



## **Análisis del impacto del uso de vehículos eléctricos en la contaminación usando mapas reales de Mazatlán, México**

### **Analysis of the impact of the use of electric vehicles on pollution using real maps of Mazatlán, Mexico**

#### **Pablo Barbecho Bautista**

Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador  
pablo.barbecho@epn.edu.ec  
ORCID: 0000-0002-5281-9208

#### **Cinthya Lizeth López Lizárraga**

Facultad de Informática Mazatlán, Universidad Autónoma de Sinaloa, México  
cinthyalizarraga98@gmail.com

#### **Carlos Ernesto Medina Rocha**

Facultad de Informática Mazatlán, Universidad Autónoma de Sinaloa, México  
carlosdlo53@gmail.com

#### **Carolina Tripp-Barba**

Facultad de Informática Mazatlán, Universidad Autónoma de Sinaloa, México  
ctripp@uas.edu.mx  
ORCID: 0000-0002-4811-0247

#### **José Alfonso Aguilar Calderón**

Facultad de Informática Mazatlán, Universidad Autónoma de Sinaloa, México  
ja.aguilar@uas.edu.mx  
ORCID: 0000-0003-2048-9600

#### **Luis Urquiza-Aguilar**

Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador  
luis.urquiza@epn.edu.ec  
ORCID: 0000-0002-6405-2067

doi: <https://doi.org/10.36825/RITI.10.22.011>

Recibido: Septiembre 15, 2022

Aceptado: Diciembre 12, 2022

**Resumen:** En el sector del transporte, las tecnologías de comunicación (WiFi, WAVE, Bluetooth, 3G, 4G, 5G, etc.), hacen posible el concepto de automóvil conectado con capacidades de comunicación. En las próximas décadas, vehículos conectados de conducción autónoma, sin intervención humana, y alta seguridad, transitarán

por carreteras y ciudades. En este campo, otra meta es la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que abre la posibilidad a nuevas áreas de investigación en transporte que consideran el medio ambiente, la energía y el uso del intercambio de información para garantizar una movilidad segura, cómoda y sostenible [1]. La movilidad eléctrica es un factor decisivo para asegurar un desarrollo urbano sustentable y amigable con el medio ambiente [2]. Con esta investigación se analizará el impacto que los vehículos eléctricos en el desarrollo de una ciudad inteligente, para ello se utilizará SUMO (como simulador del tráfico vehicular), OMNeT++ (para la red de comunicaciones) y Veins (como el vínculo entre los dos), con el propósito de lograr resultados apegados a la realidad. Con base en lo anterior, esta investigación plantea la hipótesis de que el uso de vehículos eléctricos en escenarios reales simulados de la ciudad de Mazatlán, en el estado de Sinaloa, México, disminuye la contaminación. Para confirmar lo anterior, se realizarán una serie de simulaciones que nos permitan analizar y comparar el uso de vehículos eléctricos en escenarios reales.

**Palabras clave:** *Contaminación del Aire, Vehículos Eléctricos, Simulación, Ciudad Inteligente.*

**Abstract:** In the transport sector, communication technologies (WiFi, WAVE, Bluetooth, 3G, 4G, 5G, etc.) make the concept of a connected car with communication capabilities possible. In the coming decades, connected autonomous driving vehicles, without human intervention, and high security, will travel on roads and cities. In this field, another goal is the reduction of greenhouse gas emissions, which opens the possibility of new areas of transport research that consider the environment, energy, and the use of information exchange to guarantee safe mobility, comfortable and sustainability [1]. Electric mobility ensures sustainable and environmentally friendly urban development [2]. This research will analyze the impact electric vehicles have on the development of a smart city, for which SUMO was used as a vehicular traffic simulator, OMNeT++ for the communications network, and Veins as the link between the two, to achieve results attached to reality. Based on the above, this research hypothesizes that using electric vehicles in real simulated scenarios in the city of Mazatlán, in Sinaloa, Mexico, reduces pollution. To confirm the above, a series of simulations will be carried out that will allow us to analyze and compare the use of electric vehicles in real scenarios.

**Keywords:** *Air Pollution, Electric Vehicles, Simulation, Smart City.*

## 1. Introducción

Hace relativamente poco tiempo que apareció el concepto de ciudad inteligente (*Smart City*), el cual se basa en soluciones innovadoras que hagan que una ciudad ofrezca servicios tecnológicos que mejoren la vida de los habitantes. En este sentido, los Sistemas Inteligente de Transporte (ITS, *Intelligent Transport Systems*) han tenido un relevante papel en las propuestas referentes al mundo del transporte, donde se encuentra el concepto de redes vehiculares (VANET). Estas redes permiten a los vehículos comunicarse con la infraestructura de la ciudad para proveer diversos servicios, que generan una gran cantidad de aplicaciones en el mundo de la conducción.

Por otro lado, la incorporación masiva del Vehículo Eléctrico (VE) puede ser un cambio fundamental en los modelos de movilidad de nuestras ciudades. Asimismo, el VE supone una interesante oportunidad para optimizar una gestión global del sistema eléctrico de forma eficiente, reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) y conseguir ciudades sostenibles que disminuyan su dependencia energética del exterior.

