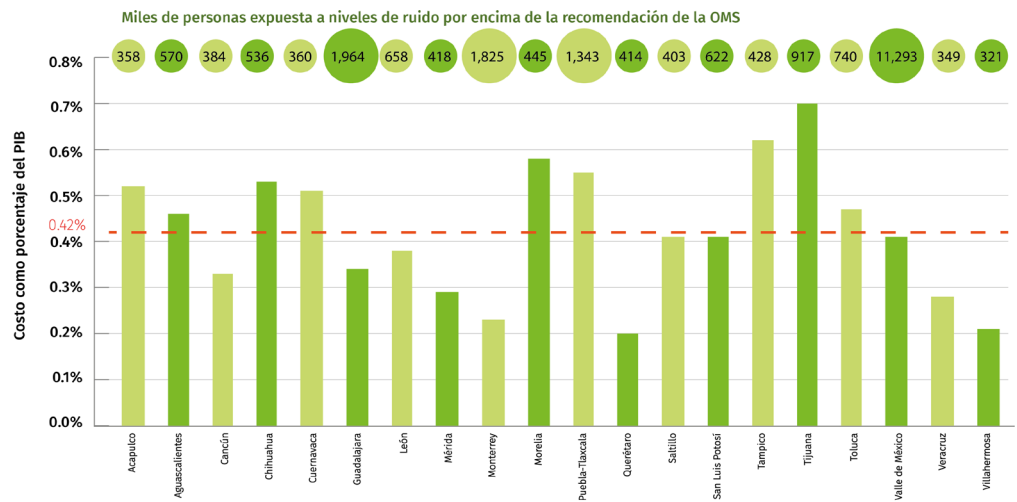
Impacto en salud de la contaminación por ruido asociada al transporte terrestre en 20 zonas metropolitanas de México

Zona Metropolitana	N1: Población afectada por >65 dB en promedio durante las 24 horas	N2: Población afectada por 55-65 dB en promedio durante las 24 horas	N3: Población afectada por 45-55 dB en promedio durante las 24 horas	Meses saludables que perdió la población afectada a >65	Meses saludables que perdió la población afectada a 55-65	Meses saludables que perdió la población afectada a 44-55	Costo externo como % del PIB (min)	Costo externo como % del PIB (promedio)	Costo externo como % del PIB (max)
Acapulco	40,327	185,110	133,288	604,899	1,665,990	666,441	0.41%	0.52%	0.62%
Aguascalientes	71,814	298,292	200,642	1,077,210	2,684,628	1,003,208	0.37%	0.46%	0.55%
Cancún	13,722	247,407	123,822	205,823	2,226,666	619,108	0.27%	0.33%	0.40%
Chihuahua	71,667	284,380	179,955	1,075,003	2,559,422	899,774	0.43%	0.53%	0.64%
Cuernavaca	37,561	177,125	145,691	563,414	1,594,123	728,456	0.41%	0.51%	0.62%
Guadalajara	182,667	1,017,104	765,188	2,740,012	9,153,932	3,825,940	0.27%	0.34%	0.41%
León	59,712	343,777	254,615	895,674	3,093,993	1,273,074	0.30%	0.38%	0.45%
Mérida	32,266	221,382	164,648	483,996	1,992,439	823,242	0.23%	0.29%	0.35%
Monterrey	132,554	1,007,199	685,692	1,988,305	9,064,794	3,428,462	0.19%	0.23%	0.28%
Morelia	40,810	245,416	159,501	612,148	2,208,743	797,505	0.46%	0.58%	0.70%
Puebla-Tlaxcala	178,750	650,442	514,074	2,681,245	5,853,976	2,570,372	0.44%	0.55%	0.66%
Querétaro	31,282	225,082	158,490	469,232	2,025,739	792,451	0.16%	0.20%	0.24%
Satillo	40,672	212,310	150,810	610,077	1,910,794	754,050	0.33%	0.41%	0.50%
San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez	62,810	330,905	228,436	942,155	2,978,143	1,142,180	0.33%	0.41%	0.50%
Tampico	40,494	242,516	145,899	607,409	2,182,648	729,496	0.50%	0.62%	0.75%
Tijuana	113,576	438,978	365,020	1,703,633	3,950,800	1,825,099	0.56%	0.70%	0.84%
Toluca	78,590	397,382	264,544	1,178,844	3,576,439	1,322,721	0.38%	0.47%	0.57%
Valle de México	1,361,974	6,079,338	3,851,888	20,429,603	54,714,044	19,259,442	0.33%	0.41%	0.49%
Veracruz	28,843	188,188	132,128	432,644	1,693,696	660,638	0.23%	0.28%	0.34%
Villahermosa	41,428	166,717	113,299	621,418	1,500,452	566,496	0.17%	0.21%	0.25%

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 6
Número de personas afectadas por un nivel de ruido dañino asociadas al transporte terrestre y costo externo equivalente como porcentaje de PIB para las principales Zonas Metropolitanas de México

Fuente: elaboración propia



2.5 DISCUSIÓN DE LA SITUACIÓN

Finalmente, se estima que las cinco dimensiones de las externalidades del transporte terrestre, agregadas, tienen un impacto sustancial en el bienestar del país. A través de este ejercicio se estima que causan afectaciones cercanas al 4% del PIB, principalmente a través de impactos a la salud y vida de las personas.

Tabla 11
Comparación a nivel nacional del costo del transporte terrestre en México como porcentaje del PIB

Fuente: elaboración propia

Externalidad	Promedio	Rango	
		Mínimo	Máximo
PM 2.5	0.72%	0.57%	0.86%
PM 10	0.45%	0.36%	0.54%
GEI	0.61%	0.49%	0.74%
Siniestros	0.68%	0.60%	0.75%
Congestión	1.19%	0.69%	1.64%
Ruido	0.31%	0.25%	0.37%
Total	3.96%	2.97%	4.90%



TARIFA
\$.

1

Marcopolo

Políticas públicas para mitigar las externalidades del transporte terrestre



3

Existen dos principales mecanismos para mitigar las externalidades: (1) mecanismos de mercado (o de precios), y (2) mecanismos de regulación (o de cantidad). Los primeros actúan obligando a los causantes de las externalidades pagar el valor de ellas de manera monetaria. En el segundo caso, se limita la cantidad de manera rigurosa, principalmente a través de sanciones (Rothengatter, 2003).

A continuación se discuten algunas de las políticas públicas que, de ser adoptadas e implementadas por los gobiernos locales y federal mexicanos, pueden incidir en cada una de las externalidades del sector transporte terrestre analizadas anteriormente.

3.1 GESTIÓN DE LA DEMANDA

Las políticas de gestión de la demanda de viajes tienen el potencial de incidir de manera positiva en todas las externalidades del transporte terrestre analizadas anteriormente, pues consisten en estrategias para cambiar el comportamiento de viajes de las personas, incrementar la eficiencia de sistemas de transporte público y contribuir al logro de metas de sustentabilidad (Boraddus et al., 2009; Litman, 2018; Ríos et al., 2013). En particular, la gestión de la demanda incluye medidas para desincentivar el uso de modos motorizados privados como el automóvil y la motocicleta que mayores externalidades generan, y medidas para atraer nuevas usuarias y usuarios a modos de transporte más eficientes como el transporte público o la movilidad activa. Entre ellas, se encuentran:

1. **Cobro y limitación de estacionamiento.** El limitar la construcción de estacionamiento en predios o establecer un cobro por estacionar un vehículo en la vía pública, permite que las personas que usan modos de transporte motorizados y particulares internalicen una parte de los costos generados para la sociedad (Shoup, 2017). De igual manera, el limitar o condicionar a un cobro el estacionamiento vuelve menos atractivo el hecho de viajar en un modo motorizado privado, y reduce por lo tanto los viajes en estos modos.
2. **Cargos por congestión.** En las ciudades donde han sido implementados, los cargos son impuestos a las personas conductoras de vehículos motorizados particulares al entrar en ciertas partes de la ciudad, al circular por alguna vía en cierto horario o al entrar y salir de un perímetro definido, ya sea bajo condiciones fijas o variables -como tarifas dinámicas- en función de condiciones como horario, nivel de congestión, sentido, etc. (Eliasson, 2009; Givoni, 2012) Estos cargos, también llamados *tarificación vial*, pueden ser aplicados durante todo el día en una cierta área, por cruzar un perímetro dentro del área urbana en uno o ambos sentidos o en ciertos horarios en una vía específica. Los cargos por congestión operan usualmente con herramientas tecnológicas para identificar la entrada de vehículos en el área definida, como cámaras de reconocimiento de placas vehiculares. Las experiencias de cargos por congestión han tenido resultados positivos en cuanto a reducción del tráfico vehicular y de emisiones contaminantes en las ciudades de altos ingresos donde existen, a diferencia de medidas de restricción vehicular como el programa Hoy no Circula en la Ciudad de México que no lograron frenar las tasas de motorización y la emisión de contaminantes (Mahendra, 2011). Sin embargo, debido a la complejidad del mecanismo de cargos por congestión, es fundamental que las ciudades mexicanas que quieran aplicarlo definan y transparenten el uso de recursos generados por el mecanismo, estudien detalladamente su factibilidad, y los acompañen de otras

medidas de gestión de la demanda e inversión en alternativas al uso del automóvil y de la motocicleta.

3. **Sobrecostos a los combustibles.** La creación de medidas fiscales como el aumento de impuestos a la gasolina o la eliminación de subsidios a la gasolina pueden desincentivar el uso de modos motorizados particulares, y atraer a sus usuarias y usuarios a modos de transporte más eficientes (Creutzig, 2014). Además, el impuesto a la gasolina puede ser generar recursos dedicados a la inversión en sistemas de transporte público e infraestructura para la movilidad activa, así como a compensaciones para prestadores de servicios públicos de transporte y transporte de carga para alimentos perecederos y frescos (Observatorio Ciudadano de Calidad del Aire, 2019).

De igual forma, es importante instrumentar **programas de gestión ambiental del transporte de carga**, urbano e interurbano, que restrinjan la circulación de vehículos contaminantes, administren su volumen de tránsito en función de horarios entre otras variables, mejoren la logística de distribución en vehículos poco o no contaminantes, y verificar el cumplimiento de normas físico-mecánicas y de emisiones (Observatorio Ciudadano de Calidad del Aire, 2019).

En México, la implementación de políticas de gestión de la demanda son **responsabilidad conjunta de los gobiernos municipales, estatales y federal**, en el ámbito de sus competencias, como establecido en el artículo 72 de la Ley General de Asentamientos Humanos:

“La Federación, las entidades federativas, los municipios y las demarcaciones territoriales, en el ámbito de sus competencias, establecerán los instrumentos y mecanismos para garantizar el tránsito a la movilidad, mediante [...] La gestión de instrumentos en la materia, tales como: cargos por congestión o restricciones de circulación en zonas determinadas; infraestructura peatonal, ciclista o de pacificación de tránsito; sistemas integrados de transporte; zonas de bajas o nulas emisiones; cargos y prohibiciones por estacionamientos en vía pública; estímulos a vehículos motorizados con baja o nula contaminación; restricciones de circulación para vehículos de carga y autos; tasas diferenciadas del impuesto de la tenencia que consideren la dimensión o características de los vehículos motorizados, entre otros [...]”.

