

PROYECTO DE INTEGRACION

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO “PARAR Y SEGUIR” GENERADO
DENTRO DE LA CONGESTIÓN DEL TRANSPORTE PUBLICO EN BOGOTÁ, PARA
CONOCER SU INFLUENCIA EN LAS EMISIONES DE DIOXIDO DE CARBONO,
USANDO SIMULACION COMPUTACIONAL

ELABORADO POR:

CESAR LEONARDO GONZALEZ

KIMBERLY JARAMILLO

LORENA YAMILE CASALLAS

TUTOR

HAMILTON DAVID CARILLO MERIÑO

UNIVERSIDAD EAN

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA INDUSTRIAL

9 DE JUNIO DE 2022

Índice

1. Resumen ejecutivo

2. Introducción

3. Objetivos

Objetivo general

Objetivos específicos

4. Definición del problema

5. Justificación

6. Análisis de requerimientos

7. Marco de referencia

8. Restricciones

9. Metodología para la selección y desarrollo de la solución

10. Análisis de resultados

11. Análisis de costos

12. Conclusiones

13. Referencias

1. Resumen ejecutivo

La presente investigación conduce a un estudio, que pretende revisar si las congestiones que se presentan en las calles con tráfico mixto (particulares y servicio público) en la ciudad de Bogotá, influyen en la cantidad de emisiones de vehículos de servicio público.

Por consiguiente, la evaluación de emisiones de dióxido de carbono, generadas por el comportamiento “parar y seguir” que emerge por el proceso de congestión, se modelarán mediante simulación computacional, con el objetivo de validar si hay o no una influencia de este comportamiento en las emisiones producidas por vehículos de este tipo.

Se evaluará el sistema de transporte en diferentes recorridos con las variables de disminución o incrementos de paradas, parámetros de la vía, densidad vehicular y características dinámicas de los vehículos. Por último, se generará una relación entre las detenciones y la cantidad de emisiones de acuerdo a la densidad vehicular y la distancia recorrida.

La recolección de esta información permitirá el desarrollo de la simulación de un supuesto escenario de paradas y reducción de velocidad de un vehículo, donde se visualizará la relación entre detenciones y las emisiones de dióxido de carbono en vehículos en movimiento y detenidos.

En este documento se recopilarán los datos, que ayuden a validar si el factor de detenciones del transporte público, influirán en menor o mayor medida, en la cantidad de emisiones para poder validar la hipótesis presentada.

2. Introducción

En los últimos años, el crecimiento sostenido del consumo de combustibles fósiles, para el uso en diferentes tipos de industrias, ha desatado un gran impacto sobre el calentamiento global en especial la industria automotriz. Es así que para el 2018 la Organización Meteorológica Mundial indico que el dióxido de carbono aumento en un 147%. Este incremento hace que el cambio climático sea muy agudo, así como también que la temperatura siga en aumento y los fenómenos meteorológicos se multipliquen.

Se considera una causa muy importante dentro del conjunto de gases de efecto invernadero para el periodo de 1970 a 2010, donde el dióxido de carbono represento un 78%, y para lo cual el parque vehicular tuvo gran aportación. Como la transición de energías fósiles a energías limpias (vehículos eléctricos) para el parque automotor puede ser muy lento y costos en un país como Colombia, la idea es analizar, qué tipo de comportamientos pueden aumentar la emisión de gases de tipo invernadero en el transporte público.

Es así que basados en lo anterior, se busca hacer una evaluación por medio de un simulador de tráfico vehicular, que permitan concluir si las emisiones de los vehículos de transporte público, bajo características en sus recorridos como tiempo, distancia, congestión, arranques, semaforización, etc. generan mayor emisión o menor emisión en comparación con un viaje sin detenciones. Teniendo en cuenta que no todos los medios de transporte contaminan por igual, se buscar obtener datos cualitativos que nos permita concluir con la comprobación de emisiones por cantidad de paradas.

3. Objetivos

3.1 General

Identificar la variación de emisiones producidas por vehículos de transporte público mediante un modelo de flujo vehicular que reproduzca el comportamiento de “parar y seguir” generado por una congestión con diferentes niveles de densidad vehicular mediante simulación computacional.

3.2 Específicos

Clasificar el tipo de vehículo a estudiar, tamaño, características, así como variables dinámicas propias del servicio público.

Desarrollar por medio de la escogencia de un simulador, posibles escenarios de paradas y reducciones de velocidad en una vía que modela una carretera de tráfico real.

Establecer la relación entre la cantidad de detenciones de un vehículo y el aumento de las emisiones contaminantes

Determinar las emisiones generadas cuando el vehículo está en movimiento y con detenciones a lo largo de una distancia específica y en un tiempo determinado

Realizar un análisis de los datos y la información obtenida durante las mediciones

4. Definición del problema

En la actualidad, los sistemas de transporte público cubren los desplazamientos de la gran mayoría de personas en una sociedad o comunidad. A medida que una comunidad o sociedad crece, los desplazamientos que deben hacer las personas aumentan, haciendo que los viajes del transporte público crezcan también. Todo este proceso ha tenido repercusión en el medio ambiente, dado que a mayor cantidad de vehículos transitando hay más material particulado (Franco., 2009), que es arrojado principalmente en las áreas donde hay mayor tráfico (Segura., 2016) (Franco., 2009), que luego puede recircular por corrientes de aire, hacia otras secciones de una ciudad.

Para el caso de Bogotá, el servicio de transporte público comparte vías con el tráfico mixto de la ciudad (Acero., 2021). Esto genera que el servicio público, no solo haga detenciones por semáforos o para dejar y recoger pasajeros (Acero., 2021), si no que tenga

que frenar hasta detenerse en varias oportunidades por la gran cantidad de tráfico vehicular mixto en la ciudad.

Hay varios estudios que muestran la problemática de salud pública al respirar aire contaminado por el uso de combustibles fósiles (Rojas., 2007) (Franco., 2009) (Lara., 2012) , y que inciden en el índice de calidad de vida de una ciudad capital como Bogotá.

Aunque se han hecho planteamientos sobre cómo mejorar los impactos del transporte público sobre el medio ambiente, solo se ha considerado en mayor medida que ha mayor cantidad de vehículos circulando hay mayor cantidad de material particulado como CO₂. Pero no se ha vinculado a la contaminación ambiental, el hecho de que una gran parte de vehículos del transporte público que circulan por vías de tráfico mixto tienen que detenerse por congestión en varias ocasiones durante su viaje.

Es por esto que la presente investigación tiene por objetivo validar si la cantidad de detenciones por congestión en el transporte público produce más contaminación, que si solo tuviera que detenerse por semáforos o a dejar y recoger pasajeros. Esto ha generado nuestra pregunta de investigación ¿Las emisiones que genera un vehículo de transporte público con motor de combustión, son más altas cuando hay más detenciones durante su recorrido, a comparación de un viaje sin detenciones por congestión o con un número limitado de detenciones por congestión?

Hipótesis:

El comportamiento de “parar y continuar”, generado dentro de una congestión vehicular (cierta cantidad excesiva de vehículos circulando en una calle), influye en el aumento de las emisiones de CO₂.

5. Justificación

Las emisiones de CO₂ y otras partículas que arrojan los vehículos que utilizan combustibles fósiles, ha generado una problemática al ambiente (Ruiz., 2006), como consecuencia el aire en algunos momentos del día en Bogotá (Ruiz., 2006), presenta inconvenientes para personas que tienen problemas de salud o son sensibles a este material particulado (Suarez., 2008).

Aunque en la actualidad los sistemas de escape de los automóviles, han tenido evolución y desarrollo, para evitar que salga gran cantidad de material particulado al ambiente, el hecho del aumento de personas en las principales urbes, ha generado de alguna manera, mayor demanda de vehículos particulares y de servicio público que están circulando en horas pico y en horas valle sobre vías de tráfico mixto.

De esta manera la mayoría de vías principales ha excedido su capacidad, lo que genera grandes congestiones y mayor cantidad de material particulado en el ambiente (Ruiz., 2006, en las calzadas que tienen mayor demanda de circulación. Ahora bien hay una problemática adicional y es que a mayor congestión se generan frenadas (necesarias e innecesarias), que generan detenciones por congestión. Este proceso es un ciclo repetitivo, mientras haya mucha densidad vehicular.