El término *Smart City* es una evolución de las antes denominadas “Ciudades Digitales”, concepto nacido en España en el año 2004 debido al trabajo del Ministerio de Industria y un programa conocido como *Ciudades* [3, 4]; más adelante IBM utiliza el término de *Smart Cities* para este tipo de espacios.

La idea de una Smart City se enfoca en una ciudad que tiene como objetivo una gestión eficiente en áreas importantes como energía, salud, transporte, educación, etc., de esta manera satisfacer las necesidades de la ciudad y mejorar la calidad de vida de lo ciudadanos. Lo anterior basado en los principios de Desarrollo Sostenible expuestos en el Programa 21 [5] desarrollado por las Naciones Unidas, que toma en cuenta como principal soporte la innovación tecnológica como principal agente para lograr el cambio.

El uso de simuladores de red, es una práctica muy utilizada al hablar de redes vehiculares, debido a lo impráctico y altamente costoso que sería realizar pruebas en vehículos reales, es por ello que pruebas preliminares de diversas propuestas se realizan utilizando estas herramientas. El simulador de red utilizado para el desarrollo de este proyecto es Veins [6] una herramienta que permite realizar simulaciones realistas al incorporar todos los

modelos de capa física de una red vehicular, así como la incorporación de modelos de interferencia y obstáculos. La base de la selección de Veins, recae es que es un simulador que provee un entorno híbrido que soporta simulación de red por medio de OMNet++ (*Objective Modular Network Testbed*) [7] y gracias a SUMO (*Simulation of Urban MObility*) [8] la simulación de tráfico, lo cual produce mejores resultados de evaluación, como se ve en [6].

Finalmente, para los escenarios, se utilizarán mapas exportados desde OpenStreetMap (OSM) [9], ya que representan de una manera correcta la red de carreteras y elementos de tránsito. Así mismo, tienen un formato soportado por el simulador a utilizar. Además, pueden incluir límites de velocidad, semáforos, edificios, restricciones de acceso y giros.

Para lograr los objetivos y metas planteados en este trabajo de investigación, se utilizará el enfoque cuantitativo, con un nivel explicativo, mediante simulaciones; y se realizará un estudio del estado actual de los vehículos eléctricos en México. Así mismo, se realizará un análisis y evaluaciones utilizando un simulador de red. Lo cual permite el diseño de escenarios controlados, manipulando características propias de una red de vehículos. Se hará uso de mapas reales de la ciudad de Mazatlán, Sinaloa, México, para analizar en comportamiento lo más apegado a la realidad.

Todo lo anterior tiene la finalidad de lograr una comparación, en diversos escenarios del impacto de los vehículos eléctricos en el desarrollo de una ciudad inteligente, y cómo puede afectar de manera positiva en la calidad de vida de la ciudadanía, así como reducir considerablemente la contaminación.

## 2. Estado del arte

En esta sección se realiza un análisis de la literatura, donde se presentará una recopilación de diversas publicaciones acerca de las ventajas de los autos eléctricos en las ciudades, así como el impacto que tienen en la contaminación ambiental alrededor del mundo en los últimos años.

En el trabajo, *Estudio de viabilidad ambiental para la creación de una red de recarga destinada a vehículos eléctricos en Bogotá* [10] se habla de la problemática del tráfico y deficiencia del aire en la ciudad de Bogotá principalmente por los vehículos personales y de servicio público que circulan en el sector de la ciudad y con la contaminación ambiental que estos generan. Se afirma que no existen sitios de recarga para los vehículos eléctricos, los cuales son una opción viable como medio de transporte que ayude a reducir la contaminación del aire de la zona y una calidad de vida mejor. El mismo estudio trata de establecer una zona de estaciones de recarga para los vehículos eléctricos con la finalidad de aumentar y estimular el uso de los mismo y de igual manera tener un impacto positivo en los índices de contaminación. El uso de estos vehículos representaría una opción que permitiría el alivio en la movilidad del sector, principalmente en horas pico donde la concentración del tráfico y vehículos es mucho mayor, estableciendo los primeros puntos para desarrollar una movilidad sostenible la cual permita que el crecimiento de infraestructura vaya a la par del progreso social y económico y que tenga una base fuerte en el ámbito ambiental en la se incluyan las características medioambientales y la sostenibilidad de la misma infraestructura. La ubicación de puntos de recarga debe de estar en localizaciones estratégicas que maximicen la eficiencia y que se identifiquen las debilidades, amenazas y oportunidades que se generaran con ellos. Además, esto lograría a mejoras en la salud de las personas y reducir los niveles de contaminación al mejorar la calidad del aire.

