Capítulo 5

5 Simulaciones de movilidad urbana

Manuel Hernández Rosales
Coordinador

Oscar Missael Quintana Quilantan
Pablo Álvarez López
Idalia Flores De la Mota
Carmen Angelina García Cerrud
Pablo Uriel Benítez Ramírez
Ana Carolina Olivera
Autores

COORDINACIÓN DE HUMANIDADES
80 AÑOS 2025
CONSEJO TÉCNICO DE HUMANIDADES
PUEC UNAM

Catalogación en la publicación UNAM. Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información

Nombres: Hernández Rosales, Manuel, editor.

Título: 5 simulaciones de movilidad urbana /Manuel Hernández Rosales, coordinador.

Otros títulos: Cinco simulaciones de movilidad urbana.

Descripción: Primera edición. | Ciudad de México : Universidad Nacional Autónoma de México, Coordinación de Humanidades, Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad, 2025.

Identificadores: LIBRUNAM 2278760 (libro electrónico) | ISBN 9786075878669 (libro electrónico).

Temas: Ingeniería vial -- Métodos de simulación. | Transporte -- Simulación por computadora. | Movilidad residencial -- Simulación por computadora. | Movilidad residencial -- Métodos de simulación. | Gases de escape -- Métodos de simulación. | SUMO (Programa para computadora).

Clasificación: LCC HE336.A8 (libro electrónico) | DDC 388.312—dc23

---

5 Simulaciones de movilidad urbana
Coordinador: Manuel Hernández Rosales

Primera edición: 22 de septiembre de 2025
ISBN PDF: 978-607-587-866-9

Obra completa
DOI: https://doi.org/10.22201/puec.9786075878669e.2025

Capítulo 5. 4ª Simulación: ciudadanos en movimiento, tráfico y emisiones
DOI: https://doi.org/10.22201/puec.9786075878669e.2025.c5

D.R.© 2025 Universidad Nacional Autónoma de México
www.unam.mx

Coordinación de Humanidades
Circuito Mario de la Cueva s/n, Ciudad Universitaria,
Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México
www.humanidades.unam.mx

Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad
República de Cuba 79, Centro Histórico,
Alcaldía Cuauhtémoc, C.P. 06010, Ciudad de México
www.puec.unam.mx

Departamento de publicaciones PUEC-UNAM: Graciela Chávez Olvera
Corrección de estilo: Adriana Cataño
Diseño editorial y portada: Laura Elena Mier Hughes
Apoyo editorial: Luis Armando Acosta Uribe

El contenido de esta obra es responsabilidad de los autores. Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra por cualquier medio, incluidos los electrónicos, sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales. Esta edición y sus características son propiedad de la UNAM.

Hecho en México / Made in Mexico

Capítulo 5

4ª Simulación: ciudadanos en movimiento, tráfico y emisiones

Pablo Uriel Benítez Ramírez*

Introducción

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son una de las principales causas del cambio climático, un fenómeno global con consecuencias devastadoras para los ecosistemas, la salud humana y las economías mundiales. Estos gases, como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), se liberan principalmente a través de actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, la deforestación y la agricultura industrial. Según el Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) de 2021 (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2021), la concentración de CO_2 en la atmósfera alcanzó las 414 partes por millón (ppm) en 2020, un nivel sin precedentes en al menos 800,000 años. Esta acumulación de GEI ha contribuido a un aumento de la temperatura global promedio de aproximadamente 1.2 °C desde la era

* Estudiante de Maestría en Ciencias e Ingeniería de la Computación. IIMAS, UNAM

preindustrial, con efectos que incluyen el derretimiento de los glaciares, el aumento del nivel del mar y fenómenos meteorológicos extremos más frecuentes y severos.

En 2019, las emisiones globales de CO_2 provenientes de la quema de combustibles fósiles alcanzaron aproximadamente 36.7 gigatoneladas (Gt), según la Agencia Internacional de Energía (AIE). El transporte es uno de los sectores más contaminantes, responsable de aproximadamente 24% de estas emisiones. A nivel mundial, los vehículos de carretera representan casi tres cuartas partes de las emisiones de CO_2 del sector transporte. Estos datos subrayan la urgencia de desarrollar e implementar estrategias efectivas para reducir las emisiones de GEI y mitigar el cambio climático.

Contexto en México

México, como parte de la comunidad global, también enfrenta el desafío de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. En 2018, el país emitió aproximadamente 683 millones de toneladas de CO_2 equivalente (*Mt* CO_2eq), con el sector transporte contribuyendo con 25% de estas emisiones. El país ocupa el puesto 12 a nivel mundial en términos de emisiones totales de GEI, según el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 2020. La creciente urbanización y el aumento de la población han llevado a un incremento en la demanda de transporte, lo que a su vez ha acrecentado las emisiones asociadas.

Se estima que 48 % de la energía que se consume en el país es para movilizar personas y mercancías. La combustión de gasolina es la segunda fuente de gases de efecto invernadero y una de las principales causas de contaminación atmosférica.