Aunque se han hecho diferentes estudios para mejorar el impacto de las emisiones vehiculares sobre el ambiente y sobre la salud de las personas, aún hace falta establecer más que impacto sobre emisiones de CO₂, tienen las congestiones en una vía con tráfico mixto y sobre si por esta dinámica que se genera en ciertas horas pico, hay más CO₂ no solo por la cantidad de vehículos circulando si no por las detenciones producidas en si por la misma congestión.

Aunque en la actualidad, en Bogotá y en otras partes del mundo, los entes de control ambiental y gubernamentales, han generado políticas para evitar el uso del vehículo particular de forma prolongada, y han estimulado el uso del transporte público; con estrategias de no circulación, vehículo compartidos, etc., volvemos al mismo punto, en donde los carriles mixtos han sobrepasado su capacidad operativa y la congestión no ha disminuido significativamente tanto para transporte público como particular.

Por lo tanto, esta investigación pretende evaluar en buses de transporte público que utiliza carriles mixtos, si durante las congestiones que generan detenciones o semi-detenciones, hay mayor número de emisiones que serían adicionales a las que emiten los mismos vehículos con un viaje normal sin congestiones.

Para el desarrollo de la presente investigación implementaremos el uso de un simulador de tráfico vehicular SUMO, que implementa las variables dinámicas del flujo vehicular y puede generar simulaciones a nivel microscópico, para evaluar el comportamiento y las variables dinámicas de cada vehículo, mientras hace su recorrido.

Para implementar nuestro diseño de experimentos en el simulador, y poder obtener los datos para validar nuestra hipótesis, generaremos una vía recta con una distancia fija, para introducir vehículos y generar varios escenarios con diferentes cantidades de paradas que serán evaluadas con semáforos y diferentes fases (tiempos más cortos y más largos en verde y rojo variable).

6. Análisis de Requerimientos

- Con el simulador (Simulation of Urban Mobility) se evaluará si los vehículos de transporte público producen un mayor número de emisiones a mayor cantidad de detenciones, o por el contrario producen la misma cantidad de emisiones o mayor cuando están en movimiento constantes; según (Lopez., 2018) definen el programa como: un paquete de simulación de tráfico multimodal continuo, microscópico, altamente portátil y de código abierto diseñado para manejar grandes redes, este proporciona varios tipos de vehículos y permite el modelamiento de rutas, redes, emisiones entre otras. De esta manera se pueden obtener datos con precisiones altas, arrojando datos verídicos para la investigación (Lopez., 2018).
- Condiciones de la maquina donde se estara aplicando el simulador: Es una maquina con un sistema operativo Macintosh, con una memoria ram de 16 gigas y un procesador de 3.3 GHz Dual-Core Intel Core i7
- En cuanto a la normatividad para definir como emisiones contaminantes o no, se requiere revisar los niveles máximos permisibles de contaminante criterio de calidad del aire, la cual se encuentra en la resolución 2254 de 2017 Ministerio del Medio Ambiente, por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.(Ministerio del Medio Ambiente, 2017)
- Por último este estudio estará dirigido a las secretarias de movilidad y medio ambiente de la ciudad de Bogotá y a los entes gubernamentales para que puedan tomar las medidas necesarias, para que puedan visualizar las diferentes aristas desde las cuales un vehículo de transporte público contamina y que factores influyen para que contamine en mayor grado.

7. Marco de referencia

El impacto medioambiental causado a partir del uso de sistemas de transporte con motores de combustión interna, ha tenido diferentes tipos de estudios; desde las consecuencias de las emisiones en la salud humana y medidas de mitigación (Schneidemesser., 2019) (Lijteroff., 2018), hasta la manera de poder hacer que los motores de combustibles fósiles sean más limpios y eficientes (Leach., 2020) (Reitz., 2020). En la actualidad y gracias a este tipo de estudios, la conciencia de países del primer mundo y países en desarrollo, han comenzado una transición en el uso de tecnologías con poco o cero emisiones ambientales (Helmers., 2020) (Zeng., 2021) (Ağbulut., 2019) (Ahmadi.,2019), para ser empleadas en los sistemas de transporte.

Aun así, la transición al uso de energías limpias en el sector automotriz, y su menor impacto medioambiental (Bicer., 2018) continúa siendo lento, debido al proceso del desarrollo tecnológico y en parte a la eficiencia energética (Weiss., 2020) (Albatayneh., 2020) de los vehículos eléctricos comparados con los actuales.

Debido a lo anterior y al costo de su implantación, para países en vía de desarrollo como Colombia, la transición a energías limpias como la eléctrica para ser usado en el parque vehicular, se puede tomar más tiempo en comparación con países desarrollados. Por lo tanto se hace necesario investigar que otros factores en el uso de combustibles fósiles del parque automotor, pueden aumentar de forma significativa, la cantidad de emisiones al ambiente como es el caso del CO₂.

Al poder validar que otros factores (diferentes al crecimiento del parque automotor) aumentan la cantidad de emisiones al ambiente, se podrán gestionar estrategias presentes y futuras para mitigar este impacto, mientras se completa la transición a tecnologías limpias.

Dentro de la presente investigación, uno de los factores a tratar es el referente a la congestión dentro del tráfico vehicular. Las interacciones vehiculares en altas densidades, pueden generar diferentes tipos de congestión, pero este tipo de interacciones se dan de acuerdo a los comportamientos de los propios conductores y su interpretación de las reglas del tráfico. Este proceso lo podemos visualizar como un proceso predecible en donde a mayor interacción, mayor probabilidad de posibles congestiones, por choques, semáforos, accidentes, etc., pero existen otros fenómenos estocásticos (Goldmann., 2020) que pueden generar este tipo de resultados.

A medida que las interacciones vehiculares, a nivel local van incrementándose, empiezan a surgir estos procesos estocásticos, que van a contribuir en mayor medida en el indicador de impacto de congestión y emisiones ambientales. Vemos el caso presentado en (Goldmann., 2020), donde los investigadores hacen una revisión de un fenómeno conocido como tráfico fantasma (Goldmann., 2020), descrito como un proceso que comienza con un flujo estable de vehículos circulando por una vía sin congestión a cierta velocidad. Esta estabilidad se presenta para un rango de vehículos, pero si ese rango sobrepasa un umbral (aumenta la cantidad de vehículos ingresando a la red vial), el comportamiento del tráfico comienza en un proceso de inestabilidad, en donde unos vehículos están casi o totalmente detenidos y otros están circulando con un flujo poco constante.

Este ciclo se mantiene intercambiando el papel de los detenidos por un flujo inconstante y los que estaban circulando a quedarse totalmente detenido. Después de pasar el umbral de vehículos (entrada de más vehículos a la red vial) para el cual se forma el efecto “tráfico fantasma”, el flujo entra nuevamente a ser constante, pero con una muy baja velocidad casi para detenerse. Este tipo de comportamiento debido a las interacciones locales, juega como un efecto domino, en donde se transfiere todo el comportamiento a través del sistema. Este tipo de comportamientos emergentes de la interacción de muchos individuos y que se da de forma espontánea es conocido como “criticalidad autoorganizada” (Bak., 1988). Por ultimo los investigadores en (Goldmann., 2020), proceden a hacer varios experimentos relacionados a este comportamiento, y definen un costo asociado a la congestión e hipercongestión (asociado al comportamiento del tráfico fantasma), concluyendo el alto costo de caer en ese comportamiento cíclico de “parar y arrancar”.

En esta investigación aclaran que no tienen en cuenta dentro de su modelo, parámetros como el consumo de combustible, y las emisiones de dióxido de carbono, dado que es una simplificación del comportamiento dinámico del tráfico vehicular. De la misma forma establecen que se debe tener en cuenta la mezcla de variedad de vehículos (tráfico mixto).

