

Programa de movilidad para incidir en la mitigación y adaptación ante el cambio climático en la zona metropolitana de Pachuca

Sócrates López Pérez¹

Jennifer Vite Vega²

Genaro Moreno Beltrán³

Resumen

Uno de los fenómenos de mayor alcance e impacto sobre las comunidades humanas h, es el cambio climático (CC). Este fenómeno de origen antropogénico, surge con la primera revolución industrial y el uso intenso de energías fósiles. Las emisiones de Compuestos y Gases Efecto Invernadero (CYGEI), en los últimos años, han rebasado los niveles normales de equilibrio ambiental. Estas se han incrementado, mayormente en el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), y diversos gases fluorados, las principales fuentes de emisión son procesos de transformación de energía, móviles-transporte, los procesos-industriales, la agricultura-ganadería y los residuos sólidos.

Para la intervención y desarrollo de acciones que mitiguen y adapten las condiciones actuales de incidencia, a nivel internacional, para enfrentar los efectos del CC, se ha creado –a través de la ONU- Conferencia de las Partes (COP)-Cumbre Anual que realiza la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). En las reuniones anuales, se toman decisiones y acuerdos para definir acciones de intervención para la mitigación y adaptación de los efectos del CC en el planeta. Estas COP's, revisan avances y propuestas de intervención, se apoyan con estudios científicos sobre el comportamiento del CC, que elabora el grupo de científicos del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC). Estos, emiten informes, metodologías y resultados de las condiciones de emisiones de CyGEI en diferentes Categorías-Fuentes-Subfuentes. El Sexto Informe emitido, muestra que el entre el año 1970 y 2004, se incrementó 145% en la categoría de energéticos, y en transporte y móvil 120% de emisiones. De ahí la importancia de intervención sobre estas fuentes, ya que los escenarios sin mitigación, muestran un incremento de emisiones de CyGEI de 9.7 Gt de CO₂eq a 36.7 Gt, hacia el año 2030.

En México, esto se opera a través de la Ley General del Cambio Climático, el Sistema Nacional de CC, la Comisión Intersectorial de CC, el Instituto Nacional de Ecología y CC (INECC). Para los estados, se estructura por medio de la Ley Estatal de CC para Hidalgo, la SEMARNAT-H. El programa de Mitigación y Adaptación ante el CC de la ZM de Pachuca (proyecto pronaces-CONAHCyT-UAEH), muestra un aporte de 4,977,848.12 det/a de CO₂eq., siendo la movilidad y transporte (Energías[1A]-Actividades de quema del combustible) con aporte de 70%.

¹ Dr. en Ciencias Sociales, especialidad en Planeación y Desarrollo Económico; Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo; lopezsoc@gmail.com;

² Licenciada en Planeación y Desarrollo Regional; Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. jennifer25vite@gmail.com;

³ Maestro y Doctor en Estudios de Población; Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo; Genaro_moreno@uaeh.edu.mx;

Una vez definido el inventario de CyGE (ICyGEI), el objetivo del grupo de investigación, fue la construcción de los programas de Mitigación y Adaptación ante el CC del Municipio (PMyACC-Mpal), en la cual, el aporte principal de emisiones proviene de la categoría de Energías, y de la Fuente de Móviles y transporte. Derivado de lo anterior concluimos con la construcción del Programa de Móviles y Transporte para la Mitigación y Adaptación ante el CC (PMyTMyACC) de la ZM de Pachuca, propuestas de acciones de intervención de incidencia, identificación de los impactos que afectan las condiciones y calidad del entorno socio-ambiental y acciones de intervención para la resiliencia urbana de la ZM de Pachuca en el estado de Hidalgo.

Conceptos clave: Sustentabilidad ambiental urbana; Mitigación y adaptación urbana; Resiliencia urbana y movilidad sostenible.

Introducción

El constante crecimiento demográfico en los centros urbanos, ciudades y comunidades ha generado aumentos contundentes en las actividades cotidianas, mercantiles, comerciales y de movilidad (entre algunas otras más) que, en cierta manera, han propiciado el aumento de emisiones de Contaminantes y Gases Efecto Invernadero repercutiendo de manera complementaria al aire y su calidad.

Las emisiones generadas han repercutido y originado impactos en diferentes rubros con principal incidencia en el medio ambiente, las sociedades y el entorno económico generando así, por medio de la concentración atmosférica, altos volúmenes de CyGEI generados por dos tipos de fuentes. Las antropogénicas y las naturales.

A partir del Informe de Resultados del Registro Nacional de Emisiones 2015 – 2018, se establece que, en promedio, el 6.64% de las emisiones directas en el territorio mexicano son generadas por las fuentes móviles (destacando el uso y manejo terrestre, abordando en su totalidad el transporte público, privado y de carga). Sin embargo, el INEGyCEI reportó que, al año 2015, las fuentes móviles aportaban el 24.5% de las emisiones totales de CO₂eq mostrando hábitos comunes y los efectos de cada uno de ellos. Como hace referencia la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía en el año 2016, las causas más importantes del rendimiento de combustible son los propios hábitos del automovilista y la cultura de uso de su vehículo, y su mantenimiento.

El Informe de Resultados del RENE 2015-2018 establece que, durante este periodo, a nivel nacional, las fuentes móviles (categorizadas como fuentes de contaminación fijas y directas) aportaban el 6.64% de CyGEI derivado de la combustión de combustible emitiendo principalmente CO₂, CH₄ y N₂O los cuales tiene un periodo de permanencia en la atmosfera de 5-200, 12 y 114 años respectivamente, siendo el CO₂ el de mayor permanencia y afectando de manera perjudicial a la capa de ozono.

En Hidalgo, durante el cálculo de emisiones 2015-2018, se registró una participación total de 3.5% de CyGEI (con principal atención en el CO₂eq) mostrando rangos entre los 90 y 150 millones de toneladas. Tomando esto como punto de partida, se establece que la mayor concentración de contaminantes se encuentra fuertemente arraigada en las emisiones de CO₂ con producciones anuales entre los 17 y 38 millones.

Tabla 1. Emisiones anuales de CyGEI 2015-2018 del estado de Hidalgo.

| Tipo de emisión | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| CO ₂ | 21,364,778.38 | 17,398,395.3 | 38,816,953.00 | 18,542,933.91 |
| CH ₄ | 6,877.47 | 39,643.80 | 17,349.19 | 445,294.17 |
| N ₂ O | 13,113.35 | 15,363.95 | 36,094.57 | 21,740.00 |
| Total de CO₂eq | 21,384,778.21 | 17,453,412.05 | 38,870,396.77 | 19,009,968.10 |

Fuente: Elaboración propia a partir de (Registro Nacional de Emisiones, 2020).

Estableciendo de manera puntual la clasificación del parque vehicular del INEGI, las fuentes móviles con mayor presencia en las vías de comunicación terrestres son los automóviles, transportes de pasajeros (haciendo alusión al transporte público), camiones y camionetas para carga y, por último, motocicletas. Si bien se considera esta clasificación, las fuentes emisoras de CyGEI son provenientes de todas estas, sin embargo, cada vehículo genera tres tipos de emisiones siendo evaporativas, por desgaste y por escape.

Metodología

Principales fuentes de Información

Con la finalidad de proporcionar las estrategias y mecanismos adecuados para el uso y manejo de la información se enlista cada una de las principales fuentes de información las cuales aluden y dan respuesta a la necesidad documental y fundamentada de acceso.

Si bien se enlistan cada una de las fuentes para el manejo de la información y el sustento metodológico, es primordial definir que la principal fuente de obtención de datos prevalece del trabajo de campo por medio de contabilizaciones, levantamiento de encuesta y mediciones por medio de equipo especializado (Sniffer 4D).

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático manifiesta la parte central para el cálculo de emisiones, clasificación de segmentos y delimitación de criterios. Entre los cuales destacan los rendimientos vehiculares, las fuentes móviles, optimizaciones vehiculares, así como el Inventario nacional de emisiones de Gases y Compuestos de efecto Invernadero. Entre las demás líneas de acceso a la información se enlistan a continuación.

- **Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales**
 - Informe de Resultados del Registro Nacional de Emisiones 2015 – 2018
 - Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes Criterio INEM
 - Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales
 - Eco-vehículos
- **Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Hidalgo**
 - Reporte de emisiones de compuestos y gases de efecto invernadero.
 - Registro Nacional de Emisiones
- **Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía**

- **Instituto Mexicano del Transporte**
 - Propuesta metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la República Mexicana
 - Estimación del efecto del pasaje en el umbral de volcadura en autobuses urbanos
- **Secretaría de Movilidad y Transporte del Estado de Hidalgo**
 - Plan Integral de Movilidad Urbana Sustentable de la Zona Metropolitana de Pachuca, Hidalgo

Desde la perspectiva institucional y siguiendo a margen las jurisdicciones nacionales, se hace preciso hincapié en las regulaciones normativas en materia de combustibles (gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diésel) precisando los límites máximos de los medios de transporte y qué se tiende a emitir denotando así el proceso de verificación, monitoreo y de emisiones contaminantes de hace más de 30 años a los procesos actuales por medio de las NOM-041-SEMARNAT-2015, NOM-042-SEMARNAT-2005 y la NOM-044-SEMARNAT-2016.

