INECC

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO

La mitigación de gases de efecto invernadero en sistemas de transporte público eléctrico tipo “Cablebús” y su impacto social

La Mitigación de Gases de Efecto Invernadero en sistemas de transporte público eléctrico tipo Cablebús y su impacto social

Elaboración: 2022

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)
Coordinación General de Mitigación del Cambio Climático

Diseño y Formación

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
Fotografía de autoría propia

Directorio Institucional

Dr. Agustín Ávila Romero
Director General de Políticas para la Acción Climática, SEMARNAT y Encargado de Despacho de la Dirección General del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Dra. Claudia Alejandra Octaviano Villasana
Coordinación General de Mitigación del Cambio Climático

Ing. Eduardo Olivares Lechuga
Subdirector de Economía Industrial y de la Energía

M. en Ing. Eunice Cortés Alfaro
Jefa de Departamento de Vinculación y Esquemas Financieros

Elaboración, edición, revisión y supervisión:

Dra. Claudia Alejandra Octaviano Villasana
Coordinación General de Mitigación del Cambio Climático

Ing. Eduardo Olivares Lechuga
Subdirector de Economía Industrial y de la Energía

M. en Ing. Eunice Cortés Alfaro
Jefa de Departamento de Vinculación y Esquemas Financieros

Julia Field
MIT Summer Researcher

Citar este documento como:
Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2022. La Mitigación de Gases de Efecto Invernadero en sistemas de transporte público eléctrico tipo Cablebús y su impacto social.

D. R. © Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Diciembre 2022. Boulevard Adolfo Ruíz Cortines No. 4209 Col. Jardines en la Montaña, Alcaldía Tlalpan, Ciudad de México C.P. 14210. https://www.gob.mx/inecc

Contenido

Resumen ejecutivo **8**

Teleféricos en Latinoamérica **10**

Medellín, Colombia: Metrocables 10
La Paz, Bolivia: Mi Teleférico 11
Beneficios de los teleféricos 12
Desventajas de los teleféricos 12

Análisis del Mexicable en Ecatepec **13**

Preguntas de Investigación: 13
Hipótesis: 13
Ecatepec: Factores Demográficos y Ambientales 14
Mexicable 16
Lo Básico 16
Recepción del público 16
Conexión al transporte existente 17
Análisis del comportamiento de los viajes en la zona "Teleférico Ecatepec" 18
Emisiones y mitigación del cambio climático 21
Análisis: Impacto en los GEI del transporte público que es complementado/desplazado 22
Extensión del Mexicable 25
Cablebús 26

Recomendaciones **28**

Referencias **30**

Notas de la Metodología **33**

Descripción Modelo MOVES-México 33
MOVES 34
Adecuación de MOVES-México: 37
Referencias Moves 40

Tablas y Figuras

Tabla 1. Datos de INEGI, 2017 18
Tabla 2. Pares Origen-Destino, INEGI 2017 19
Tabla 3. Viajes realizados en un día por la población 22
Tabla 4. Factores de emisión, INEGyCEI 23
Tabla 5. Factores de emisión por pasajero, elaboración propia 23
Tabla 6. Estimación de pasajeros anuales, elaboración propia 23
Tabla 7. Estimación de reducción de emisiones anuales, elaboración propia 24
Tabla 8. Emisiones provenientes de fuentes móviles en el Estado de México. Tomado de Secretaria de Medio Ambiente del Gobierno del estado de México (2018) 24
Tabla 9. Flota vehicular estimada para el Estado de México y kilómetros recorridos, año 2016. Tomado de (INECC) 25
Tabla 10. MOVES México vs MOBILE 6.2 México 36
Tabla 11. factores de adecuación para la CDMX 38
Tabla 12. Distribución por tipo de camino 38
Tabla 13. Distribución mensual de viajes en el país 39

Figura 1. Mi Teleferico in La Paz, Bolivia. 11
Figura 2. Pro-Aire's Air Quality for ZMVT and ZMCT, ... 14
Figura 3. Inventario de Emisiones del Estado de México, Fuente: (ProAire 2018) 15
Figura 4. Índice EJ de la Línea de Mexicable en Ecatepec,, Fuente: Sergio Castellanos y Jimmy Mahady 15
Figura 5. Zonas usadas por la “Encuesta Origen-Destino de INEGI, 2017 17
Figura 6. Origen de los viajes. Datos de INEGI 2017 20
Figura 7. Propósito de los viajes. Datos de INEGI 2017 20
Figura 8. Horas de inicio de los viajes. Basado en datas de INEGI 2017 20
Figura 9. Distribución por edad. Basado en datas de INEGI 2017 21
Figura 10. Generación de energía eléctrica por tecnología. Fuente: ProAire, Estado de México, 2018 21
Figura 11. Ubicación línea 1 Mexicable: Hank González Mexicable con Tlalnepantla (Mexibús) Mexicable - estación Indios Verdes (Metro) 26
Figura 12. Ubicación línea 2 Mexicable: San Martín y la multimodal Mexipuerto - Cuatro Caminos 26
Figura 13. Recorrido de la línea 1 Mexicable 27
Figura 14. Ubicación línea 3 Mexicable 27
Figura 15. Ubicación línea 4 Mexicable 27
Figura 16. Ejemplo de las emisiones de COV y NOx en 3 diferentes ciudades de USA ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 17. Porcentajes de reducción de contaminantes de las ciudades A,B y C 35

RESUMEN EJECUTIVO

En Medellín, Colombia y La Paz, Bolivia se han implementado sistemas de teleférico exitosos que no solo han demostrado que estos sistemas de transporte contribuyen a la reducción de emisiones y de contaminantes, sino que también contribuyen a la justicia ambiental y social, por ejemplo, en el caso de La Paz existen diez líneas que atienden alrededor de 160,000 pasajeros diarios (Mi Teleférico, 2018) y se han reducido los tiempos de viaje hasta en un 22 % (Yañez-Pagans et al 2018). Se estima que el proyecto reducirá aproximadamente 8,000 toneladas al año de emisiones y ahorrará 3 millones de litros de gasolina al año.

Los beneficios identificados son además de la reducción de emisiones, contribuyen a reducir el ruido debido a que son sistemas que son silenciosos, reducen los tiempos de traslado, no requiere la destrucción de la infraestructura existente y el desplazamiento de personas, mejoran el acceso a puestos de trabajo, mejoran la zona donde son instalados, a menudo ofrecen una alternativa más segura que el transporte a pie de calle y pueden ser detonantes para la mejora de los barrios que atraviesa. Sus desventajas están asociadas a la tecnología y las condiciones climáticas, sus limitaciones son su baja velocidad, la vulnerabilidad al viento, las cortas distancias que recorren, su "contaminación visual" y, en caso de dificultad técnica, dificultad para rescatar a las personas atrapadas en los teleféricos.

Este estudio explora como podría impactar el sistema Mexicable, en Ecatepec en la reducción de emisiones en el sector transporte. También busca identificar que medios d transporte desplazará, como se relaciona con otras rutas de transporte público, como impacta en los tiempos de viaje para los usuarios en Ecatepec y cuál será su impacto social una vez integrado con otros medios de transporte.

La ruta de 4.8 kilómetros que recorre Mexicable toma alrededor de 17 minutos de principio a fin, con cinco paradas entre La Cañada y Santa Clara. Y recorre una zona se encuentra en una zona con un Índice de Justicia ambiental muy alto por la gran carga respecto de la calidad del aire, la densidad del tráfico, las cargas de contaminación, los casos de asma y la demografía social. La construcción del sistema costó alrededor de 1,702 millones de pesos mexicanos, o alrededor de $90 millones de dólares estadounidenses. De acuerdo con la "Encuesta Origen Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México" (INEGI 2017), Mexicable representa solo el 0.02% de todos los viajes en el área metropolitana de la Ciudad de México. De los viajes en transporte público en la zona Teleférico Ecatepec: 92% son microbús/colectivo, 29% son metro y 7% son Mexibús. En general, el 36% de los viajes en transporte público son multimodales.

Para realizar la estimación de las emisiones evitadas por la implementación del sistema del Mexicable, se utilizaron los datos de pasajeros por día (21,000 usuarios promedio de lunes a sábado y 14,000 los días domingo) y en función de los datos de

la encuesta origen-destino de la Zona Metropolitana del Valle de México 2017 se distribuyeron los viajes de esos usuarios en transporte público y privado. También se consideraron los tiempos promedio que las personas se desplazan y se utilizó una velocidad promedio de 12 km/h. Se calculó una distancia promedio de 21.9 kilómetros para los usuarios de transporte público y con esto se estimaron las emisiones evitadas al año por los usuarios. Se estimaron 1,347,921 usuarios del sistema Mexicable, que antes utilizaban vehículos particulares. La reducción de emisiones corresponde a los viajes evitados por 1,347,921 personas al año que en promedio recorren 21.9 kilómetros al día. **La reducción por implementación del Mexicable fue de 6,315 [t CO_2e/año].**

Uno de los puntos de interés social identificado es que las mujeres representan el 43% de todos los usuarios del transporte público en Teleférico Ecatepec, pero tienen un número de usuarios ligeramente superior en el Mexicable, alrededor del 46% de todos los usuarios. El número de pasajeros femenino ligeramente superior podría estar relacionado con el hecho de que el Mexicable ofrece mayor seguridad a los pasajeros que los microbuses, donde los pasajeros son propensos a los robos.

TELEFÉRICOS EN LATINOAMÉRICA

El "**transporte propulsado por cable**" urbano, también conocido como góndolas o teleféricos, está ganando popularidad en todo el mundo, especialmente en América Latina. Históricamente, se han utilizado para el esquí alpino o el turismo, pero en algunos contextos pueden funcionar como transporte público.

Medellín, Colombia: Metrocables

Dos de los ejemplos más famosos y exitosos de sistemas de teleférico como transporte público se encuentran en Medellín, Colombia y La Paz, Bolivia. En 2004, Medellín construyó el primer sistema de teleférico aéreo de transporte público en América Latina (Yañez-Pagans et al 2018). El sistema, conocido como Metrocables, atrajo elogios en todo el mundo por ayudar a conectar "áreas urbanas de bajos ingresos y alta densidad" con áreas más céntricas de la ciudad (Brand, Dávila 2011:648). Metrocables ha reducido mucho el tiempo de viaje; la primera línea, la Línea K, redujo el tiempo de viaje de una hora a 15 minutos y transporta a 30,000 personas diariamente (Brand, Dávila 2011:656).

Existe evidencia de que Metrocables ha ayudado a reducir la violencia en los vecindarios (Cerdá 2011), conectar a los residentes de bajos ingresos con el acceso al trabajo a lo largo de las líneas de transporte público (Bocarejo et al 2014), crear oportunidades económicas cerca de las paradas (Bocarejo et al 2014) y mejorar la integración urbana en general (Brand, Dávila 2011, Goodship 2015). Si bien Brand y Dávila argumentan que los autobuses convencionales y los peatones continúan siendo el principal medio de transporte en las áreas donde existe Metrocables, según su informe, solo el 10% de todos los viajes se realizan con Metrocables y quienes lo toman son predominantemente trabajadores del sector formal. Sin embargo, postulan que el sistema tuvo un enorme significado político y simbólico (2011:657).