El auge del automóvil es una pieza clave para entender la dinámica vial y el aumento de la contaminación. Según datos del INEGI, en el año 2000 había cerca de 10 millones de autos privados en el país y unas 300,000 motos. Ahora tenemos más de 36 millones de autos y 7 millones de motos. En las últimas dos décadas, la población del país creció 30%, pero ahora tenemos 248% más autos y 1880% más motos. Tal crecimiento de motocicletas se debe a que suelen ser más baratas, utilizan menos espacio y un poco menos de gasolina para recorrer la misma distancia que un auto. Sin embargo, emiten más monóxido de carbono y otros gases tóxicos, además de que generan una alta contaminación sonora y desorganizan el espacio público ("El inventario de la movilidad de México-Taller de datos-Blog de análisis de datos", s.f.).

La Ciudad de México, una de las metrópolis más grandes del mundo, enfrenta problemas significativos de calidad del aire debido a la alta concentración de vehículos. En 2020, se estimó que los vehículos en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) emitían alrededor de 30 millones de toneladas de CO_2 *eq* al año. Esta situación no solo contribuye al cambio climático, sino que también tiene graves repercusiones para la salud pública, causando enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

La congestión del tráfico es un problema crónico que afecta diariamente a millones de residentes y visitantes. Con una población en constante crecimiento y una infraestructura vial limitada, los bloqueos de tráfico causados por manifestaciones y protestas representan un desafío adicional para la movilidad urbana.

En 2022 el promedio de horas que un conductor en la Ciudad de México pierde en el tráfico era de 74 horas ("Global Traffic Scorecard, INRIX Global Traffic Rankings", s.f.). Otros estudios muestran 152 horas, lo que equivale a 983 kilos de CO_2 (TomTom, s.f.). Ante esta realidad, es evidente la necesidad de implementar estrategias efectivas para minimizar el impacto de estos bloqueos en el tránsito urbano. También se calcula que del 5 de diciembre de 2018 al 31 de julio de 2023 tuvieron lugar un promedio de 9.6 manifestaciones diarias en forma de concentraciones, mítines, bloqueos, marchas, plantones o rodadas (Índice Político, s.f..).

Ante este escenario, es imperativo desarrollar estrategias innovadoras que permitan mitigar los efectos negativos de estos bloqueos en el tránsito urbano. En este contexto, el uso de tecnologías de simulación como SUMO (Simulation of Urban Mobility) emerge como una herramienta crucial para entender, prever y abordar estos desafíos de manera integral, eficiente y efectiva.

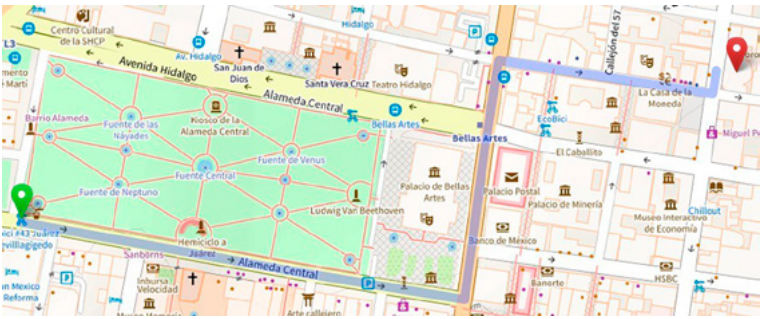
En este estudio, nos proponemos aprovechar la capacidad de SUMO para desarrollar y evaluar las emisiones generadas en situaciones de bloqueos vehiculares. La simulación propone una visualización real del gran impacto

que un bloqueo puede derivar. Además, como no existe una solución para este problema, buscamos en un futuro desarrollar soluciones basadas en este ensayo que puedan mejorar la fluidez del tráfico, y garantizar la movilidad segura y eficiente de los habitantes de la Ciudad de México, en un contexto urbano afectado por bloqueos de tráfico dinámicos y estáticos.

Planteamiento del problema

Se considera un bloqueo al flujo vehicular en el centro de la Ciudad de México debido a una manifestación, la cual tendrá el siguiente recorrido

Figura 1. Centro Histórico, Open Street Maps



La manifestación da cita de inicio a las 11 a.m. en Av. Juárez esquina Dr. Mora. El contingente de aproximadamente 500 personas marchará hasta el Eje Central, continuará su camino siguiendo el flujo vehicular (hacia el norte) hasta llegar a Donceles, donde continuará su camino

para finalizar en el Congreso de la Ciudad de México, en el cual hará un plantón de aproximadamente una hora. Finaliza a la 1 p.m. y se establece el flujo vehicular.

Cálculo de emisiones

Se miden las emisiones generadas con y sin bloqueo, tomando en cuenta lo siguiente:

- No se consideran las emisiones del transporte público, ya que los que transitan por esa zona son la línea 1 del trolebús (sobre el eje Central Lázaro Cárdenas), la cual cuenta con las unidades ZK5180C-2020 y ZK5120C-2020, de la marca YUTONG, ambos eléctricos de cero emisiones, y la línea 4 del Metrobús (transita sobre Av. Miguel Hidalgo), la cual cuenta con las unidades B15 de la marca BYD, las cuales también son eléctricas de cero emisiones.
- Se realiza un promedio de emisiones de los 10 vehículos ligeros más vendidos/usados desde 2018 a 2023, los cuales son:
    - Nissan Versa
    - Nissan March
    - Chevrolet Aveo
    - Volkswagen Jetta
    - KIA Rio Sedán
    - Nissan Tsuru
    - Chevrolet Beat
    - Nissan Sentra