3.2 MEJOR TECNOLOGÍA VEHICULAR Y MAYOR INVERSIÓN EN MOVILIDAD SUSTENTABLE

Algunas de las medidas para reducir las emisiones de gases a efecto invernadero y partículas contaminantes provenientes del transporte terrestre, son los incentivos para la mejora tecnológica de los vehículos motorizados que reduzca sus emisiones locales.

Una medida clave para disminuir las emisiones de GEI y contaminantes criterio es mejorar la tecnología de la flota vehicular que circula actualmente en las ciudades mexicanas. Para ello, es necesario implementar las siguientes medidas:

- **Verificación vehicular.** Una manera efectiva de controlar las emisiones provenientes del sector transporte es la de imponer restricciones -o hasta prohibiciones- de circulación a vehículos en función de la contaminación que generan. Para abarcar a todos los vehículos contaminantes y evitar generar incentivos por adquirir vehículos exentos de verificación (como es actualmente el caso de las motocicletas), esta debe ser generalizada a automóviles, motocicletas, unidades de transporte público y vehículos de carga. En el mediano plazo y con mecanismos de operación sólidos, los programas de verificación vehicular pueden incentivar a la población a sustituir sus vehículos por otros más eficientes y menos contaminantes. Sin embargo, es necesario complementar dichos programas con medidas que vuelvan los viajes en vehículos motorizados particulares menos deseables y el uso de modos de transporte sustentables más accesible, para evitar crear un aumento en el parque vehicular.
- **Retrofit en flotas vehiculares públicas y privadas.** En centros urbanos como la Ciudad de México, el sector transporte es el principal emisor de partículas finas, entre el cual destacan

vehículos pesados que utilizan diésel, debido a su proceso de combustión interna (SEDEMA, 2016). Si bien la mejor manera de reducir las emisiones de partículas en vehículos pesados es la de sustituir las unidades, esto requiere de presupuestos no siempre disponibles para gobiernos y empresas. Una solución intermedia es el retrofit, que consiste en el reacondicionamiento de vehículos existentes al instalar sistemas de retención de partículas, los cuales llegan a reducir la emisión de material particulado en un 90%. Así, los gobiernos y las empresas que cuentan con flotas de vehículos pesados -transporte de pasajeros, carga, entre otros- pueden, en complemento de programas de sustitución de sus unidades más antiguas, mejorar la tecnología de su flota contaminante con vida útil suficiente mediante retrofit.

Otra medida para mejorar la tecnología vehicular es el **fomento de la movilidad eléctrica**, que permite reducir los impactos negativos en la salud de las emisiones, pues elimina los contaminantes locales generados por los vehículos. Es sin embargo importante diferenciar la electrificación de vehículos para uso particular y para la prestación de servicios de transporte:

- **Electrificación de servicios de transporte.** La mejora de la tecnología de los servicios de transporte podría beneficiar a una gran parte de la población mexicana, considerando que 45% y 37% de los viajes al trabajo y a la escuela respectivamente son realizados en transporte público en el país.¹² Para ello, los gobiernos estatales y municipales pueden impulsar en conjunto acciones como la incorporación de tecnología retrofit en flotas de transporte público y de carga, la electrificación del transporte público junto con la sustitución de unidades contaminantes, y el fomento de logística urbana limpia con vehículos cero-emisiones, como bicicletas cargo por ejemplo.
- **Electrificación de vehículos particulares.** Para fomentar su producción y comercialización en México, es necesario proveer la industria automotriz con incentivos suficientes para aumentar la inversión en tecnologías de eficiencia vehicular. En particular, es urgente actualizar a nivel nacional la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013 con parámetros más estrictos para fomentar la comercialización de vehículos menos contaminantes, de acuerdo con las recomendaciones del International Council on Clean Transportation (2018).

Sin embargo, los vehículos eléctricos tienen un impacto ambiental por las fuentes de energía que lo alimentan y que resultan necesarias para la producción de sus baterías. Además, los vehículos eléctricos particulares no contribuyen a solucionar el problema de la congestión, ya que ocupan el mismo espacio que vehículos particulares con motores de combustión interna. Incentivar modos sostenibles como el caminar o usar la bicicleta, y modos colectivos como el transporte público, es una condición necesaria para lograr las metas de reducción de emisiones a nivel global en este sector (ITDP y UC Davis, 2017). Para ello, es fundamental aumentar la **inversión para la movilidad urbana sustentable**, mediante la creación, expansión y consolidación de sistemas de transporte masivo, la estructuración del transporte convencional, y la construcción y mantenimiento de infraestructura peatonal y ciclista. Estos recursos pueden ser generados mediante la creación de mecanismos financieros y fondos transparentes, como un sobreprecio a la gasolina, la gestión del estacionamiento, la regulación de empresas de redes de transporte, entre otros.

3.3 SEGURIDAD VIAL

Para disminuir las muertes y lesiones causadas por el tránsito, es necesario mejorar la seguridad vial a nivel local y nacional. De acuerdo con el Secretariado Técnico del Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes (2018), el 96.6% de los siniestros de tránsito a nivel nacional ocurrieron en zonas urbanas y suburbanas en 2016, por lo que se requiere de una política coordinada y con enfoque prioritario en ciudades para contrarrestar los impactos negativos de la inseguridad vial en la población y la economía. Si bien no existe una ley dedicada a la movilidad y la seguridad vial en México, la legislación actual permite a todos los niveles de gobierno actuar sobre esta problemática. En particular, la Ley General de Asentamientos Humanos menciona en su artículo 73:

“La Federación, las entidades federativas, los municipios y las Demarcaciones Territoriales deberán promover y priorizar en la población la adopción de nuevos hábitos de Movilidad urbana sustentable y prevención de accidentes encaminados a mejorar las condiciones en que se realizan los desplazamientos de la población, lograr una sana convivencia en las calles, respetar el desplazamiento del peatón y su preferencia, prevenir conflictos de tránsito, desestimular el uso del automóvil particular, promover el uso intensivo del transporte público y no motorizado y el reconocimiento y respeto a la siguiente jerarquía: personas con movilidad limitada y peatones, usuarios de transporte no motorizado, usuarios del servicio de transporte público de pasajeros, prestadores del servicio de transporte público de pasajeros, prestadores del servicio de transporte de carga y usuarios de transporte particular.”

Así, la mejora de la seguridad vial tiene que ser asociada de una promoción de la movilidad urbana sustentable y segura. Para ello, de acuerdo con Crotte y Peón (2019) y Leal y Vadillo (2015), las políticas deben atacar la problemática de las muertes y lesiones causadas por el tránsito de forma integral, con medidas complementarias en materia de:

- **Diseño vial seguro.** Un diseño legible puede indicar a todas las personas usuarias de la vía por donde y cómo circular, sin generar conflictos en su negociación del espacio. Las vialidades deben ser adecuadas para reducir las velocidades de las y los usuarios de vehículos motorizados -principal factor de riesgo en siniestros de tránsito- y priorizar la accesibilidad y seguridad de las personas más vulnerables, como niñas, niños, personas con discapacidad o movilidad limitada, peatones y ciclistas. Con ello, se disminuyen la probabilidad de que ocurran colisiones y atropellamientos o, en caso de que estos ocurran, la gravedad de los mismos, evitando lesiones graves y fallecimientos.
- **Regulación y aplicación.** Existen varias normas y reglamentos que inciden en la seguridad de las vías, los usuarios y los vehículos. A nivel federal, es urgente actualizar las normas técnicas de los vehículos comercializados en México, donde las normas de seguridad que rigen la industria automotriz son más laxas para vehículos destinados al mercado nacional que el exterior (El Poder del Consumidor, 2016). A nivel local, los gobiernos estatales y municipales tienen la responsabilidad de revisar y actualizar de su reglamentación del tránsito. Esta debe priorizar la seguridad de usuarias y usuarios más vulnerables, así como prohibir conductas de riesgo, con sanciones proporcionales al potencial letal de los diferentes modos de transporte; es decir, más estrictas para usuarias y usuarios de vehículos motorizados. Además, es fundamental que las autoridades hagan cumplir esta normatividad en las calles, por medio de funcionarias y funcionarios capacitados para su aplicación y del uso de herramientas y dispositivos como radares de velocidad o equipos de medición de alcoholimetría en conductores y conductoras.
- **Cultura de la movilidad.** La cultura de la movilidad se refiere a un conjunto de normas y comportamientos que permiten a las personas usuarias de la vía trasladarse de forma segura, eficiente y sostenible. Las autoridades deben buscar fomentarla entre sus habitantes, priorizando a las personas y no los modos de transporte que usan para sus traslados. Para ello, se pueden diseñar e implementar campañas de comunicación, programas de educación y proyectos comunitarios que difundan información suficiente sobre el uso de distintos modos de transporte, sus ventajas, desventajas, y las maneras sanas y seguras de que las personas convivan en las calles, independientemente de la forma de movilización que adopten.
- **Gestión de la seguridad vial.** Finalmente, las estrategias anteriormente mencionadas deben ser diseñadas e implementadas de forma coordinada entre niveles de gobierno e intersectorial, incluyendo a instancias de tránsito, salud, justicia, entre otras. Además, las políticas de seguridad vial deben estar basadas en evidencia y datos en materia de siniestralidad que permitan identificar puntos prioritarios de rediseño vial, factores de riesgo a atacar, entre otros elementos. Además de permitir la elaboración de diagnósticos sólidos, esta información permite a las autoridades competentes diseñar indicadores para el monitoreo y la evaluación de las acciones implementadas, y una mejor comunicación de resultados a la ciudadanía.