Se esperaba que el proyecto ahorrara 121,029 toneladas de dióxido de carbono entre 2010 y 2016 (Dávila, Daste 2012:3). Estas estimaciones se basan en la reducción de las emisiones de los medios de transporte alternativos (minibuses, taxis y jeeps) y las bajas emisiones del sistema de teleférico de propulsión hidroeléctrica. El sistema de Metrocables también reduce las tasas de monóxido de carbono y dióxido de azufre en la región. (Para más información sobre la metodología, ver "FORMULARIO DE DOCUMENTO DE DISEÑO DE PROYECTO (CDM-SSC-PDD) - Versión 03", CMNUCC página 12-16). Una estimación de la ONU cita que el proyecto ha reducido las emisiones en 20,000 toneladas de dióxido de carbono al año (ONU-Habitat, 2018).

La Paz, Bolivia: Mi Teleférico

Metrocables inspiró proyectos similares en Caracas, Venezuela, Cali, Colombia, Ciudad de México, Río de Janeiro, Brasil y La Paz, Bolivia (Yañez et al 2018: 24). El teleférico de La Paz, Mi Teleférico, ha formado la columna vertebral del sistema de transporte público de la ciudad.
Mi Teleférico conecta a la población más rica y blanca de La Paz con la vecina "El Alto", una ciudad empobrecida con una gran población indígena. La Paz está en un valle, mientras que El Alto está en lo alto de un acantilado empinado sobre el valle. A pesar de su ubicación próxima, solo unos pocos caminos atraviesan el acantilado entre El Alto y La Paz, y estos caminos a menudo están congestionados. La construcción de nuevas carreteras o medios de transporte es difícil debido a la topografía empinada y la infraestructura existente (Winter et al 2016). Dados estos desafíos, un sistema de teleférico era una opción de transporte público ideal. Mi Teleférico ha reducido el tiempo de viaje entre una estación en El Alto y La Paz de dos horas a dieciséis minutos (Winter et al 2016).

Existe un gran interés por comprender mejor el impacto que tienen los teleféricos en las áreas predominantemente de bajos ingresos a las que sirven. En 2018, el BID publicó una propuesta de estudio para realizar un análisis econométrico en Mi Teleférico para comprender los efectos del sistema en los modos de transporte, la duración de los viajes y las tasas de empleo. Planean utilizar un enfoque de valores instrumentales para estimar los efectos del tratamiento promedio local de aquellos que salen cerca de una estación de teleférico.

Hoy existen diez líneas que atienden alrededor de 160,000 pasajeros diarios (Mi Teleférico, 2018). En general, según los informes, ha reducido los tiempos de viaje hasta en un 22 % (Yañez-Pagans et al 2018). Según un informe del gobierno de 2016, se estima que el proyecto reducirá las emisiones en 8,000 toneladas al año y ahorrará 3 millones de litros de gasolina al año.

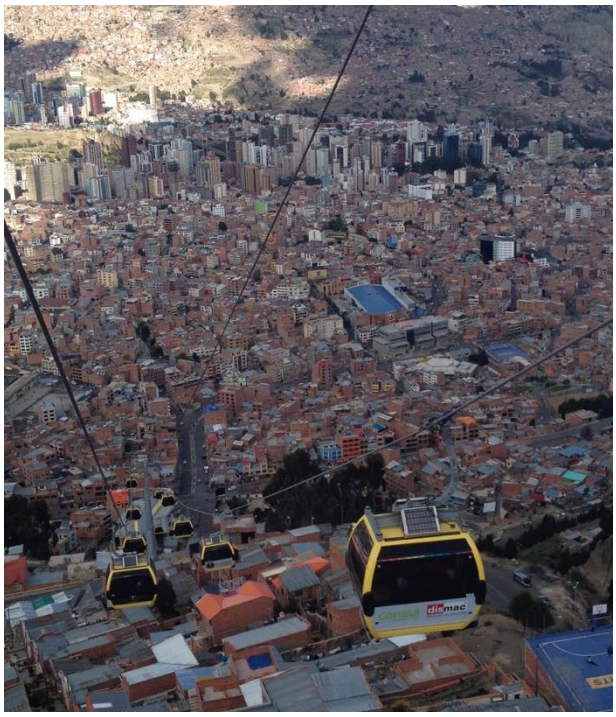


Figura 1. Mi Teleférico en La Paz, Bolivia.
Fuente: (Mi Teleferico,2018)

El proyecto Mi Teleférico también se ha combinado con un gran esfuerzo para plantar árboles cerca de las estaciones (Mi Teleférico, 2015).

Beneficios de los teleféricos

Los teleféricos funcionan con electricidad, por lo que tienen bajas emisiones de gases de efecto invernadero y no emiten gases de escape (Tezak et al 2016:1). Los teleféricos suelen incluir paneles solares para ayudar a alimentar las luces y la comunicación dentro de los coches. Los teleféricos tienen una alta calificación de seguridad y bajas emisiones de ruido. Lo que es más importante, ofrecen una forma asequible de transporte que ayuda a los viajeros a volar por encima del tráfico y atravesar geografías desafiantes, a menudo reduciendo significativamente los tiempos de viaje. Los proyectos son políticamente favorables porque la construcción de infraestructura no requiere la destrucción de la infraestructura existente y el desplazamiento de personas, como otros grandes proyectos de transporte. Los proyectos de Teleférico también se pueden completar con relativa rapidez (The Economist 2017).

También hay varios beneficios sociales: los proyectos de teleférico a menudo mejoran el acceso a puestos de trabajo, mejoran los distritos comerciales inmediatamente próximos a las paradas (Brand, Dávila 2011; Bocarejo, et al. 2014), a menudo ofrecen una alternativa más segura que el transporte a pie de calle, como anécdota, han aumentado el orgullo de la comunidad y hay alguna evidencia de que reducen la incidencia de delitos (The Economist 2017; Cerdá et al 2011). Los sistemas a menudo se convierten en atracciones turísticas en sí mismos, atrayendo mayor atención y tráfico peatonal a las paradas de teleférico y áreas cercanas, ayudando a desestigmatizar los barrios marginados a los que dan servicio (Silva, Castañeda 2009).

A veces los teleféricos están relacionados con la implementación de otras infraestructuras. Después de la construcción de Metrocables, el gobierno implementó proyectos de desarrollo de barrios que construyeron nuevas viviendas y escuelas (Dávila, Daste 2012:3). (De hecho, los desarrollos de los vecindarios han sido una variable de confusión al estudiar los beneficios positivos del sistema de Metrocables).

Desventajas de los teleféricos

Sin embargo, los sistemas de teleférico están lejos de ser una panacea; son ideales cuando complementan otros modos de transporte público y cuando se utilizan para atravesar geografías desafiantes, como vías fluviales o laderas de montañas. Algunas de sus limitaciones son su baja velocidad, la vulnerabilidad al viento, las cortas distancias que recorren (normalmente sólo 7 kilómetros), su “contaminación visual” y, en caso de dificultad técnica, dificultad para rescatar a las personas atrapadas en los teleféricos (Tezak et al. al 2016:4). Finalmente, es crucial que los teleféricos se planifiquen de manera que complementen otras formas de transporte público. La mayoría de los sistemas de teleférico no pueden reemplazar otras formas de transporte público, como autobuses, trenes o subterráneos, porque su capacidad de transporte es mucho menor. La mayoría de las líneas pueden mover un máximo de 4000 personas por hora (Tezak et al 2016:3-4). Algunos sistemas, como el de Londres, no están conectados al transporte público y tienen pocos pasajeros (O'Sullivan 2016).

También es importante ser consciente del papel del desplazamiento que cualquier gran proyecto de infraestructura puede tener, tanto en su construcción como en su operación. Aunque la construcción de un sistema de teleférico es mucho menos intrusiva que otros proyectos de transporte público, es importante involucrar a la comunidad local. En Medellín, se contrató a habitantes locales para trabajar en las cuadrillas de construcción y el municipio implementó un presupuesto participativo para ayudar a determinar cómo se utilizarían los fondos de inversión alrededor de las paradas de Metrocables (Dávila, Daste 2012:2).

Al igual que con cualquier proyecto de transporte público, existe el temor de que los valores de propiedad alrededor del nuevo proyecto puedan causar el desplazamiento de inquilinos de bajos ingresos y pequeñas empresas. Hasta el momento, los estudios en Medellín no han encontrado evidencia de que esto haya ocurrido.

ANÁLISIS DEL MEXICABLE EN ECATEPEC

El objetivo del siguiente análisis es comprender mejor los impactos de Mexicable en Ecatepec, México. Estamos principalmente motivados para comprender los beneficios de mitigación del cambio climático del proyecto porque el transporte público es una prioridad en la política de mitigación.

Preguntas de Investigación:

- ¿Cómo impacta el sistema de teleférico, Mexicable, en Ecatepec en las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector transporte?
- ¿Qué medios de transporte reemplaza el teleférico? ¿Cómo se relaciona el proyecto con/complementa otras rutas de transporte público?
- ¿Cómo ha impactado Mexicable en el comportamiento de viaje en Ecatepec?
- ¿Cuáles son las implicaciones de justicia ambiental de Mexicable? ¿Se han considerado factores de justicia ambiental en la ubicación de las paradas y rutas del teleférico Cablebus?

Hipótesis:

- El teleférico probablemente ayudará a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con el sector del transporte y aumentará el acceso de movilidad a lo largo de las rutas de Mexicable.
- Para ser un sistema efectivo, las rutas de Mexicable deben ofrecer una alternativa viable y más sostenible al modo de transporte actual y enlace con el transporte público existente. Suponemos que debería haber una

ligera disminución en la contaminación del aire en las inmediaciones de las rutas de Mexicable y que el sistema reducirá las emisiones de carbono del transporte.

Ecatepec: Factores Demográficos y Ambientales

Al igual que los proyectos de Medellín y La Paz, el municipio atendido por Mexicable tiene un alto nivel de marginación social y contaminación ambiental. Mexicable se encuentra en Ecatepec de Morales, una ciudad de 1,677,678 dentro del Estado de México (INEGI, 2015). El área ha crecido rápidamente desde la década de 1980 y es el municipio más poblado del país (Crónica Presidencial Oct 2016; El País 2016). Es una población relativamente marginada, alrededor del 40% vive en la pobreza y el 10% se identifica como indígena (CONEVAL 2010).

Ecatepec tiene una reputación de delincuencia y violencia, incluidas altas tasas de feminicidio. Muchos lo consideran uno de los municipios más peligrosos de México (NACLA 2019). Debido en parte a la rápida urbanización de la ciudad, ha sido difícil para el gobierno planificar y construir servicios e infraestructura pública adecuados para la población. Alrededor del 40% de la población no tenía acceso a la atención de la salud cuando se encuestaron en 2010 y el 32% de los mayores de 15 años no completó la escuela secundaria (CONEVAL 2010).