De la misma forma podemos ver en el trabajo de (Gately., 2017), que la mala calidad del aire es un problema global importante, con la contaminación del aire exterior causando más de 3,3 millones de muertes prematuras anuales y muchos más casos asociados de enfermedades (Gately., 2017); según señala (Gately., 2017) en el estudio realizado, los contaminantes de CO y NOx emitidos por los vehículos en el año 2012 fueron responsables de más del 60% de la contaminación atmosférica en las carreteras de Estados Unidos y mayor al 90% en áreas locales. Al estar más próximo al área de las carreteras o avenidas hace que el

porcentaje de impactos negativos a la salud de las personas llegue a ser mayor, puesto que varios de estos contaminantes como el dióxido de nitrógeno permanece en un área aproximada de 100 metros y otros como el CO, logra persistir en distancias mucho más amplias, por ejemplo en las ciudades o en lugares donde se presentan edificaciones de gran tamaño que impiden las ráfagas de vientos, puede identificarse concentraciones de contaminación mayores, ya que estos impiden la circulación y esparcimiento.

Para determinar a precisión y hacer un estudio sobre las emisiones generadas por los vehículos automotores los autores (Gately., 2017) trabajaron con lapsos de tiempo y distancia tanto cortas como extensas, de esta manera se cuantificó la abundancia de emisiones durante el tráfico. Existen diferentes variables que pueden inducir en el estudio, entre las que se encuentran: diferencia en el tamaño de vehículos que transitan, tráfico y clima, adicionalmente de las llamadas “horas pico” que se presentan durante el día las cuales son generalmente en la mañana y en la tarde, este último fue uno de los casos que se tuvieron en cuenta para realizar la tarificación por congestión en Londres o sistema CCS por sus siglas en inglés (congestion charging scheme), el sistema fue impuesto a partir del año 2003, según (Sean., 2005) y fue todo un éxito; para evaluar los impactos generados por la tarificación se hizo conteo de datos manual y automático de más de 300 ubicaciones, arrojando como resultado, reducción de las emisiones contaminantes en las áreas en las cuales se introdujo este sistema; también se identificó que por el aumento de velocidad de los vehículos hubo reducciones de emisiones, así como al reducir los vehículos, complementario a este sistema la ciudad de Londres añadió vehículos con tecnología más moderna además del uso de trampas de partículas.

Durante el estudio de los autores (Gately., 2017) hablan de dos posibles escenarios para el estudio de las emisiones: Primero, aumento de la carretera para mantener la cantidad de vehículos, y un segundo escenario donde se realiza reducción de vehículos con tiempo y espacio, para ambos escenarios hubo un porcentaje de disminución de emisiones considerable, sin embargo, los resultados del segundo escenario obtuvo mayor porcentaje de reducción de emisiones; los autores también identifican el uso de alternativas y tecnologías como vehículos eléctricos para mantener un control de la contaminación, por ejemplo en Londres según (Sean., 2005) las nuevas tecnologías implementadas en los automotores a partir del año 2003 en combinación con el aumento de la velocidad de los vehículos en especial de carga por la tarificación por zonas, logró una reducción muy significativa de las emisiones, también se pudo notar que al bajar la velocidad de los vehículos las mediciones

arrojan resultados desproporcionados de las emisiones, principalmente de los vehículos automotores que trabajan con Diesel.

Para (Gately., 2017), las emisiones por arranque en frío de los vehículos arrojaron un valor porcentual cerca al 50% de reducción del valor de las emisiones de vehículos en movimiento, y al disminuir la velocidad, las emisiones aumentaron debido al nuevo arranque que debe hacer.

Vemos otro estudio generado para la ciudad de Hong Kong, en donde los autores (Chu., 2021) ,decidieron hacer un estudio en una de las carreteras más importantes, la Hennesy Road, pero concentrándose en la contaminación sobre la carretera y a lo largo de la misma, y no en sus alrededores; durante el estudio tuvieron en cuenta las emisiones de óxidos de nitrógeno NOx para vehículos grandes y con tecnología EURO IV, y monóxido de Carbono CO para vehículos promedio.

En la ciudad de Hong Kong un gran porcentaje de estas emisiones contaminantes provienen de los vehículos, y por lo mismo consideran darle importancia al estudio de los impactos que se puedan generar a la salud , se da el caso de estudios realizados en Suecia, en el cual se identificó que el nuevo arranque en la parada generó un porcentaje amplio (14-30%) de las emisiones totales (Chu., 2021). La ciudad cuenta con gran tráfico de vehículos. sin embargo, no es por vehículos de uso personal si no, por el contrario, por flotas de automotores grandes, ya que la proporción entre vehículos de uso personal y habitantes es 1 vehículo/cada 14 habitantes (Chu., 2021), esto sumado a los gigantes edificios arquitectónicos las emisiones quedan atrapadas en puntos críticos.

Para este caso, los autores (Chu., 2021) al igual que en el estudio de (Gately., 2017) hicieron uso de la investigación en base a los factores de emisión y al comparar las investigaciones realizadas paralelamente en flotas de vehículos e individuales (principalmente Diesel) , notaron que los resultados obtenidos no están muy lejos unos de los otros y al hacer comparaciones más detalladas en las cuales se dividen los vehículos por clase, categoría, modelo entre otras, sugieren que los valores no tienen un gran cambio, exceptuando a los vehículos de gran motor, con esto en mente afirman que los resultados alcanzados se pueden generar políticas que ayuden a mejorar la calidad del aire controlando sus emisiones.

Es de conocimiento , que el medio ambiente es parte primordial del desarrollo humano y está estrechamente relacionado con la calidad de vida, es así como en las grandes ciudades la contaminación vehicular es un gran problema, las diferentes variables que se

manifiestan durante el recorrido de un vehículo hacen que las emisiones de gases tóxicos sean superiores, debido a las altas congestiones vehiculares en las horas pico, se conoce que cada 10 años se incrementa la cantidad de vehículos, es así que en los países desarrollados y en vía de desarrollo el crecimiento anual es de 2% a 5 % se puede estimar que nuestro país tendrá un incremento considerable con respecto a la década anterior.

Es así como para evitar la contaminación atmosférica los autores en (Sharmilaa., 2021) indican que se debe estudiar la cantidad de emisiones que producen los vehículos de transporte público debido a sus combustibles contaminantes. Las emisiones que este tipo de vehículos de carga o de transporte, generan grandes emisiones de desechos al medio ambiente como monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos (HC) y los óxidos de Nitrógeno (NO_x). Este tipo de partículas se concentran en el medio ambiente, generando un riesgo para la salud de los viajeros.

En el trabajo de (Goyal 2013), los investigadores muestran que las emisiones que generan este tipo de transportes, dependen de su motor y de la relación de cómo se conduce, además de la congestión vehicular, los descansos, la competitividad, la velocidad, las paradas y el clima; donde constantemente se acelera y desacelera los vehículos. Debido a estos atascos, la contaminación que se genera de dióxido de carbono es del 90 a 95% . En los diversos estudios en (Goyal 2013), los investigadores estiman que hay factores como el entorno, el tráfico, el rendimiento del vehículo, su motor, el volumen, que se relacionan con una mayor contaminación, al igual que los vehículos antiguos los cuales generaban grandes partículas de contaminación por su estructura y la falta de normatividad.

La congestión vehicular de las grandes ciudades se ha tornado en una problemática, donde el desarrollo de las urbes se ve afectado por esta constante, donde los diferentes gobiernos ejercen una presión social, política y ambiental para limitar los impactos de dióxido de carbono, lo cual ha generado la búsqueda de soluciones para la eficiencia de transporte público, pero todo esto se ha visto afectado por la complejidad de los problemas en carretera, donde el enrutamiento de vehículos depende del tiempo del viaje y los retrasos que se generan por congestión.

Las características de las rutas, como lo menciona (Figliozi., 2011), los niveles de demanda que se encuentran en los recorridos, la variedad en kilómetros y las horas recorridas, son los cambios frecuentes que incurren en la velocidad por consecuencia del tráfico, que obliga a hacer paradas y marchas, que aumentan las tasas de emisiones por el consumo de

combustible, ya que esta es una función no solo de la velocidad sino de aceleración, cada una de las variables que afecta el recorrido de un vehículo hacen que este consuma más combustible y de esta manera se genera más dióxido de carbono.

Cabe resaltar que los vehículos de transporte tiene una demanda asociada que se ve reflejada en el tiempo que le demora tomar un recorrido y esta genera un tiempo en el servicio y se crea la ventana de tiempo, las emisiones son proporcionales a la cantidad de combustible consumido, lo que implica un desplazamiento y una distancia recorrida, lo cual no se ve afectada por el peso que este contenga, pero si por la limitación de la velocidad. Hay casos donde la congestión de las vías genera mayor tiempo y disminuye las emisiones, si las velocidades de los viajes se reducen a una velocidad optima desde el punto de las emisiones estas pueden reducirse sin afectar el tamaño de la flota, cabe indicar que las emisiones se ve afectadas por congestión, tiempos y velocidad.