3.4 MITIGACIÓN DEL RUIDO

BRUIT-PARIF (s.f.) identifica distintas medidas para mitigar el ruido. Estas corresponden en su mayoría corresponden a las medidas necesarias para reducir las otras externalidades analizadas en este reporte, y apuntan al fomento de la movilidad urbana sustentable. Las principales son:

- **Reducción de las velocidades de vehículos motorizados y de los volúmenes de tráfico.** La disminución de la velocidad de 20 km/hr en un rango promedio de 90 a 130 km/hr permite disminuir el nivel sonoro entre 1.4 y 1.8 dB(A); en un rango de 50 a 90 km/hr, la misma reducción permite la disminución de 1.9 a 2.8 dB(A). Por ello, es necesario implementar medidas que reduzcan la velocidad de vehículos motorizados en zonas urbanas, como reducción de límites de velocidad permitida, zonas 30 y medidas de pacificación de tránsito, siempre y cuando sea acompañadas de estrategias de aplicación de la ley para asegurar que la velocidad real corresponda a la velocidad permitida. Además, la reducción del volumen de tráfico vehicular a la mitad permite reducir el nivel sonoro de 3 dB(A); con una disminución de 30% del volumen vehicular, la reducción de ruido es de 1.5 dB(A). Por ello, cualquier medida encaminada a reducir el reparto modal de automóviles y motocicletas y aumentar el de movilidad peatonal, ciclista y transporte público permite reducir la contaminación auditiva. En el caso del transporte público, si bien un autobús puede generar niveles de ruido similares a las de un vehículo motorizado particular, la contaminación auditiva por persona es aún así muy inferior. Así, todas las medidas de gestión de la demanda y de oferta de servicios e infraestructura para la movilidad urbana sustentable pueden contribuir a reducir la contaminación por el ruido en las ciudades mexicanas.
- **Cambios en y modernización del parque vehicular.** Los vehículos pesados y antiguos suelen generar mayor ruido. Por ejemplo, se estima que un vehículo de carga puede ser diez veces más ruidoso que un vehículo ligero, y los vehículos con motor eléctrico son menos ruidosos que otros a velocidades menores a 50 km/hr. Por ello, los programas de gestión de la circulación del transporte de carga que incluya elementos como restricción horaria, autorización de circular en ciertas vías y optimización de las rutas de entrega en centros urbanos. Asimismo los incentivos para la sustitución de vehículos de combustión interna públicos o privados por unidades eléctricas contribuye a la reducción de niveles de ruido en las ciudades. Sin embargo, como mencionado anteriormente, esta última medida no resuelve problemas de congestión o siniestralidad vial.
- **Sanción a vehículos ruidosos.** Conductores y conductoras de automóviles, motocicletas y unidades de transporte público pueden generar altos niveles de ruido debido al uso de dispositivos de advertencia sonora, a la falta de mantenimiento de sus vehículos, o hasta la modificación de sus escapes, como es frecuente entre motociclistas. Como se ha realizado en algunas ciudades a nivel global, los gobiernos locales mexicanos pueden tipificar en sus leyes y reglamentos este tipo de conductas como una falta administrativa, que sea sancionada económicamente.
- **Disminución de la exposición de la población.** En áreas prioritarias como escuelas, hospitales y zonas residenciales, es posible disminuir la exposición de la población al ruido con el aislamiento de edificios o la instalación de barreras acústicas. Estas soluciones caras y reactivas son sin embargo menos eficientes y sostenibles que las medidas de prevención anteriormente mencionadas.

Existen múltiples tipos de política pública para avanzar hacia un transporte terrestre sostenible en México, como la gestión de la demanda, la inversión en movilidad sustentable, la mejora de la seguridad vial y la mitigación del ruido en las ciudades. Debido al peso importante de estas externalidades en la sociedad mexicana, es urgente que los gobiernos locales y federal mexicanos adopten e implementen estas políticas, que ya han demostrado su efectividad en ciudades y países a nivel regional e internacional.

Además, La determinación del mejor camino de política a seguir requerirá de evidencia que apoye a las autoridades competentes y la sociedad en general en la toma de decisiones. En este sentido, alertamos los gobiernos mexicanos a nivel local y nacional sobre la urgencia de obtener datos confiables y desagregados de emisiones, muertes y lesiones causadas por el tránsito, así como de congestión y tiempos de traslado, con el fin de realizar estimaciones detalladas que permitan una toma de decisiones basada en evidencia, en beneficio de la población.



Conclusiones



4

A nivel global, existe un importante cuerpo de literatura sobre las afectaciones económicas, ambientales y sociales que genera el transporte terrestre. En este reporte, el ITDP, con el apoyo de ICM, se dio a la tarea evidenciar la magnitud estos impactos en México y sus 20 zonas metropolitanas más pobladas.

El principal hallazgo es la magnitud de los resultados obtenidos, que indican que cinco externalidades clave -contaminación del aire, emisiones de GEI, congestión, siniestros viales y ruido- podrían tener afectaciones al bienestar de México de aproximadamente 4% del PIB. En su conjunto, estos resultados indican que es urgente generar medidas e implementar políticas públicas que ayuden a mitigar estos costos, en favor de la sostenibilidad y la justicia ambiental en las ciudades mexicanas. Estas externalidades inciden de manera distinta en las 20 zonas metropolitanas más pobladas de México, indicando por lo tanto a las autoridades locales la necesidad de priorizar políticas públicas para reducir el impacto del transporte terrestre en la salud de su ciudadanía y contribuir a la lucha contra la crisis climática.

Las vidas perdidas y los daños a la salud, así como la pérdida de productividad y biodiversidad, tienen un costo económico tangible para la sociedad que justifica que las autoridades federales, estatales y municipales tomen acciones contundentes e inaplazables. Las políticas para responder a estos retos son conocidas y han mostrado su efectividad, tanto a nivel global como en ciudades mexicanas donde han sido introducidas. Incluyen medidas de gestión de la demanda y desincentivo del uso del automóvil y la motocicleta, inversión en mejor tecnología vehicular, mayor oferta de transporte sostenible, políticas integrales de seguridad vial, y acciones para la mitigación del ruido, como se argumenta en este reporte.

Un segundo hallazgo reside en las limitaciones del estudio, es decir la poca disponibilidad de datos con la que se contó para presentar los resultados anteriores. Por ejemplo, las redes de monitoreo atmosférico existentes en México arrojan datos de calidad desigual, debido a la falta de recursos humanos y financieros dedicados al registro, procesamiento y análisis de información sobre las concentraciones de contaminantes criterio. Sin esta información, las y los habitantes de las ciudades afectadas no podrán tener certeza de la magnitud del problema de la mala calidad del aire en su salud, e investigaciones como la presente seguirán arrojando resultados limitados y conservadores, respecto a la realidad del impacto del transporte en las ciudades mexicanas. Es por ello que alertamos a las autoridades sobre la necesidad de dedicar recursos a la generación de información confiable, un primer paso en el diseño de políticas públicas basadas en evidencia que puedan mitigar las externalidades del transporte terrestre en México.

Referencias

- AMIS (2018). Accidentes viales generan costos por más de 300 mil mdp al año. Revista AMIS. Disponible en: <https://www.dseguro.com/accidentes-viales-generan-costos-mas-300-mil-mdp-al-ano/>
- AMIS (2017). SESA 2017. AMIS. Disponible en: <http://www.amis.com.mx/amiswp/documentos-publicos/>
- Antón-Sarabia, A., & Hernández-Trillo, F. (2014). Optimal gasoline tax in developing, oil-producing countries: The case of Mexico. *Energy Policy*, 67, 564-571. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.058>
- Banco Mundial (2017). Datos de libre acceso del Banco Mundial. Grupo Banco Mundial. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/>
- Bell, M. L., Davis, D. L., Gouveia, N., Borja-Aburto, V. H., & Cifuentes, L. A. (2006). The avoidable health effects of air pollution in three Latin American cities: Santiago, Sao Paulo, and Mexico City. *Environmental Research*, 100, 431-440.
- Bhalla, K., Shahraz, S., Bartels, D., Lozano, R., & Murray, C. (2005). Road Traffic Injuries in Mexico, Harvard University Initiative for Global Health. Road Traffic Injury Metrics Group.
- Birol, F. (2017). CO2 Emissions from Fuel Combustion 2017 - Highlights. International Energy Agency. Disponible en: https://doi.org/10.1787/co2_fuel-2017-en
- Boer, E., & Schrotten, A. (2007). Traffic noise reduction in Europe: Health effects, social costs and technical and policy options to reduce road and rail traffic noise. Delft: CE Delft, Solutions for environment, economy and technology.
- Boraddus, A., Litman, T., & Menon, G. (2009). Gestión de la Demanda de Transporte. Eschborn, Alemania: GIZ. Disponible en: https://www.sutp.org/files/contents/documents/resources/H_Training-Material/GIZ_SUTP_TM_Transportation-Demand-Management_ES.pdf
- Brons, M., Christidis, P. (2012). External cost calculator for Marco Polo freight transport project proposals - Call 2012 version. JRC Scientific and Policy Reports. Luxembourg: European Commission.
- Brookes, D. M., Stedman, J. R., Grice, S. E., Kent, A., Walker, H., & Cooke, S. (2011). UK Modelling Under the Air Quality Directive (2008/50/EC) for 2010 Covering the Following Air Quality Pollutants: SO2, NOX, NO2, PM10, PM2.5, Lead, Benzene, CO, and Ozone. Harwell Oxford: AEA Technology plc.
- BRUITPARIF (s.f.). Les moyens de lutte contre le bruit routier. Bruitparif. Disponible en: <https://www.bruitparif.fr/les-moyens-de-lutte-contre-le-bruit-routier/>
- BRUIT-PARIF (2019). Health impact of transport noise in the densely populated zone of ile-de-France region. Saint-Denis: Centre d'évaluation technique de l'environnement sonore en Ile-de-France.
- BTRE (2007). Health impacts of transport emissions in Australia: Economic costs. Btre working paper 63. Canberra: Bureau of Transport and Regional Economics.
- Christidis, P., & Rivas, J. N. I. (2012). Measuring road congestion. Luxembourg: Institute for Prospective and Technological Studies, Joint Research Centre.
- Cravioto, J., Yamasue, E., Okumura, H., & Ishihara, K. N. (2013). Road transport externalities in Mexico: Estimates and international comparisons. *Transport Policy*, 30, 63-76. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.08.004>
- Creutzig, F. (2014). How fuel prices determine public transport infrastructure, modal shares and urban form. *Urban Climate*, 10(1), 63-76.
- Crotte, A., & Peón, G. (2019). Guía de intervenciones de bajo costo y alto impacto para mejorar la seguridad vial en ciudades mexicanas. Nota técnica del Banco Interamericano de Desarrollo IDB-TN-01504.

Davis, L. W. (2008). The Effect of Driving Restrictions on Air Quality in Mexico City. *Journal of Political Economy*, 116(1), 38–81. doi:10.1086/529398

DEFRA (2014). Environmental Noise: Valuing impacts on: sleep disturbance, annoyance, hypertension, productivity and quiet. Department for Environment Food & Rural Affairs.

Demir, E., Huang, Y., Scholts, S., & Van Woensel, T. (2015). A selected review on the negative externalities of the freight transportation: Modeling and pricing. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 77, 95-114. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.02.020>

El Poder del Consumidor (2016). ¿Por qué en México se venden autos inseguros? Disponible en: <https://elpoderdelconsumidor.org/2016/03/por-que-en-mexico-se-venden-autos-inseguros/>

Eliasson, J. (2009). A cost–benefit analysis of the Stockholm congestion charging system. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43(4), 468–80.

EPA (1999). The Benefits and Costs of the Clean Air Act 1990 to 2010. EPA Report to the congress. United States Environmental Protection Agency.

Eriksen, K. S. (2000). Calculating external costs of transportation in Norway. NECTAR Conference in Delft, The Netherlands.