Los estudios ambientales del Estado de México consideran a Ecatepec como parte de la populosa "Zona de Cuautitlán-Texcoco" (ZMCT). Entre 2010 y 2015, la población en ZMCT creció un 7% mientras que la propiedad de vehículos aumentó un impactante 90% (ProAire 2018:40, gráfico pág. 44).

En general, la infraestructura de transporte público es escasa, según el informe Pro-Aire del Estado (2018: 123). La calidad del aire en la región es cada vez más mala. En 2017, el 66,6% de los días fueron "días de mala calidad del aire" mientras que el 30% de los días fueron de condición "regular" (ProAire 2018:95).

Tabla 2.12 Comparación de calidad del aire entre ZMVT y ZMCT para 2017

Condición	Criterio (IMECA)	Días (ZMVT)	Días (ZMCT)
Buena	0 – 50	0 (0%)	9 (2.4%)
Regular	51 – 100	126 (34.5%)	108 (29.6%)
Mala	101 – 150	232 (63.6%)	243 (66.6%)
Muy mala	151 – 200	5 (1.4%)	5 (1.4%)
Extremadamente mala	>200	2 (0.5%)	0 (0%)

Fuente: Elaboración propia con información de la RAMA-ZMVT y el SIMAT

Figura 2. Pro-Aire's Air Quality for ZMVT and ZMCT, **Fuente:** (ProAire 2018)

Las fuentes móviles agregan la mayor cantidad de NOx y CO a la atmósfera en ZMCT, como se muestra en la tabla y el gráfico de barras a continuación. El informe ProAire identifica formas de reducir las emisiones de fuentes móviles proporcionando alternativas al transporte no motorizado, controlando o restringiendo las emisiones, mejorando la planificación del desarrollo urbano y la red de transporte público, y centrándose en el transporte de bajas emisiones y reduciendo el uso de vehículos per cápita (p. 250-251).

Tabla 3.2 Inventario de Emisiones del Estado de México, 2006 (ton/año)

Fuente	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_X	COV	NH_3
Fuentes puntuales	1,595	272	15,144	1,131	3,258	4,586	10
Fuentes de área	625	554	5,362	1	5,690	173,900	11,134
Fuentes móviles	2,271	2,040	1,827	1,614,611	373,787	622,219	2,454
Fuentes naturales	4,466	491	-	-	-	-	-
Total estatal	**8,957**	**3,357**	**22,333**	**1,615,743**	**382,735**	**800,705**	**13,598**

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM, 2007b)

Figura 3. Inventario de Emisiones del Estado de México.
Fuente: (ProAire 2018)

Mapeando el índice de justicia ambiental (EJ) creado por Sergio Castellanos y Jimmy Mahady, la Figura 4 muestra que las paradas de teleférico están casi todas en el percentil 80 del índice, o en áreas de alta carga. El índice considera la calidad del aire, la densidad del tráfico, las cargas de contaminación, los casos de asma y la demografía social.

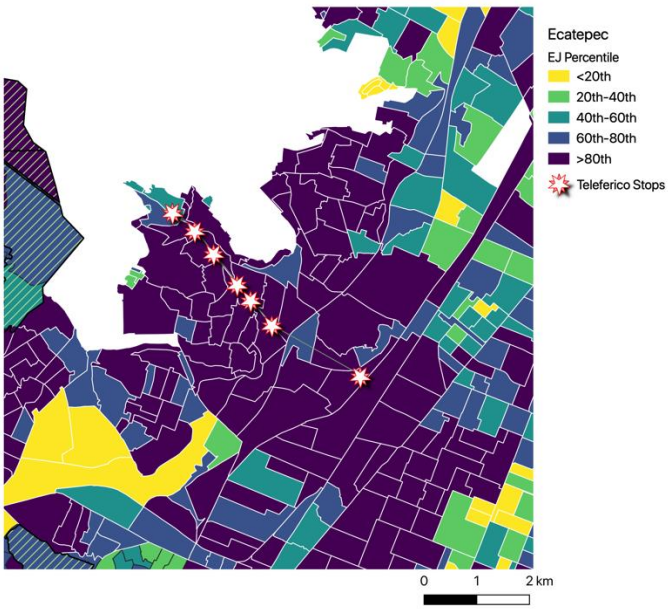


Figura 4. *Índice EJ de la Línea de Mexicable en Ecatepec.*
Fuente: Sergio Castellanos y Jimmy Mahady

Mexicable

Lo Básico

La ruta de 4.8 kilómetros que recorre Mexicable toma alrededor de 17 minutos de principio a fin, con cinco paradas entre La Cañada y Santa Clara. Esta es una mejora en la ruta de minibús/combi que sigue un camino similar que, debido a la congestión del tráfico y la topografía empinada, puede tomar de 40 a 80 minutos (Crónica Presidencial Oct 2016). El pasaje también es más económico, el Mexicable cuesta 7 pesos mientras que los microbuses son de 10 a 15. La línea Mexicable consta de 185 cabinas, cada cabina tiene capacidad para 10 personas de pie y 8 personas sentadas; el sistema puede transportar hasta 3,000 personas por hora. Las estimaciones del número de pasajeros diarios varían, pero un representante de la Oficina de Transporte Masivo y Teleférico del Estado de México dijo que tienen entre 19,000 y 20,000 pasajeros por día durante la semana, 20,500 los sábados y 13,000 – 14,000 los domingos (entrevista personal 8/2019).

La construcción del sistema costó alrededor de 1,702 millones de pesos mexicanos, o alrededor de $90 millones de dólares estadounidenses (Crónica Presidencial Oct 2016).

Mexicable tiene una ventaja inesperada de adaptación al cambio climático: cuando las fuertes lluvias provocan inundaciones en las carreteras, el sistema no se ve afectado y continúa brindando transporte (entrevista con Mexicable 8/2019).

Recepción del público

Según informes periodísticos, el proyecto Mexicable se recibió originalmente con escepticismo, pero ahora es popular entre quienes lo toman regularmente (Vaccaro 2018). Los viajeros comentan sobre la facilidad y rapidez del viaje, y la seguridad que ofrece frente a los robos que frecuentemente ocurren en los microbuses (Iglesias 2016; Burnett 2016). Muchos optan por tomar el Mexicable en lugar de otras formas de transporte porque es económico, rápido, los autos y las estaciones están limpios y es mucho más seguro que las alternativas. Las estaciones incluyen restaurantes como Dominos Pizza y próximamente abrirán un Cinepólis. Como anécdota, el teleférico ha provocado el desarrollo de pequeños negocios alrededor de las estaciones. Los murales, las obras de arte y los jardines alrededor de las estaciones también han ayudado a embellecer el área. Parece que el proyecto ha ayudado mucho a disminuir el estigma del municipio y es motivo de orgullo local.

Conexión al transporte existente

Algunos argumentan que las líneas podrían haber hecho un mejor trabajo al conectarse con el transporte público existente, ya que no lleva a los pasajeros directamente a la estación de metro. El sistema se conecta a la línea Mexibús 4 (Indios Verdes-Tlalnepantla-Ecatepec-Tecámac) que lleva a los pasajeros a la estación de metro Indios Verdes. El teleférico fue planeado en su ubicación actual debido a las características geográficas y la falta de transporte público adecuado (López s.f.).

Mexicable también permite bicicletas en las cabañas y proporciona portabicicletas afuera de cada estación. Los estantes a menudo están llenos y el sistema descubrió que varios viajeros usan una bicicleta para ir y venir de Mexicable como parte de su viaje regular (entrevista 8/2019).

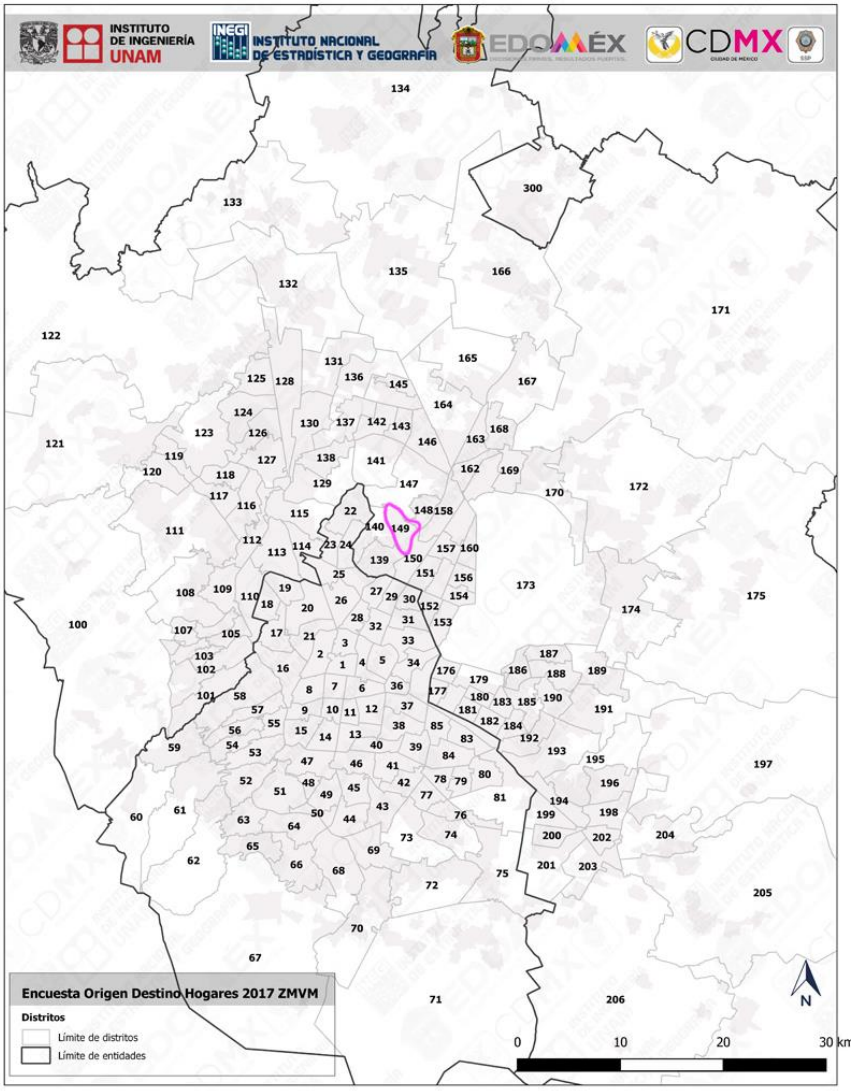


Figura 5. *Zonas usadas por la "Encuesta Origen-Destino de INEGI, 2017*

Análisis del comportamiento de los viajes en la zona "Teleférico Ecatepec"

De acuerdo con la "Encuesta Origen Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México" (INEGI 2017), Mexicable representa solo el 0.02% de todos los viajes en el área metropolitana de la Ciudad de México. Por contexto, los viajes hacia y desde la zona, Teleférico Ecatepec, comprenden el 0.77% de todos los viajes de transporte en la metrópoli. De los viajes en Teleférico Ecatepec, alrededor del 47% incluye algún medio de transporte público y el 6% involucra un viaje en el Mexicable. En promedio, el 97% de los viajes en Mexicable comenzaron o terminaron en la zona "Teleférico Ecatepec" según lo determinado por la encuesta del INEGI (ver Figura 5, que se muestra como la zona 149, delineada en rosa en el mapa). Debido a que la mayoría de los viajes en Mexicable comienzan o terminan en esta zona geográfica, gran parte del análisis estadístico de este informe se centra en esa región en particular.