Por último, podemos ver el trabajo de (Li., 2022), donde se evidencia la importancia de mantener el equilibrio con el medio ambiente y se busca soluciones benéficas para todas las partes, buscando la sostenibilidad ambiental, es así como los investigadores muestran que el gobierno debe buscar medidas que ayuden a establecer tarifas y tamaño de las flotas de transporte público. En esta búsqueda de resultados se ha mencionado el contar con vehículos de gasolina y eléctricos, buscando así una solución óptima para las emisiones, puesto que la contaminación atmosférica en las zonas urbanas corresponde a los vehículos en carretera según los datos publicados por el gobierno de la Región Administrativa Especial de Hong Kong,

También muestran en (Baicheng., 2022) que el transporte por carretera fue una importante fuente de emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos volátiles (COV) y monóxido de carbono (CO), que representan el 20%, el 19% y el 53% de las emisiones totales en 2017, respectivamente. Entre otros enfoques la tarificación vial ha sido reconocida como una forma de asimilar congestión, ruido, accidentes, y emisiones. Por ejemplo, los investigadores en (Baicheng., 2022) argumentó que para lograr el óptimo social en presencia de efectos de congestión y externalidades de emisión, un usuario de la carretera debe pagar el costo de emisión incurrido por su vehículo, el costo adicional de congestión que él / ella impuesto a otros usuarios, y el costo marginal de emisión para otros usuarios. Se ve también una política de precios de las emisiones, para controlar emisiones de tráfico y

cumplir con el estándar ambiental, de ser así cada uno debe de responsabilizarse de las emisiones que generan sus vehículos.

8. Restricciones

Ambientales

- En la actualidad los avances tecnológicos y especialmente en temas vehiculares han sido sorprendentes, los automóviles sin conductor marcan hoy por hoy la historia; según Erik Brynjolfsson y Andrew McAfee, el progreso de las máquinas se puede dividir en 2 etapas: la máquina de vapor en 1775 y en 1990 con la ley Moore, tecnologías digitales y crecimiento recombinante (Saunders., 2017), sin embargo, a pesar de la agitada vida tecnológica la cual incrementó durante la pandemia, donde el mundo tuvo que aprender a vivir en la virtualidad, sabemos que aún no es la solución al 100% de los problemas, por ejemplo, las limitaciones en cuanto al área ambiental con el simulador SUMO (Simulation of Urban MObility) son las barreras que el programa presenta, ya que este solo permite recrear en diferentes escenarios las detenciones y arranques de los vehículos, midiendo las emisiones de CO₂ en un ambiente totalmente controlado, el cual no tiene variaciones ambientales que potencialmente si se encuentren en una vía de la ciudad, tampoco se presentan variables como la altura, velocidad del viento, contacto con seres vivos y adicionalmente se reduce solo a mediciones con combustibles fósiles como gasolina y Diesel.

Por lo anterior, a pesar, que se debe limitar el área de estudio, al realizarlo con simulador ofrece un resultado directo y conciso, sin necesidad de depender de una flota de vehículos, y lograr obtener un ambiente ideal sin cambios constantes y demasiadas variables.

Seguridad y salud

- Para la identificación de la variación de emisiones producidas por vehículos de transporte público, no se corre ningún riesgo, puesto que el análisis se realizará por medio de un simulador, sin embargo, se debe considerar la realización de pausas activas, en caso de que se pueda generar extensas horas de trabajo y adicionalmente poseer un sitio de trabajo adecuado frente a la ergonomía.

Socio cultural

- La educación vial es una de las causas más importantes que se conoce entre los usuarios, la ausencia de educación hace que los conductores incidan en conductas inapropiadas como son la falta de respeto entre conductores y usuarios. No atienden la señalización, no acatan los límites de velocidad y conducen de manera irresponsable, lo cual termina en distracciones que generan accidentalidad, congestión, demoras, retrasos.

- Se conoce que en la capital el estado de las vías es deplorable, además a esta limitante se le suma la mala estructuración de las zonas viales, lo cual genera pérdida de tiempo y consumo excesivo de combustibles fósiles, debido a estas variables se le considera como una problemática, la cual ha ido incrementado el desgaste de las calzadas, por el crecimiento desmedido del mercado vehicular y las congestiones que estos vehículos generan, se le suma a esto el atraso de infraestructuras nuevas para el descongestionamiento de las vías principales y la poca inversión que se le hace a la malla vial.

- Los decretos expuestos por el ministerio de transporte y la agencia nacional de seguridad indican a las diferentes organizaciones e implicados, la normatividad que permite tener una sana interacción a la hora de conducir, donde se resalta la conducta, comportamientos y reglas de tránsito, las cuales no son tomadas a cabalidad, ni castigadas de manera adecuada.

Económico

- Los diferentes sensores que se utilizan para realizar mediciones al medio ambiente son dispositivos que permiten recoger datos exactos, sobre las emisiones que se generan por la quema de combustibles, estos son de un alto costo, es así que un supuesto para adquirir datos en campo sobre las mediciones del dióxido de carbono no es viable, ya que no se cuenta con presupuesto para dispositivos, equipos de medición y recursos humanos que los manipulen o recojan datos.

- SUMO (Simulation of Urban Mobility) es un software de simulación de sistema de tráfico gratuito y de código abierto, que puede ser utilizado para la modelación de supuestos en tráfico vehicular y proporcionar estadísticas que permiten el estudio del Dióxido de carbono en vehículos de transporte público en la ciudad, esta herramienta cumple con las características que se necesitan para las mediciones y de esta forma recolectar datos, puesto que dicha herramienta se encuentra desarrollada y con

parámetros ya establecidos. “Lopez, P. A., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y. P., Hilbrich, R., ... & Wießner, E. (2018, November). Microscopic traffic simulation using sumo. In 2018 21st international conference on intelligent transportation systems (ITSC) (pp. 2575-2582). IEEE.”

Legal

- Revisión técnico mecánica como medida para el cuidado del medio ambiente con el fin de disminuir las emisiones de gases (ver tabla 1).

Tabla 1. Resoluciones de emisiones para vehículos

Documentos para VEHÍCULOS :: Revisión Técnico Mecánica		
Año	Documento	Restrictor
1989	Resolución 978 de 1989 Secretaría Distrital de Tránsito y Transporte	Artículos 1º y ss Resolución 978 de 1989 Secretaría Distrital de Tránsito y Transporte Se reglamenta
1995	Resolución 161 de 1995 Secretaría Distrital de Tránsito y Transporte	Resolución 161 de 1995 Secretaria Distrital de Tránsito y Transporte Se establecen parámetros y se fijan límites y valores para la revisión técnico-mecánica
1997	Resolución 441 de 1997 Secretaría Distrital de Tránsito y Transporte	Declarar la caducidad de las multas de movilización causadas por no haber efectuado la revisión técnico-mecánica de los vehículos automotores de servicio público y particular, dentro de las fechas establecidas, art. 1. Elaborar un programa magnético con parámetros aplicables, art. 2. Diseñar otro programa magnético para sancionar a los propietarios infractores antes de que transcurra el tiempo necesario para que se presente la caducidad de la acción, art. 3.
2001	Resolución 3143 de 2001 Secretaría Distrital de Tránsito y Transporte	Se establece el Procedimiento para la revisión certificada de vehículos registrados en otras ciudades, con el fin de obtener certificado de movilización art.1. Se establece el Procedimiento para la revisión certificada de vehículos registrados en Bogotá D.C., con el fin de obtener certificado de movilización, art.2.
2004	Concepto 5849 de 2004 Ministerio de Transporte	Sobre la revisión de gases, el artículo 52 de la Ley 769 de 2002, prevé que para los vehículos de servicio público se realizará anualmente y los de servicio diferente a este cada 2 años. Como quiera que las motocicletas, mototriciclos y motociclos están sujetos a esta revisión de gases, esta se debe efectuar cada 2 años y a partir de la fecha que indique el reglamento expedido por los Ministerios de Transporte y de Medio Ambiente. Como el artículo 51 exige la verificación de algunos elementos de los automotores, los cuales son por su naturaleza inherentes a los vehículos automóviles, camperos, buses, busetas, microbuses etc, significa lo anterior que las motocicletas, mototriciclos y motociclos necesariamente fueron excluidos de esta exigencia legal, cosa diferente

Límites máximos de emisiones de gases para vehículos de gasolina en condición de marcha mínima, ralentí o prueba estática (ver tabla 2).