Delimitación de Unidades Territoriales de Análisis

Por medio de las estrategias de investigación correlacional (refiriendo al comportamiento y relación entre variables), la revisión documental y el conocimiento empírico, se llevó al procesamiento y delimitación de las Unidades Territoriales.

Si bien se establecieron las bases para la delimitación de las UMAs (Unidades Municipales de Análisis), dicha clasificación refería, en términos biológicos, a las Unidades de Manejo Ambiental y, según INEGI la UMA refiere a la Unidad de Medida y Actualización por lo que, siguiendo lo estipulado por el INECC en el Atlas de Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático de México, se designa el Termino de UTA refiriendo así a las Unidades Territoriales de Análisis las cuales se vuelven parte fundamental en el proceso metodológico para el levantamiento de información de CyGEI.

Delimitando de manera específica las UTAs correspondientes a las fuentes móviles se definió la clasificación por medio de cruceros, glorietas e interconexiones con flujos viales representativos por medio de nomenclaturas que describan la unidad de medición (UTA), el lugar de levantamiento, el criterio de contabilización o emisión y, por último, la numeración del punto. Para ello, nótese el caso particular de Pachuca de Soto sustituyendo los valores anteriores con la información obtenida para nombrar al paradero “Soriana del Valle” para ser replicado al número total de UTAs que sean requeridos.

Si bien es indispensable designar la nomenclatura, se debe de tomar en consideración criterios puntuales para la retroalimentación y, en general, mantener el concentrado total de la información levantada en los procesos de trabajo de campo.

Delimitación temporal de cada misión

El proceso de delimitación de los lapsos de tiempo de las mediciones realizadas con el equipo Sniffer 4D v2 refirieron a la cobertura territorial, la temporalidad y, sobre todo a la duplicidad de la información. Por ello, se especificó como unidad temporal cada 30 minutos para que, durante el

lapso de 1 hora se tengan dos mediciones y se puedan tomar en consideración el manejo por segundo, minuto u hora (dicha delimitación encontrada en la plataforma Sniffer 4D Mapper).

Por su parte, la duplicidad de la información refiere a que, al localizar los inicios de misiones en puntos diferentes, pero, de la misma área de cobertura, se pueda tomar los primeros 30 minutos de un equipo de medición y complementarlos con los 30 minutos subsecuentes del siguiente equipo. Todo ello con la finalidad de mostrar las disimilitudes (en caso de presentarse) y realizar el procesamiento de datos de cada equipo hasta cubrir las horas de mayor concentración según lo marca INECC en las estaciones fijas de medición (16 horas de mayor circulación vial excluyendo horarios de 22:00 p.m. a 6:00 a.m.).

Equipo requerido

Si bien se describe los procesos de contabilización y se refiere al uso del equipo Sniffer4D-V2, se abordan aquellos elementos para el adecuado levantamiento de información pues, sin ello, no se concretaría de manera específica el procesamiento de datos⁴.

Procesamiento de Datos

El procesamiento de información, como parte elemental del sustento metodológico, establece la delimitación temporal de cada elemento por lo que, siguiendo dicha tendencia, se cuantifica de manera general las emisiones por cada media hora sacando así un promedio general de las mediciones en una UTA específica con la finalidad de tener y generar una medida estándar para el análisis global. El primer punto es la definición promedio por 30 minutos para dar pie al análisis de emisiones por hora y, subsecuentemente, por día.

Por otra parte, se generalizan los procesos de conversión de las unidades de medida por lo que las ya mencionadas son sustituidas de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y mg/m^3 a kg/m^3 para referir todos los CyGEI a una sola unidad universal. Aunado a esto, al designar unidades de medición la información se consolida para generar estimadores de emisiones totales tomando en consideración el flujo vehicular (nótese la importancia de la contabilización del aforo vehicular) por hora y día para el cálculo de emisiones totales por estos periodos temporales.

Contando con la unidad en toneladas, se requiere la respectiva equivalencia de los y Potenciales de Calentamiento Global directo (PCG) donde el CO_2 cuenta con PCG de 1, el CH_4 de 28 y el O_3+NO_2 de 265 por lo que debe establecerse de la siguiente manera.

⁴ Se refiere al diseño de Estaciones Sniffer4D-V2, para la medición de CyGEI. Con base al proyecto de investigación de PRONACES-CONAHCyT, contiene Sniffer y equipo de funcionamiento (Sniffer, arnés, cable tipo C para energía, telemetría, nariz, estuche); Computadoras portátiles (dos por Sniffer con el programa Sniffer 4D Mapper V2 4.01.05); Contador de partículas manual; Formatos (3 juegos como mínimo por equipo los cuales se encuentran en los anexos 1,2 y 4) que se puede consultar ampliamente y descargar materiales, en: <https://agendaambientalzonasmetropolitanashidalgo.com.mx/AgendaAmbiental>.

Tabla 2. Equivalencias para el cálculo de toneladas totales por UTA

| | VOCs | SO2 | CO | O3+NO2 | PM1.0 | PM2.5 | PM10 | CxHy | CO2 |
|---|------|-----|-----|---------|-------|-------|------|--------|-------|
| Emisión total de vehículos por día | | | | | | | | | |
| emisiones por semana | | | | | | | | | |
| emisiones por mes | | | | | | | | | |
| emisiones por año | | | | | | | | | |
| toneladas | | | | | | | | | |
| toneladas Totales por UTA | = ↑ | = ↑ | = ↑ | = ↑*265 | = ↑ | = ↑ | = ↑ | = ↑*28 | = ↑*1 |

Fuente: Elaboración propia, incluida en la metodología para el análisis de emisiones en móviles. México, julio de 2024.

Por último, al tener las toneladas equivalentes y la previa designación de UTAs se hace la estimación por medio de la medida estándar para el cálculo de las toneladas totales Municipales. Tomando como punto de partida lo anterior se llega a la estimación final para el diseño de estrategias de mitigación y adaptación de los centros urbanos, rurales y, en general, asentamientos de las 3 Zonas metropolitanas del estado de Hidalgo siguiendo como modelo el esquema metodológico para el cálculo de emisiones de CyGEI.

Esquema 1. Esquema metodológico para el inventario de las fuentes móviles.



Fuente: Elaboración propia con base al diseño de la metodología para el análisis de emisiones, julio de 2024.

Medios de transporte y fuentes móviles

Las sociedades, centros urbanos, comunidades y personas en general, utilizan los medios de transporte para poder desarrollar las actividades cotidianas con mayor facilidad gracias a los procesos de movilidad. Si bien la función principal de los medios de transporte es brindar las facilidades de desplazamiento de un punto a otro, se han tomado como medios de movilización (retirando el punto central) y ahora, como punto de servicio para la comercialización y traslado de bienes y/o servicios.

Los medios de transporte cumplen con cada una de sus funciones por medio de desplazamientos sobre superficies sólidas (terrestres), desplazamiento por los aires (aéreos), los recorridos sobre cuerpos de agua (transportes marítimos) y, por último, los transportes sobre rieles o carriles (férreos). Dichos desplazamientos tienden a mantener movilizaciones dentro y fuera de territorios municipales, estatales y nacionales reflejando así los aumentos capitales-económicos por medio de las diferentes movilizaciones (materias primas o poblacionales).