  - Mazda3 Sedán
  - Volkswagen Vento

  Los datos del rendimiento (en ciudad) de cada vehículo se obtuvieron del catálogo de rendimiento de vehículos ligeros de venta en México (CONUEE).
- Se realiza un promedio de emisiones de las tres motocicletas/motonetas más vendidas/usadas desde 2018 a 2023, las cuales son:
  - Yamaha FZ-S
  - WS 150 Italika
  - Italika FT150
- Se calculan los promedios de los rendimientos y emisiones de las tablas 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15. Los rendimientos que se usarán para los vehículos ligeros en la simulación están en la tabla 16 y los rendimientos para las motocicletas están en la tabla 17.

Simulación en SUMO

Para la estimación de las emisiones, se creó una simulación en el programa SUMO (Simulation of Urban Mobility), la cual es una herramienta de simulación de tráfico.

Se hizo una partición del mapa de la zona Centro de la Ciudad de México utilizando el programa *Open Street Maps*, considerando el área comprendida entre los ejes 1A Sur y 1 Norte, con los Ejes 1 Poniente y 1 Oriente.

Se tomaron datos de la *Encuesta Origen Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México*

2017 (INEGI), considerando un horario de 11:00 a 13:00. Seleccionamos un flujo entre semana, con origen de viaje *todos* y destino de viaje CDMX-centro histórico, también incluimos los viajes internos.

Se obtienen los siguientes datos, considerando que los viajes de 11:00-13:00 representan el 10% de los viajes diarios:

Datos de viajes

	Todo el día	11:00-13:00
Origen de viaje	154,161	15,416
Viajes internos	381,162	38,116
Destino de viaje	535,323	53,532

Usamos *OSM Web Wizard*, ligado al programa SUMO, para generar nuestra simulación base. Es necesario agregar la cantidad de vehículos, transporte público, camiones, motocicletas, peatones, entre otros. Además se considera un factor de tránsito (Through factor) dada la siguiente fórmula

$$\frac{\text{Destino de viaje}}{\text{Origen de viaje} + \text{Viajes internos}} = 1$$

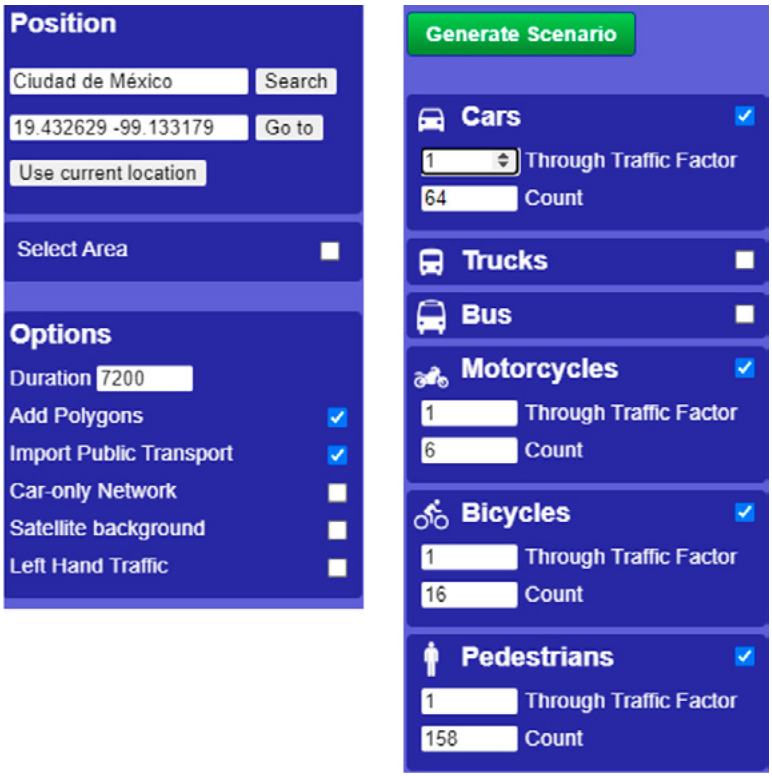
es decir, por cada vehículo que entra a la simulación uno sale.

Se consideran las siguientes cantidades (*Count*) de elementos:

Cantidad de elementos

Figura 2. Datos para generar la simulación

Vehículos	Motocicletas	Bicicletas	Peatones
64	6	16	158



Al terminar de agregar los datos a *OSM Web Wizard*, haciendo clic en *Generate Scenario* con una duración de 7200, se genera una carpeta con el archivo osm.config, el cual tendrá la simulación que construimos.

Observación: las bicicletas y peatones no generan emisiones por lo que nos enfocaremos en los vehículos y las motocicletas.

Se utiliza la instrucción EmissionOutput (https://sumo.dlr.de/docs/Simulation/Output/EmissionOutput.html) para la generación de los registros de emisiones, mismos que incluirán los datos de consumo por segundo de cada vehículo.