Tabla 2. límites de emisiones según el año del vehículo

AÑO MODELO	CO %	HC (ppm)
1990 y Anteriores	5,0	800
1971-1984	4,0	650
1985-1997	3,0	400
1998 y Posteriores	1,0	200

9. Metodología

La propuesta de investigación, que se presenta en este documento, busca conocer el efecto del comportamiento “*parar y seguir*” sobre las emisiones de CO₂ en el ambiente, que emiten los vehículos de transporte público con tráfico mixto y con cierto nivel de congestión. Desde este punto de vista y haciendo un análisis de las restricciones expuestas, para el desarrollo del estudio, es necesario la implementación de herramientas que nos puedan ayudar a validar mediante varias pruebas si afirmamos la hipótesis o la negamos.

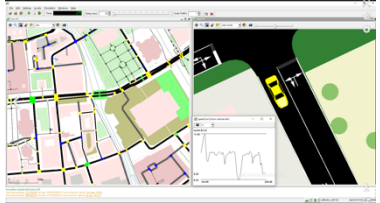
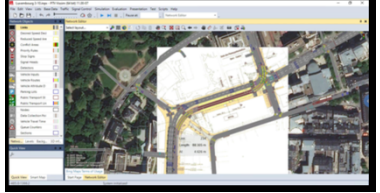

Desde el punto de vista del diseño de experimentos, para el caso de estudio, debemos tener en cuenta las siguientes condiciones:

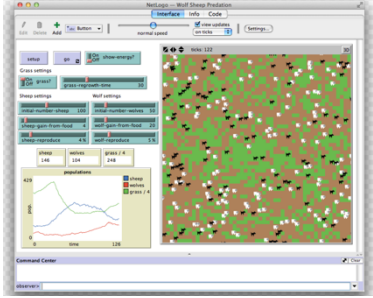
- Se debe buscar una herramienta que pueda modelar los aspectos principales del flujo vehicular, incluyendo el diseño de calles (dirección de la calle, velocidades de la calle, flujos, etc.) dinámica microscópica y macroscópica del tráfico vehicular, etc.
- Es necesario tener en cuenta que dentro de la herramienta seleccionada se hace necesario poder tener experimentos replicables, es decir, aunque los vehículos tengan cierta distribución de probabilidad, para la aparición dentro de una calle, siempre se mantengan las mismas condiciones en cada experimento. Esto ayuda a validar las variables y parámetros a estudiar y poder hacer varias repeticiones del mismo experimento para obtener datos válidos y un error experimental más pequeño.
- La herramienta nos debe proporcionar la posibilidad de construir escenarios, en donde se pueda validar viajes sin detenciones, viajes con al menos una detención y viajes con *n* cantidad de detenciones.

- La herramienta nos debe brindar la posibilidad de conocer en tiempo real las emisiones de CO₂ de los vehículos que circulan por la calle.
- La herramienta nos debe proporcionar simplicidad en la ejecución de los experimentos

Por consecuente es necesario validar una herramienta de simulación computacional para poder cumplir con las anteriores condiciones. A continuación, se presentará una tabla con las principales características de simuladores de tráfico vehicular (ver tabla 3).

Tabla 3 – Simuladores de tráfico vehicular

Nombre	Características	Grafico
SUMO (Simulation of Urban MObility)	<p>Es un paquete de simulación de tráfico multimodal, microscópico y macroscópico, portable y de código abierto diseñado para funcionar con grandes redes. SUMO cuenta con un conjunto de programas que hacen posible la configuración, ejecución y control de la simulación de tráfico. Es software libre, distribuido bajo la licencia Eclipse Public License 2.0 y GNU General Public License v2.0.</p>	
VISSIM (Verkehr In Städten - SIMulation)	<p>En un modelo de “simulación microscópica” o modelo de microsimulación los individuos que componen los flujos de tránsito (vehículos, bicicletas, peatones, etc.) son el elemento mínimo. Sus características (físicas y psicológicas) y su interacción mutua y con elementos viales son modelizadas con reglas, algoritmos y modelos de comportamiento. Desarrollada por la empresa PTV -- Planung Transport Verkehr AG en Karlsruhe, Alemania. Es software licenciado</p>	
TransModeler	<p>TransModeler es un potente y versátil paquete de simulación, aplicable a una amplia gama de tareas de planeamiento y modelamiento de tráfico. TransModeler puede simular toda clase de redes de viales, desde autopistas hasta calles de los centros de las ciudades, y puede analizar redes multimodales de áreas extensas con gran detalle y fidelidad. Usted puede animar el comportamiento de sistemas de</p>	

	<p>tráfico complejos para ilustrar la circulación de tráfico, la operación semafórica, y el funcionamiento conjunto de la red. TransModeler puede simular también redes de área extensas con diferentes grados de fidelidad y con diferentes métodos de simulación. Además del micro simulador, TransModeler incluye simuladores mesoscópico y macroscópico. Es software licenciado</p>	
<p>NetLogo</p>	<p>El entorno de NetLogo permite la exploración de fenómenos emergentes, y viene con una extensa biblioteca de modelos que incluye modelos de diferentes campos, tales como economía, biología, física, química, psicología o dinámica de sistemas. Es software libre, pero no tiene una condición específica de simulación vehicular microscópica.</p>	

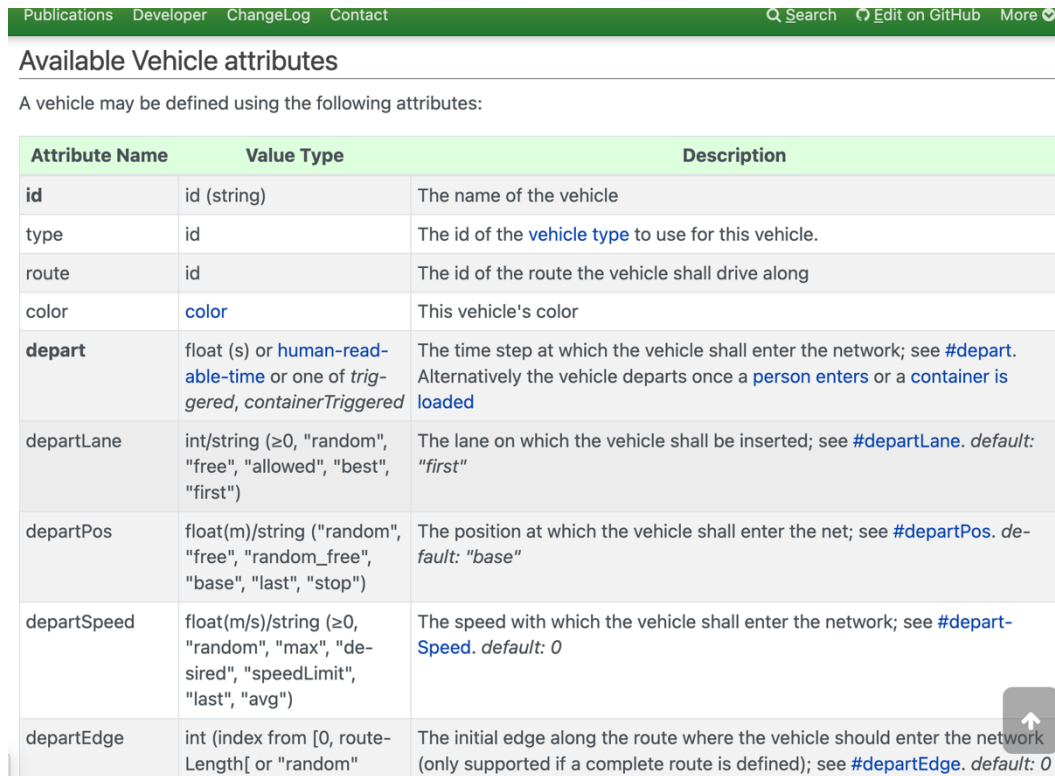
Al revisar las distintas alternativas de software para simulación de tráfico vehicular, se seleccionó SUMO (Simulation of Urban MObility), que consta de un paquete adicional llamado TraCI (Traffic Control Interface)". Este paquete da acceso al simulador en tiempo real (es decir mientras está corriendo a la simulación) y permite hacer consultas sobre los parámetros y dinámicas de los vehículos, así como también generar un set de comportamientos en tiempo real de los vehículos, de acuerdo un diseño de experimentos.