En la investigación, *Estudio de la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> debido a la sustitución de vehículos de combustión por vehículos eléctricos en la distribución de la última milla de un comercio electrónico al por menor de alimentos* [11], se describe el impacto que tendría la introducción de vehículos de transporte eléctricos en la distribución de alimentos vendidos en plataformas digitales de comercio, principalmente la reducción de gases de CO<sub>2</sub>, conservando el medio ambiente y, además como resultado, beneficios económicos. La limitación de las emisiones es hoy en día unos de los principales objetivos a nivel mundial. El mismo exceso de este gas tiene un impacto muy fuerte en la capa de ozono y en el calentamiento del planeta, el considerable aumento de éste ha tenido como resultado daños que van desde problemas medioambientales con la reducción de los polos, hasta enfermedades causadas por el aumento de los gases que se liberan mundialmente. Todo esto lleva a diferentes cambios extremos como sequías e inundaciones. El comercio *online* se encuentra en un crecimiento constante, lo que supone una alta demanda de transporte, por lo que diferentes lugares o empresas buscan el mayor beneficio tanto económico como personal, por eso se desea implementar una sustitución de los vehículos de combustión por vehículos eléctricos que tendrían un impacto ambiental positivo gracias a las ventajas que representa tanto en

emisiones mínimas como en bajo costo de mantenimiento, ya que funciona con una pila que hace funcionar al motor y no como tradicionalmente lo hace uno de combustión que ocupa gasolina para el movimiento del vehículo.

Por su parte, Rojas Lozano [12] en su investigación *Estrategias Para La Disminución Del Impacto Ambiental De Los Vehículos Eléctricos Fabricados Con Materiales Convencionales*, habla sobre las industrias automotrices que hoy en día se preocupan por el impacto ambiental causado por el uso de vehículos de combustión interna, buscando crear nuevas tecnologías que ayuden que el impacto ambiental sea menor al igual que las emisiones de los vehículos que impactan negativamente en la capa de ozono provocando lo que se conoce como efecto invernadero. Pese a que la industria automotriz ha realizado cambios en la producción de los vehículos aún queda mucho camino por recorrer ya que no es innovación sencilla debido a la extracción de materia prima para la elaboración de los vehículos y que sigue siendo una gran concentración de contaminación. No obstante, también las nuevas técnicas provocan una contaminación diferente que en la actualidad las empresas luchan por reducir o tener un margen bajo y lograr el objetivo de cero emisiones al medio ambiente. Aunque es un gran desafío, las empresas están innovando diariamente para poder lograr estos cambios positivos tanto para ellos mismo como para la sociedad y el mundo. Los vehículos eléctricos han ido cambiando desde la primera vez que se presentaron a finales del siglo XIX, la idea central se enfoca en que estos vehículos tendrían un impacto en la reducción de las emisiones de los vehículos tradicionales y otros contaminantes que liberan. Lo que buscan los países en la actualidad es que se encuentre una armonía con los carros particulares pero que también se ofrezca una reducción a la problemática de movilidad y alcanzar el propósito de cero emisiones gracias al uso de vehículos eléctricos.

Según Santana Chóez [13] en *Análisis de la Implantación del Uso de Vehículos Eléctricos como Aporte al Cambio de la Matriz Productiva y su Impacto en la No Utilización de Combustibles Fósiles en El Ecuador*, la introducción de los vehículos eléctricos en Ecuador forma parte del procesos para erradicar los altos niveles de contaminación y tratar de reducir el daño al medio ambiente, pero para que esto funcione y sea preciso se necesita de un plan donde se haga un análisis de los factores que estén relacionados con la aceptación del mismo para un bien con la sociedad. Lo anterior considerando los beneficios que conlleva, así como las ventajas y desventajas de utilizar un vehículo 100% eléctrico que no tenga que depender del combustible fósil. Esto debe realizarse de la mano entre gobierno y empresas públicas y privadas. Los automóviles eléctricos permiten que la sociedad pueda cuidar el medio ambiente cambiando su auto tradicional por uno que tenga mínima o ninguna emisión. Justamente hoy en día se atraviesa por condiciones extremas haciendo referencia a la contaminación sobre la capa de ozono, y la principal causa de esto es la quema de combustibles derivados del petróleo, debido a que la mayoría de los vehículos utilizan este método para su movimiento. El principal problema son los altos niveles de gases liberados por la quema de este combustible; para reducir esto se tienen que considerar medidas o iniciativas que impulsen la creación de leyes para fomentar el uso de energías renovables, mejorar la movilidad de las ciudades e introducir sistemas de transportes más eficientes y amigables con el ambiente lo cual traería beneficios importantes al planeta.

Torres Sarmiento [14] discute que hoy en día los vehículos siguen obteniendo su energía a través de los combustibles fósiles, lo que en parte es una problemática por la contaminación y emisiones de los gases que estos emiten al momento de quemar el combustible liberándolo directamente al ambiente afectando al planeta como a las personas en *Estudio de viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en la ciudad de Cuenca*. Menciona que en la actualidad se busca una innovación a través del vehículo eléctrico con el fin de disminuir de manera considerable los agentes contaminantes al ambiente, así como reducir totalmente la participación del motor de combustión interna como fuente de energía, cambiándolo por un motor que esté basado en energías renovables permitiendo un impacto ambiental favorable al planeta y a la salud de las personas. Esta investigación presenta un estudio de viabilidad, evaluando información de diferentes fuentes que permite conocer si la propuesta tendrá un impacto económico positivo y será rentable. Se analiza si la propuesta reportara los beneficios esperados y que se puedan compensar con el costo no solo operativos, sino también los personales. Después de este punto se determina si los medios con los que se cuenta son los necesarios para el óptimo desarrollo de la propuesta presentada. Todo este estudio es para presentar un análisis para encontrar las alternativas que permitan minimizar las emisiones de los gases que provocan problemas ambientales ocasionados por el uso de los coches como medio de movilización ya que las mayorías de los coches aún usan como fuente de energía el combustible fósil.