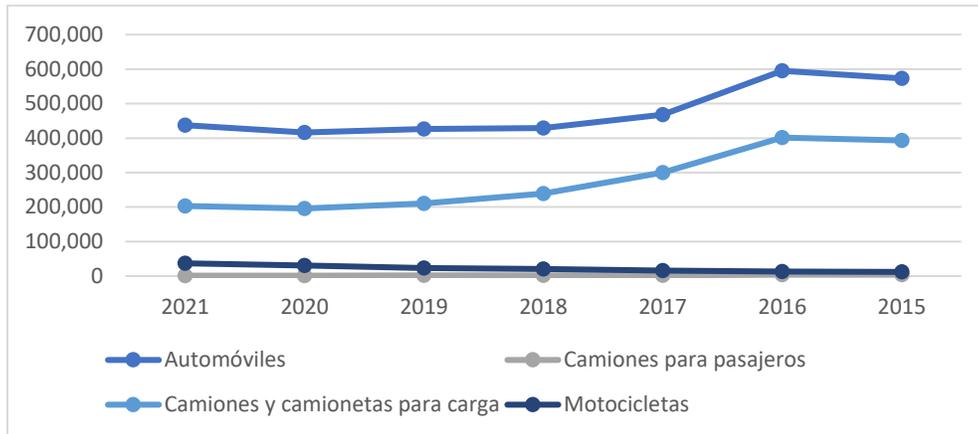
El territorio nacional concentra un total de 15 corredores carreteros troncales abarcando así 51,198 km de los 407,959 km de carreteras (sin contar caminos municipales y refiriendo principalmente carreteras del gobierno federal). Así mismo se cuenta con una red ferroviaria de 26,914 km distribuida en 14 vías nacionales encargadas de transportar el 12.8% de los servicios comerciales del país (según lo establecido en el Anuario Estadístico Ferroviario 2019 de la SCT). A diferencia de estos, el transporte aéreo representa el de mayor costo por lo que se encuentra enfocado al transporte de personas destacando la mayor afluencia en aeropuertos como Ciudad de México, Guadalajara y otros concentrando la movilización del territorio con el 71%. por último, los transportes marítimos son los que concentran las mayores percepciones de mercancías internacionales por medio de 22 puertos reflejando así un promedio anual de 132,025,274 toneladas anuales de mercancías además del transporte turístico donde predominan los puertos del Golfo y el Caribe (INEGI, 2020).

Parque vehicular

Derivado de la crisis sanitaria del año 2019, y con incidencia en México para 2020, los sectores comerciales vehiculares pasaron por descensos respecto a ingresos económicos afectando de manera específica a todo el sector automotor mostrando un decrecimiento del 28% al 2020. Sin embargo, con la generalización de la “nueva normalidad”, el sector presentó dificultades en ventas derivado de la suspensión de actividades en el periodo inicial de Covid-19. Si bien se refiere a ello y la necesidad de sustentar la compra de bienes necesarios, el parque vehicular en el territorio hidalguense y nacional, manifestó disminuciones.

Considerando de manera particular los medios de transporte terrestre, el estado de Hidalgo, para el año 2021 concentró un total de 678,840 vehículos de motor registrados en circulación de los cuales el 64% de ellos corresponde a automóviles. Sin embargo, se visualiza una tendencia mayor de los medios de transporte de carga de mercancías que el transporte público derivado del perfil económico-productivo del estado de Hidalgo.

Gráfico 1. Parque vehicular del Estado de Hidalgo 2015-2021



Fuente: elaboración propia a partir de (INEGI, 2023)

Tomando lo anterior como punto de partida en criterios de clasificación vehicular y haciendo referencia a lo estipulado en la ley de control vehicular para el estado de Hidalgo, se maneja cuatro categorías para los vehículos terrestres abordando el acceso privado, público, las instituciones gubernamentales policiales y los servicios de emergencia, así como los de protección civil.

Transporte Privado

- Automóvil
- Autobús
- Camión
- Motocicleta
- Remolque
- Auto antiguo
- Discapacitado
- Demostración
- Ecológico

Transporte público

- Automóvil
- Autobús
- Camión

Instituciones policiales

Servicios de emergencia y protección civil

- Ambulancia
- Bomberos
- Rescate

Análisis Municipal de las Fuentes móviles

Registro de Fuentes móviles

El tráfico vehicular en las ciudades y centros urbanos, concentra la mayor cantidad de emisiones y quema de combustible. Dichas fuentes son emitidas principalmente de los transportes particulares derivadas del uso excesivo y constante al trasladar menor cantidad de personas que su capacidad. Estableciendo criterios particulares, el uso de transporte publico dentro del municipio de Pachuca de Soto se ha vuelto parte fundamental de la estructura urbana y la economía municipal. Para el caso del presente municipio, se cuenta con características específicas donde predomina principalmente el punto de ser la capital Estatal que cuenta con la mayor oferta académica y laboral del estado de Hidalgo por lo que, la movilidad es parte fundamental de la delimitación territorial.

Para las estimaciones municipales, se llevaron a cabo conteos puntuales en zonas específicas donde se concentran grandes circulaciones vehiculares como lo son las intersecciones del paradero Soriana del Valle con dirección principal a la Central de abastos de Pachuca, boulevard Luis Donald Colosio específicamente en la “Glorieta 24 hrs” y, por último, la circulación en los diferentes puntos de la Plaza Juárez localizada en el centro del municipio.

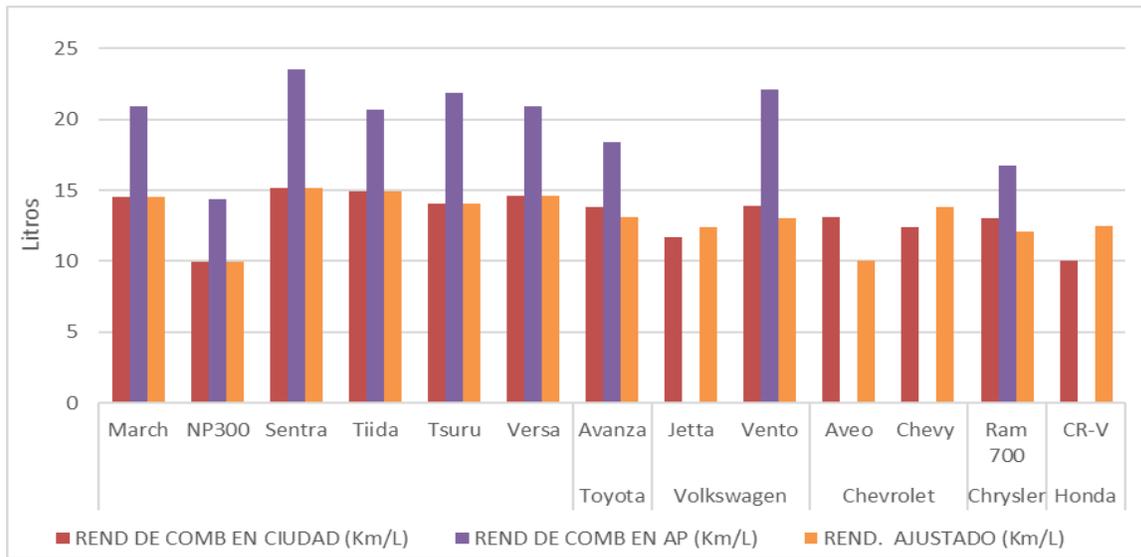
Por lo antes mencionado, se destacan los conteos vehiculares del paradero Soriana del Valle, donde se visualiza una mayor circulación de autos particulares refiriendo de manera precisa la concurrencia de marcas como Nissan (117 registros), Chevrolet (47) y Volkswagen (36) registrando, junto con las demás marcas, 350 vehículos en circulación de los cuales destacan los usos particulares y una matriculación de unidades del 100%. Al realizar un total de 9 conteos por minuto, se llevó a cabo un concentrado total donde, en promedio, se concentran 39 vehículos motorizados por minuto (incluyendo transporte público en sus diferentes modalidades). A diferencia de dicha intersección, la glorieta 24 hrs, registró una circulación de 763 vehículos distribuidos en Dirección Actopan (301) y Dirección Tulancingo (462) mostrando un aforo promedio por minuto de 25 fuentes motorizadas. Por último, en el centro de la capital estatal, la Plaza Juárez registro un total de 744 vehículos de los cuales 82 corresponden a la intersección Avenida Benito Juárez dirección Prepa 1, 167 a Cayetano Gómez Pérez-Av. Madero y, por último, 495 a Pl. Benito Juárez-Fernando Soto mostrando aforos promedio de 5, 6 y 17 vehículos automotores en circulación.

Emisiones de CyGEI de las fuentes móviles

A partir de los estudios y conteos previstos, se definió una circulación específica y común de vehículos donde destacan principalmente automóviles del año 2012 hasta 2019 refiriendo así a un perfil vehicular de la ciudad con ingresos económicos situados por encima del promedio estatal. Entre este perfil vehicular se localizan sub-modelos que permiten ver el tránsito específico aunado a lo abordado con anterioridad (total de vehículos en circulación). Caso específico es la presencia de vehículos Nissan Tsuru con una circulación y ocupación principal en transporte público como lo son Taxis dejando así la perspectiva de mayores vehículos particulares.

Partiendo de los criterios de accesibilidad y principales modelos de concurrencia de los automóviles particulares en la entidad municipal, se extienden los promedios de rendimiento de combustible con la finalidad de sentar las bases para cuantificaciones de emisiones de CyGEI. Dentro de las ciudades, se lleva a cabo el menor rendimiento de combustible derivado de la infraestructura y equipamiento vial, costos promedio de combustibles y el tipo de vialidad, por lo que, dentro de estos centros urbanos los rendimientos van entre los 9.93 km/L (para el caso de vehículos marca Nissan NP300) hasta los 15.2 Km/L refiriendo al Nissan Sentra. Refiriendo a los rendimientos en caminos con mayor flujo continuo de circulación se destacan trayectos entre los 14.38 Km/L correspondiente al Nissan NP300 hasta los 21.88 km/L del Nissan Tsuru. De manera ajustada, el mayor rendimiento por marca destaca en los automóviles de la marca Nissan específicamente en los modelos Tsuru, Altima y Sentra con rendimientos promedio entre los 15.09 Km/L y 14.05 km/L.