TraCI, tiene una interfaz de programación con lenguaje Python, desde los scripts podemos gestionar todos los comportamientos deseados, así como también gestionar todo el diseño de experimentos mediante lenguaje de maquina y obtener la estadística sobre los diferentes parámetros del viaje de cada vehículo dentro de la simulación.

SUMO permite la implementación desde cero de calles y ciudades, así como también montar una red vial real usando google maps, para luego montar sobre esta red vial un flujo vehicular y generar las simulaciones necesarias, de acuerdo a la investigación que se necesite (macroscópica, microscópica, mesoscópica).

Por último, SUMO, trabaja con lenguaje de etiquedado XML, para el desarrollo de la red vial y parámetros dinámicos del vehículo y entrega en este mismo formato las estadísticas de los viajes de cada vehículo al terminar la simulación. Dentro de los parámetros que entrega

el simulador están: el tiempo de viaje, tiempo de espera, emisiones al ambiente, velocidad máxima, calle por donde entra el vehículo, calle por donde sale, etc. (Ver figura 1)



The image shows a screenshot of the SUMO documentation website. At the top, there is a navigation bar with links for 'Publications', 'Developer', 'ChangeLog', and 'Contact'. On the right side of the navigation bar, there are icons for 'Search', 'Edit on GitHub', and 'More'. Below the navigation bar, the page title is 'Available Vehicle attributes'. Underneath the title, there is a subtitle: 'A vehicle may be defined using the following attributes:'. The main content is a table with three columns: 'Attribute Name', 'Value Type', and 'Description'. The table lists various attributes for defining a vehicle, such as 'id', 'type', 'route', 'color', 'depart', 'departLane', 'departPos', 'departSpeed', and 'departEdge'. Each row provides the attribute name, its value type, and a brief description of its function.

Attribute Name	Value Type	Description
id	id (string)	The name of the vehicle
type	id	The id of the vehicle type to use for this vehicle.
route	id	The id of the route the vehicle shall drive along
color	color	This vehicle's color
depart	float (s) or human-readable-time or one of triggered , containerTriggered	The time step at which the vehicle shall enter the network; see #depart . Alternatively the vehicle departs once a person enters or a container is loaded
departLane	int/string (≥ 0 , "random", "free", "allowed", "best", "first")	The lane on which the vehicle shall be inserted; see #departLane . <i>default: "first"</i>
departPos	float(m)/string ("random", "free", "random_free", "base", "last", "stop")	The position at which the vehicle shall enter the net; see #departPos . <i>default: "base"</i>
departSpeed	float(m/s)/string (≥ 0 , "random", "max", "desired", "speedLimit", "last", "avg")	The speed with which the vehicle shall enter the network; see #departSpeed . <i>default: 0</i>
departEdge	int (index from [0, routeLength[or "random"	The initial edge along the route where the vehicle should enter the network (only supported if a complete route is defined); see #departEdge . <i>default: 0</i>

Figura 1. Atributos de vehículos en el simulador SUMO.

Fuente: tomado de la página del simulador

De esta forma se implementará el diseño de experimentos con la herramienta seleccionada y evaluaremos varios escenarios de detenciones con cierto grado de congestión para validar la hipótesis presentada

Para alcanzar los objetivos específicos debemos hacer una revisión sobre las características dinámicas principales de los vehículos de transporte público que circulan en la ciudad de Bogotá, es decir que se revisaran los parámetros de: tamaño, peso, velocidad máxima permitida, desaceleraciones normales y de emergencia, influencia del manejo por personas, y otras condiciones necesarias.

Después de lo anterior se construirá un escenario con las anteriores características del flujo vehicular, más otras similares a las de las vías de la ciudad de Bogotá. Para luego comenzar a generar diferentes simulaciones con el apartado que se describió en el diseño de experimentos. Se establecerá la relación entre la cantidad de detenciones de un vehículo y el aumento de las emisiones contaminantes

Y, por último, se realizara un análisis de los datos y la información obtenida durante las mediciones para obtener las conclusiones del estudio.

10. Análisis de resultados

Dentro de la metodología se estableció un diseño de experimentos, para validar la propuesta de tesis referente a, si el comportamiento “parar y seguir”, producido por la congestión vehicular del tráfico mixto, representado en una vía que comparte el flujo de buses del Sitp y vehículos particulares.

Para la simulación se diseñó una vía de un solo carril (para poder validar de una manera más precisa la congestión, el flujo vehicular y las emisiones de CO₂), con una distancia de 1000 metros (1km). Se reviso una vía en Bogotá con gran volumen de congestión y que no tuviera semáforos. Se reviso entonces la Av. Carrera 30 ó NQS, en el trayecto de sur a norte, comenzando en la Av. Carrera 30 con calle 3 hasta Av. Carrera 30 con calle 13 aproximadamente.

La construcción de la vía, las características dinámicas de los vehículos, las restricciones de velocidad para la ciudad de Bogotá y por último la cantidad de vehículos generados se hicieron, a través de archivos XML. A continuación, se va a relacionar mediante una tabla las características físicas y dinámicas de los vehículos (ver tabla 4):

Tabla 4 – Características de los vehículos

Tipo de Vehículo	Color	Largo (metros)	Velocidad Máxima (m/s)	Aceleración (m/s ²)	Desaceleración (m/s ²)	Consumo de combustible (ml/s)	CO ₂ (mg/s)	Restricción de Velocidad (m/s)
Bus	Azul	12 metros	23.61	1.2	4.0	-----	-----	13.889
Automóvil	Amarillo	4.5 metros	33.33	2.5	4.5	-----	-----	13.889

Dentro de la simulación se hicieron dos escenarios; el primero muestra una simulación con 50 vehículos tipo automóvil y 50 vehículos tipo Bus Sitp. Para la segunda simulación tenemos 500 vehículos tipo automóvil y mantuvimos los 50 vehículos tipo Bus Sitp. Dentro del simulador se agrega un parámetro que se denomina “Sigma”, y que representa la imperfección del conductor. Este parámetro va del rango de 0 a 1, donde 0 representa

conducción perfecta (conducción autónoma) y 1 representa la imperfección total de un conductor.

Este parámetro ajusta de manera significativa nuestra simulación, dado que genera que el conductor frene y acelere irregularmente durante su viaje, haciendo que se produzca el efecto de congestión fantasma.

Para el primer escenario de simulación con 100 vehículos, obtuvimos un total de 78.260,44 Kg/h de CO₂. Para el segundo escenario de simulación con 550 vehículos, obtuvimos un total de 495.433 Kg/h de CO₂.

Tanto para el primer caso, como para el segundo caso tenemos el comportamiento “parar y seguir”. En el primer caso el comportamiento de “parar y seguir”, no es producido al 100% por congestión. Es decir este comportamiento es producido por la imperfección de los conductores al manejar. Para el segundo caso el comportamiento de “parar y seguir” es producido tanto por la imperfección de los conductores, como por la misma congestión vehicular (ver figura 2).

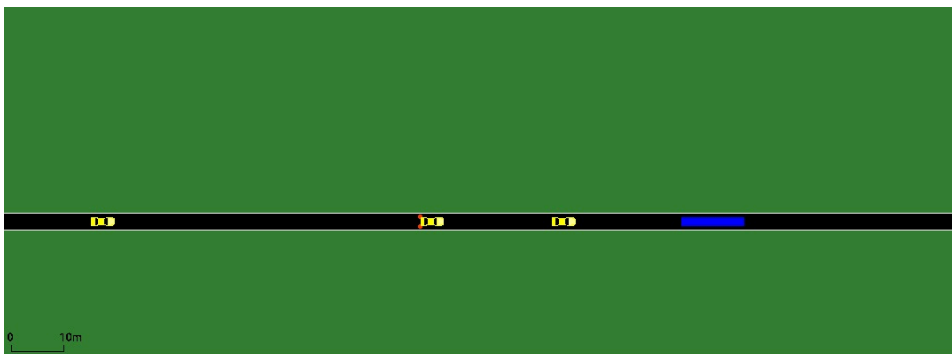


Figura 2. Simulación.