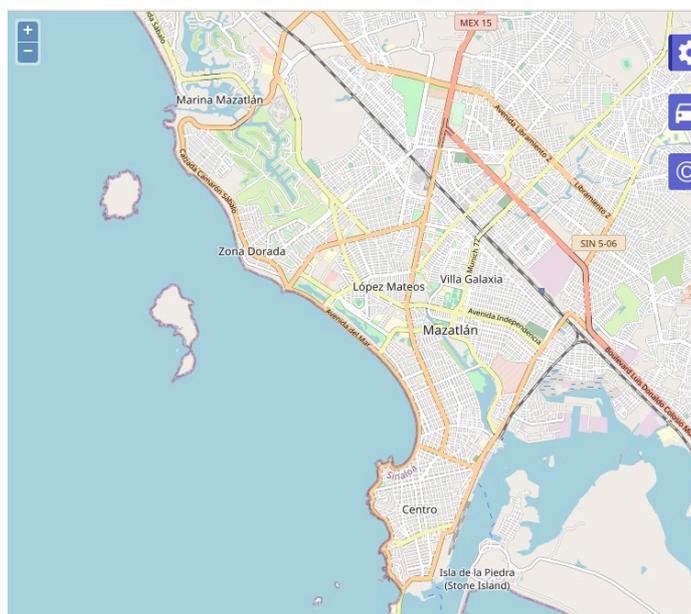
### 3. Metodología

En este apartado se menciona la metodología utilizada para la obtención de los resultados relevantes y el tipo de investigación. Considerando el objetivo de la investigación y para probar la hipótesis, se utilizó un enfoque

cuantitativo, con un nivel explicativo. Es un estudio experimental, debido a que se obtuvieron datos por medio de simulaciones donde se modificaban la cantidad de vehículos eléctricos presentes en los escenarios, lo cual era importante para este estudio. Es de corte transversal, ya que se realizó la medición en un sólo momento.

Así mismo se presentan a detalle los datos utilizados para evaluar el impacto de la presencia de vehículos eléctricos en la contaminación ambiental en un escenario realista de la Ciudad de Mazatlán, Sinaloa; se describe el escenario de simulación y cómo es que se obtiene un escenario desde un mapa real. El mapa se importó usando la herramienta *osmWebWizard* de SUMO, esta herramienta utiliza las bases de OpenStreetMaps [9]. La Figura 1 muestra la zona urbana a evaluar, con dimensiones de 11km x 5km, correspondiente a la Ciudad de Mazatlán.

En la Tabla 1, se describen los diferentes parámetros utilizados para los simuladores SUMO [15] y STGT [16]. Se consideran dos escenarios, uno con una baja densidad de vehículos (BD= ~1000veh/h) que simula el tráfico de la ciudad en horas de poco flujo vehicular; y otro escenario con una alta densidad de vehículos (AD= ~7000veh/h) que corresponde a las horas con alto flujo vehicular, conocidas como horas pico. Aquí los vehículos de gas (GAS) o los vehículos eléctricos (VE), se van incorporando a la simulación siguiendo la tasa de inserción mostrada en la Tabla 1 en cada escenario utilizado en este estudio, baja densidad (BD) y alta densidad (AD). Cabe mencionar que se llevaron a cabo 2 horas de simulación; sin embargo, los vehículos se generan únicamente durante la primera hora. Esto con el objetivo de capturar las estadísticas de los vehículos que aparecen al final de la primera hora.



**Figura 1.** Mapa de Mazatlán utilizado para las simulaciones [9].

La Tabla 1 resume los principales parámetros de la simulación utilizados, se debe destacar que el modelo de movilidad utilizado es Krauss, un modelo que permite comportamiento real de los vehículos, respetando el comportamiento de los coches que encuentre a su alrededor. La velocidad máxima es de 50km/h, así como una generación de rutas aleatoria, eligiendo destinos al azar, una tasa de aparición de los vehículos para cada escenario, esto para ir analizando el aumento de contaminación conforme va incrementando la presencia de coches.

Con respecto a los contaminantes de los vehículos de gas, SUMO [17] implementó un modelo que puede simular emisiones contaminantes vehiculares en base a la aplicación de base de datos HBEFA (*The Handbook Emission Factors for Road Transport*) [18]. Aunque HBEFA contiene información sobre varios contaminantes, se ha decidido analizar CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> al considerarse los más importantes.

Finalmente, las características más destacadas referentes a los vehículos eléctricos (VE) son su porcentaje de penetración, es decir que en cada simulación se ha variado la presencia de VE con respecto a los de GAS para analizar la ventaja de su uso con respecto a los contaminantes emitidos, siendo estos porcentajes de 25, 50, 75 y 100%.