Gráfico 2. Rendimiento de combustible por zona



Fuente: Elaboración propia a partir de portal de eco-vehículos (SEMARNATH). México, 2024.

Teniendo en consideración el rendimiento promedio de un vehículo en las diferentes tipologías de vías de comunicación, se estiman las emisiones promedio de CO₂ por cada kilómetro recorrido donde, según la sub-marca del modelo con mayor afluencia, durante diferentes temporalidades generan CyGEI.

Entre los principales vehículos que menor CO₂ generan se encuentra el Nissan Versa Sedan de 4 cilindros con un total de 170 g/Km, sin embargo, a diferencia de este, el NP300, de la misma Nissan, genera la mayor concentración de CO₂ con un total de 269 g/Km.

Gráfico 3. Emisiones de CO₂ por kilómetro recorrido (g/km²).



Fuente: Elaboración propia a partir de portal de eco-vehículos (SEMARNATH). México, 2024.

Derivado de la tendencia de afluencia vehicular, en un promedio de 23.1 kilómetros recorridos de un vehículo al día, se muestra la tendencia de emisiones de CO₂ donde destaca la producción de entre los 3.94 Kg/Km y los 6.21 Kg/Km principalmente en zonas con alta

conurrencia y flujo vehicular. Para el caso de Pachuca de Soto, las mayores afluencias se localizan en los cruceros de ascenso y descenso de personas, así como en puntos donde se realizan actividades administrativas gubernamentales. Siguiendo la lógica de emisiones por kilómetro y la afluencia del paradero Soriana del Valle con dirección Universidad (donde, durante 10 minutos se contabilizaron 117 vehículos) se estima una generación promedio mínima de 459.5 kg de CO₂ mientras que la generación máxima estima aproximadamente la emisión de 727.0 kg de CO₂.

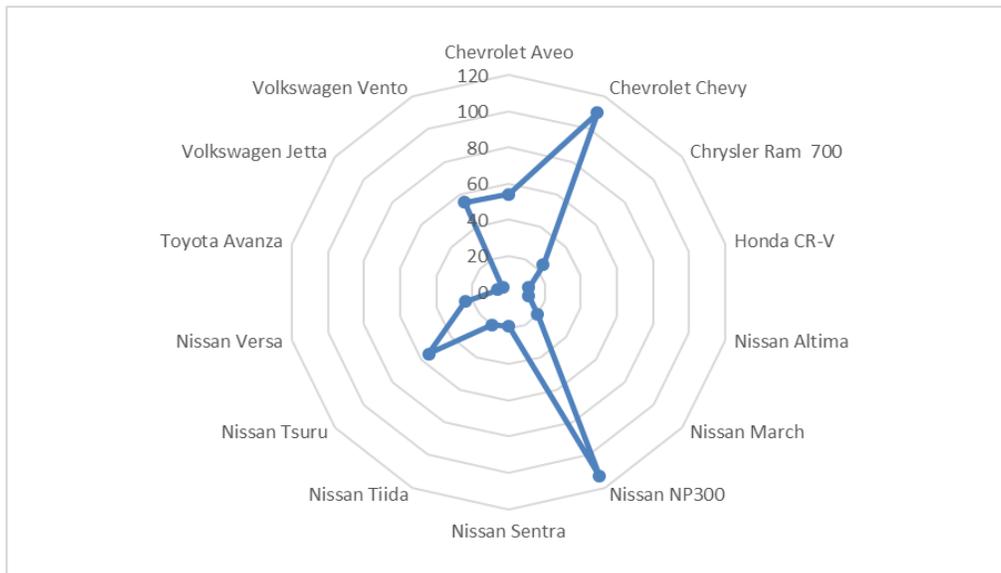
Tabla 3. Principales emisiones de CO₂ promedio al día y anual por marca y sub-marca.

| Marca | Modelo | Submarca (detallada) | Emision de co2 al día (prom. De 23.1 km recorridos) | Emisiones de co2 anual (kg) |
|-------------------|---------|--|---|-----------------------------|
| Chevrolet | Aveo | Aveo 4pts 1.6l 4cil 103hp aut | 4.55 | 2,955 |
| | Chevy | Chevy hatchback 3pts 1.6l 4cil 100hp aut | 4.94 | 3,210 |
| Chrysler | Ram 700 | Ram 700 adventure club cab 3ptas 1.6l 4cil 115hp man | 4.53 | 2,940 |
| Honda | CR-V | Chevy hatchback 3pts 1.6l 4cil 100hp aut | 5.29 | 3,435 |
| Nissan | Altima | Altima kr20 4pts | 4.07 | 2,640 |
| | March | March 5pts 1.6l 4cil 106hp aut | 3.95 | 2,565 |
| | NP300 | Np 300 chasis 2pts 2.5l 4cil 158hp man | 6.21 | 4,035 |
| | Sentra | Sentra 4pts 1.8l 4cil 129hp cvt | 3.97 | 2,580 |
| | Tiida | Tiida 4ptas 1.6l 4cil 106hp man | 4.20 | 2,730 |
| | Tsuru | Tsuru gs 4ptas 1.6l 4cil 105hp man | 4.30 | 2,790 |
| | Versa | Versa sedan 4pts 1.6l 4cil 106hp aut | 3.93 | 2,550 |
| Toyota | Avanza | Avanza cargo 4pts 1.5l 4cil 102hp man | 4.62 | 3,000 |
| Volkswagen | Jetta | Jetta mk vi 4 ptas 2.5l 5 cil 170 hp aut (tip) | 4.90 | 3,285 |
| | Vento | Vento sedan 4ptas 1.6l 4cil 105hp man | 4.30 | 2,790 |

Fuente: Elaboración propia a partir de portal de eco-vehículos (SEMARNATH), México, julio de 2024.

Estableciendo la combinación entre el Oxígeno y el Nitrógeno obteniendo así los Óxidos de Nitrógeno (NO_x), los vehículos motorizados son las principales fuentes de emisión de estos, derivado de la quema de combustibles fósiles. Siguiendo la tendencia vial y la categorización de circulación vehicular se define la mayor emisión de NO_x donde se define la cantidad de gramos emitidos sobre cada 1,000 km recorridos. Para ello, la principal emisión se establece de los modelos Nissan NP300 con un total de 113 g/1,000Km mientras que el valor mínimo de emisiones se obtiene de los Volkswagen Jetta con un total de 4 g/1,000km. Al tomar, como punto central, el promedio de kilómetros recorridos por vehículo en un día (23.1km) se considera que aproximadamente los vehículos particulares marca Nissan generan (como mayor marca de concurrencia en las vías de comunicación) entre 0.093 g/1,000Km (como emisión) y 0.953 g/1,000 km (mayores emisiones de la NP300) consolidando así casi un kilo por vehículo. Referir a este tipo de emisiones connota una tendencia de uso y generación de enfermedades respiratorias (como la falta de respiración) e irritación en ojos y piel.

Gráfico 4. Emisiones anuales de NOx. (g/1000km).



Fuente: Elaboración propia a partir de portal de eco-vehículos (SEMARNATH). México, 2024.

Cálculo de emisiones por Sniffer 4Dv2 de las fuentes móviles

Emisiones de fuentes móviles UTAs de Pachuca de Soto (cruceros y paraderos)

A diferencia de los datos obtenidos por INECC y por medio de las mediciones obtenidas por el Sniffer 4d v2, se realizó la cuantificación de 14 mediciones mostrando, de manera precisa, la similitud del comportamiento en el mismo sitio (caso particular del paradero coloquialmente conocido como “Soriana del Valle”) a pesar de ser cuantificado en diferentes momentos del día. Dichas estrategias se llevaron a cabo en diferentes puntos del municipio de Pachuca de Soto donde el comportamiento mostro similitudes de circulación, emisiones y temporalidad en semáforos. Tomando lo anterior como punto central de investigación, los datos obtenidos por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (considerando el Censo de población y Vivienda 2020 y el Parque Vehicular) y las contabilizaciones por el grupo de investigación, se muestran disimilitudes derivado de la circulación de fuentes móviles puesto que las viviendas reflejan entre 1 y 2 vehículos y la propiedad por ocupante de la vivienda refiere los mismos valores. Al relacionar el índice de Vehículos motorizados (automóviles, camionetas particulares y motocicletas) se considera que existe una relación de 65 fuentes móviles por cada 100 habitantes y 63 vehículos por cada 100 viviendas mostrando así la concentración vehicular particular. Por otro lado, tomando como punto de partida el aforo del parque vehicular en puntos específicos, refiere a una concentración promedio de circulación de entre los 1,528 (glorieta 24 hrs) y los 2,334 (Soriana del Valle) vehículos durante una hora.