Para aquellos viajes que no se realizan en transporte público en la zona Teleférico Ecatepec: 9% de todos los viajes son en auto particular (el promedio en toda la encuesta de la región metropolitana de la CDMX es 22%), 38% requirieron solo caminar y 2% son viajes en bicicleta. Según esta encuesta, Uber no se utiliza en la zona en absoluto, menos del 0,5% se lleva en moto/moto, bicitaxi, moto/mototaxi y transporte escolar.

De los viajes en transporte público en la zona Teleférico Ecatepec: 92% son microbús/colectivo, 29% son metro y 7% son Mexibús. En general, el 36% de los viajes en transporte público son multimodales. Curiosamente, todos los viajes en los que se tomó un taxi (1% de todos los viajes en la zona), también se tomó el transporte público para el mismo viaje. Esto sugiere que los taxis se utilizan para complementar el transporte público.

De todos los viajes en Mexicable, el 68% requiere tomar otro medio de transporte público además de Mexicable. La siguiente Tabla 1 muestra que el 40 % de los viajeros toman otra forma de transporte, el 24 % toman otras dos formas de transporte y el 5 % dependen de 3 formas de transporte público para llegar a su destino (consulte la Figura 5 a continuación). De aquellos viajes que requieren otro medio de transporte, el 44% de los viajeros toma un microbús (colectivo), el 38% viaja en Metrobús o Mexibús y el 17% toma el Metro.

Tabla 1. Datos de INEGI, 2017

Transportación Multimodal	% de viajes	Tiempo de viaje promedio (minutos)	Desviación Estándar
Solo Mexicable	31%	55 min.	+/- 11.4 min.
+ 1 forma de transportación	40%	1 hr.	+/- 16.2 min.
+ 2 formas de transportación	24%	1 hr 45 min.	+/- 27.6 min.
+ 3 formas de transportación	5%	1 hr 15 min.	+/- 41.4 min.

Aunque la mayoría de los viajes ocurren dentro de la zona del "Teleférico Ecatepec", varios viajes se realizan entre el Teleférico Ecatepec y los Parques Industriales Ecatepec, La Villa y La Costeña-Olímpica Jajalpa (ver Tabla 2, a continuación). La mayoría de los viajes en el Mexicable comienzan desde la casa del viajero (ver Figura 8). La mayoría de los viajes en el Mexicable se realizan para regresar a la casa del pasajero o para ir a una oficina, fábrica o centro comercial (ver Figura 9). Específicamente, para aquellos cuyo origen era "domicilio", 16% de los viajes que involucraron a Mexicable fueron para ir a una oficina, 18% para ir a una fábrica o taller mecánico, 31% para ir a un centro comercial y 11% para ir a otra casa.

Una autoridad de Mexicable comentó que del ~20% de los viajes que se realizan a nivel local, muchos de estos son para ir de compras a centros comerciales o para enviar a los niños a la escuela. Muchos prefieren tomar esto como una forma de transporte local porque es más seguro que ir en transporte a pie de calle (entrevista 8/2019).

Tabla 2. Pares Origen-Destino, INEGI 2017

Origen/Destino 1	Origen/Destino 2	Porcentaje
Teleférico Ecatepec	Teleférico Ecatepec	21.91%
Teleférico Ecatepec	Desconocido	18.30%
Teleférico Ecatepec	Parques Industriales Ecatepec	12.37%
Teleférico Ecatepec	La Villa	10.19%
Teleférico Ecatepec	La Costeña-Olímpica Jajalpa	5.99%
Teleférico Ecatepec	Tepeyac	4.26%
Teleférico Ecatepec	Héroes De La Independencia-San Agustín	4.26%
Teleférico Ecatepec	Centro Histórico	3.46%
Teleférico Ecatepec	San Cristóbal Ecatepec	3.06%
Teleférico Ecatepec	Guadalupe Victoria-Recursos Hidráulicos	2.20%
Teleférico Ecatepec	Zonas Industriales Tlalnepantla	2.10%
Teleférico Ecatepec	Balbuena	1.81%
Teleférico Ecatepec	Nueva Atzacoalco	1.61%
Teleférico Ecatepec	Tlatelolco	1.37%
Teleférico Ecatepec	Ticomán	1.37%
Teleférico Ecatepec	Multiplaza Aragón-Cd Azteca	0.86%
Teleférico Ecatepec	Granjas Independencia	0.86%
Teleférico Ecatepec	Buenavista-Reforma	0.75%
Teleférico Ecatepec	Industrial Vallejo	0.75%
Parques Industriales Ecatepec	Villa De Guadalupe Xalostoc	0.73%
Villa De Guadalupe Xalostoc	La Costeña-Olímpica Jajalpa	0.73%

CC Plaza Neza	Nativitas	0.66%
Parques Industriales Ecatepec	Guadalupe Victoria-Recursos Hidráulicos	0.39%

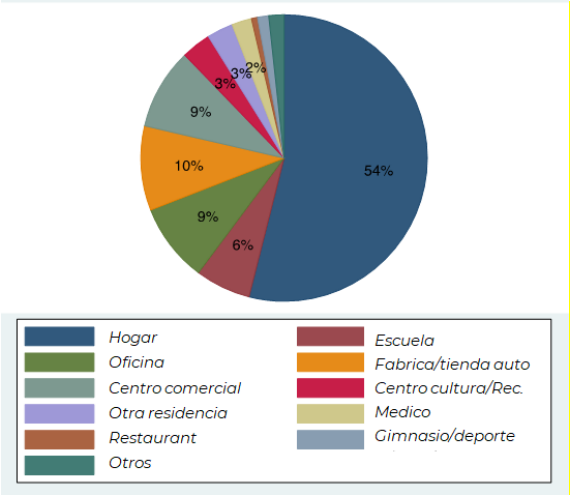


Figura 6. Origen de los viajes. Datos de INEGI 2017

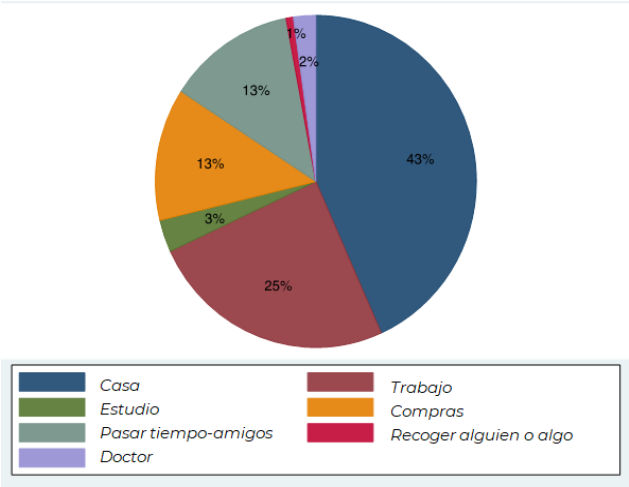


Figura 7. Propósito de los viajes. Datos de INEGI 2017

La mayoría de los viajes se realizan por la mañana y por la tarde, con un pico a las 7 am, 4 pm y 7 pm (Figura 8 a continuación).

El viaje promedio toma alrededor de 1 hora, con una desviación estándar de 30 minutos, el viaje más corto tomó 15 minutos y el viaje más largo tomó 3 horas.

Alrededor del 52% de todos los ciclistas son hombres y el 48% son mujeres.

La edad promedio de todos los usuarios es de 33 años, la distribución por edad se muestra en el gráfico de barras de la Figura 9, a continuación.

Figura 8. Horas de inicio de los viajes. Basado en datas de INEGI 2017

Dos de los principales beneficios de los teleféricos son los tiempos de viaje más cortos y la seguridad general. El tiempo promedio de viaje para un viaje que depende del transporte público es de alrededor de 1 hora y 15 minutos en Teleférico Ecatepe (el promedio para la región metropolitana es más cercano a 1 hora).

La duración promedio de los viajes que involucran al Mexicable es de una hora, lo que sugiere que el sistema de teleférico podría estar reduciendo los tiempos de viaje en general.

De manera similar, las mujeres representan el 43% de todos los usuarios del transporte público en Teleférico Ecatepec, pero tienen un número de usuarios ligeramente superior en el Mexicable, alrededor del 46% de todos los usuarios. El número de pasajeros femenino ligeramente superior podría estar relacionado con el hecho de que el Mexicable ofrece mayor seguridad a los pasajeros que los microbuses, donde los pasajeros son propensos a los robos.

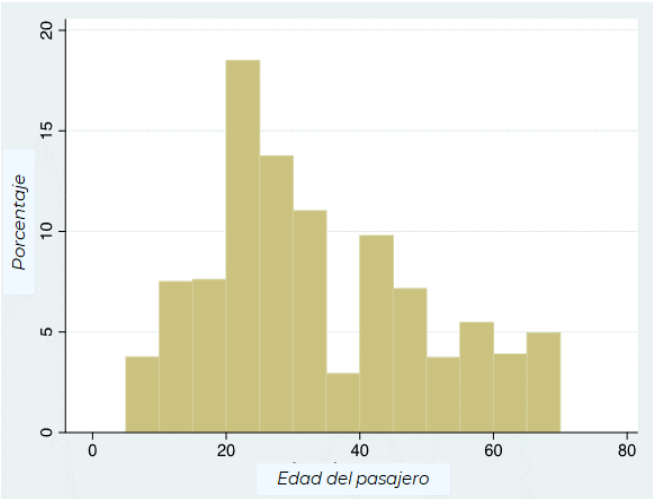


Figura 9. Distribución por edad. Basado en datas de INEGI 2017

Emisiones y mitigación del cambio climático

Similar a una evaluación del sistema de Metrocables en Colombia (PDD 1.4 2014), esperamos que Mexicable esté ayudando a reducir la cantidad de viajes realizados en autobuses o vehículos. Menos viajes en autobús o vehículo reducirían las emisiones de gases de efecto invernadero del transporte de combustibles fósiles, incluidos: partículas, monóxido de carbono, hidrocarburos, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y ozono (PDD 1.4 Modo limpio). Aunque un teleférico eléctrico puede ayudar a reducir los contaminantes locales, el mayor impacto ambiental del sistema eléctrico depende de la fuente de energía. El sistema Metrocables se alimenta con un mayor porcentaje de energía renovable que el sistema

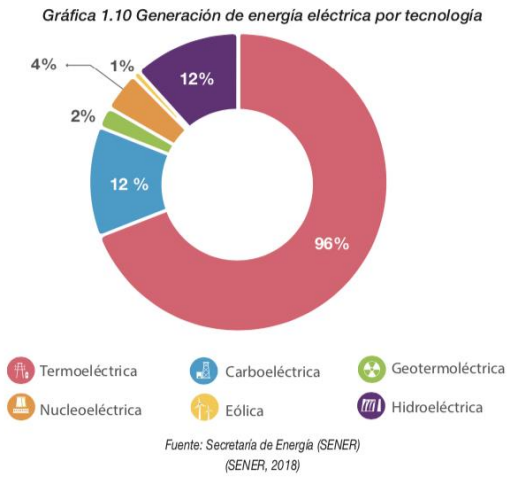


Figura 10. Generación de energía eléctrica por tecnología. Fuente: ProAire, Estado de México, 2018

Mexicable. La energía eléctrica en el Estado de México es 81% no renovable, principalmente del petróleo (ProAire 2016, 40-41; ver Figura 10).