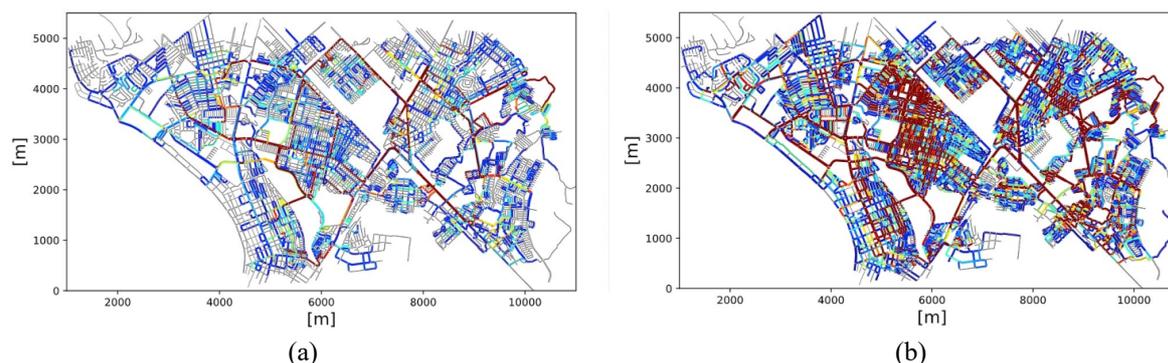
**Tabla 1.** Parámetros de simulación.

Parámetro	Valor
<b>General</b>	
Zona en el mapa	Urbana (Fig. 1)
Tamaño de mapa	11km x 5 km
Escenarios simulados	Baja densidad (BD), Alta densidad (AD)
Tipo de vehículos	GAS, VE
Tiempo de simulación	7200seg.
<b>Vehículos</b>	
Modelo de movilidad	Modelo Krauss [17]
Velocidad máxima de los vehículos	50km/h
Generación de ruta	<i>RandomTrips</i> [19]
<b>Vehículos de GAS (GAS)</b>	
Modelo de emisiones en vehículos de GAS	SUMO basado en HBEFA_3 [20]
<b>Vehículos eléctricos (VEs)</b>	
Porcentaje de penetración de VE	25, 50, 75, 100

Fuente: Elaboración propia.

#### 4. Resultados

En la Figura 2 (a) se presenta el primer escenario con una baja densidad de vehículos (BD). En el mapa se muestra la densidad media de vehículos (veh/km) en cada una de las carreteras del mapa durante la primera hora de simulación. En color azul oscuro, se puede ver que la mayoría de las carreteras presenta poca ocupación de vehículos, es decir, hay poco tráfico circulando por las vías. En algunas de las carreteras principales se presenta un mayor flujo de vehículos en color rojo oscuro. Esto se debe en gran parte a que se consideran trayectos (rutas) que cruzan la ciudad de extremo a extremo. En la Figura 2 (b) se presenta el escenario para una alta densidad de vehículos durante la primera hora de simulación. Se puede observar que las carreteras principales presentan una alta ocupación, al igual que varias de las vías secundarias de la ciudad.



**Figura 2.** Densidad de tráfico [veh/km] durante una hora de simulación. Dimensiones 11km x 5km. (a) Escenario de baja densidad. (b) Escenario de alta densidad.

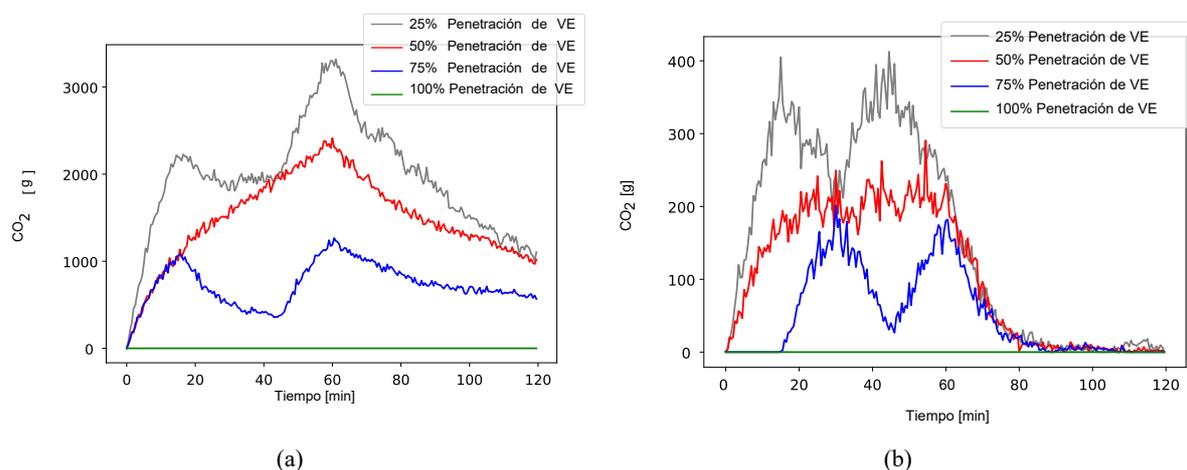
La Figura 3 muestra las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) generado por todos los vehículos en cada instante de la simulación en el escenario de alta densidad (Fig. 3a) y baja densidad (Fig. 3b). Este gas es el causante del “efecto invernadero”, que es la principal razón del cambio climático. Como se esperaba, el mejor escenario es el caso de penetración de 100% VE, donde se producen 0 emisiones, debido a que todos los vehículos presentes en la simulación son eléctricos y no emiten ningún tipo de contaminante. Conforme disminuye en número de VE, se tienen más emisiones de  $\text{CO}_2$ . En el escenario de AD se identifican un máximo de 3000 g de emisiones y en el

escenario de BD un máximo de 400 g, esto debido al máximo de vehículos presentes en cada simulación, 70000 y 1000 vehículos respectivamente. En los dos escenarios se logran observar diferentes picos de emisiones, esto se debe a mayor concentración de vehículos en el mapa en esos instantes de tiempo. A partir del minuto 60 vemos que las emisiones comienzan a disminuir debido a que no se consideran más vehículos en el mapa.