Simulación sin bloqueo

Con la simulación (archivo osm.config) editamos como si fuese un archivo de texto agregando al apartado output de nuestro archivo lo siguiente, con el fin de generar el registro de emisiones.

```
<output>
<emission-output value="emisiones-A.xml" />
</output>
```

El cual nos genera un archivo .xml con todos los datos de emisiones por cada segundo de la simulación. Después convertimos el archivo a .csv con la herramienta de importación de Excel, o bien utilizar el comando xml2csv.py.

Observación: en los archivos .trips podemos encontrar la cantidad de vehículos que nos generó la simulación base, en este caso son 2,290 vehículos en total (incluyendo motocicletas).

Observación: los datos de CO_2 no se tomaron directamente de los generados, porque los modelos de emisiones

están basados en vehículos europeos. Además los datos de combustible (*fuel*) están en *mg* (miligramos).

La gasolina Magna tiene una densidad de $0.740\ \frac{kg}{l} = 740\ \frac{mg}{ml}$ (CONUEE, s.f.). La fórmula para convertir *mg* a *ml* está dada por

$$ml = \frac{mg}{D}$$

La suma de combustible del archivo .csv (gasolina Magna) es

$$912494152.3 mg \rightarrow \text{aplicando (2.1)}$$
$$\rightarrow \frac{912494152.3\ mg}{740\ \frac{mg}{ml}} = 1233100.21\ ml = 1233.10021\ l$$

Entonces, siguiendo datos del INEGI sobre los vehículos de motor registrados en circulación en 2022 (INEGI, s.f.), en México hay 36,496,879 vehículos particulares y 6,806,475 motocicletas. Por lo tanto 18.65% de consumo de combustible es de motocicletas, y 81.35% de vehículos particulares.

$$1233.10021\ l \cdot 18.65\% \quad = 229.9732\ l \text{ consumo de motocicletas}$$
$$1233.10021\ l \cdot 81.35\% \quad = 1003.1270\ l \text{ consumo de vehículos}$$

Se estima que cada litro de gasolina produce un aproximado de 2.3 kg/l de CO_2 (Canada Resources, s.f.; Coordinación General de Cambio Climático y Desarrollo Bajo en Carbono, 2014). Para calcular las emisiones con los datos de los vehículos y motocicletas consideramos la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento total} \cdot \text{Emisión total} = \text{Consumo total}$$

Para los vehículos tenemos que:

$$\begin{aligned} \text{Consumo total} &= 15.858\ \frac{km}{l} \cdot 150.512\ \frac{g}{km} = 2386.82\ \frac{g}{l} \\ \text{Emisiones} &= 2386.82\ \frac{g}{l} \cdot 1003.1270\ l = 2394283.59\ g \\ &= 2394.284\ kg \text{ de } \mathrm{CO_2} \end{aligned}$$

Para las motocicletas tenemos que:

$$\begin{aligned} \text{Consumo total} &= 34\ \frac{km}{l} \cdot 71.08\ \frac{g}{km} = 2416.72\ \frac{g}{l} \\ \text{Emisiones} &= 2416.72\ \frac{g}{l} \cdot 229.9732\ l = 555780.832\ g \\ &= 555.781\ kg \text{ de } CO_2 \end{aligned}$$

Por lo tanto tenemos que:

$$\text{Emisiones totales} = 2394.284\ kg + 555.781\ kg = 2.450\ t \text{ de } CO_2$$

Se obtiene este total para el caso en el que no exista un bloqueo en el flujo vehicular.

Simulación con bloqueo

Para la generación del bloqueo se creó un *script* runner.py, el cual genera el bloqueo al flujo vehicular por una hora empezando en el segundo 60 de la simulación.

El bloqueo se encuentra en las siguientes líneas:

```
#begin and end time of edges closed
bt = 60.0
et = 3600.0
#edges closed
```

```
edgesclosed = "6169217136 6169217137
6169217139 61692171310 61692171311
61692171312 61692171313 61692171314
61692171315 11353024110 6180286241 4215677010
4215677011 248501490 248501491 248501492
248501493 248501494 616927361"

#vehicles disallowed
vehdisa = "private"

def closingedges():
 ar = edgesclosed.split(' ')
 h = open('./closededges.add.xml', 'w')
 h.write("""<?xml version="1.0" encodin-
g="UTF-8"?>\n<additional xmlns:xsi="http://
www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:no-
NamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/
xsd/additional_file.xsd">""")
 h.write("<rerouter id='rr1' edges='" +
edgesclosed + "' pos='194.00,195.40' probabi-
lity='1'>")
 h.write("<interval begin='" + str(bt) + "'
end='" + str(et) + "'>")

 for a in ar:
 h.write("<closingReroute id='" + a + "'
allow='" + vehdisa + "'/>")
 h.write("</interval>")
 h.write("</rerouter>\n")
```

```
 h.write("""</additional>""")
 h.close()

def newroutes():
h = open('./osm.passenger.trips.xml', 'r')
l = open('./ejbloqueo.rou.xml', 'w')
ar = edgesclosed.split(' ')
for f in h:
for via in ar: if f.find(via) >= 0:
f = f.replace(via, "6181067303")
l.write(f)
h.close()
l.close()
```

El conjunto *edges closed* contiene a todas las calles por las que la manifestación pasa. La instrucción *closing edges* da la orden de cerrar las calles del conjunto *edges closed* durante el tiempo *et*. La instrucción *newroutes* ofrece una calle alterna a los vehículos que iban a pasar por alguna de las calles del conjunto *edges closed* para que no muestren el mensaje de ruta inválida.