Al comparar el parque vehicular y lo estipulado por el Censo de Población y Vivienda (ambas concentraciones de INEGI), se definieron los puntos con mayor circulación vehicular tomando así un total de 22 cruceros y/o glorietas en el municipio de Pachuca. Para dichos concentrados de mediciones se generó la pauta de tomar como medida estándar las emisiones contabilizadas en el cruce Soriana del valle, mismas que son replicadas al total de cruceros delimitados. Al realizar las contabilizaciones se diferenciaron cuatro variaciones de las zonas de

PROGRAMA DE MOVILIDAD PARA INCIDIR EN LA MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ZONA URBANA DE PACHUCA.

conteo siendo Plaza Juárez, Soriana del Valle, cruceo de Cuesco y el cruceo del Estadio Hidalgo por lo que se volvieron los principales “puntos estándar” para dar pie a la cuantificación promedio en los diferentes cruceos (debidamente analizados y mostrando aforos similares a los cuatro mencionados con anterioridad).

Por medio de lo ya abordado, se definió que, para el caso particular de la UTA-PCH-FMOV1 (Soriana del Valle), se realizaron los cálculos pertinentes para la obtención de emisiones totales (toneladas) donde, al día se registraron mayores concentraciones de CO₂ específicamente en el proceso de arranque de los vehículos detenidos en semaforizaciones (estableciendo así la quema de gasolina y diésel) identificando emisiones de 2,544.192 kg/m³ al día destacando una mayor concentración durante las 6:30 a.m. – 9:00 a.m., 12:00 p.m. – 15:00 p.m. y 18:00 p.m. 19:00 p.m. Por su parte, las emisiones por semana refieren a una mayor concentración durante los días lunes y viernes debido a los retornos de origen-destino de la población en la ciudad, sin embargo, aborda principalmente al uso de transporte público que el sector vehicular privado derivado del perfil de la capital estatal.

Estableciendo las bases para el manejo municipal, se delimitaron medidas que agrupan las emisiones en cifras estándar donde se toma en consideración el punto con afluencia máxima y la afluencia mínima en diferentes puntos de la ciudad capital. La UTA-PCH-FMOV1 refleja la mayor concentración móvil mientras que el cruceo “cuesco” refiere a la menor circulación dando así valores similares a la Glorieta Insurgentes, Jardín del Arte y algunos otros puntos.

Tabla 4. Delimitación de UTA-PCH-FMOV

| NOM-CLV | LATITUD | LONGITUD | Nombre del lugar |
|-----------------------|-----------|------------|---|
| UTA-PCH-FMOV1 | 20.096912 | -98.759627 | Soriana del Valle |
| UTA-PCH-FMOV2 | 20.100413 | -98.763365 | Glorieta 24 hrs |
| UTA-PCH-FMOV3 | 20.112559 | -98.776142 | Aurrera Bonfil |
| UTA-PCH-FMOV4 | 20.106527 | -98.753791 | Crucero Estadio |
| UTA-PCH-FMOV5 | 20.106106 | -98.750743 | Crucero Cuesco |
| UTA-PCH-FMOV6 | 20.116025 | -98.746242 | Glorieta Insurgentes(Prepa 1 SEMADESU) |
| UTA-PCH-FMOV7 | 20.122080 | -98.735862 | Plaza Juárez |
| UTA-PCH-FMOV8 | 20.057836 | -98.785786 | Villas de Pachuca |
| UTA-PCH-FMOV9 | 20.088204 | -98.745752 | El trébol |
| UTA-PCH-FMOV10 | 20.089778 | -98.74957 | San Javier CAASIM |
| UTA-PCH-FMOV11 | 20.040088 | -98.795611 | Plaza Explanada |
| UTA-PCH-FMOV12 | 20.061272 | -98.774759 | La bombonera |
| UTA-PCH-FMOV13 | 20.097062 | -98.773388 | Crucero de Bares (zona Plateada) |
| UTA-PCH-FMOV14 | 20.095912 | -98.768306 | Ben Gurión (zona Plateada) |
| UTA-PCH-FMOV15 | 20.127411 | -98.731852 | Plaza Independencia |
| UTA-PCH-FMOV16 | 20.105678 | -98.748503 | Río de las Avenidas (central de abastos) |
| UTA-PCH-FMOV17 | 20.12245 | -98.78915 | Monumento al bombero (Colosio-Minero-Actopan/Pachuca) |
| UTA-PCH-FMOV18 | 20.124675 | -98.763834 | crucero Panteón- Prepa 3 |
| UTA-PCH-FMOV19 | 20.114537 | -98.724908 | Glorieta IMSS General |
| UTA-PCH-FMOV20 | 20.124912 | -98.811662 | Inflalandia |
| UTA-PCH-FMOV21 | 20.122269 | -98.732859 | Jardín del Arte |
| UTA-PCH-FMOV22 | 20.113927 | -98.733824 | CFE Cubitos |

Fuente: Elaboración propia. México, 2024.

Aforo vehicular del transporte público

Si bien se refiere al transporte privado, el transporte público reflejó circulaciones menores al transporte privado, pero, a su vez, transportando mayor cantidad de usuarios mientras que en un auto particular existe un aforo promedio de 4 personas, el transporte público cuenta con un promedio de 20 pasajeros por combi o unidad colectiva, 35 pasajeros en autobús urbano (con una masa promedio total de usuarios de 2,340 kg lo que genera mayores emisiones de CyGEI) y un aproximado de 45 pasajeros en autobús (contabilizando el total de asientos y sin tomar en cuenta 20 pasajeros promedio de pie). Durante las contabilizaciones se consideraron, como puntos aparte, la circulación del transporte público mostrando los siguientes resultados.

- La UTA-PCH-FMOV1 se consolidó como la mayor concentración vehicular y de transporte público pues en ella se concentran autobuses y vehículos foráneos, sistemas de transporte colectivo y unidades privadas “taxis”. Para ello, se contabilizó un total de entre 297 y 303 registros de los cuales la mayor afluencia deriva de los taxis mostrando un promedio de 2-3 personas por recorrido. Sin embargo, para el caso de las unidades colectivas se registró un aforo que va de las 46 a las 76 unidades por hora transportando, en promedio, entre 12 y 20 usuarios. Para el caso particular de los autobuses se cuenta con una afluencia promedio de 72 a 74 unidades derivado del acceso colindante a la central camionera y el perfil de la ciudad capital.
- La UTA-PCH-FMOV2 registró un aforo aproximado de 231 unidades de transporte donde destacó la circulación de taxis (141 unidades), 38 autobuses y 53 unidades colectivas durante una hora (tomando en consideración el blvr Luis Donaldo Colosio, con dirección Actopan y la misma vialidad con dirección Tulancingo).
- Por su parte, la UTA-PCH-FMOV5 mostró una mayor concentración de transporte público derivado de la localización estratégica de la central camionera, la central de abastos y, por su parte, la estación troncal “central de abastos” del Sistema Integrado de Transporte Masivo de Hidalgo. Para estos rubros se registró una afluencia por hora de 678 unidades de transporte público donde destacan los taxis y las unidades colectivas con promedios de circulación de 285 y 70 respectivamente. Esto se ve reflejado en la saturación de las vialidades por bases y puntos de trasbordo en la vialidad.
- Por último, la UTA-PCH-FMOV7 registro mayor afluencia de unidades de transporte colectivo (entre 110 y 145 registros por hora) y con menor tránsito de autobuses y camiones registrando en promedio una circulación de 6 unidades de consumo tipo diésel por cada 10 minutos.

Emisiones de CyGEI de las fuentes móviles por UTA.

Estableciendo de manera puntual las emisiones de CyGEI, en Pachuca de Soto se cuenta con los registros máximos de estos por parte del CO₂ con un aproximado de 619.807 toneladas anuales considerando un aproximado de 47,000 a 56,000 vehículos al día (refiriendo en un consenso de 16 horas sin tomar en consideración la menor afluencia vehicular durante las 22:00 p. m y las 5:00 a.m.).

Por otra parte, las emisiones de COVs son relativamente bajas debido a la poca emisión vehicular derivado de la quema de aceites, anticongelantes y químicos utilizados para el

funcionamiento móvil. Para la UTA-PCH-FMOV1 se registran emisiones de aproximadamente 2.755 Ton/anuales. Por último, como medida representativa en conjunto, la presencia de O₃+NO₂ resultó en emisiones de 19.283 Ton/anuales derivados, principalmente, de la temporada anual de ozono comprendida del 15 de febrero al 15 de junio.