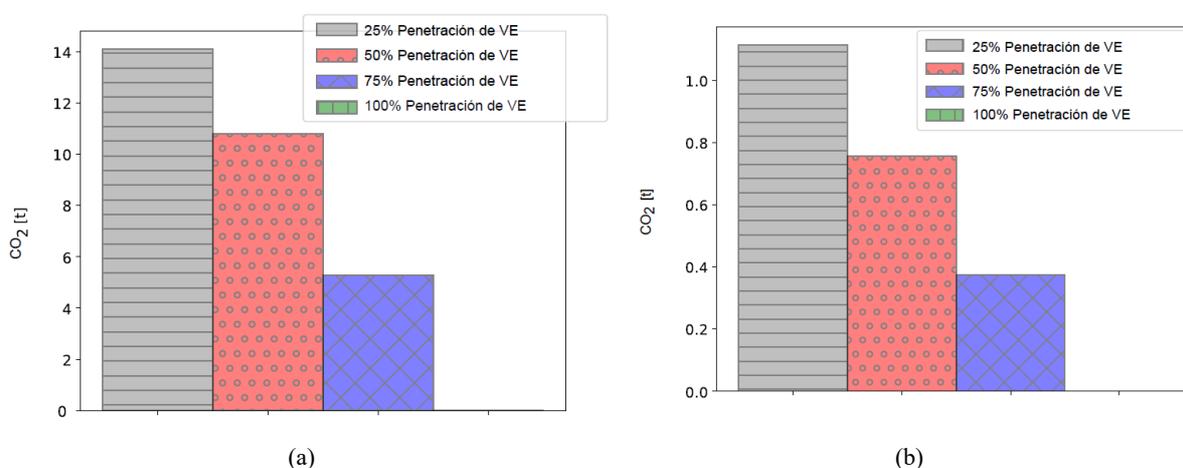
La Figura 4 muestra el total de emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) durante las dos horas de simulación. El peor escenario es el de AD con el 25% de penetración de VE, con un total de 14 toneladas (t) de emisiones de  $\text{CO}_2$ . En el caso del escenario BD, el máximo alcanzado es de 1 t.

Otro de los gases que producen efectos negativos en la salud es el óxido de nitrógeno o  $\text{NO}_x$ . En la Figura 5a (AD) y Figura 5b (BD), se muestra el  $\text{NO}_x$  generado en cada momento de la simulación de los escenarios simulados respectivamente. Cabe recordar que los picos se producen en diferentes instantes de tiempo debido al comportamiento de la movilidad en el mapa, es decir debido a la congestión vehicular en las calles.

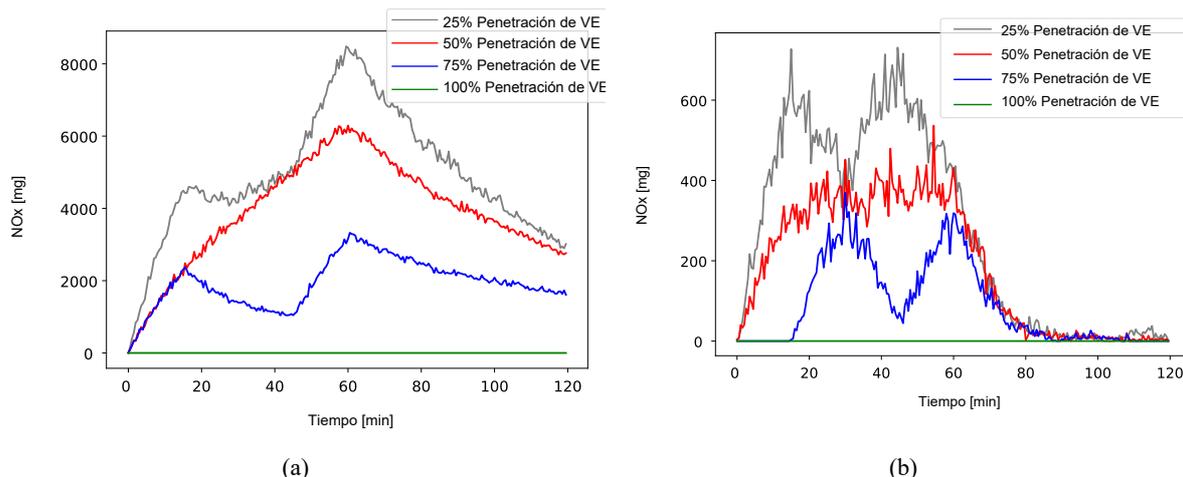
Se puede ver que las emisiones de  $\text{NO}_x$  siguen la misma tendencia que se presenta con las emisiones de  $\text{CO}_2$  según los datos presentados en la Figura 3. Donde en el caso del escenario AD alcanza emisiones máximas de 8000 mg y 600 mg en el caso del escenario BD. Esto igualmente relacionado con la cantidad máxima de vehículos presentes en cada caso, 7000 y 1000 respectivamente. La Figura 6 muestra el total de emisiones acumuladas en las dos horas de simulación, llegando a máximos de 35 y 2 t en cada caso, AD (Figura 6a) y BD (Figura 6b).