La instrucción *createejbloqueo*, genera el archivo ejbloqueo.config, sobre el que se calculan las emisiones con bloqueo.

```
def createejbloqueo():
h = open('./ejbloqueo.sumocfg', 'w')
h.write("<?xml version='1.0'
encoding='UTF-8'?>"
```

```
 + "<configuration xmlns:xsi='http://www.
w3.org/2001/XMLSchema-instance'
xsi:noNamespaceSchemaLocation='http://sumo.
dlr.de/xsd/sumoConfiguration.xsd'>"
+ "<input>"
+ "<net-file value='osm.net.xml.gz'/>"
+ "<route-files value='ejbloqueo.rou.xml'/>"
+ "<additional-files value='closededges.add.
xml, caminables.add.xml'/>"
+ "<pedestrian.model value='jupedsim'/>"
+ "<ignore-route-errors value='true'/>"
+ "</input>"
+ "</configuration>")
h.close()
```

Observación: la instrucción +"<pedestrian.model value='jupedsim'/>" puede omitirse en caso de que no se necesite una modelación del movimiento de los peatones.

Con la simulación (archivo ejbloqueo.config) agregamos al apartado *output* de nuestro archivo lo siguiente para obtener los consumos de gasolina y las emisiones de todos los vehículos.

Observación: la conversión a .csv genera error debido al tamaño de la tabla, por lo que se hará la siguiente modificación al archivo ejbloqueo.config para la generación del registro de emisiones,

```
 <output>
 <emission-output value="emisiones1.xml" />
```

```
<time>
<begin value="0"/>
<end value="900"/>
</time>

</output>
```

Y para los siguientes valores, modificamos con lo siguiente:

```
<output>
<emission-output value="emisiones2.xml" />
<device.emissions.begin value="900">

</output>
```

Esto nos genera dos archivos emisiones1.xml y emisiones2.xml, los cuales contienen los datos de emisiones por cada segundo de la simulación. Después convertimos los archivos a .csv. O bien, se puede crear un archivo único, con las instrucciones similares a la generación del registro de emisiones sin bloqueo, y utilizar el comando xml2csv.py.

La suma del combustible (gasolina Magna) es:

$$710875139.1\ mg + 861898072.3\ mg = 1572773211.4\ mg \rightarrow \text{aplicando (2.1)}$$
$$\rightarrow \frac{1572773211.4\ mg}{740\frac{mg}{ml}}$$
$$= 2125369.2046\ ml$$
$$= 2125.3692046\ l$$

Entonces el consumo de combustible por conjunto de vehículos y motocicletas es:

$$2125.3692046\ l \cdot 18.65\% \quad = 396.381\ l \text{ consumo de motocicletas}$$
$$2125.3692046\ l \cdot 81.35\% \quad = 1728.988\ l \text{ consumo de vehículos}$$

Ahora obtenemos el consumo total:

$$\text{Rendimiento total} \cdot \text{Emisión total} = \text{Consumo total}$$

Para los vehículos tenemos que:

$$\text{Consumo total} \quad 15.858\ \frac{km}{l} \cdot 150.512\ \frac{g}{km} = 2386.82\ \frac{g}{l}$$
$$\text{Emisiones} \quad = 2386.82\ \frac{g}{l} \cdot 1728.988\ l = 4126782.78\ g$$
$$= 4126.783\ kg \text{ de } CO_2$$

Para las motocicletas tenemos que:

$$\text{Consumo total} \quad 34\ \frac{km}{l} \cdot 71.08\ \frac{g}{km} = 2416.72\ \frac{g}{l}$$
$$\text{Emisiones} \quad = 2416.72\ \frac{g}{l} \cdot 396.381\ l = 957941.89\ g$$
$$= 957.942\ kg \text{ de } CO_2$$

Por lo tanto tenemos un total de:

$$\text{Emisiones totales} = 4126.783\ kg + 957.942\ kg = 5.085\ t \text{ de } \mathrm{CO_2}$$

Resultados

El análisis de las emisiones contaminantes antes y durante los bloqueos viales muestra un incremento significativo en la concentración de contaminantes atmosféricos. Durante los bloqueos, se observó un aumento promedio de 207% en la emisión de CO_2, en comparación con días

sin bloqueos. Estos incrementos se deben al tráfico detenido y la mayor permanencia de los vehículos en ralentí, es decir, con el motor en funcionamiento y sin accionar el acelerador. Para estimar el impacto total de los bloqueos en la Ciudad de México, se estima que en promedio ocurren 9.6 bloqueos diarios. Si cada bloqueo provoca un aumento de 207% en las emisiones en un área determinada, y considerando una densidad promedio de 2,290 vehículos/km^2, el impacto total diario podría alcanzar un incremento de 48.816 *t* de CO_2 adicionales por día. Al mismo tiempo, se identificaron otros problemas derivados de los bloqueos viales:

- Ruido excesivo: el uso constante del claxon y el ruido de los motores encendidos generan contaminación acústica, afectando la calidad de vida de los habitantes que residen en las cercanías.
- Molestias a los conductores: el tiempo de traslado se incrementa, generando estrés y afectaciones en la movilidad general de la ciudad.
- Sobrecalentamiento de vehículos: en épocas de calor, los autos detenidos por periodos prolongados pueden sufrir sobrecalentamiento, lo que incrementa el riesgo de fallas mecánicas.
- Generación de islas de calor: la acumulación de vehículos en un mismo punto sin circulación adecuada aumenta la temperatura en la zona, exacerbando el problema del cambio climático urbano.