Fuente: tomado del simulador

En la figura 2. es posible ver un vehículo amarillo que está frenando. En la mayoría de comportamientos de frenada o de detenciones, dentro de los datos arrojados por la simulación es posible ver que cada vez que este comportamiento se presenta, no hay consumo de combustible (ml/seg), ni tampoco hay emisiones de CO₂ (mg/seg). Inmediatamente el vehículo comienza a acelerar desde una frenada o desde una posición de parado, de acuerdo a la aceleración que aplica el conductor al vehículo, genera una mayor emisión y consumo de combustible por segundo, si este, rápidamente desea pasar a una velocidad mayor en un menor tiempo. (Ver tabla 5).

Tabla 5 – Comparativa de consumos, emisiones y velocidades dentro del comportamiento “parar y seguir”

Tipo de vehículo	Consumo combustible(ml/s) / Velocidad(m/s) / Emisión de CO ₂	Consumo combustible(ml/s) / Velocidad(m/s) / Emisión de CO ₂	Consumo combustible(ml/s) / Velocidad(m/s) / Emisión de CO ₂	Consumo combustible(ml/s) / Velocidad(m/s) / Emisión de CO ₂
Bus	1.29 / 11.76 / 3003.82	0.0 / 11.25 / 0.0 - Frenado	0.0 / 11.21 / 0.0 - Frenado	2.45 / 12.30 / 5707.57 - Acelerando de forma rápida
Bus	1.38 / 12.15 / 3205.49	0.0 / 11.25 / 0.0 - Frenado	0.0 / 11.24 / 0.0 - Frenado	1.6 / 11.74 / 3730.64 - Acelerando de forma gradual y estable

Por último, el comportamiento errático de un conductor que desea salir del fenómeno “parar y seguir”, acelerando de una forma muy rápida puede representar un gasto mayor de combustible, y en nuestro caso de estudio, hasta más de un 100% de emisiones de CO₂ frente a un conductor que acelera gradualmente. (Ver figura 3)

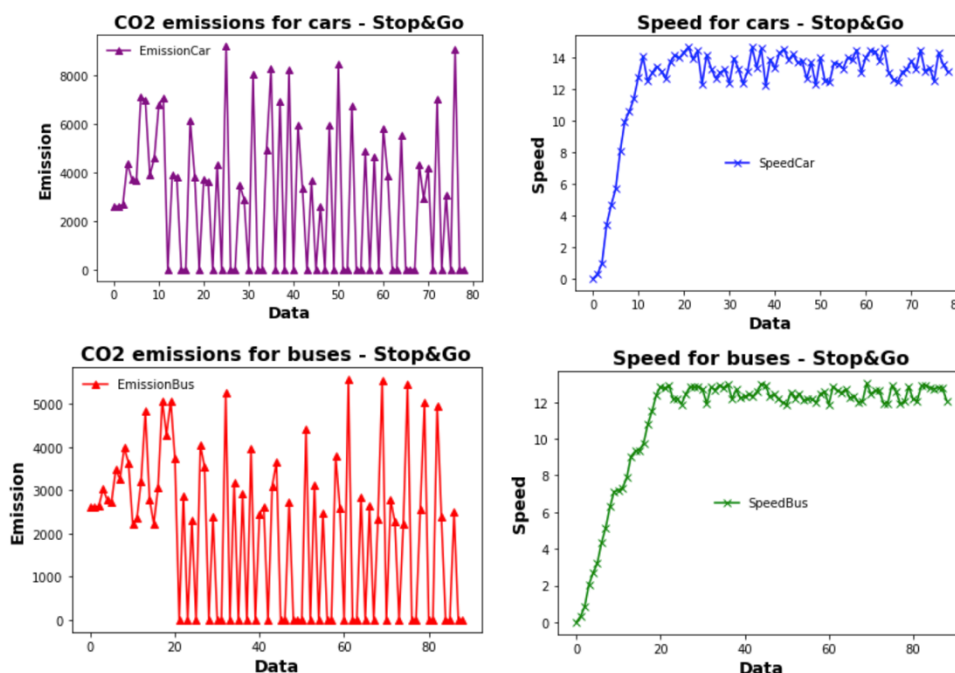


Figura 3. Comportamiento de emisiones y velocidad en Buses y vehículos con comportamiento “parar y seguir”.

Fuente: elaboración con Python

11. Análisis de costos

Tabla 6 – Análisis de costos

ANALISIS DE PRECIOS			VERSIÓN	1
			FECHA	25 MAYO 2022
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO “PARAR Y SEGUIR” GENERADO DENTRO DE LA CONGESTIÓN DEL TRANSPORTE PUBLICO EN BOGOTÁ, PARA CONOCER SU INFLUENCIA EN LAS EMISIONES DE DIOXIDO DE CARBONO, USANDO SIMULACION COMPUTACIONAL				
DATOS ESPECÍFICOS				
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	
1,00	EJECUCIÓN DEL PROYECTO	UND	1,00	
I. EQUIPO-COSTOS INDIRECTOS				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TARIFA	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO
Equipo de computo Mc Book pro	Und	\$ 15.000.000,00	20%	\$ 3.000.000,00
Equipo de computo Dell	Und	\$ 2.000.000,00	10%	\$ 200.000,00
Equipo de computo Lenovo	Und	\$ 2.000.000,00	10%	\$ 200.000,00
SUBTOTAL \$				3.400.000,00
II. MATERIALES-COSTOS DIRECTOS				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	Vr. UNITARIO
Simulador "Simulation of Urban Mobility"	Und	2,0	\$ 0	\$ 0
Materia Poyecto de integración estudiante 1	Und	3,0	\$ 179.000	\$ 537.000
Materia Poyecto de integración estudiante 2	Und	3,0	\$ 179.000	\$ 537.000
Materia Poyecto de integración estudiante 3	Und	3,0	\$ 179.000	\$ 537.000
SUBTOTAL \$				\$ 1.611.000
III. TRANSPORTES-COSTOS INDIRECTOS				
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	Vr. UNITARIO
Transporte reuniones estudiante 1	Und	6,00	\$ 2.650,00	\$ 15.900,00
Transporte reuniones estudiante 2	Und	6,00	\$ 2.650,00	\$ 15.900,00
Transporte reuniones estudiante 3	Und	6,00	\$ 2.650,00	\$ 15.900,00
SUBTOTAL \$				\$ 47.700,00
IV. MANO DE OBRA-COSTOS DIRECTOS				
TRABAJADOR	VALOR HORA	HORAS DEDICACION X MES	MESES	Vr. UNITARIO
Estudiante ingeniería industrial 1	\$ 8.375,00	20	4,00	670.000,00
Estudiante ingeniería industrial 2	\$ 8.375,00	20	4,00	670.000,00
Estudiante ingeniería industrial 3	\$ 8.375,00	20	4,00	670.000,00
SUBTOTAL \$				2.010.000,00
TOTAL COSTO DIRECTO \$				7.068.700,00

Cómo podemos observar, para este proyecto en específico, el gasto aproximado fue de \$7,068.700 de pesos colombianos, dividido entre los 3 investigadores, resulta un valor de \$2.356.233 de gastos por persona, y al revisar el gasto más alto se encuentra en los equipos utilizados para la realización del trabajo, que consta de informes, simulaciones, tabulación de datos entre otros; los costos para el desarrollo y actividades requeridas fueron asumidos y financiados con recursos propios.

12. Conclusiones

Se identificó que hay más emisiones de CO₂ (el doble o más del doble), cuando un conductor recupera rápidamente la velocidad que tenía antes del fenómeno “parar y seguir”, que, si lo hiciera de una forma gradual, hasta alcanzar la velocidad que llevaba antes del fenómeno.

Dentro del simulador se montaron las características fundamentales de la vía seleccionada, así como también la dinámica vehicular para buses del Sitp, el entorno Bogotano.