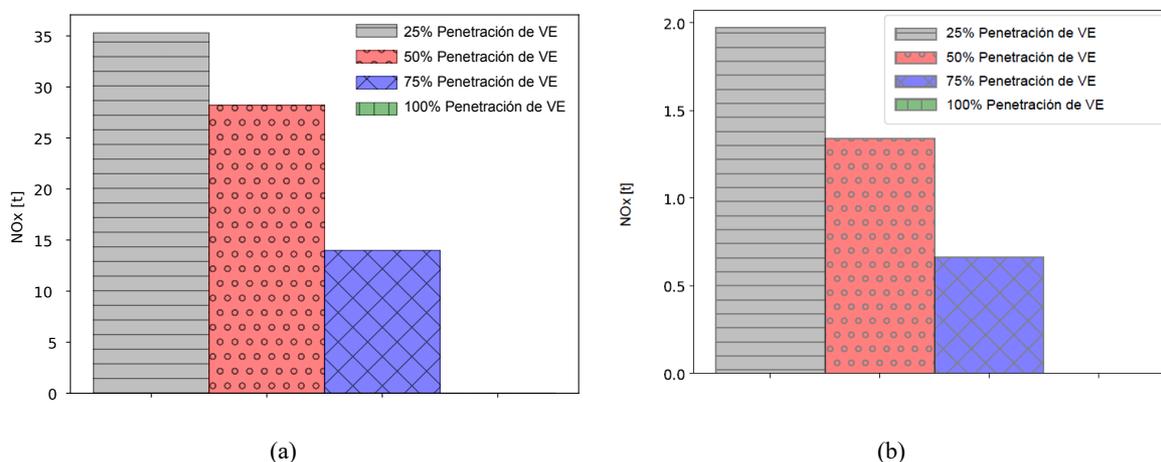
**Figura 3.** Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) generado durante el tiempo de simulación. (a) Escenario de alta densidad (AD), (b) Escenario de baja densidad (BD).



**Figura 4.** Emisiones  $\text{CO}_2$  totales durante la simulación. (a) Escenario de alta densidad (AD), (b) Escenario de baja densidad (BD).



**Figura 5.** Óxido de nitrógeno (NOx) generado durante el tiempo de simulación. (a) Escenario de alta densidad (AD), (b) Escenario de baja densidad (BD).



**Figura 6.** Emisiones NOx totales durante la simulación. (a) Escenario de alta densidad (AD), (b) Escenario de baja densidad (BD).

### 5. Conclusiones

En la actualidad, debido al concepto denominado “4ta Revolución industrial” será fundamental que los gobiernos, las empresas y los individuos estén preparados para la transformación digital y las tecnologías emergentes; aquí podemos incluir al Internet de las Cosas, y a la industria automovilística con los vehículos inteligentes y eléctricos.

Aunque hoy en día la industria automotriz produce aproximadamente 3000 modelos diferentes de coches, en más de 700 fábricas, sólo el 2% son vehículos totalmente eléctricos. Los consumidores en el mundo quieren cambiar su comportamiento de movilidad para mejorar su huella de CO<sub>2</sub>, sin embargo, aunque los gobiernos apuestan con fuertes incentivos y regulaciones a favor de ellos la lenta acumulación de infraestructura de carga pronto se convertirá en el mayor obstáculo de crecimiento.

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación se puede concluir que se confirma la hipótesis planteada al inicio de que el uso de vehículos eléctricos en escenarios reales simulados de la ciudad de Mazatlán, en el estado de Sinaloa, México, optimiza tanto el consumo de combustible y electricidad, y disminuye la contaminación; y se refuerza que los vehículos eléctricos cumplen un papel importante con el medio ambiente y la población, pero a su vez se debe de tomar en cuenta el escenario, infraestructura, economía, sociedad y educación para lograr una implementación correcta en las ciudades.

En esta investigación se realizó un análisis y comparación del impacto de contaminación ambiental en la ciudad de Mazatlán usando la herramienta OpenStreetMaps para diseñar el escenario, en el cual se tomaron dos puntos de referencia uno con alta fluidez de tráfico y la otro con un bajo flujo de vehículos.

Después de un análisis se llegó a la conclusión de que el óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) son los principales elementos contaminadores que produce un auto de gas, por su parte el vehículo eléctrico genera nula contaminación y uso de energía, esto se puede confirmar gracias a las simulaciones realizadas basadas en un mapa de la ciudad de Mazatlán, donde además se muestran las calles con mayor tráfico y así obtener los niveles de contaminación.

Se logra observar en los resultados como a mayor presencia de VE en los escenarios, tanto el de alta como baja densidad, se iba minimizando las emisiones de CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, así mismo, minimizando el uso de vehículos de gas disminuía el uso de combustibles, lo cual ayudaría en gran medida a la disminución general de la contaminación del aire. Este análisis podría servir como base informativa para concientizar tanto a gobierno como habitantes en las ciudades a iniciar la transición al uso de VE y así contar con un ambiente libre de toxinas; disminuyendo el uso de los coches de gas y mejorar la infraestructura para el uso de los autos eléctricos.