Estos hallazgos resaltan la necesidad de implementar estrategias para mitigar el impacto de los bloqueos en la calidad del aire y el tráfico en la Ciudad de México.

Conclusiones

La investigación enfocada en la medición de emisiones en la Ciudad de México debido a bloqueos con el uso del *software* de simulación de tráfico SUMO nos ha proporcionado datos duros sobre el impacto ambiental de las interrupciones en la movilidad urbana. Los resultados obtenidos destacan cómo los bloqueos en puntos críticos de la ciudad incrementan significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y otros contaminantes atmosféricos, como el dióxido de carbono (CO_2).

A través de simulaciones detalladas, se pudo cuantificar el aumento de las emisiones durante diferentes escenarios de bloqueos, revelando que incluso interrupciones de corta duración pueden tener un impacto considerable debido al aumento de la congestión vehicular y los tiempos. Estos hallazgos subrayan la urgencia de desarrollar y aplicar estrategias de movilidad que puedan mitigar estos efectos negativos, mejorando tanto la calidad del aire como la eficiencia del tráfico urbano.

En conclusión, los bloqueos en la Ciudad de México representan un desafío significativo para la movilidad y el medio ambiente. Utilizar herramientas de simulación como SUMO proporciona datos críticos que pueden guiar la

formulación de políticas y estrategias efectivas para reducir las emisiones y mejorar la calidad del aire. La adopción de un enfoque integral que combine tecnologías avanzadas, infraestructura adecuada y una mayor conciencia pública es esencial para enfrentar este desafío y avanzar hacia una ciudad más sostenible y saludable.

Tabla 1. Nissan Versa

Modelo	Año	Rendimiento (km/l)	Emisiones CO_2 (g/km)
Versa Mt	2018	15.000	156.510
Versa At	2018	14.600	160.800
Versa At	2019	15.870	147.000
Versa N17	2020	15.900	147.000
Versa N17	2020	15.100	155.000
Versa N18	2020	17.500	133.000
Versa N18	2020	18.300	128.000
Versa N17-Vdrive	2021	15.870	147.000
Versa N17-Vdrive	2021	15.130	155.000
Versa N18	2021	16.480	142.000
Versa N18	2021	18.290	128.000
Versa N18	2021	18.500	127.000
Versa R17	2023	18.290	128.000
Versa R16	2023	18.500	126.000
Versa	2023	16.480	142.000
Promedio		16.654	141.487

Tabla 2. Nissan March

Modelo	Año	Rendimiento (km/l)	Emisiones CO_2 (g/km)
March MT	2018	14.80	158.530
March AT	2018	14.50	161.910
March MT	2019	14.80	158.000
March AT	2019	14.50	161.000
March	2020	14.50	161.000
March	2020	14.80	158.000
March Active 14”	2020	14.80	158.000
March Cargo	2020	14.80	158.000
March	2021	15.22	154.000
March	2021	16.08	146.000
March	2022	15.22	154.000
March	2022	16.08	146.000
March	2023	15.22	154.000
March	2023	16.08	146.000
Promedio		15.01	155.317

Tabla 3. Chevrolet Aveo

Modelo	Año	Rendimiento (km/l)	Emisiones CO_2 (g/km)
Aveo A	2019	17.380	135.000
Aveo B	2019	16.620	141.000
Aveo C	2019	17.380	135.000
Aveo D	2019	16.620	141.000
Aveo E	2019	17.380	135.000
Aveo F	2019	16.620	141.000
Aveo A	2020	17.380	135.000
Aveo B	2020	16.620	141.000
Aveo C	2020	17.380	135.000
Aveo D	2020	16.620	141.000
Aveo E	2020	17.380	135.000
Aveo F	2020	16.620	141.000
Aveo A	2021	17.380	135.000
Aveo B	2021	16.620	141.000
Aveo C	2021	17.380	135.000
Aveo A	2022	17.380	135.000
Aveo B	2022	16.620	141.000
Aveo C	2022	17.380	135.000
Aveo A	2023	17.380	135.000
Aveo B	2023	16.620	141.000
Aveo C	2023	17.380	135.000
Aveo M	2023	17.380	135.000
Aveo K	2023	17.380	135.000
Promedio		17.083	137.348