El informe ProAire enumera la cantidad de vehículos y los kilómetros recorridos por año en el Estado de México. Estos modos de transporte están incluidos en el inventario de emisiones de 2016 para el Estado. Cabe señalar que, en Ecatepec, la mayoría de los microbuses están obsoletos, mal mantenidos y atraviesan caminos empinados, todo lo cual aumenta las tasas de contaminación del aire local.
El teleférico fue inaugurado en octubre de 2017 y aún no ha sido incluido en el inventario de emisiones del Estado. A partir de las noticias y el conocimiento del sistema de transporte local, el teleférico es una alternativa a las rutas de microbuses. Hay cinco rutas de microbuses que operan en la zona del teleférico (citar documento de Gabi). En la cobertura de la inauguración del Mexicable, la Crónica presidencial de octubre de 2016 informó que el proyecto reduciría las emisiones a 14 millones de toneladas de carbono al año (Crónica presidencial 2016). Mexicable informa en su sitio web que reducen 17 millones de toneladas de dióxido de carbono al año (Mexicable, consultado en 2019).

Análisis: Impacto en los GEI del transporte público que es complementado/desplazado

Para realizar la estimación de las emisiones evitadas por la implementación del sistema del Mexicable, se utilizaron los datos de pasajeros por día (21,000 usuarios promedio de lunes a sábado y 14,000 los días domingo) y en función de los datos de la encuesta origen-destino de la Zona Metropolitana del Valle de México 2017 se distribuyeron los viajes de esos usuarios en transporte público y privado.

Tabla 3. Viajes realizados en un día por la población

Modo de transporte		Millones de viajes			
		ZMVM	CDMX	Conurbados Edo. Mex. - Tizayuca	
Tipo de transporte	Transporte público	15.57	8.62	6.88	40%
	Transporte privado	7.29	4.06	3.17	18%
	Bicicleta	0.72	0.24	0.48	
	Otro modo de transporte	0.04	0.02	0.02	
	Subtotal	**23.62**	**12.94**	**10.55**	
Exclusivamente caminando		11.15	4.5	6.62	
Total		**34.77**	**17.44**	**17.17**	

De acuerdo con la Encuesta Origen-Destino el 40% de las personas en los municipios conurbados del Estado de México se transportan en transporte público, y el 18% en autos particulares. Aplicando estos porcentajes a los usuarios del Mexicable se estima

que, de los 21,000 usuarios diarios de lunes a sábado, 3,877 antes realizaban sus viajes en vehículos particulares y de los 14,000 usuarios de los domingos, 2,585 tenían este mismo medio de transporte.

Para estimar el beneficio ambiental de estos viajes particulares evitados se emplearon factores de emisión en [g/km] estimados para el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 2019 con el modelo MOVES-México, los cuáles se presentan a continuación.

Tabla 4. Factores de emisión, INEGyCEI

FE [g/km] - promedio	CO_2 e	CO_2	CH_4	N_2O	CN	CO	NOx	COV
Auto particular	320.63	315.77	0.024	0.016	0.007	7.214	1.051	1.133

Considerando la ocupación promedio de los autos particulares (1.5 personas) se estimaron factores de emisión en [g/km/pasajero], los cuales se presentan a continuación.

Tabla 5. Factores de emisión por pasajero, elaboración propia

Núm. de pasajeros por tipo de vehículo	FE [g/km/pasajero]	CO_2 e	CO_2	CH_4	N_2O	CN	CO	NOx	COV
1.5	Auto particular	213.75	210.52	0.02	0.01	0.004	4.81	0.70	0.76

Para la estimación de las emisiones evitadas se consideraron los tiempos promedio que las personas se desplazan y se utilizó una velocidad promedio de 12 km/h. Se calculó una distancia promedio de 21.9 kilómetros para los usuarios de transporte público y con esto se estimaron las emisiones evitadas al año por los usuarios. Se estimaron 1,347,921 usuarios del sistema Mexicable, que antes utilizaban vehículos particulares.

Tabla 6. Estimación de pasajeros anuales, elaboración propia

Usuarios	No.	Días al año	Pasajeros al año
Lunes a sábado	3,877	313	1,213,501
Domingo	2,585	52	134,420
		Total	**1,347,921**

La reducción de emisiones corresponde a los viajes evitados por 1,347,921 personas al año que en promedio recorren 21.9 kilómetros al día.

Tabla 7. Estimación de reducción de emisiones anuales, elaboración propia

Reducción [t/año] por implementación del Mexicable							
CO_2 e	**CO_2**	**CH_4**	**N_2O**	**CN**	**CO**	**NOx**	**COV**
6,315	6,219	0.5	0.3	0.1	142	21	22

Tabla 8. Emisiones provenientes de fuentes móviles en el Estado de México. Tomado de Secretaria de Medio Ambiente del Gobierno del estado de México (2018)

Tipo de Vehículo	Emisiones (ton/año)						
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_x	COV	NH_3
Motocicleta	105	93	239	88,231	3,598	6,919	209
Automóvil particular	2,544	840	108	261,463	26,510	35,021	550
Taxi	109	21	6	6,306	303	718	27
Camioneta particular	492	170	156	80,280	4,977	14,287	606
Camioneta de transporte público	9	8	17	5,689	848	388	7
Carga ligera y *pickups*	298	264	418	143,266	23,398	13,647	162
Carga pesada	122	109	61	21,585	2,475	1,895	10
Autobús	1,685	1,550	403	6,198	18,022	990	15
Tractocamión	311	287	186	2,147	7,858	373	<1
Microbús	26	17	13	9,727	2,503	2,898	<1
Total estatal	**5,701**	**3,360**	**1,606**	**624,893**	**90,491**	**77,136**	**1,585**

Nota: La suma de las cantidades parciales puede no coincidir con el total debido al redondeo de las cifras.

Fuente: Elaboración propia con información de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (2018)

Tabla 9. Flota vehicular estimada para el Estado de México y kilómetros recorridos, año 2016. Tomado de (INECC)

Tipo de vehículo	Número	(km/año)
Motocicleta	309,144	19,369
Automóvil particular	2,481,617	12,917
Taxi	45,102	46,008
Camioneta particular	701,461	13,935
Camioneta de Transporte Público	6,763	51,332
Carga ligera	524,917	24,141
Pickups		12,802
Carga pesada	22,668	22,922
Autobús	18,784	82,198
Tractocamión	22,730	22,995
Microbús	8,109	51,332
Total	**4,141,295**	**-**

Fuente: Elaboración propia a partir de comunicación directa con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

El consumo energético del 2016 fue de 377.4 PJ, del cual, el 40.8% corresponde a las fuentes móviles (el doble que el industrial); de este porcentaje, la gasolina representa el 68% del gasto energético y al diésel el 24%.

Extensión del Mexicable

El Estado de México ha decidido construir dos nuevas líneas de Mexicable. Uno conectará la estación Hank González Mexicable con Tlalnepantla, donde comienza el Mexibús (un sistema de autobuses de tránsito rápido) y cerca de la parada de metro Indios Verdes en la Ciudad de México. Esto ayudará a conectar la línea actual de Mexicable con el Metro. La segunda línea estará en el municipio de Naucalpan y conectará San Martín y la multimodal Mexipuerto-Cuatro Caminos (entrevista personal, 8/2019). Según BN Americas, el plan costará 5,000 millones de pesos, o $263 millones de dólares (2019).

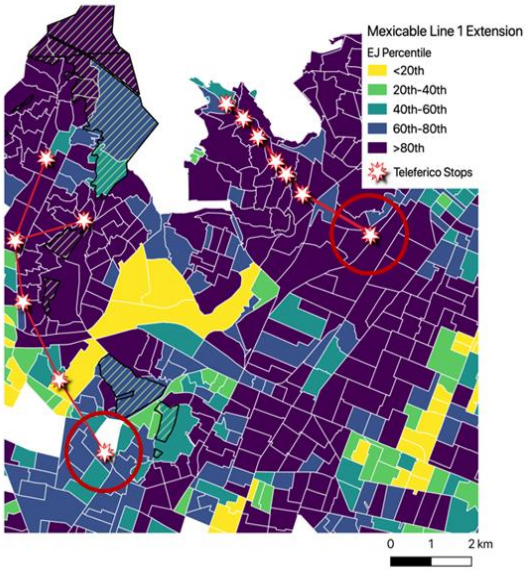


Figura 11. Ubicación línea 1 Mexicable: Hank González Mexicable con Tlalnepantla (Mexibús) Mexicable - estación Indios Verdes (Metro)

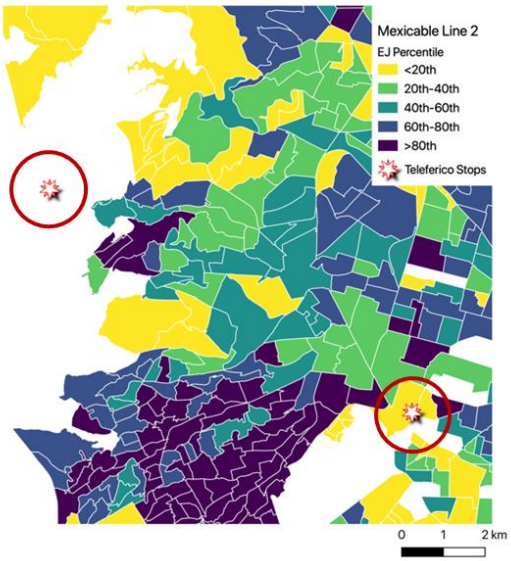


Figura 12. Ubicación línea 2 Mexicable: San Martín y la multimodal Mexipuerto - Cuatro Caminos

Cablebús

En 2019, la alcaldesa de la Ciudad de México, Claudia Sheinbaum Pardo, anunció planes para un sistema de teleférico en la Ciudad de México llamado Cablebús. La Línea 1 se construirá en el municipio de Gustavo A. Madero, entre Cuautepec e Indios Verdes. La Línea 2 será entre Sierra de Santa Catarina a Ermita, la Línea 3 Ajusco a Universidad y la Línea 4 entre Avenida Tamaulipas a San Antonio. El sistema tiene como objetivo conectar a quienes viven en la periferia de la ciudad con el centro de la ciudad (CDMX Boletín 2019).