Tabla 5. Emisiones totales UTA-PCH-FMOV1 como medida estándar

| Emisiones por vehículo | COVs ppm | SO ₂ | CO | O ₃ +NO ₂ | PM _{1.0} | PM _{2.5} | PM ₁₀ | CxHy % | CO ₂ |
|--------------------------------------|--------------|-----------------|--------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| Emisiones por día | 131.213 | 0.004 | 4.222 | 0.217 | 0.035 | 0.044 | 0.048 | 50,562.584 | 1,696.128 |
| Emisiones por semana | 918.493 | 0.027 | 29.551 | 1.516 | 0.247 | 0.308 | 0.336 | 353,938.086 | 11,872.895 |
| Emisiones por mes | 3,673.97 | 0.11 | 118.21 | 6.06 | 0.99 | 1.23 | 1.34 | 1,415,752.34 | 50,883.83 |
| Emisiones por año | 44,087.65 | 1.31 | 1,418.47 | 72.76 | 11.87 | 14.77 | 16.13 | 16,989,028.14 | 619,086.65 |
| Toneladas | 44.088 | 0.001 | 1.418 | 0.073 | 0.012 | 0.015 | 0.016 | 16,989.028 | 619.087 |
| Ton. Totales por UTA-PCH-FMOV | 2.755 | 0.000 | 0.089 | 19.283 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 475,692.788 | 619.087 |

Fuente: Elaboración propia. México, julio de 2024.

Mostrando la misma tendencia que la UTA-PCH-FMOV1, a nivel municipal se encuentran enmarcadas emisiones relativamente mayores en comparación con lo estipulado por parte del INECC donde refieren a estaciones de medición fijas. De manera desagregada se encuentra que, por medio del Sniffer 4d V2, las emisiones mostraron variaciones dependiendo de la afluencia vehicular (de 832 vehículos hasta los 2, 333 por hora) agrupando transporte público (en su modalidad de autobuses, combis o colectivas y taxis) así como el transporte privado (incluyendo transporte de carga, vehículos particulares, motocicletas del sector privado laboral y demás clasificaciones).

Tabla 6. Emisiones totales UTA-PCH-FMOV.

| Total de emisiones de CyGEI | COVs ppm | SO ₂ | CO | O ₃ +NO ₂ | PM _{1.0} | PM _{2.5} | PM ₁₀ | CxHy % | CO _{2eq} |
|---|----------|-----------------|-------|---------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------|-------------------|
| Emisiones municipales de las 22 UTAs | 60.620 | 0.001 | 1.950 | 424.218 | 0.016 | 0.020 | 0.022 | 10,465,241.33 | 13,619.906 |

Fuente: Elaboración propia, con base a resultados de mediciones en fuente directa. México, julio 2024.

De acuerdo al registro del INEGI, en el municipio de Pachuca de Soto se cuenta con un registro total de 101,530 vehículos automóviles (incorporando en su totalidad el aforo particular y público de los medios de transporte) de los cuales, en su mayoría son registros de 4 cilindros. Abordando el cálculo de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas en Inglés), un automóvil genera un total de 8.887 kg de CO₂ por galón siendo así que un automóvil de 4 cilindros concentra alrededor de 35lbs, dicho vehículo cuenta con 9.246 cilindros, generando 82.169 kg de CO₂ por lo que se obtiene los siguientes resultados para aquellos registros municipales.

Tabla 7. Emisiones de CO₂ por parque vehicular registrado en Pachuca de Soto, 2024.

| | |
|---|-------------|
| 1 auto de gasolina de 4 cilindros por cada 35 litros genera | 82.169 kg |
| Autos particulares registrados en Pachuca | 101,530 |
| Kilos al día de CO ₂ | 556,175.939 |
| Kilos al día por vehículo CO ₂ | 5.4779468 |

| | |
|---|-------------|
| Toneladas de CO ₂ por semana | 3,893.23157 |
| Toneladas de CO ₂ por mes | 16,685.2782 |
| Toneladas de CO ₂ por año | 203,004.218 |

Fuente: Elaboración propia, con base a metodología UAEH. México, julio de 2024.

Al abordar la tabla anterior y como parte del diseño para el cálculo de información, si bien se cuentan con emisiones totales anuales de 203,004.218 toneladas de CO₂, se registra un total de duración de un tanque de 4 cilindros durante 15 días por lo que registros mensuales ascienden a un consumo promedio de 70 litros (destacando el consumo total de automóviles del transporte público entre 3 y 4 días) teniendo un rendimiento promedio de 13.213 km por cada litro (según lo establecido en el portal de ecovehículos del INECC).

Contrastando lo anterior con unidades del transporte público, siguiendo la categorización de camiones para pasajeros, Pachuca de Soto cuenta con registros de 165 unidades colectivas (camionetas tipo URVAN y HIACE de modalidad públicas) además de ello se cuentan con rutas de transporte que van de los 8.6 km (Central-Plutarco Elías Calles) hasta los 28.2km (Centro-Santiago Tlapacoya).

Las unidades de transporte colectivas, por cada kilómetro recorrido, generan aproximadamente 2.35 gramos de CO₂ por lo que, si se recorren en promedio 20.1 km, se registran emisiones totales de 47.235 kg de CO₂ por recorrido. Por otra parte, una unidad colectiva realiza, en promedio, un total de 10 recorridos al día donde se concentra un total de 472.35 kg de CO₂ por día.

De acuerdo a los registros municipales vehiculares y, por medio del cálculo de emisiones al día, por las 165 unidades en el municipio capital se cuenta con los siguientes datos definitivos.

Tabla 8. Emisiones de CO₂ por unidades de transporte público colectivo registrado en Pachuca de Soto, 2021.

| Emisiones por las 165 unidades | Toneladas de las 165 unidades al día | Toneladas de las 165 unidades al mes | Toneladas de las 165 Unidades al año |
|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 77,937.75 | 77.93775 | 23,380.1325 | 28,447.279 |

Fuente: Elaboración propia, con base a metodología UAEH. México, julio de 2024.

Al establecer el sistema de transporte público del municipio, los camiones de pasajeros urbanos y camiones intermunicipales forman parte categorizaciones diferentes derivados del consumo de diésel.

Si bien se cuentan con unidades de transporte con rutas colectivas más grandes, en su mayor parte corresponden a rutas y trayectos intermunicipales, así como medios de transporte foráneos de los cuales no se cuentan con registros. A su vez, derivado de la gran cantidad de ascensos y descensos en paraderos de alta afluencia vehicular, las UTAs se vuelven el mayor punto de concertación y aforo con emisiones promedio de 0.022 NO_x por cada mil kilómetro.

Emisiones de CyGEI de las fuentes móviles por vialidades y nodos de interconexión primarios.

Pachuca de Soto, al contar con una red vial total de 750,855.88 metros viales (según lo establecido en la Red Nacional de Caminos) entre caminos pavimentados, revestidos, calles, carreteras, y demás; y siguiendo un promedio de emisiones por minuto de 912.22 mg/m³, refleja un total de 4,739,123.21 toneladas anuales de CO₂eq, sin embargo, definiendo la tendencia de emisiones por hora del día de las estaciones de medición fijas del SINAICA, se visualiza una tendencia de concentración durante 16 además que, el INECC informa que las mayores concentraciones en las ciudades y centros urbanos son concebidas en calles y avenidas por lo que, siguiendo esta lógica, las emisiones son cuantificadas por 420,257.57 metros viales obteniendo así la concentración anual de 2,881,446.41 toneladas anuales de CO₂eq.

Teniendo lo anterior como punto de partida es indispensable establecer que, a diferencia de estos valores, las emisiones de COVs oscilan en las 6,022.52 Toneladas y de CxHy 156.13 Toneladas anuales. Además de ellos se cuentan con valores significativos de PM 1, PM2.5 y PM10 sin embargo no cuentan con valores relativamente altos como el caso de los ya mencionados. Al definir la concentración en la longitud de la red vial municipal, se designan criterios de duplicidad de información derivado de la concentración de unidades económicas, medios de transporte y UTAs ya establecidas por lo que, dichas concentraciones, refieren a criterios informativos que serán desagregados según su respectiva delimitación.

Tabla 9. Estimación de las emisiones totales de la red vial, calles y avenidas.

| LONGITUD EMISIONES | TOTAL RED VIAL | TOTAL CALLES Y AVENIDAS |
|--|----------------|-------------------------|
| mg/1,000m | 19,567.3 | 19,567.3 |
| Conversión | 0.0195673 | 0.0195673 |
| Longitud de la red vial | 750,855.88 | 420,257.57 |
| Emisiones por hora | 1.174038 | 1.174038 |
| Emisiones por día | 18.784608 | 18.784608 |
| Toneladas por semana | 131.492256 | 131.492256 |
| Emisiones por mes | 525.969024 | 563.53824 |
| Emisiones anuales | 6,311.628288 | 6,856.38192 |
| Emisiones anuales por longitud vial (metros) | 4,739,123,210 | 2881446408 |
| Toneladas anuales CO ₂ | 4,739,123.21 | 2,881,446.41 |
| Toneladas anuales CO ₂ eq | 4,739,123.21 | 2,881,446.41 |

Fuente: Elaboración propia, con base a metodología UAEH. México, julio de 2024.