Tabla 4. Volkswagen Jetta

Modelo	Año	Rendimiento (km/l)	Emisiones CO_2 (g/km)
Jetta 1.4 TSI 150HP MAN	2019	17.240	136.000
Jetta 1.4 TSI 150HP TIP	2019	15.840	148.000
Jetta 1.4 TSI 150HP MAN	2020	17.200	136.000
Jetta 1.4 TSI 150HP TIP	2020	15.800	148.000
Jetta 1.6 MPI 108HP MAN	2021	15.400	152.000
Jetta 1.4 TSI 150HP TIP	2021	15.800	148.000
Jetta 1.6 MPI 108HP AUT	2021	15.200	154.000
Jetta 1.4 TSI 110KW MAN	2022	16.600	141.000
Jetta 1.4 TSI 110KW TIP	2022	15.600	150.000
Jetta 1.4 TSI 110KW TIP	2023	15.600	150.000
Jetta GLI 2.0 TSI 169KW DSG	2023	14.600	161.000
Promedio		15.899	147.636

Tabla 5. KIA Rio Sedán

Modelo	Año	Rendimiento (km/l)	Emisiones CO_2 (g/km)
Rio L, LX, EX	2019	16.7000	142.00
Rio L, LX, EX	2019	15.7400	148.00
Rio L, LX, EX	2019	16.0800	145.00
Rio L, LX, EX, EX PACK	2019	15.7100	149.00
Rio L, LX, EX	2020	16.7000	142.00
Rio L, LX, EX	2020	15.7400	148.00
Rio L, LX, EX	2020	16.0800	145.00
Rio L, LX, EX, EX PACK	2020	15.7094	149.00
Rio L, LX, EX, S PACK	2021	16.7000	142.00
Rio L, LX, EX, S PACK	2021	15.7400	148.00
Rio L, LX, EX	2021	16.0800	145.00
Rio L, LX, EX, EX PACK	2021	15.7094	149.00
Rio Sedan S PACK	2022	15.7400	149.00
Rio Sedan L	2022	16.7000	142.00
Rio Sedan L	2022	15.7400	149.00
Rio Sedan LX	2022	16.7000	142.00
Rio Sedan LX	2022	15.7400	149.00
Rio Sedan EX	2022	15.7400	149.00
Rio Sedan S PACK	2023	15.7400	149.00
Rio Sedan L	2023	16.7000	142.00
Rio Sedan L	2023	15.7400	149.00
Rio Sedan LX	2023	16.7000	142.00
Rio Sedan LX	2023	15.7400	149.00
Rio Sedan EX	2023	15.7400	149.00
Promedio		16.0590	146.33

Tabla 6. Nissan Tsuru

Modelo	Año	Rendimiento (km/l)	Emisiones CO_2 (g/km)
Tsuru GS	2018	14.70	159.710
Tsuru GS dirección hidráulica	2018	13.80	170.120
Promedio		14.25	164.915

Tabla 7. Chevrolet Beat

Modelo	Año	Rendimiento (km/l)	Emisiones CO_2 (g/km)
Beat	2018	20.70	114.00
Beat	2019	18.06	129.00
Beat	2020	18.06	129.00
Beat	2021	18.06	129.00
Promedio		18.72	125.25

Tabla 8. Nissan Sentra

Modelo	Año	Rendimiento (km/l)	Emisiones CO_2 (g/km)
Sentra CTV	2018	15.390	152.55
Sentra CTV	2018	15.150	154.96
Sentra MT	2018	13.850	169.51
Sentra CTV	2019	15.390	152.00
Sentra CTV	2019	15.150	154.00
Sentra MT	2019	13.850	169.00
Sentra TURBO	2019	13.400	175.00
Sentra NISMO	2019	13.590	172.00
Sentra	2020	14.140	166.00
Sentra	2020	14.090	166.00
Sentra	2020	17.150	136.00
Sentra	2020	16.820	139.00
Sentra	2021	14.140	166.00
Sentra	2021	14.090	166.00
Sentra	2021	17.150	136.00
Sentra	2021	16.820	139.00
Sentra R16	2023	14.140	166.00
Sentra R18	2023	14.090	166.00
Sentra R16	2023	17.150	136.00
Sentra R18	2023	16.820	139.00
Promedio		15.119	156.00

Tabla 9: Mazda3 Sedán

Modelo	Año	Rendimiento (km/l)	Emisiones CO_2 (g/km)
Mazda 3 Sedan	2018	15.00	156.000
Mazda 3 Sedan	2018	15.70	150.000
Mazda 3 Sedan	2018	14.20	165.000
Mazda 3 Sedan	2018	14.30	164.000
Mazda 3 Sedan	2018	14.10	167.000
Mazda 3 Sedan	2018	14.20	165.000
Mazda 3 Sedan	2018	14.20	165.000
Mazda 3 Sedan	2018	14.20	165.000
Mazda 3 Sedan	2019	11.70	201.000
Mazda 3 Sedan	2019	13.30	177.000
Mazda 3 Sedan	2019	11.40	206.000
Mazda 3 Sedan	2019	13.10	179.000
Mazda 3 Sedan	2020	11.70	201.000
Mazda 3 Sedan	2020	13.30	177.000
Mazda 3 Sedan	2020	11.40	206.000
Mazda 3 Sedan	2020	13.10	179.000
Mazda 3 Sedan	2021	11.70	201.000
Mazda 3 Sedan	2021	13.30	177.000
Mazda 3 Sedan	2021	11.40	206.000
Mazda 3 Sedan	2021	13.10	179.000
Mazda 3 Sedan	2022	11.70	201.000
Mazda 3 Sedan	2022	13.30	177.000
Mazda 3 Sedan	2022	11.40	206.000
Mazda 3 Sedan I GRAND TOURING	2023	13.10	179.000
Mazda 3 Sedan I SPORT	2023	15.30	153.000
Mazda 3 Sedan CARBON EDITION	2023	12.70	184.000
Promedio		13.15	180.231