Al momento de introducir los coches eléctricos en las ciudades, se deben considerar cuatro aspectos fundamentales: infraestructura, política, innovación y sobre todo la aceptación del consumidor. Esto puede impactar en las variables más importantes: disponibilidad de estaciones de carga, ambiente regulatorio y la apertura de los ciudadanos a adoptar la tecnología propuesta.

## 6. Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la Universidad Autónoma de Sinaloa, por el apoyo proporcionado bajo el proyecto PROFAPI PRO\_A8\_033.

## 7. Referencias

- [1] Aguilar Igartua, M., Almenares Mendoza, F., Díaz Redondo, R. P., Martín Vicente, M. I., Forné, J., Campo, C., Fernández-Vilas, A., De la Cruz Llopis, L. J., García-Rubio, C., Marín López, A., Mezher, A. M., Díaz-Sánchez, D., Cerezo-Costas, H., Rebollo-Monedero, D., Arias-Cabarcos, P., Rico-Novella, F. J. (2020). INRISCO: INcident monitoRing in Smart COmmunities, *IEEE Access*, 8, 72435-72460. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2987483>
- [2] Capello, N. (2021). *Opinión: Ciudades inteligentes y vehículos eléctricos, un viaje hacia el futuro – 2º parte*. <https://portalmovilidad.com/opinion-ciudades-inteligentes-y-vehiculos-electricos-un-viaje-hacia-el-futuro-2o-parte/>
- [3] BOE. (2004). *Documento BOE-A-2004-20410*. [http://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2004-20410](http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2004-20410)
- [4] BOE. (2004). *Documento BOE-A-2004-19715*. [http://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2004-19715](http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2004-19715)
- [5] División de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. (2011). *Programa 21*. <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21sptoc.htm>
- [6] Sommer, C., German, R., Dressler, F. (2011). Bidirectionally Coupled Network and Road Traffic Simulation for Improved IVC Analysis. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 10 (1), 3-15. <https://doi.org/10.1109/TMC.2010.133>
- [7] Omnet. (2015). *Omnet++ Discrete Event Simulator–Home*. <https://omnetpp.org>
- [8] SUMO. (2016). *Simulation of Urban Mobility*. <http://www.sumo.dlr.de/userdoc/SUMO-GUI.html>
- [9] OpenStreetMap. (2022). *OpenStreetMap*. <https://www.openstreetmap.org>
- [10] Orozco Sarasti, O., Llano Ramírez, G. (2014). Aplicaciones para Redes Vanet Enfocadas en la Sostenibilidad Ambiental, Una Revisión Sistemática. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 24 (2), 111-132. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0124-81702014000200007](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702014000200007)
- [11] Ferrer Felipe, V. (2019). *Estudio de la Reducción de las Emisiones de CO<sub>2</sub> Debido a la Sustitución de Vehículos de Combustión por Vehículos Eléctricos en la Distribución de la Última Milla de un Comercio Electrónico de Alimentos* [Trabajo de fin de Grado]. Universitat Politècnica de València, España. <http://hdl.handle.net/10251/151344>
- [12] Rojas Lozano, M. D. (2017). *Estrategias para la disminución del impacto ambiental de los vehículos eléctricos fabricados con materiales convencionales* [Tesis de Grado]. Fundación Universidad América, Bogotá. <http://hdl.handle.net/20.500.11839/7040>

- [13] Santana Chóez, V. L. (2016). *Análisis de la implantación del uso de vehículos eléctricos como aporte al cambio de la matriz productiva y su impacto en la no utilización de combustibles fósiles en el Ecuador* [Tesis de Grado]. Universidad de Guayaquil, Ecuador. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/17744>
- [14] Torres Sarmiento, J. D. (2015). *Estudio de viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en la ciudad de Cuenca* [Tesis de Grado]. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8050>
- [15] Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., Krajzewicz, D. (2011). *SUMO – Simulation of Urban MObility: An Overview*. Third International Conference on Advances in System Simulation, Barcelona. <https://elib.dlr.de/71460/>
- [16] Barbecho Bautista, P., Urquiza-Aguilar, L. F., Aguilar Igartua, M. (2021). *STGT: SUMO-Based Traffic Mobility Generation Tool for Evaluation of Vehicular Networks*. 18th ACM Symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, & Ubiquitous Networks (PE-WASUN), Alicante, España. <https://doi.org/10.1145/3479240.3488523>
- [17] SUMO. (2022). *Car-Following-Models*. <https://sumo.dlr.de/docs/Car-Following-Models.html>
- [18] HBEFA. (2022). *Handbook emission factors for road transport*. <https://www.hbefa.net/e/index.html>
- [19] SUMO. (2022). *Trip - SUMO Documentation*. <https://sumo.dlr.de/docs/Tools/Trip.html>
- [20] SUMO. (2022). *HBEFA3-based*. [https://sumo.dlr.de/docs/Models/Emissions/HBEFA3-based.html#hbefa3\\_heavy\\_duty\\_emission\\_classes](https://sumo.dlr.de/docs/Models/Emissions/HBEFA3-based.html#hbefa3_heavy_duty_emission_classes)