Conclusiones

Medidas de Mitigación y Adaptación

Las medidas de mitigación y adaptación son estrategias y acciones diseñadas para abordar el cambio climático y sus impactos. Aunque están relacionadas, tienen enfoques ligeramente diferentes donde la mitigación se centra en reducir las emisiones de CyGEI para disminuir la cantidad de calor atrapado en la atmósfera, las medidas de adaptación se basan en ajustarse y prepararse para los impactos inevitables del cambio climático por lo ya ocurrido al no implementar estrategias de mitigación.

- **Conservación de la biodiversidad:** La conservación de la biodiversidad puede mitigar el cambio climático causado por los vehículos de motor al capturar carbono, proteger los

sumideros de carbono, reducir las emisiones por deforestación, promover la movilidad sostenible y respaldar la investigación y el desarrollo de tecnologías verdes.

- **Captación de CyGEI:** Al aumentar la cantidad de árboles en un área determinada, se incrementa la capacidad de captura de carbono. Los bosques, los parques urbanos, los jardines y otras áreas arboladas pueden contribuir significativamente a esta captura de carbono. Es importante mantener y expandir la cobertura forestal para maximizar los beneficios en términos de mitigación del cambio climático. Los corredores verdes pueden actuar como barreras naturales contra el ruido, reducir la temperatura urbana y proporcionar espacios verdes para la recreación y el bienestar de las personas además de la eficiencia en la mejora de la calidad del aire.
- **Servicios comerciales motorizados:** La regulación de los servicios comerciales motorizados puede desempeñar un papel importante en la mitigación del cambio climático al promover prácticas más sostenibles y reducir las emisiones de GEI. Promover la integración del transporte multimodal en los servicios comerciales implica combinar diferentes modos de transporte, como el uso de vehículos eléctricos, híbridos y/o medios de transporte que no utilicen energías fósiles beneficiando así la salud.
- **Paraderos y señalética:** Estos equipamientos e infraestructuras de los servicios de movilidad pueden proporcionar información sobre opciones de transporte sostenibles, como rutas de ciclovías, rutas de senderismo o sistemas de compartición de bicicletas. Esto ayuda a concientizar a las personas sobre alternativas más ecológicas y puede motivar cambios en los hábitos de transporte además de incidir en el fomento de la movilidad activa ya que promover estas formas de transporte sin emisiones, se reduce la huella de carbono asociada al desplazamiento y se mejora la calidad del aire asociado a la implementación de medidas de eficiencia energética y la formación de un diseño urbano sostenible.
- **Rehabilitación y reestructuración de nodos de interconexión urbana:** La rehabilitación de nodos de interconexión puede formar parte de un enfoque más amplio de diseño urbano sostenible, con una planificación y diseño de ciudades y comunidades que fomenten la movilidad sostenible, con una infraestructura adecuada, espacios peatonales amigables, acceso a transporte público eficiente y conectividad entre diferentes modos de transporte. Al crear entornos urbanos sostenibles, se promueve un transporte más limpio y, respecto a las vialidades primarias, incluir medidas de eficiencia energética con energías limpias donde destaque la instalación de paneles solares para generar energía renovable que alimente la iluminación y otros dispositivos en el lugar
- **Regulación del parque vehicular y sus emisiones:** La implementación y el diseño de estándares con mayor ajuste jurídico-administrativo de emisiones imponen límites a las emisiones de CO₂ y otros contaminantes, y pueden requerir la adopción de tecnologías más limpias, como motores más eficientes, sistemas de escape avanzados o vehículos eléctricos. De la misma manera, la aplicación de incentivos fiscales (caso específico de las unidades de transporte privado no colectivos) establece el fomento para el uso híbrido y generación de estrategias específicas para la implementación de incentivos donde las unidades de transporte serán las encargadas de, a partir de la rehabilitación y mantenimiento de espacios públicos, fomentar el uso del cuidado medioambiental y la disminución de la generación de contaminantes para volverse unidades sustentables y/o sostenibles con la repercusión en los incentivos fiscales.
- **Transporte con energías limpias:** La adopción masiva de sistemas de transporte público eléctrico requiere inversiones en infraestructura de carga, actualización de flotas y planificación

efectiva. Sin embargo, a medida que avanza la tecnología y se reducen los costos de los vehículos y la infraestructura, es una opción cada vez más viable y necesaria para enfrentar los desafíos del cambio climático y lograr un transporte más sostenible. Para el caso particular de Pachuca de Soto, al reemplazar los autobuses de combustible diésel del sistema Tuzobús, se logra una reducción significativa de las emisiones de carbono brindando así menores concentraciones directamente de los escapes y los procesos de combustión interna.

Los sistemas de transporte público eléctrico no emiten contaminantes atmosféricos locales por lo que se pretende la incidencia en la mejora de la calidad del aire en las áreas urbanas y las reducciones de los riesgos asociados con enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Al utilizar transporte público eléctrico, se aprovecha de manera más eficiente la energía utilizada, lo que reduce la demanda de combustibles fósiles y el consumo global de energía.

Respecto a criterios de infraestructura y equipamiento, las unidades troncales del sistema Tuzobús se transformarían, bajo una modalidad sostenible en la que las unidades serían comprendidas como energéticamente viables, la implementación de paneles solares y fuentes energéticas eólicas obteniendo así energías capaces de solventar las necesidades de las estaciones además de ampliar la capacidad de ofertar a usuarios estabilidad, seguridad y confiabilidad por medio de conectores, video vigilancia, alumbrados ahorradores y demás equipamientos con la función energética limpia repercutiendo en la movilidad eficiente y eficaz.

- **Ciclovías:** para el desarrollo de dicha estrategia, se plantea, de acuerdo con lo establecido en las concentraciones de CyGEI que, los vehículos no motorizados, como caminar y andar en bicicleta, son estrategias efectivas de mitigación de CO₂ en el sector del transporte. Partiendo de este punto y definiendo que las emisiones no motorizadas son consideradas fuentes de emisiones cero, se define una reducción de la dependencia de los combustibles fósiles (gasolina y diésel) así como la extracción, producción y el consumo. Además de ello, los vehículos no motorizados brindan la oportunidad de usar de manera correcta el espacio dando oportunidad a la reducción de la necesidad de ampliar las infraestructuras viales, evitando así deforestaciones, destrucción de espacio y áreas naturales para vialidades adicionales. Lo anterior se ve previsto para promover una cultura de movilidad sostenible y concientizar sobre los beneficios tanto ambientales como personales de estos modos de transporte.
- **Alumbrado público con energías limpias:** Además de las estrategias direccionadas al tránsito de las fuentes móviles de manera directa, el alumbrado público al ser parte fundamental del equipamiento vial, debe de contener características específicas donde destaque la iluminación y criterios de uniformidad en la distribución, eficiencia energética y direccionada, calidad de color, mantenimiento y un diseño estético. Si bien dichos criterios se basan a una imagen urbana y dotación de un servicio, bajo la visión de mitigación, los servicios de alumbrado deben estar direccionado a la reducción de CyGEI y sobre todo el uso eficiente de los recursos naturales y las fuentes generadoras como el caso de paneles solares que permitan volverse instrumentos sostenibles y garanticen la mejor funcionalidad de ellos.

Acciones de intervención para la mitigación y adaptación

Siguiendo la metodología diseñada, las acciones de intervención deben ser diseñadas con base a la priorización del inventario y las fuentes de emisión.