Tabla 10. Volkswagen Vento

Modelo	Año	Rendimiento (km/l)	Emisiones CO_2 (g/km)
Vento 1.6 105HP TIP GASOLINA	2019	14.43	162.000
Vento 1.6 TDI 110HP MAN DIESEL	2019	19.76	136.000
Vento 1.6 TDI 110HP DSG DIESEL	2019	20.84	129.000
Vento 1.6 105HP TIP GASOLINA	2019	14.43	162.000
Vento 1.6 TDI 110HP MAN DIESEL	2019	19.76	136.000
Vento 1.6 TDI 110HP DSG DIESEL	2019	20.84	129.000
Vento 1.6 105HP TIP GASOLINA	2020	14.40	162.000
Vento 1.6 105HP MAN GASOLINA	2020	13.90	169.000
Vento 1.6 TDI 110HP MAN DIESEL	2020	19.80	136.000
Vento 1.6 TDI 110HP DSG DIESEL	2020	20.80	129.000
Vento 1.6 105HP TIP GASOLINA	2021	14.20	164.000
Vento 1.6 105HP MAN GASOLINA	2021	14.30	165.000
Vento 1.6 105HP TIP GASOLINA	2022	14.20	165.500
Vento 1.6 105HP MAN GASOLINA	2022	14.30	164.000
Promedio		16.64	150.608

Tabla 11. Promedio de rendimientos de vehículos ligeros

Vehículo	Rendimiento total (km/l)	Emisión total CO_2 (g/km)
Nissan Versa	16.654	141.487
Nissan March	15.010	155.317
Chevrolet Aveo	17.083	137.348
Volkswagen Jetta	15.899	147.636
KIA Rio Sedán	16.059	146.330
Nissan Tsuru	14.250	164.915
Chevrolet Beat	18.720	125.250
Nissan Sentra	15.119	156.000
Mazda3 Sedán	13.150	180.231
Volkswagen Vento	16.640	150.608
Promedio	15.858	150.512

Tabla 12. Promedio de Rendimientos de motocicletas

Vehículo	Rendimiento total (km/l)	Emisión total CO_2 (g/km)
Yamaha FZ-S	42	55.95
WS 150 Italika	28	83.90
Italika FT150	32	73.40
Promedio	34	71.08

Bibliografía

Canada Resources (s.f.). *Autosmart*. https://natural-resources.canada.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/oee/pdf/transportation/fuel-efficient-technologies/autosmart_factsheet_6_e.pdf .

CONUEE (s.f.). Gasolina FT. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/253452/GasolinaFT.pdf

Coordinación General de Cambio Climático y Desarrollo Bajo en Carbono (2014). Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCC-DBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf

El inventario de la movilidad de México-Taller de datos-Blog de análisis de datos. (s.f.). https://datos.nexos.com.mx/el-inventario-de-la-movilidad-de-mexico/

Global Traffic Scorecard (s.f.). INRIX global traffic rankings. Consultado el 24 de mayo de 2024 en https://inrix.com/scorecard/

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2021). Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) de 2021. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Spanish.pdf

Índice Político (s.f.). CDMX: 9.6 manifestaciones diarias. Noticias México, Opinión, Internacional. https://www.indicepolitico.com

INEGI (s.f.). Consulta interactiva de datos. https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?c=13158

TomTom. (s.f.). *Mexico City traffic report, TomTom Traffic Index*. https://www.tomtom.com/traffic-index/mexico-city-traffic/

Para consultar los códigos fuente de este libro:

https://github.com/PUEC-UNAM/Libro-simulaciones-sumo

5 simulaciones de movilidad urbana
es editado por el Departamento de Publicaciones
del Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad
de la Universidad Nacional Autónoma de México,
en versión electrónica, formato pdf, el 22 de septiembre
de 2025. La versión electrónica fue elaborada por Laura
Elena Mier Hughes.El cuidado de la edición electrónica
estuvo a cargo de Graciela Chávez Olvera.

Esta obra pretende mostrar al lector cómo se hacen estudios de movilidad urbana a través de la simulación con la herramienta SUMO (Simulation of Urban Mobility) de la DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) de Alemania junto con el lenguaje de programación Python para proponer cambios en la configuración vial o para sugerir la solución de problemas relacionados con la movilidad.

En este libro se encuentran aplicaciones a la reconfiguración de un Centro Histórico, al método de cargado eléctrico de autobuses, a la estimación de emisiones ante conflictos viales, a la mejor configuración de paradas de transporte de pasajeros y a cuantas emisiones se evitan por el uso de un sistema de bicicletas citadino.

COORDINACIÓN DE HUMANIDADES
80 AÑOS 2025
CONSEJO TÉCNICO DE HUMANIDADES
PUEC UNAM