La Línea 1 en Gustavo A. Madero recorrerá 9.4 kilómetros y Sheinbaum Pardo prometió que el pasaje costará menos de lo que cuesta actualmente viajar al metro Indios Verdes (CDMX Boletín 2019). Esta primera línea podrá transportar 4,000 pasajeros por hora y deberá reducir el tiempo de viaje de una hora y 17 minutos a 46 minutos. Según el gobierno de la Ciudad, el proyecto reducirá las emisiones de dióxido de carbono en 3,100 toneladas.

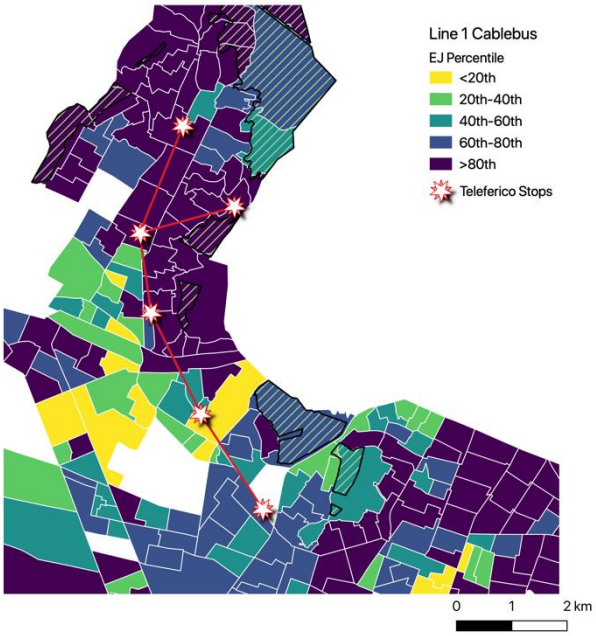


Figura 13. Recorrido de la línea 1 Mexicable

Sheinbaum afirmó que el proyecto tiene tres condiciones: necesidad geográfica (zonas de gran altura), zonas donde se tarda mucho en llegar al Metro y zonas donde el transporte público tarda mucho en general (Boletín CDMX 2019).

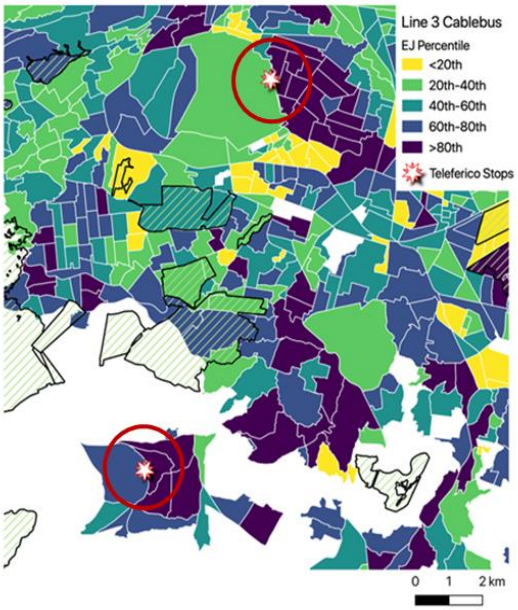


Figura 14. Ubicación línea 3 Mexicable

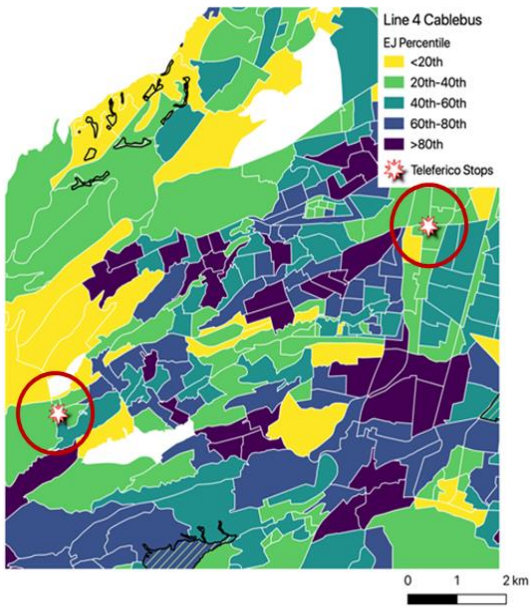


Figura 15. Ubicación línea 4 Mexicable

RECOMENDACIONES

Dada la expansión de Mexicable y las líneas planificadas para Cablebús, es importante tener en cuenta las mejores prácticas de otros casos de estudio de teleférico.

1. Al diseñar un sistema de teleférico, es importante entender a quién se supone que beneficiará el sistema, cómo y cuándo viajan, y por qué viajan. Debido a que la mayoría de los viajes de Mexicable son locales (ocurren dentro del área del "Teleférico Ecatepec"), asegúrese de que el teleférico se conecte adecuadamente con el transporte local. O, si hay interés en llevar el Mexicable a áreas fuera de la zona, buscar formas de conectar mejor el sistema con el transporte público masivo.
2. Se debe explorar y saber hasta dónde seas posible, la posible oposición política que pueda interponerse en el camino. Por ejemplo, los minibuses dominan las rutas que el teleférico pretende reemplazar. Si este es el caso, trabajar con las asociaciones que manejan los minibuses es una prioridad. Los beneficios de las emisiones de gases de efecto invernadero no se materializarán si no se reducen los modos tradicionales de transporte y las rutas de autobús.
3. Un estudio reciente publicado por el BID sobre Mi Teleférico de La Paz encontró que muchos pasajeros de teleférico normalmente habrían tomado transporte privado, ahorrándoles tiempo y presumiblemente reduciendo las emisiones en el sector del transporte. Un estudio similar debe hacerse en Mexicable. (Martínez et al 2018)
4. Para aumentar los beneficios ambientales del proyecto, considerar plantar árboles en las paradas de teleférico como lo han hecho en Medellín. Esto ayuda en el embellecimiento del vecindario y tiene un propósito de mitigación y adaptación climática. (Roldán, Zapata 2012)
5. Complementar los proyectos de teleférico con proyectos sociales como vivienda pública, infraestructura pública como escuelas y centros comunitarios, etc. Dichos proyectos fueron parte de la construcción de la Línea K en Medellín y fueron populares entre la comunidad local. Cablebús en la Ciudad de México planea incorporar un nuevo programa de la ciudad, PILARES (Puntos de Innovación, Libertad, Arte, Educación y Saberes), en el diseño y funcionamiento de las estaciones de Cablebús en Cuautepec (CDMX Boletín 2019).
6. La investigación indica que para que una línea sea económica y socialmente viable, debe dar servicio a un área con alta densidad de población y debe estar bien integrada a la red de transporte público existente (Brand, Dávila 2011). La segunda línea del sistema de Metrocables de Medellín no ha tenido el mismo éxito que la primera línea (Línea K) en gran medida porque carece de ambos criterios.
7. Asegurar que haya una abundante participación pública en el proyecto. Esto significa contratar locales para la construcción, involucrar a los ciudadanos en los planes y decisiones del proyecto y planificar un proyecto de desarrollo comunitario adicional (ver la Recomendación 5).

8. La investigadora Margaret Grieco defiende la incorporación del mapeo de la pobreza como un instrumento importante y pasado por alto para determinar dónde y cómo desarrollar un proyecto de transporte (Grieco 2015). Utilice el índice EJ creado por Castellanos y Mahady para determinar dónde ubicar las líneas futuras para Mexicable o Cablebús.

REFERENCIAS

- Dávila, Julio and Diana Daste. Medellín's aerial cable-cars: social inclusion and reduced emissions. In: Cities, Decoupling and Urban Infrastructure. UNEP-IPSRM (In press). 2013.
- https://www.ucl.ac.uk/bartlett/development/sites/bartlett/files/davila-daste-2012-unep.pdf
- Adolfo Elim Luviano Heredia, Personal Interview. Director General Del Sistema De Transporte Masivo Y Teleférico Del Estado De México. July 2019.
- Bautista, Nidia. Surviving One of Mexico's Deadliest Places for Women. North American Congress on Latin America. February 4, 2019. https://nacla.org/news/2019/02/04/surviving-one-mexico%E2%80%99s-deadliest-places-women
- Bnamericas. "Mexico y Guatemala incursionan en teleféricos." Bnamericas, July 12, 2019. https://www.bnamericas.com/es/reportajes/mexico-y-guatemala-incursionan-en-telefericos
- Bocarejo, Juan Pablo, Ingrid Joanna Portilla, Juan Miguel Velásquez, Mónica Natalia Cruz, Andrés Peña, Daniel Ricardo Oviedo. "An innovative transit system and its impact on low income users: the case of the Metrocable in Medellín. Journal of Transport Geography, Vol 39, pp 49-61. July 2014. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096669231400132X
- Brand, P. and Dávila, J.D. Mobility innovation at the urban margins. City, Vol 15, No. 6. 2011. https://doi.org/10.1080/13604813.2011.609007.
- Burnett, Victoria. Near Mexico City, Cable Car Lets Commuters Glide Over Traffic. New York Times, December 28, 2016.
- https://www.nytimes.com/2016/12/28/world/americas/mexico-city-mexicable.html
- Castañeda, Guillermo García, Raquel Pulgarín Silva. TRANSFORMACIONES SOCIO-ESPACIALES GENERADAS POR EL METRO DE MEDELLIN EN EL VALLE DE ABURRÁ. April 2009. http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Geografiasocioeconomica/Geografiaespacial/26.pdf
- Castellanos, Sergio, Jimmy Mahady. EJ Index. (to be filled out when published)
- CDMX Boletín. "Presenta Gobierno de la Ciudad de México proyecto de Cablebús para Gustavo A. Madero." Portal Ciudadano CDMX, February 6, 2019. https://www.ciudadanos.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/presenta-gobierno-de-la-ciudad-de-mexico-proyecto-de-cablebus-para-gustavo-madero
- Cerda, Magdalena, Jeffrey Morenoff, Ben Hansen, Kimberly Hicks, Lui Duque, Alexandra Restrepo, Ana Diez-Roux. Rudicing Violence by Transforming

Neighborhoods: A Natural Experience in Medellín, Colombia. American Journal of Epidemiology Vol 175:10. 2012. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22472117