Tabla 10. Programa de mitigación y adaptación ante el cambio climático de la zona urbana de Pachuca, según priorización del Inventario de CyGAI, y del programa de Mitigación y Adaptación ante el CC de 7 municipio e la ZM de Pachuca. Proyecto UAEH-CONAHCyT.

| Programa de Mitigación y Adaptación | | | | | | |
|--|---|-----------------------|------------|---|---|---|
| Móviles-Transporte | | | | | | |
| ZM-Pachuca | | | | | | |
| Estado de Hidalgo | | | | | | |
| ACCIÓN Móviles Transporte | MITIGACIÓN (Miles-t/anuales) | | | ADAPTACIÓN | | |
| | CO₂ | NO_x | PPM | Bioremediación-captura-cultura ambiental-Legislación | EJE DE ACCIÓN | LOCALIZACIÓN |
| Regulación del parque vehicular y sus misiones | 1,000.0 | 500.0 | 100.0 | Regulación del parque vehicular y sus emisiones a través de un programa integral de la ZM Pachuca. Nueva legislación para regulación. | Corredor metropolitano Pachuca-centro-Matilde-Acayuca-Zapotlán-Télléz-Villa Tezontepec-Tolcayuca-Tizayuca-AIFA. | Gobierno federal-estatal-Municipales. Ciudadanos. Cámara de Diputados local. |
| Tuzo-bús-eléctrico | 300.0 | 100.0 | 1.0 | Integración del transporte metropolitano en 10 municipios | Corredor metropolitano Pachuca-centro-Matilde-Acayuca-Zapotlán-Télléz-Villa Tezontepec-Tolcayuca-Tizayuca-AIFA. | Gobierno federal-estatal-Municipales. Ciudadanos. Empresarios. Ejidatarios. Constructores. Cámara de Diputados local. |
| Estaciones sostenible | 50.0 | 75.0 | 1.0 | Instalación de estaciones e-Bús sostenibles | En cada Estación e-Bús. Corredor metropolitano. | Gobierno federal-estatal-Municipales. Ciudadanos. Académicos. Universidades. Organizaciones ambientalistas. |
| Ciclovías | 1.0 | 25.0 | 0 | Integración Ampliación Coordinación de ciclovías a transporte metropolitano. | Corredor metropolitano Pachuca-centro-Matilde-Acayuca-Zapotlán-Télléz-Villa Tezontepec-Tolcayuca-Tizayuca-AIFA. | Gobierno federal-estatal-Municipales. Ciudadanos. Académicos. Universidades. Organizaciones ambientalistas. |
| Espacios públicos | 100.0 | 50.0 | 0.5 | Adaptación capturadores de carbono | Espacios públicos de Municipios de la ZM Pachuca | Municipio. Ciudadanos. Académicos. Universidades. |

PROGRAMA DE MOVILIDAD PARA INCIDIR EN LA MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ZONA URBANA DE PACHUCA.

| | | | | | | |
|---|-------|-----|------|---|---|---|
| | | | | | | Organizaciones ambientalistas. |
| Polinizadores | | | | Diseño- instalación de espacios de polinización en los 10 municipios. | Corredor metropolitano Pachuca-centro- Matilde-Acayuca- Zapotlán-Télez-Villa Tezontepec-Tolcayuca- Tizayuca-AIFA. | Municipio. Ciudadanos. Académicos. Universidades. Organizaciones ambientalistas. |
| Muros- Techos verdes | 0.5 | 1.0 | 0.5 | Diseño, instalación y operación de muros verdes en edificios públicos | Espacios públicos de Municipios de la ZM Pachuca | Municipio. Instituciones públicas. |
| Barrio del Arbolito Sostenible | 0.250 | .05 | 0.05 | Manejo integral de recursos naturales, agua, RSU. Reforestación. Bioconservación. Educación ambiental- callejones culturales. Polinizadores. Capturadores de agua. Muros-techos verdes. Rehabilitación de Callejos y calles peatonales. | Barrio del Arbolito Pachuca de Soto-Hgo. 20°08'05.5"N 98°43'46.9"W | Municipio. Instituciones públicas. Vecinos. Académicos. Universidades. Organizaciones ambientalistas. AC-Barrio Arbolito. |
| Jales de mina-1-Sur-Pachuca | 0.5 | 0.5 | 10.0 | Adaptación de especies. Reforestación. Captura de humedad. Conservación de especies. Polinizadores. Senderos sostenibles. Jardines botánicos | Jales Pachuca de Soto. 20.075555N, - 98.760688W. | Gobierno federal- estatal- Municipales. Ciudadanos. Empresarios. Constructores. Cámara de Diputados local. Universidades Organizaciones Ambientalistas. |
| Jales de mina-2- Poniente- Mineral de la Reforma. | 0.5 | 0.5 | 5.0 | Adaptación de especies. Reforestación. Captura de humedad. | Jales 2 Mineral de la Reforma. 20.105541N, - 98.713567W | Gobierno federal- estatal- Municipales. Ciudadanos. Empresarios. Constructores. |

| | | | | | | |
|----------------------------|------|-------|-------|---|---|---|
| | | | | Conservación de especies. Polinizadores. Senderos sostenibles Jardines botánicos. | | Cámara de Diputados local. Universidades. Organizaciones ambientalistas. |
| Crucero Soriana del Valle. | 0.01 | 0.001 | 0.001 | Reorganización de vialidades. Nueva señalética. Urbanismo táctico. Educación ambiental. | Pachuca, de Soto 20°05'47.7"N 98°45'36.6"W | Gobierno federal-estatal- Municipales. Ciudadanos. Empresarios. Constructores. Cámara de Diputados local. Universidades. Organizaciones ambientalistas. Transportistas. |
| Capturadores de Carbono | | | | Diseño- instalación de espacios de captura en los 10 municipios. | Corredor metropolitano Pachuca-centro- Matilde-Acayuca- Zapotlán-Télliz-Villa Tezontepec-Tolcayuca- Tizayuca-AIFA. | Gobierno federal-estatal- Municipales. Ciudadanos. Empresarios. Constructores. Cámara de Diputados local. Universidades. Organizaciones ambientalistas. |
| Islas de calor | | | | Diseño, instalación y operación de acciones de adaptación para regular la temperatura en polígono urbano. | Pachuca centro. 20°05'47.7"N 98°45'36.6"W | Gobierno federal-estatal- Municipales. Ciudadanos. Empresarios. Constructores. Cámara de Diputados local. Universidades. Organizaciones ambientalistas. |
| Educación ambiental | | | | Implementación del programa de educación Ambiental diseñado por proyecto Agenda Ambiental UAEH- CONAHCyT. | Corredor metropolitano Pachuca-centro- Matilde-Acayuca- Zapotlán-Télliz-Villa Tezontepec-Tolcayuca- Tizayuca-AIFA. | Gobierno federal-estatal- Municipales. Ciudadanos. Empresarios. Constructores. Cámara de Diputados local. Universidades. |

PROGRAMA DE MOVILIDAD PARA INCIDIR EN LA MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ZONA URBANA DE PACHUCA.

| | | | | | | |
|-------------------------|--|--|--|---|---|--|
| | | | | | | Organizaciones ambientalistas. |
| Observatorio Ambiental. | | | | Implementación del Sistema de Indicadores Ambientales diseñado por proyecto Agenda Ambiental UAEH-CONAHCyT. | https://agendaambientalzonasmetropolitanas.hidalgo.com.mx | Gobierno federal-estatal-Municipales. Ciudadanos. Empresarios. Constructores. Cámara de Diputados local. Universidades. Organizaciones ambientalistas. |

Fuente: elaboración propia con base a Inventario de CyGEI de la ZM de Pachuca. Proyecto Agenda Ambiental-CONAHCyT. México 2024.

Referencias literarias

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2016). *Recomendaciones básicas - Automovilista eficiente*. Obtenido de Causas que afectan el rendimiento de combustible de un automóvil.: <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/causas-que-afectan-el-rendimiento-de-combustible-de-un-automovil?state=published>

INECC, SEMARNAT. (2018). *Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático de México*. Obtenido de <https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/infografia/>

INEGI. (2020). Obtenido de Cuéntame INEGI: <https://cuentame.inegi.org.mx/economia/terciario/transporte/maritimo.aspx?tema=E>

INEGI. (2023). *Vehículos de Motor Registrados en Circulación*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/programas/vehiculosmotor/#Tabulados>

Instituto Mexicano del Transporte. (2009). *Secretaría de Comunicaciones y Transporte*. Obtenido de Propuesta metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la República Mexicana : <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt322.pdf>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2018). *SEMARNAT*. Obtenido de Elementos para inventario de fuentes móviles: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/427685/INFORME_FINAL_MOVES-IE2016f.pdf

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2023). *Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire*. Obtenido de <https://sinaica.inecc.gob.mx/>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2023). *ecovehiculos*. Obtenido de Portal de Indicadores de Eficiencia Energética y Emisiones Vehiculares: <https://ecovehiculos.inecc.gob.mx/>

López Pérez, Sócrates. Registro municipal de fuentes móviles, sistemas de transporte y vialidades, Pachuca de soto, estado de Hidalgo (Informe Técnico-CONAHCyT), México, enero de 2024.

Registro Nacional de Emisiones. (2020). *Informe de Resultados del Registro Nacional de Emisiones 2015 – 2018*. Ciudad de México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales . (2019). *Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes Criterio*. Obtenido de [https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-contaminantes-criterio-inem#:~:text=El%20Inventario%20Nacional%20de%20Emisiones,SOx\)%20y%20part%C3%ADculas%20con%20di%C3%A1metro](https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-contaminantes-criterio-inem#:~:text=El%20Inventario%20Nacional%20de%20Emisiones,SOx)%20y%20part%C3%ADculas%20con%20di%C3%A1metro)

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2023). *Registro Nacional de Emisiones*. Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/registro-nacional-de-emisiones-rene>.