Dentro de la simulación se pudo observar también que la estabilidad del flujo vehicular (servicio de transporte público y particulares) se puede ver impactado, por una mayor cantidad de vehículos mayor a los permitidos por la vía. Esto hace que la estabilidad comience a caer y se produzcan más repeticiones del fenómeno “parar y seguir”, dentro del flujo que tiene mayor densidad vehicular.

Entre más imperfecciones (aceleraciones muy rápidas) cometa un conductor al salir del fenómeno “parar y seguir”, creará olas de tráfico fantasma y por consiguiente, en ese flujo se concentrarán tanto el mayor consumo de combustible en ml/s y la mayor cantidad de emisiones en mg/s

13. Referencias

- Acero Nitola, N. L. (2021). *Análisis de la capacidad vial por efecto de paraderos en acera de los autobuses del sistema integrado de transporte público de Bogotá* (Doctoral dissertation, Ingeniería).
- Ağbulut, Ü., & Bakir, H. (2019). The investigation on economic and ecological impacts of tendency to electric vehicles instead of internal combustion engines. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 25-36.
- Ahmadi, P. (2019). Environmental impacts and behavioral drivers of deep decarbonization for transportation through electric vehicles. *Journal of cleaner production*, 225, 1209-1219.
- Albatayneh, A., Assaf, M. N., Alterman, D., & Jaradat, M. (2020). Comparison of the overall energy efficiency for internal combustion engine vehicles and electric vehicles. *Rigas Tehniskas Universitates Zinatniskie Raksti*, 24(1), 669-680.
- Bak, P., Tang, C., & Wiesenfeld, K. (1988). Self-organized criticality. *Physical review A*, 38(1), 364.
- Beevers, S. D., & Carslaw, D. C. (2005). The impact of congestion charging on vehicle emissions in London. *Atmospheric Environment*, 39(1), 1-5.
- Bicer, Y., & Dincer, I. (2018). Life cycle environmental impact assessments and comparisons of alternative fuels for clean vehicles. *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 141-157.
- CORREDOR, L. M.-C. (2022). *UNIVERSIDAD EAN*. Obtenido de Estructura de la línea base del proyecto de grado: <https://virtual.universidadean.edu.co/courses/11095/pages/guia-1-estructura-de-la-linea-base-del-proyecto-de-grado-pag-1>
- Chu, M., Brimblecombe, P., Wei, P., Liu, CH, Du, X., Sun, Y., ... y Ning, Z. (2022). Concentraciones de NOx y CO en la acera y factores de emisión de los vehículos en una carretera muy transitada. *Ambiente atmosférico*, 271, 118878

- Figliozzi, M. A. (2011). The impacts of congestion on time-definitive urban freight distribution networks CO2 emission levels: Results from a case study in Portland, Oregon. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(5), 766-778.
- Franco, J. F., Rojas, N. Y., Sarmiento, O. L., Hernández, L. J., Zapata, E., Maldonado, A., ... & Behrent, E. (2009). Niveles de material particulado en colegios distritales ubicados en vías con alto tráfico vehicular en la ciudad de Bogotá: estudio piloto. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (49), 101-111.
- Gately, CK, Hutyra, LR, Peterson, S. y Wing, IS (2017). Puntos críticos de emisiones urbanas: cuantificación de la congestión vehicular y la contaminación del aire utilizando datos de GPS de teléfonos móviles. *Contaminación ambiental* , 229 , 496-504.
- Goldmann, K., & Sieg, G. (2020). Economic implications of phantom traffic jams: evidence from traffic experiments. *Transportation Letters*, 12(6), 386-390.
- Helmers, E., Dietz, J., & Weiss, M. (2020). Sensitivity analysis in the life-cycle assessment of electric vs. combustion engine cars under approximate real-world conditions. *Sustainability*, 12(3), 1241.
- Lara, Y. A., & Gutiérrez, E. R. (2012). La implementación del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) de Bogotá y sus retos en el futuro. *Tecnogestión: Una mirada al ambiente*, 9(1).
- Leach, F., Kalghatgi, G., Stone, R., & Miles, P. (2020). The scope for improving the efficiency and environmental impact of internal combustion engines. *Transportation Engineering*, 1, 100005.
- Li, B., Szeto, W. Y., & Zou, L. (2022). Optimal fare and fleet size regulation in a taxi/ride-sourcing market with congestion effects, emission externalities, and gasoline/electric vehicles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 157, 215-243.
- Lijteroff, R., Giorda, E. C., & Dávila, S. A. (2018). Identification and evaluation of environmental aspects and impacts in the National Direction of Roads, San Luis District, Argentina. A case of study. *Gestión y Ambiente*, 21(1), 22

- Lopez, P. A., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y. P., Hilbrich, R., ... & Wießner, E. (2018, November). Microscopic traffic simulation using sumo. In 2018 21st international conference on intelligent transportation systems (ITSC) (pp. 2575-2582). IEEE.
- Márquez Díaz, L. G., & Avella Arévalo, H. W. (2012). Estimación del valor estadístico de la vida asociado a la seguridad vial en Bogotá. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 11(21), 101-112.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, (1 de noviembre de 2017) Resolución 2254 de 2017
- Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=82634>
- Ortega Pérez, N. N. (2016). Responsabilidad social en la accidentalidad vial en Bogotá.
- Planelles, J. A. (s.f.). Obtenido de <https://elpais.com/especiales/2019/el-co2-en-el-cambio-climatico/>
- Restrepo, O. O. (s.f.). *BOGOTA COMO VAMOS* . Obtenido de <https://bogotacomovamos.org/preocupa-crecimiento-de-parque-automotor/#:~:text=Hoy%2C%20en%20Bogot%C3%A1%2C%20circulan%20cerca,por%20cada%20motocicleta%2C%204%20carros.>
- Reitz, R. D., Ogawa, H., Payri, R., Fansler, T., Kokjohn, S., Moriyoshi, Y., ... & Zhao, H. (2020). IJER editorial: the future of the internal combustion engine. *International Journal of Engine Research*, 21(1), 3-10.
- Riaño, N. C. (31 de MAYO de 2017). *LA REPUBLICA* . Obtenido de <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/conozca-cual-es-la-huella-de-co2-que-genera-al-transportarse-2515451>
- Rodriguez Coneo, A. (2017). *Revisión y análisis de la información de los certificados de emisión por prueba dinámica y visto bueno por protocolo de Montreal aprobados en 2009 en el MAVDT, conforme a la resolución 910 del 5 de junio de 2008* (Bachelor's thesis, Universidad Distrital Francisco José de Caldas).
- Rojas, N. Y. (2007). Aire y problemas ambientales de Bogotá.
- Suárez, M. M. (2008). La gestión ambiental urbana. El caso de la contaminación atmosférica en Bogotá. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, (62), 29-39

Ruiz Ramos, C. F. (2006). Caracterización del material particulado en las principales vías del transporte público colectivo y masivo del centro de Bogotá

Reitz, R. D., Ogawa, H., Payri, R., Fansler, T., Kokjohn, S., Moriyoshi, Y., ... & Zhao, H. (2020). IJER editorial: the future of the internal combustion engine. *International Journal of Engine Research*, 21(1), 3-10.

SECRETARIA DE MOVILIDAD . (s.f.). Obtenido de <https://www.movilidadbogota.gov.co/web/>

Sharmilaa, G., & Ilango, T. (2021). A review on influence of age of vehicle and vehicle traffic on air pollution dispersion. *Materials Today: Proceedings*.

von Schneidmesser, E., Steinmar, K., Weatherhead, E. C., Bonn, B., Gerwig, H., & Quedenau, J. (2019). Air pollution at human scales in an urban environment: Impact of local environment and vehicles on particle number concentrations. *Science of the Total Environment*, 688, 691-700.

Weiss, M., Cloos, K. C., & Helmers, E. (2020). Energy efficiency trade-offs in small to large electric vehicles. *Environmental Sciences Europe*, 32(1), 1-17.

Zeng, D., Dong, Y., Cao, H., Li, Y., Wang, J., Li, Z., & Hauschild, M. Z. (2021). Are the electric vehicles more sustainable than the conventional ones? Influences of the assumptions and modeling approaches in the case of typical cars in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 167, 105210.