ESRL (2014). NOAA In Situ Carbon Dioxide (CO₂) Measurements. Technical Report. National Oceanic and Atmospheric Administration.

European Environment Agency (2017). Managing exposure to noise in Europe. European Environment Agency. Disponible en: <https://doi.org/10.2800/338580>

Fernández-Bremauntz, A. F., Bracho, L. R., & Cervantes, M. G. T. (2005). Las partículas suspendidas en tres grandes ciudades mexicanas. *Gaceta ecológica*, 74, 15-28.

Fitzmaurice, C., Allen, C., Barber, R. M., Barregard, L., Bhutta, Z. A., Brenner, H., ... & Fleming, T. (2017). Global, regional, and national cancer incidence, mortality, years of life lost, years lived with disability, and disability-adjusted life-years for 32 cancer groups, 1990 to 2015: a systematic analysis for the global burden of disease study. *JAMA oncology*, 3(4), 524-548.

Forkenbrock, D. J. (1999). External costs of intercity truck freight transportation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33, 505–526.

Fulton, L., Mason, J., Meroux, D., Hughes, C., Gauthier, A., Lane, C., et al. (2017). Three Revolutions in Urban Transportation. UC Davis e ITDP. Disponible en: <https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2017/04/UCD-ITDP-3R-Report-FINAL.pdf>

Giuliano, G. (2013). Synthesis of freight research in urban transportation planning. NCFRP report, 23. Washington, D.C.: Transportation Research Board.

Givoni, M. (2012). Re-assessing the Results of the London Congestion Charging Scheme. *Urban Studies*, 49(5), 1089–105.

Gray, A. (2017). These are the cities with the worst noise pollution. World Economic Forum. Disponible en: <https://www.weforum.org/agenda/2017/03/these-are-the-cities-with-the-worst-noise-pollution/>

Hoehner, C. M., Barlow, C. E., Allen, P., & Schootman, M. (2012). Commuting distance, cardiorespiratory fitness, and metabolic risk. *American Journal of Preventive Medicine*. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2012.02.020>

Hoek, G., Krishnan, R. M., Beelen, R., Peters, A., Ostro, B., Brunekreef, B., & Kaufman, J. D. (2013). Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: A review. *Environmental Health: A Global Access Science Source*. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-43>

- IBI Group (1995). Full Cost Transportation Pricing Study. Final Report. Toronto: Transportation and Climate Change Collaborative.
- IMCO (2013). La contaminación del aire: un problema que daña la salud y la economía. Ciudad de México: Instituto Mexicano para la Competitividad A.C.
- IMCO (2018). Índice de Movilidad Urbana 2018: Barrios mejor conectados para ciudades más equitativas. Ciudad de México: Instituto Mexicano para la Competitividad A.C.
- INE (2003). The Local Benefits of Global Air Pollution Control in Mexico City. México: Instituto Nacional de Ecología.
- INECC (2016). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 2015. Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- INEGI (2015). Encuesta Intercensal 2015. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI (2018). Estadística de defunciones generales 2017. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/mortalidad/>
- INSP & INECC (2016). Estimación de impactos en la salud por contaminación atmosférica en la región centro del país y alternativas de gestión. México: Instituto Nacional de Salud Pública e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2018). Informe Nacional de Calidad del Aire 2017, México.
- INRIX (2018). Global Traffic Scorecard. Disponible en: <http://inrix.com/scorecard/>
- International Council on Clean Transportation (2018). Comentarios y recomendaciones del ICCT sobre el proyecto de modificación de la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013. Disponible en: <http://redcam.org/analisis-icct-de-nom-163-semarnat-ener-scfi-2013/>
- IPCC (2018). Global Warming of 1.5°C - Summary for Policymakers. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Ginebra, Suiza: World Meteorological Organization.
- ITDP (2012). Transformando la movilidad urbana en México: Hacia ciudades accesibles con menor uso del automóvil. Instituto de Políticas para el Transporte y Desarrollo México.
- Korzhenevych, A., Dehnen, N., Bröcker, J., Holtkamp, M., Meier, H., Gibson, G., ... Cox, V. (2014). Update of the Handbook on External Costs of Transport. Report for the European Commission, DG Mobility and Transport.
- Künzli, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M., Oberfeld, G., & Horak, F. (1999). Air Pollution Attributable Cases (Technical Report on Epidemiology) in Health Costs due to Road Traffic-Related Air Pollution - An Impact Assessment Project of Austria, France and Switzerland. Prepared for the Third WHO Ministerial Conference for Environment and Health, London, 1999.
- Leal, A., & Vadillo, C. (2015). Visión Cero: Estrategia integral de seguridad vial en las ciudades. Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo. Disponible en: <http://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/vision-cero2.pdf>
- Levinson, D. M., Gillen, D., & Kanafani, A. (1998). The social costs of intercity transportation: a review and comparison of air and highway. *Transport Reviews*, 18, 215–240.
- Ley General de Asentamientos Humanos (2016). Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGAHOTDU_140519.pdf
- Lindberg, G. (2002). Deliverable 9: Accident Cost Case Studies: External Accident Cost of Heavy Goods Vehicles. Technical Report. Luxemburg: European Commission.

- Litman, T. (2018). *Parking Management Best Practices*. Abingdon, Oxon; New York, NY: Routledge.
- Mahendra, A. (2011). Options for Travel Demand Management: Traffic Bans versus Pricing. Disponible en: <https://trid.trb.org/view/1116826>
- Maibach, M., Schreyer, C., Sutter, D., van Essen, H. P., Boon, B. H., Smokers, R., ... Bak, M. (2007). *Handbook on estimation of external costs in the transport sector*. Delft: CE Delft. Disponible en: <https://doi.org/07.4288.52>
- Marinelli, L. (2017). Approximate global noise pollution with OSM data and very simple noise model. No publicado. Disponible en: <https://github.com/lukasmartinelli/osm-noise-pollution>
- Martín, M. A., Tarrero, A., González, J., & Machimbarrena, M. (2006). Exposure–effect relationships between road traffic noise annoyance and noise cost valuations in Valladolid, Spain. *Applied Acoustics*, 67, 945–958.
- Mauch, S. P., & Rothengatter, W. (1995). *External Effects of Transport*. Technical Report. Paris: International Union of Railways.
- Miller, P., & Moffet, J. (1993). *The Price of Mobility: Uncovering the Hidden Costs of Transportation*. Technical Report. Washington, DC: Natural Resources Defense.
- Ministry of Transport (2019). *Social cost of road crashes and injuries 2018 update*. Wellington, New Zealand: Ministry of Transport.
- Miola, A., Paccagnan, V., Turvani, M., Andreoni, V., Massarutto, A., & Perujo, A. (2008). Review of the measurement of external costs of transportation in theory and practice. Joint Research Center of European Commission and Institute for Environment and Sustainability.
- Molina, L. T., & Molina, M. J. (2002). *Air Quality in the Mexico Megacity (Vol. 2)*. Dordrecht: Springer Netherlands. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/978-94-010-0454-1>
- Observatorio Ciudadano de Calidad del Aire (2019). Ruta urgente para mejorar la calidad del aire. Disponible en: <http://mexico.itdp.org/noticias/el-occa-propone-acciones-urgentes-a-las-autoridades-locales-y-federales/>
- OECD (2014). *The cost of air pollution: health impacts of road transport*. OECD. Disponible en: <https://doi.org/10.1787/9789264210448-en>
- Parry, I. W. H., & Timilsina, G. R. (2009). *Pricing Externalities From Passenger Transportation In Mexico City*. The World Bank. Disponible en: <https://doi.org/10.1596/1813-9450-5071>
- Piecyk, M., & McKinnon, A. C. (2007). *Internalising the External Costs of Road Freight Transport in the UK*. Technical Report. Edinburgh: Logistics Research Centre, Heriot-Watt University. Disponible en: [http://www.greenlogistics.org.uk/SiteResources/1fbb59ff-3e5a-4011-a41e-18deb8c07fcd-Internalisation%20report%20\(final\).pdf](http://www.greenlogistics.org.uk/SiteResources/1fbb59ff-3e5a-4011-a41e-18deb8c07fcd-Internalisation%20report%20(final).pdf)
- Ranaiefar, F., & Regan, A. (2011). Freight-transportation externalities. *Logistics Operations and Management - Concepts and Models*, 333-358. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385202-1.00016-5>
- Ricke, K., Drouet, L., Caldeira, K., & Tavoni, M. (2018). Country-level social cost of carbon. *Nature Climate Change*, 8(10), 895–900.
- Ríos, R. A., Vicentini, V. L., & Acevedo-Daunas, R. (2013). *Parking and Travel Demand Management Policies in Latin America*. Washington, D.C.: Inter-American Development Bank, Despacio y Institute for Transportation and Development Policy. Disponible en: <https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2014/07/Practical-Guidebook-Parking-and-Travel-Demand-Management-Policies-in-Latin-America.pdf>
- Rothengatter, W. (1994). Do external benefits compensate for external costs of transport? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 28(4), 321–328. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0965-8564\(94\)90006-X](https://doi.org/10.1016/0965-8564(94)90006-X)

Roy, R., & Braathen, N. (2017). The Rising Cost of Ambient Air Pollution thus far in the 21st Century: Results from the BRIICS and the OECD Countries. OECD Environment Working Papers, No. 124, OECD Publishing, Paris. Disponible en: <https://doi.org/10.1787/d1b2b844-en>

Sanson, T., Nash, C. A., Mackie, P. J., Shires, J., & Watkiss, P. (2001). Surface Transport Costs and Charges: Great Britain 1998. Final report for the Department of the Environment, Transport and the Regions. Institute for Transport Studies, University of Leeds. Disponible en: <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/STCC/downloads/SurfaceTransportCostsReport.pdf>

Santos, G., Behrendt, H., Maconi, L., Shirvani, T., Teytelboym, A. (2010). Part I: externalities and economic policies in road transport. *Research in Transportation Economics*, 28, 2–45.

Secretaría de Salud/STCONAPRA (2018). Informe sobre la Situación de la Seguridad Vial, México 2017. Ciudad de México: Secretaría de Salud/Secretariado Técnico del Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes.

Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (2018). Inventario de Emisiones de la Ciudad de México 2016. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire, Dirección de Programas de Calidad del Aire e Inventario de Emisiones. Ciudad de México.

SEDEMA (2016). Inventario de emisiones de la Ciudad de México. Contaminantes criterio, tóxicos y compuestos de efecto invernadero. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%2726Bhnml=%27&dc=Zg==>

Shoup, D. (2017). *The High Cost of Free Parking*. New York: Routledge. Disponible en: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781351178921>

SIKA (2003). The External Costs of Transport. SIKA Report 2004, 4. Disponible en: http://www.sikainstitute.se/Doclib/Import/104/sr_2004_4s.pdf

Spellerberg, I. F. (1998). Ecological effects of roads and traffic: a literature review. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 7(5), 317-333.

Trejo-González, A. G., Riojas-Rodríguez, H., Texcalac-Sangrador, J. L., Guerrero-López, C. M., Cervantes-Martínez, K., Hurtado-Díaz, M., de la Sierra-de la Vega, L. A., Zuñiga-Bello, P. E. (2019). Quantifying health impacts and economic costs of PM2.5 exposure in Mexican cities of the National Urban System. *International Journal of Public Health*, 64, 561-572. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00038-019-01216-1>

Universidad Autónoma Metropolitana (2011). Informe Técnico Final. Elaboración Del Primer Mapa de Ruido y Conformación de La Red Piloto de Monitoreo de Ruido Para La ZMVM.

Vergara, W., & Haeussling, H. (2007). *Transport and Climate: Lessons from the Partnership between Mexico City and the World Bank*. Latin America and Caribbean Region Sustainable Development Working Paper 29. Washington, DC: The World Bank.

WHO, Krzyzanowski, M., Kuna-Dibbert, B., & Schneider, J. (2005). Health effects of transport-related air pollution. Disponible en: <http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/health-effects-of-transport-related-air-pollution>

WHO (2006). *Air Quality Guidelines*. Global update 2005. World Health Organization.

WHO (2011). Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe. World Health Organization. Disponible en: https://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/e94888/en/

WHO (2016). *Ambient Air Pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*. World Health Organization. Disponible en: <https://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>

WHO (2018). Environmental noise guidelines for the European region. World Health Organization. Disponible en: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/publications/2018/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018>

WHO (2019). Global status report on road safety 2018. Disponible en: https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/

Wijnen, W., & Stipdonk, H. (2016). Social costs of road crashes: An international analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 94, 97–106. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.05.005>

Wöhrnschimmel, H., Zuk, M., Martínez-Villa, G., Cerón, J., Cárdenas, B., Rojas-Bracho, L., & Fernández-Bremauntz, A. (2008). The impact of a Bus Rapid Transit system on commuters' exposure to Benzene, CO, PM2.5 and PM10 in Mexico City. *Atmospheric Environment*, 42(35), 8194–8203. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.062>

Zhang A., Boardman, A. E., Gillen, D., & Waters, W. G. II (2005). Towards Estimating the Social and Environmental Costs of Transportation in Canada. Centre for Transportation Studies, University of British Columbia.

Anexo metodológico

Este anexo tiene el propósito de describir la metodología seguida en la elaboración de este reporte.

Los costos de las externalidades se han calculado utilizando alguna de las siguientes aproximaciones: Costos promedio (top-down) o costos marginales (bottom-up). Los costos marginales consideran condiciones y mediciones específicas para cada tipo de externalidad; por ejemplo, para la contaminación ambiental, se necesita conocer todos los vehículos que circulan en México y los kilómetros recorridos por cada uno, así como el tipo de combustible que utilizan y el factor de emisión para calcular las emisiones totales provenientes del transporte público. Las mediciones de costos marginales son más precisas y contienen un potencial para diferenciar al nivel más desagregado. Sin embargo, la generación, captura y procesamiento de este tipo de datos es relativamente costosa y los resultados son difíciles de agregar (Korzhenyevych et al., 2014; Maibach et al., 2007). Por otro lado, los costos promedio regularmente utilizan datos agregados a nivel nacional o estatal. Siguiendo el ejemplo anterior, se necesitan observar las emisiones totales y posteriormente asignar el porcentaje proveniente del transporte terrestre, lo cual nos permite asignar costos a nivel desagregado. En esta segunda metodología la recolección de datos generalmente es más simple (Korzhenyevych et al., 2014; Maibach, et al., 2007). La literatura sugiere utilizar costos marginales, sin embargo, en la práctica es aceptable utilizar cualquiera de los dos o incluso una mezcla de ambos, siempre y cuando los supuestos sean correctos.

A continuación se describen las fuentes de datos, precedentes y metodologías utilizadas para la estimación del impacto económico en contaminación del aire por PM_{2.5} y PM₁₀, gases de efecto invernadero, siniestros de tránsito, congestión, y ruido. En términos generales, se siguió la metodología desarrollada por Cravioto et al. (2013), que cuantifica estas externalidades para México. Esta metodología fue actualizada con los datos más recientes y adaptada para aprovechar nuevas herramientas disponibles cuando fue posible. El análisis se realizó a nivel nacional, y para una muestra de las 20 ciudades más pobladas del país.

1 Contaminación del aire

Para el cálculo de la contaminación del aire por material particulado, se optó por un cálculo de costos promedio en lugar de costos marginales. Esto se debe a la dificultad de conseguir datos desagregados sobre el parque vehicular de todo el país, la tecnología que utiliza cada vehículo, los kilómetros recorridos por cada unidad, así como información actualizada respecto a las hospitalizaciones o número de muertes asociadas directamente a la mala calidad del aire. La estimación por costos promedios se puede realizar debido a que conocemos los principales datos y parámetros necesarios de manera agregada.

Dado que el principal impacto del material particulado es afectar directamente a la salud, utilizamos la metodología propuesta por Künzli et al. (1999) y aplicada a México por Cravioto et al. (2013). Para ello se utilizaron tres parámetros principalmente: la concentración promedio anual de PM₁₀ y PM_{2.5}, el número de personas que fallecieron a nivel nacional por causas relacionadas a la exposición de dichos contaminantes y el valor estadístico de una vida (VEV). Las concentraciones promedio se obtuvieron del Banco Mundial (2017), quienes reportan una concentración de PM_{2.5} promedio anual para México de 26 µg/m³ y 54 µg/m³ para PM₁₀.

Para las muertes se utilizaron los datos de mortalidad publicados por INEGI (2018), el cual reporta las defunciones a nivel nacional en certificados o actas de defunción y el cuaderno para defunciones accidentales y violentas del Ministerio Público por todas las causas y se identifican según la Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud (CIE-10). Sólo se tomaron en cuenta aquellas muertes relacionadas con causas ambientales clasificadas por Hoek et al. (2013) y Nguyen et al. (2017) -como cáncer de pulmón, enfermedades cardiovasculares y cardiopulmonares- lo cual nos dio un total de 156 mil 416 muertes en 2017. A modo de comparación, el Instituto de Métricas y Evaluación de la Salud. (IHME por su acrónimo en inglés) reporta que en 2017 murieron en México un total de 161 mil 783 personas por enfermedades relacionadas a la contaminación ambiental. En el presente estudio, se decidió utilizar los datos del INEGI porque contienen información adicional sobre la persona fallecida como edad, sexo, municipio y otros. El valor estadístico de una vida (VEV) es una métrica que se utiliza para representar el valor monetario de la pérdida de una vida, sin embargo, existe bastante variabilidad sobre el valor, por ejemplo, el INSP e INECC (2016) indican que el valor ronda entre 211,000 y 1,750,000 dólares. Dada la importancia del parámetro en los resultados, se hizo una extensa investigación, así como consultas con expertos y se decidió utilizar el valor superior reportado por Herrera, R. & Belausteguigoitia, J. (2017), que una vez que se ajusta por inflación es de 373,982 dólares.

El costo externo de la contaminación del aire (CE_{CA}) es representado por la ecuación 1, que consta de tres parámetros. N que representa el número de muertes anuales atribuibles al sector transporte por la emisión de PM_{2.5}, VEV es el valor estadístico de una vida y MM que representa un factor de mortalidad-morbilidad.

$$CE_{CA} = \frac{N \cdot VEV}{MM} \quad (1)$$

La morbilidad (la incidencia de enfermedades), así como la mortalidad, significan un costo importante para la sociedad. Para poder calcular los costos de la morbilidad por inhalación de partículas $PM_{2.5}$, es necesario conocer los registros detallados de los ingresos y egresos de hospitales, con el fin de tomar en cuenta solamente aquellos casos que ingresaron por enfermedades relacionadas con la contaminación de esta fuente y conocer el estado en el que egresaron. Otra fuente son las encuestas en hogares. Si bien estos datos no están disponibles para México de manera pública, Cravioto et al. (2013) menciona que, dada la dificultad de obtener estos datos, es relativamente aceptado en la literatura académica que la tasa de mortalidad-morbilidad (MM) ronde entre 0.7 y 0.8, es decir por cada tres personas que fallecen por las causas presentadas en el cuadro 2, hay una persona con una enfermedad proveniente de las mismas causas. En este estudio se tomó MM igual a 0.75.

Para estimar el número de muertes anuales por PM_{2.5}, se utilizó la ecuación 2, donde F es el porcentaje de PM_{2.5} emitido por el transporte terrestre, Pe representa el número total de muertes registradas con alguno de los rubros de la Clasificación Internacional de Enfermedades en su décima edición (CIE-10) presentadas en la tabla 1. E es la concentración promedio anual de PM_{2.5}, B es la concentración de fondo (background concentration) y el parámetro 1.062, proviene de (Hoek et al., 2013) que estima que la probabilidad de morir por PM_{2.5} incrementa en 6.2% por cada 10 µg/m³ de exposición adicional.

$$N = FP e \left(1 - \frac{1}{1 + \left[\frac{(1.062-1)}{10} (E-B) \right]} \right) \quad (2)$$

1.1.1 Bases de datos y parámetros

Para conocer las muertes que podrían estar relacionadas a la exposición por PM_{2.5} a nivel nacional se utilizó la Base de Datos de Mortalidad del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en la cual se reportan todas las defunciones a nivel nacional en certificados o actas de defunción y el cuaderno para defunciones accidentales y violentas del Ministerio Público.¹³ Se tomaron en cuenta aquellas que están relacionadas a la contaminación del aire, Nguyen et al. (2017) presenta las causas de muerte que podrían estar relacionadas a exposición de PM₁₀ y PM_{2.5} con la CIE-10, las cuales se presentan en la tabla a1.

Tabla a1: Muertes relacionadas a la contaminación del aire en México

Nombre	Clasificación CIE-10	Nombre	Número de personas fallecidas a nivel nacional
Cáncer de pulmón	C33	Tumor maligno de la tráquea	30
	C340	Tumor maligno del bronquio principal	7019
	C341	Tumor maligno del lobulo superior, bronquio o pulmón	
	C342	Tumor maligno del lobulo medio, bronquio o pulmón	
	C343	Tumor maligno del lobulo inferior, bronquio o pulmón	
	C348	Lesión de sitios contiguos de los bronquios y del pulmón	
	C349	Tumor maligno de los bronquios o del pulmón, parte no especificada	
Enfermedades cardiovasculares	I00-I02	Fiebre reumática aguda	13
	I05-I09	Cardiopatías reumáticas crónicas	494
	I10	Hipertensión arterial esencial	6583
	I11-I15	Enfermedades hipertensivas	7725
	I21-I22	Infarto agudo de miocardio	93455
	I20, I23-I25	Otras cardiopatías isquémicas.	7566
	I26	Embolia pulmonar	1709
	I44-I49	Desórdenes de conducción y arritmias cardíacas	1561
	I50	Insuficiencia cardíaca	6203
	I27-I43, I51-I52	Otras enfermedades del corazón	1581
	I60-I62	Hemorragia subaracnoidea	3380
	I63	Infarto cerebral	3981

	164	Apoplejía (No especificada como hemorragia o infarto)	7464
	165-169	Otras enfermedades cerebrovasculares	4423
	170	Aterosclerosis	193
	173	Otras enfermedades vasculares periféricas	321
	174	Embolia arterial y trombosis	268
	171-172, 177-179	Otras enfermedades de arterias, arteriolas y capilares.	1287
	180-182	Flebitis, tromboflebitis, embolias y trombosis venosas	495
	183	Varices de las extremidades inferiores	119
	184	Hemorroides	0
	185-199	Otras enfermedades del sistema circulatorio	546

Fuente: Elaboración propia

En 2017 hubo en todo el país 156,416 muertes relacionadas a las causas presentadas en la tabla a1. Este número es cercano al reportado por el instituto para la medición y evaluación de la salud (IHME por sus siglas en inglés), el cual menciona que en México murieron aproximadamente 161,783 personas por enfermedades relacionadas a la contaminación del aire. Incluso cuando la medición se realiza con metodologías distintas el número de muertes es similar. La ventaja de utilizar los datos del INEGI radica en que estos se presentan datos a nivel localidad, lo cual permite hacer un análisis con mayor nivel de desagregación.

Para las estimaciones a nivel nacional se utilizó la concentración promedio anual de $PM_{2.5}$ reportada por el Banco Mundial (BM), y para el cálculo de las 20 ciudades, se utilizaron las mediciones de los monitores fijos del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA). Dada la dificultad para encontrar datos de las concentraciones de fondo -o no antropogénicas- se recurrió a otros estudios suponiendo que dichos parámetros se comportan de forma similar a otras ciudades europeas, japonesas y canadienses. Se tomó el valor de $2.2 \mu g/m^3$ de $PM_{2.5}$ estimado por Koyama and Kishimoto (2001) para Japón, y que es muy similar al reportado por Kunzli et al. (2000) para ciudades europeas.

El valor estadístico de una vida humana es un parámetro que comúnmente se utiliza para cuantificar el impacto de las muertes en términos económicos.¹⁴ El valor estadístico de una vida (VEV) es una métrica que se utiliza para representar el valor monetario de la pérdida de una vida, sin embargo, existe bastante variabilidad sobre el valor, por ejemplo, el INSP e INECC (2016) indican que el valor ronda entre 211,000 y 1,750,000 dólares. Dada la importancia del parámetro en los resultados, se hizo una extensa investigación, así como consultas con expertos y se decidió utilizar el valor superior reportado por Herrera, R. & Belausteguigoitia, J. (2017), que una vez que se ajusta por inflación es de 373,982 dólares.

F es el porcentaje de $PM_{2.5}$ emitido por el transporte terrestre, dada la dificultad de obtener dicho parámetro a nivel nacional se utilizó el reportado en el Inventario de Emisiones de la Ciudad de México 2016, el cual menciona que las fuentes móviles fueron responsable del 56% de las emisiones de $PM_{2.5}$.

Este mismo análisis se realizó para las 20 ciudades más pobladas del país. Las concentraciones promedio se observan en la tabla XX, los datos fueron tomados de los monitores fijos del SINAICA, sin embargo, cuando los datos no estaban disponibles se recurrió a asignar el promedio nacional, como el caso de Acapulco. Para calcular el número de personas que tuvieron una muerte prematura se filtró la base de datos del INEGI por los municipios de la ZM correspondiente donde se registró el fallecimiento y los demás parámetros se mantuvieron iguales. Es decir, $MM=0.75$, $F=0.56$, la probabilidad de morir por exposición a $10 \mu g/m^3 = 6.2\%$ y la concentración de fondo = 2.2.

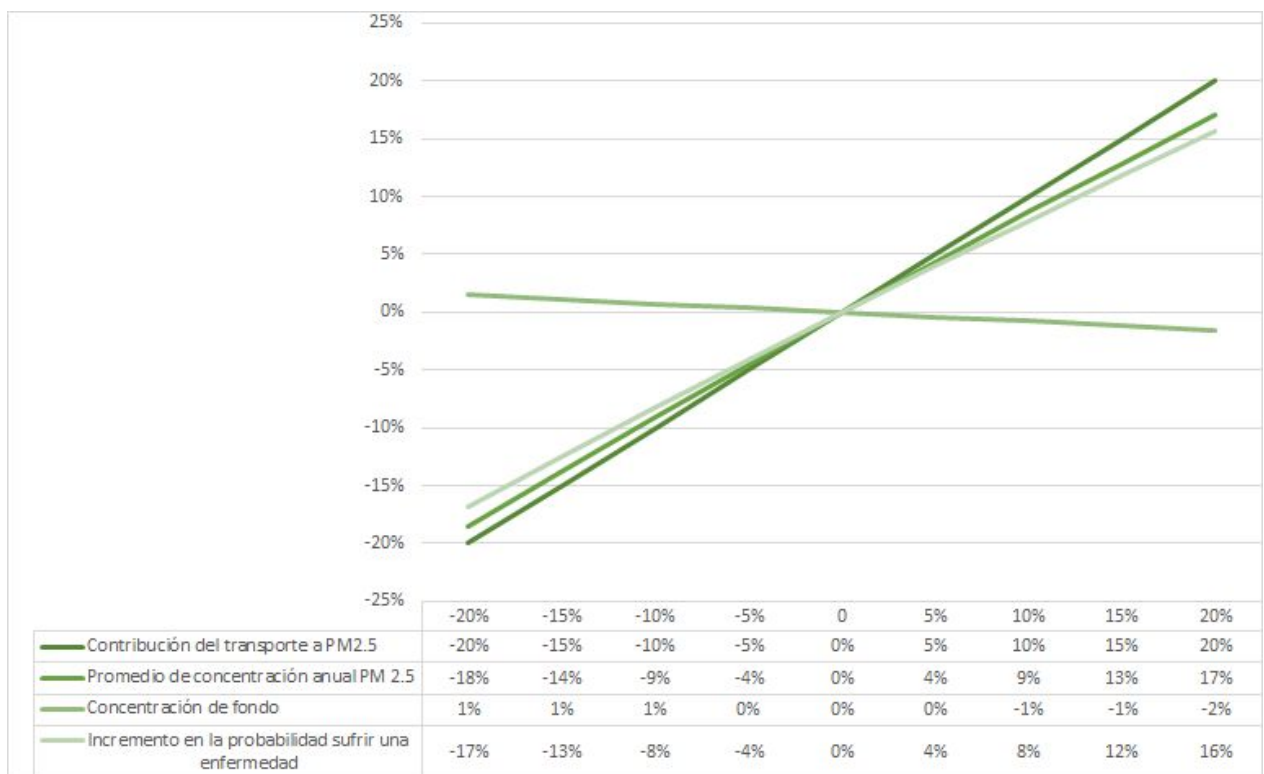
Tabla a2: Concentración anual promedio de PM_{10} y $PM_{2.5}$

Zona Metropolitana	Promedio anual de concentraciones de PM_{10} ($\mu g/m^3$)	Promedio anual de concentraciones de $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)
Aguascalientes	71	29
Tijuana	42	17
Saltillo	39	16
Chihuahua	64	26
Valle de México	65	27
León	83	34
Acapulco	40	16

Guadalajara	87	36
Toluca	80	33
Morelia	53	22
Cuernavaca	43	18
Monterrey	82	34
Puebla-Tlaxcala	52	21
Querétaro	53	22
Cancún	53	22
San Luis Potosí-Soledad de graciano Sanchez	52	21
Villahermosa	34	14
Tampico	50	21
Veracruz	49	20
Mérida	32	13

Se realizó un análisis de sensibilidad paramétrica con el fin de determinar la variabilidad en los resultados. Se encontró que variaciones del 20% en los principales parámetros implican variaciones de menos del 20% en los resultados, a excepción del parámetro relacionado a la contribución de PM2.5 por el transporte terrestre, el cual varía en 20%. Esto nos permitió obtener rangos en los resultados y detectar aquellos parámetros que contribuyen a una variación mayor en los resultados y aquellos que no. En la gráfica a1 se puede observar la variación en los resultados por una variación en el parámetro, por ejemplo, si se varía la concentración de fondo en un -20% los resultados solamente varían en un 1%.

Gráfica a1: Análisis de sensibilidad paramétrica



1.2 Gases de efecto invernadero (CO2)

Para calcular el costo externo proveniente de la emisión de gases de efecto invernadero (CE_{GHG}), se utilizó la ecuación 3. T_{Co2e} representa las toneladas emitidas por el sector transporte de dióxido de carbono y C_{Co2e} representa el costo marginal social por cada tonelada emitida.

$$CE_{GHG} = T_{Co2e} * C_{Co2e} \quad (3)$$

1.2.1 Bases de datos y parámetros.

El Inventario Nacional de Emisiones criterio publicado por el INECC reporta las toneladas de contaminantes emitidas por cada tipo de fuente de manera anual. En 2015, el año con datos más recientes, se estima que el transporte terrestre emitió 170,000,000 toneladas a nivel nacional. (INECC, 2017). Para el costo social por tonelada de Co2 emitida se utilizó el superior calculado por Ricke et al. (2018), que fluctúa entre los 8.44 y los 41 USD por tonelada para México con errores estándar entre 0.022 y 0.038. Este estudio estima contribuciones a nivel país del costo social de carbono utilizando proyecciones climáticas recientes y evidencia empírica sobre el daño económico causado por fenómenos climáticos.

Aun cuando el CO2e es un gas de efecto global y, por ende, las emisiones tienen un efecto en todo el mundo sin importar donde se emita, es importante, conocer la cantidad de toneladas emitidas por el transporte terrestre en cada zona metropolitana. Se obtuvieron datos de la Secretaría de Energía (SENER) sobre el consumo de gasolinas y diesel a nivel estatal y se corrió un modelo estadístico para relacionar el PIB estatal con el consumo de gasolina y posteriormente se pronosticó el consumo de gasolina con el PIB a nivel zona metropolitana, una vez conociendo el consumo de gasolina y diesel se asumió¹⁵ que cada litro de gasolina emite 2.31 kg de CO2 y cada litro de diésel emite 2.61 kg de CO2 aproximadamente. Con las toneladas emitidas por cada ZM y el costo por tonelada se calculó el costo externo de cada ZM.

Se realizó análisis de sensibilidad paramétrica para ser consistentes, sin embargo, al ser una multiplicación lineal si se incrementa una variable en 20% los resultados varían en la misma proporción. Sin embargo, nos permitió obtener rangos que podrían ser atribuibles a la calidad e incertidumbre de los datos.

1.3 Siniestros

Para el cálculo de las externalidades negativas relacionadas con siniestros de tránsito, es necesario conocer el número de personas fallecidas por esta causa, y la cantidad de personas que fueron lesionadas de manera leve y grave. Sin embargo, no todas las personas lesionadas representan una externalidad pues algunos conductores internalizan dichos costos al contratar un seguro. Debido a esto para el cálculo de las externalidades por siniestros viales se debe restar el monto total que pagaron las aseguradoras para atender, compensar y apoyar a las personas involucradas en un siniestro.

El costo externo de los siniestros de tránsito (CE_S) se determinó conforme a la ecuación 4. Donde n_f representa el número de fallecidos por siniestros viales, v_f es el valor estadístico de una vida humana, n_i es el número de lesionados por siniestros viales y V_i es el factor de costo por cada lesión, el subíndice i distingue entre la gravedad los incidentes leves y severos. A_0 es un parámetro que representa otros costos y finalmente I , refleja los pagos totales realizados por compañías de seguros a clientes que tuvieron alguna lesión. Este último parámetro es sustraído para considerar que hay gastos de los incidentes que ya han sido internalizados..

$$CE_S = n_f * V_f + n_i * V_i + A_0 - I \quad (4)$$

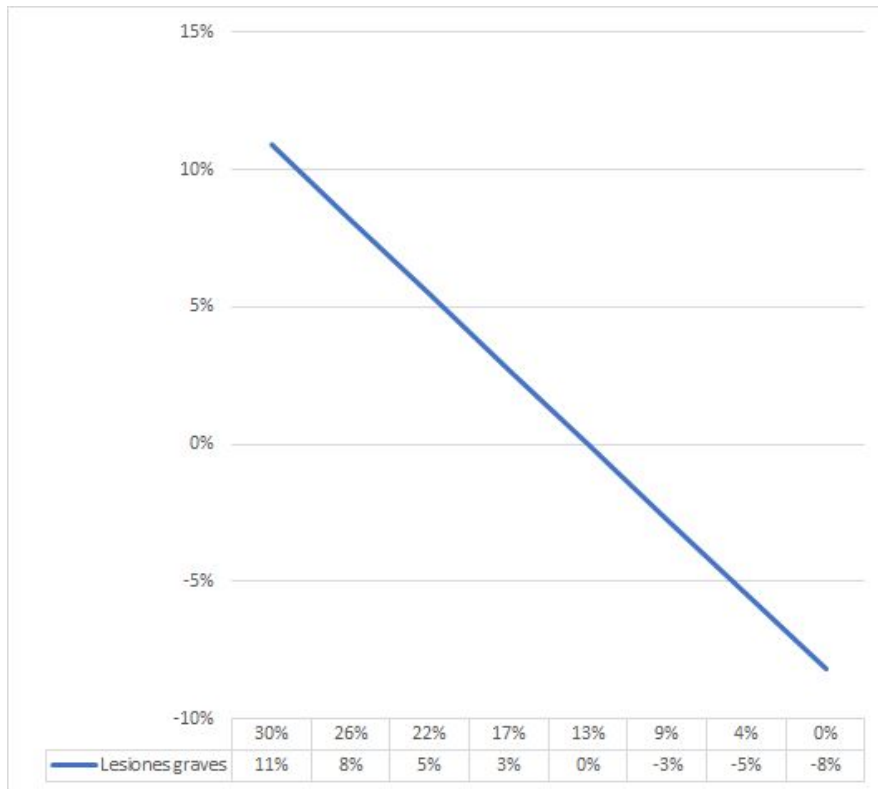
1.3.1 Bases de datos y parámetros.

El Informe sobre la Seguridad Vial 2017 (Secretaría de Salud/STCONAPRA, 2018) reporta que en 2016 fallecieron 16,185 personas por siniestros viales, siendo una de las principales causas de defunción en el país. Por otro lado, el IHME contabiliza 20,170 personas fallecidas por siniestros viales en 2017. Se consideró este último dato en las estimaciones. En México no existen datos desagregados sobre los lesionados leves o graves, por lo cual se supuso que el 13% del total de lesionados fueron lesionados severos y 87% leves, como siguiendo a Cravioto et al. (2013). Se tomó un costo social para una lesión leve y de una lesión grave de 1% y de 13% del VEV respectivamente, como recomienda la Comisión Europea (Korzhenyevych et al., 2014). A estos costos se deben restar los recursos que se destinan para compensar a los lesionados o muertos, este dato se obtuvo de la suma de lo pagado por responsabilidad civil de personas, responsabilidad civil límite único combinado, gastos médicos de ocupantes, gastos legales, responsabilidad civil de personas (fallecimiento), responsabilidad civil en exceso y responsabilidad civil obligatoria de los siguientes siniestros: atropello, colisión, maniobras de carga o transportación y volcaduras que se reporta la Agencia Mexicana de la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS/CNSF,2017).

Para el cálculo de las 20 ciudades se recurrió a la base de datos de mortalidad del INEGI (2018) y se filtró por municipio aquellas muertes prematuras relacionadas a un siniestro de tránsito y para los lesionados se utilizó el dato estatal reportado por la Secretaría de Salud/STCONAPRA (2018), el número total de lesionados podría tener un efecto directo pues se podría estar sub o sobreestimando los costos por siniestros viales debido a que los datos no tienen permiten conocer si el lesionado fue grave o leve.

Se realizó análisis de sensibilidad paramétrica a la proporción de lesionados graves y leves que se supuso. En la gráfica a2 se observa que si se incrementa el porcentaje de lesionados graves a 30% entonces los resultados incrementan en un 11%. Esto nos permitió obtener rangos en los resultados.

Gráfica a2: Variación en los resultados de variar la proporción de lesionados graves.



Fuente: Elaboración propia.

1.4 Congestión

El costo externo generado por congestión (CE_{cong}) se obtuvo con la ecuación 5. Se calculó de manera separada el costo generado por congestión urbana y por otra el costo por congestión interurbana. El primero, se representa por la ecuación (6), donde TEV representa el tiempo extra de viaje anual expresado en horas y Salario es el salario promedio por hora. El TEV se calcula multiplicando la población que se desplaza (POB) por las horas que adicionales (H) que esa población pasa en el tráfico durante un año, en relación a una situación sin congestión. Para el costo interurbano se utilizó el TEV y el un promedio del valor del tiempo para viajes de motivo de trabajo y recreacionales.

$$CE_{cong} = CE_{cong_{interurbana}} + CE_{cong_{urbana}} \quad (5)$$

$$CE_{cong_{urbana}} = TEV * Salario \quad (6)$$

Donde $TEV = POB * HORAS$

1.4.1 Bases de datos y parámetros.

El costo externo de la congestión generado por el transporte terrestre se expresa como el tiempo adicional que se pierde en cada viaje debido a la saturación de la red vial. INRIX (2018) reporta el número de horas al año que una persona pierde en promedio al año por la congestión para una muestra de ciudades mexicanas: Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey, Tijuana, Ciudad Juárez, Acapulco, Mexicali, Mazatlán, Chihuahua, Cancún, Hermosillo, Oaxaca, Veracruz, Villahermosa y Guadalupe. Utilizamos estos datos como medida de congestión para estas ciudades y para las ciudades de interés no reportadas utilizamos un modelo de regresión lineal para aproximar el nivel de congestión en función del número de autos registrados per capita, esta variable es considerada un buen predictor para los niveles congestión (Ke, 2016). El modelo reportó una R^2 ajustada de 0.8426 y las variables utilizadas fueron significativas con un nivel del 95% de confianza.

Una vez que se conoce cuánto tiempo pierde la gente que viaja al año es necesario conocer la cantidad de personas que es afectada por la congestión vial en cada ciudad. Para esto se utilizó la Encuesta Intercensal 2015 llevada a cabo por el INEGI, de donde se contabilizaron las personas que utilizan algún medio de transporte que podría ser afectado directamente por la congestión, es decir, no se contabilizaron

aquellas personas que solamente caminaron, utilizaron bicicleta o el metro. El salario es el último parámetro necesario para realizar este cálculo, y se obtuvo el salario promedio de cada ciudad con los datos reportados por el Instituto Mexicano para la Competitividad en el Índice de Movilidad Urbana 2018. (IMCO, 2018)

Dada la dificultad para obtener datos sobre congestión interurbana, se supuso que el costo externo de dicha congestión representaba el mismo porcentaje de la congestión urbana que reporta la investigación de Cravioto et al. (2013), es decir, 5%.

En este caso, los rangos en los resultados se obtuvieron a partir de incluir los errores estándar de los principales parámetros.

1.5 Ruido

Las externalidades del ruido se calcularon utilizando la ecuación $\{CE_{\text{ruido}}\}$. Donde C_{dB} representa el costo por decibel, $POB_{afectada_i}$ representa la población expuesta al nivel de ruido i , L_i representa los decibeles en promedio y finalmente L^0 representa el límite máximo recomendado por la OMS.

$$CE_{\text{Ruido}} = C_{dB} * \sum_{i=1}^n POB_{afectada_{L_i}} * (L_i - L^0) \quad (7)$$

1.5.1 Bases de datos y parámetros.

Siguiendo a Martinelli (2017), definimos tres niveles (tolerable, molesto e inaceptable), en función de los umbrales de afectación definidos por la OMS en 2018. Para estimar el valor de los impactos en la población expuesta, tomamos un factor de costo por cada dB, siguiendo la metodología utilizada por BRUIT-PARIF (2019), que toma la recomendación de la OMS (2018) de medir el impacto a través de la pérdida de años de vida ajustados por discapacidad (DALY por sus siglas en inglés), y asume un coeficiente para relacionar la exposición al ruido con el deterioro de la salud. En la Tabla 6 se muestra la versión simplificada de los umbrales de afectación definidos por la OMS, y el impacto en salud estimado por BRUIT-PARIF (2019).¹⁶

Población expuesta

Para estimar el nivel y alcance del ruido de las vías, se utilizaron datos de Open Street Maps (OSM), una base de datos abierta que contiene información sobre la red vial a nivel nacional. Clasificamos cada vía del país contenida en la base de OSM, y le adjudicamos un nivel y alcance del ruido generado tomando como base las estimaciones de Martinelli (2017). En la tabla 7 se presentan el nivel de ruido generado por cada tipo de vía y alcance según la clasificación de OSM. Se estima que, por ejemplo, una autopista genera más de 65 decibeles a 60 metros, entre 55-65 decibeles a 220 metros, y finalmente entre 45 y 55 decibeles a 500 metros.

Valoración económica de los años de vida perdidos

Finalmente, podemos calcular el valor económico de los años de vida perdidos ajustados por discapacidad. Este concepto es similar al de VEV, y nos da un valor del impacto económico a causa de las afectaciones a la salud. Para convertir DALY a un valor económico, es necesario multiplicarlo por el valor económico por año de vida (VEAV). Este número es complejo de calcular, ya que varía considerablemente por periodo, por tipo de persona, y las estimaciones varían bastante en la literatura (BRUIT-PARIF, 2019). BRUIT-PARIF (2019) propone un valor de 50 mil euros por VEAV para Europa, considerado un número bajo y conservador.

Debido a que no se pudo encontrar este valor para México, calculamos de manera simple el valor de un año de vida saludable con los datos del VEV de Herrera, R. & Belausteguigoitia, J. (2017). Suponiendo un valor de descuento de 5% anual y que el promedio de vida en México es de 78 años, para calcular el valor promedio de un año de vida. Esto nos da un valor de 9,542 dólares por año saludable de vida.

Para estimar el costo social del ruido causado por el transporte terrestre, es necesario conocer la cantidad de personas expuestas y el nivel de impacto que este fenómeno tiene sobre su bienestar. Debido a que no existen datos desagregados de ruido en las ciudades de México, se recurrió a la metodología propuesta por Lukas Martinelli (2018), en la cual se estima el nivel de ruido que afecta a una persona según la distancia a la que se encuentre de cierto tipo de vía (primaria, secundaria, local, etc.). Estos niveles fueron estimados para Suiza, por lo que se estima que debido a la composición de la flota vehicular en ambos países, podría ser mayor en México. Debido a esto, las estimaciones presentadas deben ser tomadas como resultados preliminares, y serán afinados a medida que exista más información disponible.

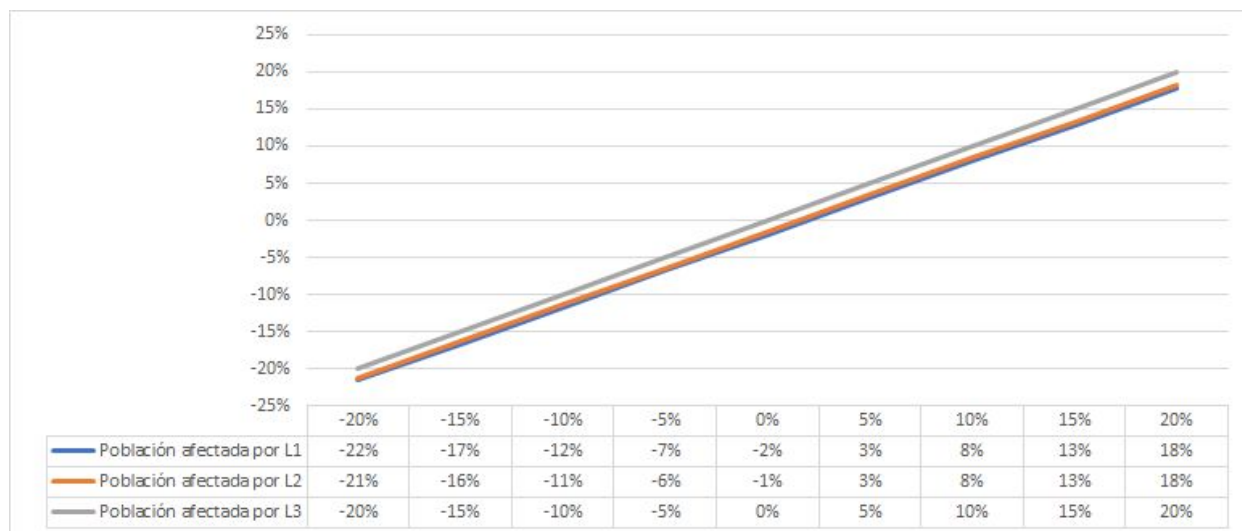
Para calcular la cantidad de población afectada a cada nivel de ruido se crearon buffers de cierto diámetro en función del tipo de vía con las etiquetas que vienen por default en Open Street Maps¹⁷. La metodología¹⁸ considera tres niveles de ruido como se muestra en la tabla XX y 5 tipo de vías. Una vez que se generaron los búferes que representan el nivel de ruido percibido desde cada vía, se contabilizó la población que se localiza dentro de cada uno de ellos utilizando datos del INEGI (2010) a nivel de área geoestadística básica (AGEB). Finalmente, para conocer

el valor económico de esta externalidad, adaptamos el costo por decibel propuesto por BRUIT-PARIF (2019), que relaciona los “años de vida saludable” perdidos a causa de distintos niveles de ruido.

Para el cálculo de las 20 ciudades simplemente se contabilizó a las personas dentro de cada ZM, los demás parámetros permanecieron constantes.

Se realizó un análisis de sensibilidad paramétrica a la cantidad de población afectada por cada nivel de ruido y los resultados muestran que si se varía la cantidad afectada por L1 en un 20% los resultados varían en un 22%.

Gráfica a3: Variación en los resultados de variar las población afectada.



Cuadro 3: Decibeles y etiquetas

Zona	dB
L1	65
L2	55-64.9
L3	45-54.9

Cuadro 4: Etiquetas de OSM y ancho de buffers

Tipo de vialidad	L1	L2	L3
Autopista	60m	220m	500m
Arteria principal	50m	190m	400m
Primaria	35m	160m	300m
Secundaria		80m	125m
Terciaria		35m	65m

Dificultades de la estimación

El cálculo de las externalidades presentado es un ejercicio de cuantificación valioso, aunque presenta limitaciones metodológicas y en la disponibilidad de datos que merecen ser discutidas. Esta sección presenta algunas de estas limitaciones, de calidad en los datos y parámetros utilizados para la estimación de cada una de las externalidades provenientes del transporte terrestre, así como la forma en cómo estas podrían afectar los resultados. Se busca transparentar los supuestos tomados y las adaptaciones metodológicas realizadas, y también para traer a la discusión la calidad de la información disponible. La disponibilidad de información actualizada es sin duda la principal dificultad para generar estimaciones más robustas a nivel nacional y zona metropolitana.

La contaminación ambiental es medida en el territorio nacional por monitores fijos en 34 sistemas de monitoreo de la calidad del aire (SMCA). Sin embargo, muchos de estos no cuentan con la tecnología para medir cierto tipo de contaminantes e incluso cuando se cuenta con la tecnología, se carece de información suficiente y eficiente para la correcta medición. Por ejemplo, solo 58% de las estaciones de monitoreo atmosférico en el país tienen tecnología para medir PM2.5 y de éstas, sólo el 47% generó información de calidad (INECC, 2018). Tuvimos que suponer que la lectura de un monitor era la misma para toda la ciudad, esto podría tener problemas debido a la localización de las fuentes emisoras en relación a los monitores, sin embargo, es la única fuente de información que se tiene sobre emisiones de este tipo. El porcentaje de las emisiones totales que proviene del transporte terrestre se supuso que era igual al porcentaje reportado para la Ciudad de México (SEDEMA, 2018), la única fuente nacional para la que se localizó esta información. Podrían existir ciudades con un mayor o menor porcentaje, lo cual podría implicar que estamos sobreestimando o subestimando los costos externos del transporte terrestre.

Las toneladas de CO2 emitidas por el transporte terrestre están contabilizadas con mayor confiabilidad por el INECC. Sin embargo, el factor del costo de cada tonelada emitida sigue siendo discutido hoy en día por la academia en la literatura científica. El factor del costo oscila entre 3.5 USD y 41 USD, del escenario más optimista al más pesimista de acuerdo con Ricke, K et. al., (2019) lo cual evidentemente incide en los cálculos del costo externo.

Para el cálculo de los siniestros de tránsito, se recurrió a la base de datos de mortalidad del INEGI. Esta base de datos se reportan las personas fallecidas por siniestros viales, sin embargo, estos datos podrían estar sub-reportados dada la falta de seguimiento de las personas accidentadas, así como los protocolos locales para la recuperación de esa información. La forma de capturar y clasificar los datos de los heridos no permite saber si fueron heridas graves o leves, lo cual limita el cálculo de las externalidades. Es muy importante que en un futuro estos datos se presenten de manera desagregada y con estándares nacionales, con el fin de poder realizar un análisis más robusto y proponer políticas públicas acorde a la gravedad de las lesiones causadas por el tránsito. Como prueba de las inconsistencias, la zona metropolitana de Veracruz reportó solamente 16 muertos por siniestros de tránsito, a pesar de que reportó 4 mil 669 lesionados por esta causa, una relación que indica que los datos deberían ser considerados con cautela.

Hoy en día, se cuenta con datos cada vez más detallados sobre la congestión, principalmente reportada por empresas privadas, las cuales analizan datos de GPS (Global positioning system) capturados a través de teléfonos móviles (por ejemplo, Waze, Google Maps, TomTom, o INRIX). A partir de estos datos se pueden medir la velocidad promedio y obtener medidas detalladas de los niveles de congestión. Sin embargo, estas empresas no cubren todos los desplazamientos en automóvil por lo que sus datos podrían estar sub reportados al no poder mapear todo el país. En este caso, tomamos datos de INRIX (2018) e hicimos una aproximación para las 20 zonas metropolitanas más pobladas. La disponibilidad de estos datos a las autoridades y la sociedad sería de gran beneficio para conocer los niveles de congestión y aplicar medidas mejor focalizadas, como cargos en función de la congestión. En este estudio se hizo el supuesto de que las personas realizan dos viajes al día, de lunes a viernes, y que pierden la misma cantidad de tiempo en cada uno. Esto podría subreportar los resultados, pues no consideramos los viajes para fines de semana, en los cuales las personas también pierden tiempo de vida por la congestión.

Para calcular el nivel de ruido proveniente del transporte terrestre, se tuvo que recurrir a analizar las vías terrestres dada la dificultad de observar el ruido que generan todas las unidades terrestres que circulan por el país. Analizar las vías representa algunos problemas, como el suponer que el nivel de ruido es constante durante todo el año, no tomar en cuenta las condiciones urbanas que podrían ayudar a mitigar el ruido como árboles o parques, o capturar adecuadamente a la población expuesta a este fenómeno. Sin embargo, al utilizar datos abiertos, tiene sus costos también, como la veracidad y solidez técnica de los datos. Es necesario validar esta metodología con mediciones en campo o otras fuentes nacionales, por ejemplo, el mapa de ruido generado por la UAM (2011).

La necesidad de datos desagregados y de calidad debe ser una prioridad con el fin de informar de mejor manera las políticas públicas y que estas contribuyan a reducir las externalidades provenientes del transporte terrestre. La generación y difusión de este tipo de evidencia es fundamental para alertar a las autoridades sobre la urgencia de obtener datos desagregados, con el fin de realizar estimaciones más precisas que sirvan para el desarrollo de más y mejores políticas públicas.

Aunado a estos problemas están otros supuestos aplicados a la metodología de cálculo. Por ejemplo, se utilizaron parámetros de otras fuentes y que en algunos casos fueron calculados para otros países. Esta práctica es común en situaciones de escasez de datos (Cravioto et al. 2013). Algunos parámetros como el VEV o los DALY, también presentan variaciones importantes en la literatura. Se buscó siempre la información más actualizada y realizar las adaptaciones necesarias al contexto de México. Acompañando a este reporte, hay un documento metodológico más detallado. Debido a la baja disponibilidad de datos, sin embargo, no se pudo cuantificar una serie de externalidades clave del transporte, incluyendo los impactos de uso de suelo y la infraestructura.