- CONEVAL. Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social: Ecatepec de Morelos. 2010. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/42706/Mexico_033.pdf
- Crónica Presidencial. Mover a Mexico: Octubre 2016. Oficina de la Presidencia de la República.
- Encuesta Origen Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México. "Aspectos generales." INEGI, 2017. https://www.inegi.org.mx/programas/eod/2017/
- Encuesta Origen Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México. INEGI, 2017. https://www.inegi.org.mx/programas/eod/2017/
- Gobierno del Estado de México. ProAire 2018-2030: Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire en el Estado de México. 2018. www.edomexico.gob.mx
- Gómez, Abigail. "Mexicable. Un transporte con arte. El Universal, August 15, 2016.https://www.eluniversal.com.mx/articulo/periodismo-de-investigacion/2016/08/15/mexicable-un-transporte-con-arte#imagen-1
- Goodship, Paul. The impact of an urban cable-car transport system on the spatial configuration of an informal settlement: the case of Medellín. 10th International Space Syntax Symposium. http://www.sss10.bartlett.ucl.ac.uk/wp-content/uploads/2015/07/SSS10_Proceedings_131.pdf
- Grieco, Margaret. Poverty mapping and sustainable transport: a neglected dimension. Research in Transportation Economics 51(2015) pg. 3-9. https://www.researchgate.net/publication/283908187_Poverty_mapping_and_sustainable_transport_A_neglected_dimension
- Iglesias, Francisco. "Como visitar el teleférico de Ecatepec sin morir en el intento." Chilango, October 12, 2016. https://www.chilango.com/ciudad/teleferico-de-ecatepec-visita-mexicable/
- Limón, Luis. "Mexicable: un case de éxito en movilidad urbana." El Heraldo de México, March 19, 2019. https://heraldodemexico.com.mx/opinion/mexicable-un-caso-de-exito-en-movilidad-urbana/
- López, Luna Margarita. SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO POR CABLE EN ECATEPEC: UNA EXPERIENCIA MÁS ALLA DE LA MOVILIDAD. Grupo Cal y Mayor. No Date. https://www.calymayor.com.mx/es/Clatpu/Sistema%20de%20Transporte%20P%C3%BAblico%20por%20cable%20en%20Ecatepec%20una%20experiencia%20m%C3%A1s%20....pdf
- Martinez, Sebastian, Raúl Sánchez, Patricia Yañez-Pagans. Getting a Lift: The Impact of Aerial Cable Cars in La Paz Bolivia. International Development Bank. Washington, DC December 2018. https://publications.iadb.org/en/getting-lift-impact-aerial-cable-cars-la-paz-bolivia

- Martinez, Sebastian, Raúl Sánchez, Patricia Yañez-Pagans. The Impact of Aerial Cable Cars in La Paz Bolivia. International Development Bank. Washington, DC July 2018. https://publications.iadb.org/en/getting-lift-impact-aerial-cable-cars-la-paz-bolivia-0
- Metrocable Medellín: Estudio de Caso. March 22, 2018. https://onuhabitat.org.mx/index.php/metrocable-medellin-estudio-de-caso. Accessed August 2019.
- Mi Teleférico aún más comprometido con las áreas verdes y el medio ambiente. August 4, 2015. http://www.miteleferico.bo/?p=4986 . Accessed August 2019.
- Mi Teleferico. Indicadores 2018. April 24, 2018. http://www.miteleferico.bo/?p=12246
- O'Sullivan, Feargus. London's New Plan to Save Its Gondola: Booze. City Lab, September 1, 2016. https://www.citylab.com/transportation/2016/09/london-gondola-alcohol/498356/
- Reina, Elena. The daily struggle for life in Ecatepec, Mexico's most dangerous city. El País, October 28, 2016. https://elpais.com/elpais/2016/10/28/inenglish/1477651368_890521.html
- Roldan, Julián Santiago Vásquez and Juan Camilo Anzoategui Zapata. El sistema metrocable línea K y su impacto en la calidad de vida de la población de la Comuna Uno en la ciudad de Medellín entre los años 2004-2008. Análisis de percepción. 11th Annual International Conference of Territorial intelligence of INTI, "Territorial intelligence and globalization tensions, transition and transformation", Oct 2012, La Plata, Argentina. pp.8, INTI-International Network of Territorial Intelligence. https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00975815/document
- Tezak, Sergej, Drago Sever, Marjan Lep. Increasing the Capacity of Cable Cars for Use in Public Transport. Journal of Public Transportation, Vol 19:1, 2016. https://pdfs.semanticscholar.org/1a2b/56222bad70bae34b669f57c5cef6ed6b999e.pdf
- The Economist. Why Latin America is seeing a cable-car boom. October 2017. https://www.economist.com/the-americas/2017/10/26/why-latin-america-is-seeing-a-cable-car-boom
- UNFCC/Clean Deveopent Mechanism Executive Board. Project Design Document Form (CDM-SSC-PDD) Version 03. https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-SUED1260805836.78/view
- Vaccaro, Adam. "Over the clogged streets of Mexico City, gondolas fly free." Boston Globe, March 10, 2018. https://www.bostonglobe.com/metro/2018/03/10/over-clogged-streets-mexico-city-gondolas-fly-free/S5kUvJbW5yghnOiUIpc7wN/story.html
- Winter, J., I. Sesma, M. Funda. A Case Study of Cable-Propelled Trasnit to be an Alternative Application to Conventional Means of Public Transportation. Automated People Movers and Automated Transit Systems, pages 262-278. 2016.

https://www.researchgate.net/publication/301257898_A_Case_Study_of_Cable-Propelled_Transit_to_Be_an_Alternative_Application_to_Conventional_Means_of_Public_Transportation

- "Yañez-Pagans, Patricia, Daniel Martinez, Oscar Mitnik, Lynn Scholl, Antonia Vazquez. Urban Transport Systems in Latin America and the Caribbean:
- Challenges and Lessons Learned. IZA Institute of Labor Economics. September 2018. https://publications.iadb.org/en/urban-transport-systems-latin-america-and-caribbean-challenges-and-lessons-learned"

NOTAS DE LA METODOLOGÍA

Descripción Modelo MOVES-México

Los modelos MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator) y su antecesor MOBILE (Vehicle Emission Modeling Software), se utilizan para estimar las emisiones por fuentes móviles, es decir, calculan las emisiones de gases y partículas contaminantes generadas por el uso de vehículos de combustión interna. Ambos modelos fueron desarrollados por la EPA (Environmental Protection Agency) de Estados Unidos de América.

La última versión del modelo MOBILE fue la acreditada en el año 2006, misma que tuvo una adecuación para México, denominada MOBILE 6.2 México. En el 2010 la EPA migró a MOVES, el cual ha tenido varias versiones, 2010, 2010a, 2010b, 2014, 2014a, con su última actualización en diciembre 2015. Finalmente, el MOVES2014a ha sido adaptado a México en febrero 2016, considerando datos meteorológicos, de combustibles y flota de los diferentes estados de la República Mexicana, así como mediciones provenientes de sensor remoto para el ajuste de factores de emisión.

El modelo fue desarrollado en el año 2010 para sustituir al modelo MOBILE6 bajo el nombre de MOVES2010, en el año 2014 tuvo una actualización tomando el nombre de MOVES2014, y para diciembre de 2015 la EPA realizó una última adecuación del modelo con mejoras al mismo y lo renombró MOVES2014a. MOVES se desarrolló mediante el lenguaje de programación Java y MySQL.

La versión del modelo diseñado para México, basada en el MOVES2014a, fue desarrollada por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, USAID, a través del Programa para el Desarrollo Bajo en Emisiones de México, MLED y en colaboración con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y fue presentada en México en febrero de 2016.

Así mismo, el MOVES-México es el software recomendado por la SEMARNAT para el cálculo de emisiones de fuentes móviles. El proceso de modelado de emisiones requiere de información relacionada a la flota vehicular, área geográfica, calidad de los combustibles, características de operación de los vehículos (actividad) y tipo de vialidad.

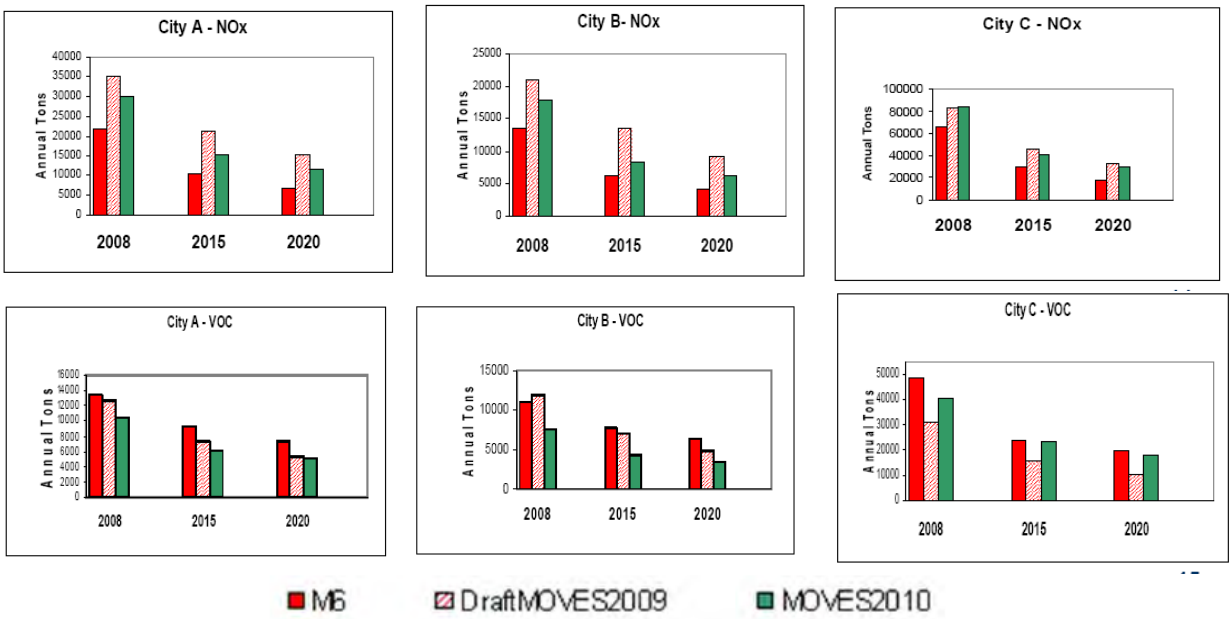
El modelo MOVES permite realizar corridas para el cálculo de factores de emisión (Emission Rates) así como para calcular emisiones directamente para el desarrollo de un inventario (Inventory). De manera general las diferencias entre los modelos MOBILE6 y MOVES son las siguientes:

MOVES

- Está basado en un análisis de millones de pruebas de emisiones e incorpora los cambios tecnológicos (TIERS). **MOBILE6** utilizaba datos de emisiones vehiculares, basados principalmente en certificaciones no en mediciones.
- Mejora la estimación de contaminantes criterio, tóxicos y de GEI con nuevas mediciones. Se realizan correcciones de datos y se observa la disminución de hidrocarburos (COT, COV) y tóxicos, principalmente en las emisiones evaporativas a gasolina.
- Los COV son más bajos para todas las áreas urbanas, básicamente notable en las emisiones evaporativas con la introducción de TIER 1.
- Se hicieron adecuaciones en las emisiones de partículas considerando estudios de la EPA (Kansas City).
- Se incorporan nuevos datos de estudios de deterioro, efectos de velocidad y carga en las emisiones de partículas.
- Actualización de algoritmos y factores de emisión de CO_2, con lo que se observa un ajuste en las emisiones de GEI, hidrocarburos y azufre.
- Se mejoran los algoritmos de emisiones de frenado y llantas, así como los algoritmos por tipo de vialidad, en particular tasas de emisión por km recorrido.
- Mejoras en los algoritmos de cálculo de compuestos tóxicos, considerando la calidad del combustible y adición de compuestos estimados.
- Los factores de emisión están basados en modos de operación y toman en cuenta los diferentes patrones de aceleración, crucero y deceleración, así como velocidad media.
- Incluye datos de emisiones para vehículos pesados con efecto de velocidad del cárter, de encendidos y de inactividad/descanso. **MOBILE6** consideraba datos de certificación (sin efectos de velocidad, del cárter, encendidos y de descanso).
- Ha sido validado desde sus primeras versiones con estudios de sensor remoto de Chicago (con y sin I/M), Altanta, Kansas, Huston, estudios de dinamómetro y de túnel, consumos de combustible, entre los principales.
- Derivado de tendencias nacionales de USA:
    - HC & CO son similares o más bajas que en MOBILE6
    - NOx puede resultar más alto que en MOBILE6.2, sin embargo, depende mucho del tipo de vehículo, combustible utilizado e intensidad de la actividad
    - PM más altas que MOBILE6.2

Ejemplo de las emisiones de COV y NOx en diferentes ciudades de USA, con programa de inspección y mantenimiento (I/M) o programa de verificación en el caso de la CDMX. Donde se observa la reducción de estos contaminantes con el cambio de MOBILE6 a MOVES.

Figura 16. Ejemplo de las emisiones de COV y NOx en 3 diferentes ciudades de USA



Como conclusión, se determinaron los siguientes porcentajes de cambio por contaminante (reducción):

Figura 16. Porcentajes de reducción de contaminantes de las ciudades A,B y C

	City A		City B		City C	
	MOBILE6	MOVES	MOBILE6	MOVES	MOBILE6	MOVES
VOC	31%	41%	30%	43%	51%	42%
NO_x	52%	49%	53%	53%	56%	51%

Sin embargo, los resultados locales pueden variar por efecto de la mezcla de combustibles en la flota, distribución de edad del parque vehicular, los datos de actividad y temperatura.

A continuación, se presenta una tabla de diferencias significativas entre los modelos adecuados para México:

Tabla 10. *MOVES México vs MOBILE 6.2 México*

MOBILE 6.2 México	MOVES México
Acreditado en 2006, ya no es vigente en EUA	Vigente a partir de 2016
Adecuación realizada para México, considerando promedios de factores de emisión de diferentes ciudades de México.	Adecuación para México, considerando especificaciones de combustibles, flota vehicular y recorridos por estado. Así como datos de sensor remoto de 24 estados del país.
Se realizó una caracterización de la flota según las tecnologías utilizadas en México.	Homologación de tecnologías y validación de factores de emisión con mediciones de sensor remoto, generación de factores de CO, NOx con datos de sensor remoto para vehículos ligeros a gasolina (2008-2014).
28 categorías de vehículos	9 categorías de vehículos
Se considera una velocidad promedio para toda la flota	Se puede realizar la distribución de la velocidad por hora y tipo de día (entre semana o fin de semana) en 16 segmentos de velocidades (bines de velocidad). Si se cuenta con ello.
Se alimentan datos promedio horarios anuales para temperatura y humedad relativa	Se capturan datos promedio horarios mensuales para temperatura y humedad relativa (24 hrs de 365 días)
Para la distribución de los vehículos en las diferentes vialidades se toman porcentajes promedio de tránsito	Se realizó un promedio nacional de las distribuciones de recorridos por tipo de vialidad para México.
Se puede hacer corrida por día o por año calendario	Se pueden realizar diferentes tipos de corridas: de inventario, de factores de emisión y por proyecto, para un día, hora o año.
De acuerdo con la experiencia, se asume que no consideraba la introducción de tecnologías.	Considera la introducción de TIERS y a partir de 2017 considera vehículos con cumplimiento de estándar Tier 3.
No considera aceleración, se basa principalmente en emisiones de certificación, más que en medición.	Mejora las estimaciones de los contaminantes ya que considera patrones de manejo, aceleraciones y desaceleraciones.

MOBILE 6.2 México	MOVES México
Considera el promedio de datos de 4 o 5 ciudades de México.	Considera las siguente variables específicas para México: • VKT per vehicle, age • Vehicle population by vehicle class, age, state • Vehicle population forecasts & backcasts • Road network GIS files → onroad activity allocation by *municipio* • Human population → start/park activity allocation by *municipio* • Fuel consumption → month VKT allocations • Fuel properties (e.g. RVP by month, sulfur, oxygenate) • I/M program parameters • Meteorology • Altitude • Emissions data (RSD)
No hubo modificación	Desarrollo de factores de calibración para programa de verificación, así como factores de deterioro.
Se desconoce si hubo validación de CO_2	Validción de emisiones de GEI con consumo de combustible

Adecuación de MOVES-México:

- Elaboración de factores de emisión de CO y NOx para vehículos de carga ligeros, autos particulares y SUV a gasolina con base en estudios de sensor remoto en 24 ciudades del país.
- Adecuación de factores de emisión de PM, NH3 e hidrocarburos evaporativos según estándares de NOM42.
- Adecuación de factores de emisión de vehículos a diésel y vehículos pesados según estándares de NOM44 y NOM76.
- Los datos de altitud fueron obtenidos de INEGI, se utilizaron los valores de las cabeceras municipales o de las ciudades con mayor población, según su altitud se dividió a los municipios en baja altitud (menor o igual a 656.3 mm de Hg) y alta altitud (mayor a 656.3 mm de Hg).
- Para los programas de verificación vehicular se estableció la prueba 22 (ASM5015 Phase-in Cutpoints) para las ciudades que realizan pruebas con dinamómetro y la prueba 12 (Two-mode, 2500 PPM/Idle Test) para aquellas que realizan pruebas estáticas, en ambas se manejo un porcentaje de cumplimiento del 82%.
- Para la caracterización de los combustibles, en función del contenido de azufre y de la presión de los mismos, los estados fueron divididos en 3 grupos de volatilidad. La CDMX y Guadalajara forman un grupo caracterizado por tener combustibles con 30 ppm de azufre.
- Para MOVES-México no se considera la actividad extended idling, debido a que se considera que es una actividad caracteristica de EUA.
- Para la caracterización de arranques (starts) y de horas que los vehiculos pasan estacionados (parked) se realizó una adecuación de país a estado en función de la flota vehicular y de estado a municipio en función de la población (información

de CONAPO-Censo 2010). Los factores de adecuación para la CDMX fueron los siguientes:

Tabla 11. *factores de adecuación para la CDMX*

Running (SHO)	Starts	Park (SHP)
0.133	0.133	0.132

- Para la información meteorológica se utilizó información del Sistema Meteorológico Nacional (SMN) de CONAGUA año 2011. Se utilizaron promedios (máximos y mínimos) mensuales por Estado. Para la humedad se consultó el sitio web: http://findlocalweather.com/, el comportamiento horario se realizó haciendo semejanzas con condados de EUA, para los estados con humedad baja (zona norte del país) se tomó el comportamiento de Arizona, para aquellos con una humedad media (zona centro) se utilizó el comportamiento de Texas y para aquellos con una humedad elevada (sureste) se utilizó el condado de Florida.
- Para realizar la distribución de los viajes en los distintos tipos de caminos se utilizó el mapa carretero de INEGI. Se consideraron caminos sin restricción (unrestricted) los siguientes: Avenidas, calzadas, calles, ampliaciones, callejones, cerradas, circunvalaciones, continuaciones, corredores, diagonales, ejes viales, privadas, prolongaciones y retornos.
- Se consideraron caminos restringidos los siguientes: Boulevares, circuitos, periféricos, viaductos y carreteras.
- Para hacer la distinción entre caminos urbanos y caminos rurales se realizó un mapeo de la distribución de caminos urbanos y rurales de EUA (Census Bureau) en función de la población. Para todos los tipos de vehículos y en todo el país se consideró la siguiente distribución:

Tabla 12. Distribución por tipo de camino

Rural restringido	Rural no restringido	Urbano restringido	Urbano no restringido
0.232	0.284	0.107	0.376

- Para realizar la distribución mensual de viajes en el país se utilizó información de consumo de combustibles por parte de PEMEX.

Tabla 13. Distribución mensual de viajes en el país

monthID	monthVMTFraction
1	0.0850511
2	0.0768588
3	0.083337
4	0.0837287
5	0.0877008
6	0.0813302
7	0.0860812
8	0.0849296
9	0.0757027
10	0.0857952
11	0.0823914
12	0.0870934

- Para la caracterización de la flota de los vehículos ligeros (particulares y de carga) se utilizó un estudio del INECC y se llegó a la siguiente distribución:
  97% *Passenger Truck*
  3% *Light Commercial Truck*

- Para los vehículos pesados y tractocamiones se utilizó la misma distribución de EUA:
  Vehículos > a 3 t.:
  96% *Single Unit Short-haul Truck*
  4% *Single Unit Long-haul Truck*
  Tractocamiones:
  49% *Combination Short-haul Truck*
  51% *Combination Long-haul Truck*

- Los factores de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y de motocicletas no se modificaron de los establecidos para EUA.
- Los factores de emisión de taxis son considerablemente más elevados que los de los autos particulares por lo que los factores de emisión de la categoría Passenger Car son el resultado de promedios ponderados en función de la flota vehciular.
- Como en México las emisiones evaportativas no están reguladas, se asumió que el control de las emisiones evaporativas en México se corresponde al nivel de control de las emisiones de escape de EUA.

Referencias Moves

- Beardsley M., Brzezinski D., Gianelli B. Koupal J., & US-EPA. (Diciembre de 2004). MOVES2004 Highway Vehicle Population and Data Activity. (EPA420-P-04-020). USA: Assessment and Standards Division, Office of Transportation and Air Quality.
- David Choi and John Koupal, & US-EPA. (Junio de 2011). MOVES Validation. USA: Office of Transportation & Air Quality.
- Koupal, J., & DenBleyker, A. (Febrero de 2016). Guía del Usuario de MOVES-México. (PROGRAMA PARA EL DESARROLLO DE EMISIONES BAJAS EN MÉXICO (MLED) AID-523-C-11-00001). USA: Eastern Research Group, Inc & Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID).
- Koupal, J., & ERG. (Febrero de 2016). MOVES-Mexico. Backgroundand Overview. USA: Eastern ResearchGroup, Inc.
- US-EPA. (Agosto de 2010). Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES). User Guide for MOVES2010a. (EPA-420-B-10-036). USA: Assessment and Standards Division Office of Transportation and Air Quality.
- US-EPA. (Agosto de 2012). Introduction to MOVES for Non-Modelers. USA: Office of Transportation and Air Quality. U.S. EPA Region 2. Northern Transportation & Air Quality Summit.
- US-EPA. (Abril de 2012). MOVES2010b. Additional Toxics Added to MOVES. (EPA-420-B-12-029). USA: Office of Transportation and Air Quality, Assessment and Standards Division.
- http://moves.supportportal.com/link/portal/23002/23024/Article/32001/How-do-MOVES2010-or-MOVES2010a-emission-estimates-compare-to-those-of-MOBILE6-2

MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

INECC

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO