



DOI: <https://doi.org/10.34069/AI/2024.74.02.2>

How to Cite:

Dorantes-Benavidez, H., Martínez-Cruz, M.A., Chávez-Pichardo, M., Arenas-Reséndiz, T., & Trejo-Martínez, A. (2024). Sistema evolutivo de simulación de tráfico vehicular en dos intercepciones. *Amazonia Investiga*, 13(74), 22-34. <https://doi.org/10.34069/AI/2024.74.02.2>

Sistema evolutivo de simulación de tráfico vehicular en dos intercepciones

Evolutionary vehicle traffic simulation system in two interceptions

Received: January 5, 2024

Accepted: February 27, 2024

Written by:

Humberto Dorantes-Benavidez¹

 <https://orcid.org/0000-0003-1490-1873>

Miguel Ángel Martínez-Cruz²

 <https://orcid.org/0000-0002-4431-9262>

Mauricio Chávez-Pichardo³

 <https://orcid.org/0000-0002-3378-0440>

Tanya Arenas-Reséndiz⁴

 <https://orcid.org/0000-0003-0385-0791>

Alfredo Trejo-Martínez⁵

 <https://orcid.org/0000-0001-6555-2285>

Resumen

Esta investigación propone dar una solución óptima a los problemas que existen en materia de tráfico vehicular, ya que no se trata de un problema local sino global. Los resultados son alentadores y muestran que el algoritmo matemático programado en una interfaz para un sistema de dos intercepciones. Se proponen diferentes cargas vehiculares en la plataforma de simulación NetLogo para que el algoritmo sea capaz de sincronizar de manera óptima el cambio de luces de la interfaz (semáforo) considerando las diferentes cargas vehiculares aleatorias en ambos cruces. Se realizaron un total de tres mil quinientos (3,500) experimentos, utilizando el método de Monte Carlo para determinar probabilidades sobre las variables de tiempo y velocidad media, considerando las múltiples combinaciones realizadas en el simulador. Por último, se describe la programación de la

Abstract

This research proposes to provide an optimal solution to the problems that exist in terms of vehicular traffic, since it is not a local problem but a global one. The results are encouraging and show that the mathematical algorithm programmed into an interface for a two-intercept system. Different vehicular loads are proposed in the NetLogo simulation platform so that the algorithm is able to optimally synchronize the change of interface lights (traffic light) considering the different random vehicle loads at both junctions. A total of three thousand five hundred (3,500) experiments were conducted, using the Monte Carlo method to determine probabilities on the variables of time and mean speed, considering the multiple combinations performed in the simulator. Finally, the programming of the interface is described, as well as the optimal overall behavior of the system graphically and mathematically.

¹ Doctor en Ingeniería de sistemas egresado del instituto Politécnico Nacional IPN, Profesor investigador del TECNM-TESOEM Paraje de Isidro S/N, Tecamachalco, México.  WoS Researcher ID: KFQ-2120-2024

² Doctor en Ingeniería de Sistemas, Profesor Investigador del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México.  WoS Researcher ID: ADX-7792-2022

³ Doctor en Ingeniería de sistemas egresado del Instituto Politécnico Nacional, Esime Zacatenco, Profesor investigador del TECNM-TESOEM Paraje de Isidro S/N, Tecamachalco, México.  WoS Researcher ID: KFS-9130-2024

⁴ Doctora en Ingeniería de Sistemas del Instituto Politécnico Nacional IPN, Universidad Rosario Castellanos URC y Centro de Ciencias de la Complejidad C3 UNA M. CdMx, México.  WoS Researcher ID: ADO-1382-2022

⁵ Doctor en Ciencias en Ingeniería Mecánica, Profesor investigador del TECNM-TESOEM Paraje de Isidro S/N, Tecamachalco, México.  WoS Researcher ID: KGD-9714-2024



interfaz, así como el comportamiento global óptimo del sistema de manera gráfica y matemáticamente.

Palabras clave: tráfico vehicular, flujo vehicular, método monte carlo, plataforma de simulación netlogo, combinaciones.

Introducción

Vivimos en un mundo globalizado y competitivo donde las ciudades se enfrentan a serios problemas de movilidad, por lo que es importante el control inteligente del tráfico vehicular. El presente trabajo propone una solución al tema de movilidad, ya que no es un problema local sino de índole mundial, la falta de una óptima sincronización en los semáforos genera un flujo cada vez más denso en horas pico. Los resultados son alentadores ya que muestran el algoritmo matemático programado en una interfaz que cumple con el objetivo de optimizar el flujo vehicular en dos intersecciones, para ello se utilizó una plataforma informática basada en entornos evolutivos multiagente NetLogo considerando todas las combinaciones de carga vehicular de manera aleatoria en ambos cruces. Se realizaron 3,500 experimentos, utilizando el método de Monte Carlo para determinar probabilidades sobre las variables de tiempo y velocidad media, considerando las diferentes cargas vehiculares en el simulador. Por último, se describe la programación de la interfaz, así como el comportamiento global óptimo del sistema de manera gráfica y matemática.

Los semáforos inteligentes permiten un buen grado de control sobre los flujos de tráfico dentro de una ciudad o área, con el objeto de mejorar los desplazamientos diarios y busca reducir la congestión y mejorará los sistemas de transporte. Los semáforos y las señales inteligentes son fichas importantes en el panorama general. Por lo general, en las grandes ciudades, el tráfico está controlado por semáforos que usan temporizadores, mientras que, en los suburbios, pueblos pequeños y carreteras, prefieren los sensores de señales de tráfico porque no solo administran el flujo de tráfico inestable de manera efectiva, sino que también detectan cuando los automóviles llegan a las intersecciones. (Miz & Vladimir, 2014). Algunos estudios muestran que las ciudades con alta densidad de población tienden a tener problemas con el flujo de tráfico; por ejemplo, en la Ciudad de México, de acuerdo con el índice TomTom en 2022, se observó un aumento en los niveles de congestión en la Ciudad de México. Los datos sugieren que el tiempo medio de viaje aumentó

Keywords: Vehicular traffic, vehicular flow, monte carlo method, netlogo simulation platform, combined.

en 1 minuto al día. Un nivel de congestión del 38% significa que, en promedio, los tiempos de viaje fueron un 38% más largos que durante las condiciones de referencia sin congestión. Esto significa que un viaje de 30 minutos en condiciones de flujo libre tomará 11 minutos adicionales cuando el nivel de congestión sea del 38%. (TomTom, 2022).

Revisión de literatura

La teoría general de sistemas comprende un conjunto de varios enfoques que difieren en estilo y propósito, entre los que se encuentra la teoría de conjuntos (Mesarovic), la teoría de redes (Rapoport), la cibernética (Wiener), la teoría de la información (Shannon y Weaver), la teoría de autómatas (Turing), la teoría de juegos (Von Neumann), entre otras. La práctica sobre el análisis de sistemas aplicados tiene que aplicarse a diversos modelos, de acuerdo con la naturaleza del caso y con criterios operacionales, etc. Son ampliamente aplicables a los sistemas materiales, psicológicos, socioculturales y de movilidad. (Flórez & Thomas, 1993).

Se utilizó el método Monte Carlo, siendo una técnica numérica para calcular probabilidades, utilizando secuencias de números aleatorios. Para el caso de una sola variable el procedimiento es la siguiente: Generar una serie de números aleatorios, r_1, r_2, \dots, r_m , uniformemente distribuidos en $[0,1]$ Usar esta secuencia para producir otra secuencia, x^1, x^2, \dots, x^m , distribuida de acuerdo a la función en la que estamos interesados. Usar la secuencia de valores x para estimar alguna propiedad de $f(x)$. Los valores de x pueden tratarse como medidas simuladas y a partir de ellos puede estimarse la probabilidad de que los x tomen valores en una región. El método (MC) sin embargo es útil para integraciones multidimensionales. (Illana, 2013)

De manera que, si la interfaz se programa correctamente, los cambios de luz optimizarán el sistema considerando las diferentes cargas vehiculares que puedan presentarse en un sistema de dos intersecciones. Considerando como

propuesta innovadora la presente investigación respondiendo a la problemática vehicular.

Los modelos macroscópicos describen las relaciones entre velocidad, intensidad y densidad, variables que competen a todo el conjunto de vehículos en el flujo de tráfico. Las zonas que se simulan con estos modelos son mucho más amplias que las microscópicas y pueden ser áreas reales, donde exista una semaforización en una o varias vías. Desarrollos realizados recientemente han conducido a la modelización de flujos a través de la micro simulación lo cual permite establecer relaciones entre ambas clases de modelos. Una explicación técnica sobre la causa fundamental de la congestión es la fricción o interferencia entre los vehículos en el flujo de tránsito. Hasta un cierto nivel de tránsito, los vehículos pueden circular a una velocidad relativamente libre, determinada por los límites de velocidad, la frecuencia de las intersecciones, y otras condicionantes. Sin embargo, a volúmenes mayores, cada vehículo adicional estorba el desplazamiento de los demás, es decir, comienza el fenómeno de la congestión. Entonces, una posible definición objetiva sería: “la congestión es la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta el tiempo de circulación de los demás” (Thomson & Bull, 2002).

Utilizando un nuevo Método de Calibración de la Demanda de Tráfico en SUMO, la elaboración, validación y optimización del Vehicle to Everything (V2X), la conducción conectada y automatizada, junto con los sistemas de transporte inteligentes (ITS) requieren escenarios de simulación de tráfico que pueden caracterizar de manera eficiente la movilidad vehicular a nivel macroscópico y niveles microscópicos. (Rezzai et al., 2018).

La propuesta sobre el desarrollo de sensores avanzados con diferentes aplicaciones y servicios inteligentes orientados al transporte por carretera, están basados sobre la arquitectura de referencia de software (ISO) de estaciones sobre los sistemas inteligentes de transporte (ITS). (Mohammadian, 2006).

En áreas urbanas densas, existen diversas opciones para mejorar el flujo de tráfico vehicular. Llamado Re-RouTE que se fundamenta en la teoría de la ingeniería de tráfico. Al identificar rutas congestionadas, el objetivo principal de Re-RouTE se fundamenta en la densidad de vehículos en las carreteras y emplea el modelo macroscópico de ingeniería de tráfico de la densidad de flujo. La representación

de las carreteras es posible mediante una gráfica ponderada, la cual se emplea para identificar rutas, atascos y con un pequeño incremento en la distancia recorrida. (Alam & Guo, 2023).

En México la forma en que nos movemos. Según datos del INEGI, muestran que en el año 2000 había alrededor de 10 millones de automóviles particulares en el país y cerca de 300,000 motocicletas. En las últimas dos décadas, la población creció un 30%. La movilidad en México es cada vez compleja al momento de desplazarse de un punto a otro. (Maksat et al., 2023).

La presente investigación, Optimal Extreme Learning Machine based Traffic Congestion Control System in Vehicular Network, desarrolla un sistema óptimo de control de la congestión de tráfico basado en un aprendizaje automático extremo (OELM-TCCS) en redes vehiculares, con una precisión del 99.17%, logrando un nuevo modelo ELM para llevar a cabo el proceso de clasificación. (Ziang et al., 2023). En diferentes estudios se han propuesto modelos matemáticos basados en intervalos de tiempo que determinan el flujo de tráfico vehicular en carreteras. La propuesta del modelo toma tres parámetros principales: velocidad máxima de flujo libre, una longitud de seguridad típica de los vehículos y un valor promedio del intervalo de tiempo de los datos de tráfico durante condiciones de congestión. (Tulay et al., 2019). La simulación sobre tráfico vehicular describe la complejidad de la infraestructura y educación vial. El modelo de tráfico se puede dividir en micro simulación describiendo todo el sistema y su relación interna entre los diferentes agentes que lo componen. (Bani Younes & Boukerche, 2016). El modelo de micro simulación considera el movimiento de cada vehículo individual en el espacio dentro de una red de carreteras. Su función principal es describir la correlación entre los agentes vehiculares, así como considerar la infraestructura vial y las diferentes regulaciones o legislaciones en el sistema. (Bakar et al., 2018). El diseño en su topología y arquitectura basada en sistemas multiagente para el control de señales de tráfico, la propuesta del algoritmo Reinforcement Learning RL es un enfoque de inteligencia artificial que permite el control adaptativo en tiempo real en las intersecciones del sistema autónomo, capaz de aprender de su entorno y tomar decisiones para optimizar el tráfico en un conjunto de tres intersecciones. La interfaz se ajusta de manera línea en función del tráfico real que se acerca a cada intersección. (Rezzai et al., 2018) (Mohammadian, 2006).

El algoritmo propuesto calcula analíticamente las trayectorias de referencia CAV basadas en un modelo de vehículo de segundo orden, de modo que todos los cálculos se pueden realizar en tiempo real. Los dos núcleos de este marco son un método digital de conocimiento de la situación del tráfico basado en el espacio aéreo y un modelo de selección de trayectorias aéreas y terrestres (Alam & Guo, 2023) (Maksat, Ece, & Klaus Werner, 2023) (Ziang et al., 2023). Sin duda alguna la preocupación sobre el tema, genera diferentes propuestas de solución al tráfico vehicular, de manera que los sistemas de vigilancia hoy en día funcionan con sistemas tradicionales mediante cableados que necesitan de una inversión costosa, la propuesta que hace el trabajo Urban Traffic Monitoring via Machine Learning utiliza un método de seguimiento del tráfico para entornos urbanos, mediante señales RF enviadas en una red vehicular utilizando algoritmos de aprendizaje autónomo utilizando un receptor vehicular como vía de comunicación (Tulay et al., 2019). La programación del semáforo, utiliza un algoritmo de control inteligente de semáforos (ITLC). La propuesta es interesante en el trabajo Algoritmos de control de semáforos inteligentes mediante redes vehiculares tiene como objeto programar las fases de cada semáforo aislado de manera eficiente, considerando características en tiempo real sobre los flujos de tráfico en carreteras intercomunicadas controladas por ambos semáforos. (Bani Younes & Boukerche, 2016). Existen nuevas investigaciones sobre el tema uno de ellos hace mención sobre un modelo de simulación de baja densidad por eventos discretos y reducción de cuellos de botella (Bakar et al., 2018). Las comunicaciones vehiculares como desarrollo tecnológico y de comunicación 5G son un factor clave para los nuevos servicios vehiculares en un futuro respondiendo el problema vehicular en todo el mundo no obstante quedara como propuesta futurista (Ortiz et al., 2022).

Metodología

El uso de NetLogo es beneficioso para la representación de sistemas complejos que cambian con el tiempo. Los implementadores de modelos pueden instruir a cientos o miles de agentes para que operen de forma independiente, entre sí y con el entorno. Su estado actual es suficiente para convertirlo en una poderosa herramienta de investigación en el campo mencionado.

Sus características de esta plataforma cuentan con herramientas y funciones que, al mismo

tiempo, permiten la modelación y evaluación de fenómenos socio físicos con gran precisión y eficiencia en términos de tiempo; De esta manera, NetLogo es la herramienta perfecta para estudiar y modelar un fenómeno como el tráfico vehicular; más aún, cuando este programa cuenta con un simulador de flujo vehicular (Wilinsky, 2003).

Por su parte, el Método Monte Carlo es una técnica que combina conceptos estadísticos, como el muestreo aleatorio, con la capacidad de los ordenadores para generar números cuasialeatorios y automatizar cálculos. John Von Neumann lo desarrollo a finales de la década de 1940 posteriormente, este método se ha empleado en numerosas áreas como una alternativa a los modelos matemáticos exactos, o incluso como el único medio para calcular sistemas o problemas complejos.

Monte Carlo está presente en todos los ámbitos en los que los comportamientos aleatorios o probabilísticos juegan un papel fundamental, ya que se pueden encontrar modelos que utilizan este método en áreas como la informática, la economía, los negocios, la industria e incluso en las ciencias sociales, la estadística y la computación para emular el comportamiento aleatorio de sistemas dinámicos reales mediante el uso de modelos matemáticos. En este tipo de simulación, la tarea fundamental es crear un modelo matemático del sistema y encontrar las variables de entrada cuya composición aleatoria determinará el comportamiento general del sistema y se completan los siguientes pasos:

- Mediante el apoyo de un dispositivo electrónico (Ordenador) se generan muestras aleatorias (o valores específicos) para las variables de entrada.
- Analizar el comportamiento del sistema con los valores de entrada generados.
- Una vez repetido el experimento (n) veces, se realizarán una serie de observaciones sobre el comportamiento del sistema; con el fin de entender cómo funciona. La precisión de este análisis será directamente proporcional al número n de experimentos que se estén llevando a cabo en el sistema.

Desde una perspectiva teórica, el apartado anterior se basa en la Ley de los Grandes Números y el Teorema del Límite Central, dos resultados muy significativos que forman parte del estudio de diversas ramas de las matemáticas. Constituyen una parte del estudio de diversas ramas de las matemáticas, como la probabilidad y la estadística; Esta es la razón principal por la

que se decidió llevar a cabo el presente experimento con no menos de 3,500 simulaciones que forman parte del estudio. El presente estudio sugiere un análisis multiagente de la problemática vehicular; El modelo propuesto es novedoso porque determina el punto óptimo de flujo vehicular en un sistema de dos uniones utilizando una herramienta de información basada en un entorno programable multiagente que está orientado a modelos multiagente. El sistema de "molienda de tráfico" se utilizó dentro de la plataforma de simulador NetLogo. (Wilinsky, 2003)

El problema del tráfico vehicular es un sistema complejo al trasladarse de una ciudad a otra. Se generaron 3,500 simulaciones para cada combinación de vehículos en el eje X y el eje Y (X, Y); El número de ciclos se determinó mediante el siguiente procedimiento:

$$S_t = \sum_{T=1}^{99} \sum_{t=1}^T \frac{t(t+1)}{2} \quad (1)$$

Dónde S_t es el número de combinaciones óptimas realizadas en la interfaz, considerando el cambio de la luz verde por donde cruza la mayor carga vehicular en el sistema, t muestra el tiempo de la luz verde en el rango de $0 < t < T$ y T el tiempo máximo de cruce vehicular.

De la siguiente manera se determina el número total de combinaciones sobre las diferentes cargas vehiculares para ambos ejes x (C_i) se determina utilizando la siguiente ecuación.

$$C_i = \sum_{i=1}^{99} \frac{i(i+1)}{2} \quad (2)$$

Donde (C_i) es el número de combinaciones óptimas de vehículos en el eje x , se determina utilizando en un rango de $0 < i < 99$, de manera similar se define el número de combinaciones para el eje y ; Sin embargo, al tratarse de un proceso simétrico, se descarta el estudio de sus

combinaciones.

En general, tenemos el número total de combinaciones programadas en el semáforo mediante la siguiente fórmula:

$$S_{tc_i} \quad (3)$$

Las variables analizadas se muestran en la Tabla 1. Se describe a continuación las columnas que se muestran en la tabla mencionada: La primera columna muestra el número de simulaciones realizadas a manera de una combinación realizada así sucesivamente por cada combinación; la siguiente columna muestra el tiempo total del semáforo, la tercera columna muestra el tiempo complementario al realizar el cambio de la luz verde a la luz roja; la siguientes dos columnas muestran el número de vehículos que se encuentran en ambos ejes (x , y), y finalmente las dos columnas restantes muestran la carga vehicular promedio para ambos ejes al momento de cruzar las intercepciones.

Estructura de la programación del simulador

Las listas son una estructura de datos empleadas para almacenar información de manera ordenada, cabe resaltar que este tipo de estructura es dinámica a comparación de los arreglos, una lista, por ejemplo, es una estructura de datos que tiene un comportamiento muy bien definido: pueden insertarse nuevos elementos, recorrerse, encontrar el primer y último elemento. Al implementar la lista como un Tipo Abstracto de Datos (ADT: Abstract Data Type en inglés), el programador decide cuáles procedimientos se necesitan para manipular una lista, y define su interrelación. Un usuario del tipo de datos "lista" no necesitará entonces conocer cómo se interrelacionan (a nivel de implementación) los datos ni los procedimientos que manipulan listas pues le bastará usar las operaciones de la lista para manejarla.

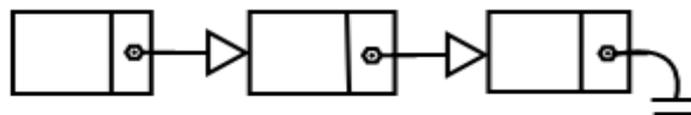


Figura 1. Se elaboró el esquema sobre la estructura de listas en el simulador.

Las listas nos otorgan la posibilidad de editar, eliminar y agregar nuevos elementos a la estructura, por otro lado, los arreglos cuentan con un número finito de casillas y no es posible

realizar operaciones más que la inserción de datos sin superar el número de casillas. (Di Mare, 1993)

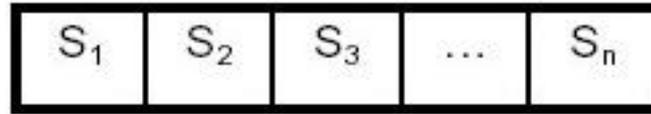


Figura 2. Se elaboró el esquema sobre los arreglos en el simulador.

Validación del modelo

Las variables se definen de la siguiente manera:
Num-autosX, Num-autosY, Full_time,
Increment, MediaX, MediaY, Ncarsstop,

Averagespeed, Waitcars, Med-velocidad, Total-waitcars, para ambos cruces. Se analizo el intervalo [1,50] con la finalidad de validar el punto óptimo del modelo.

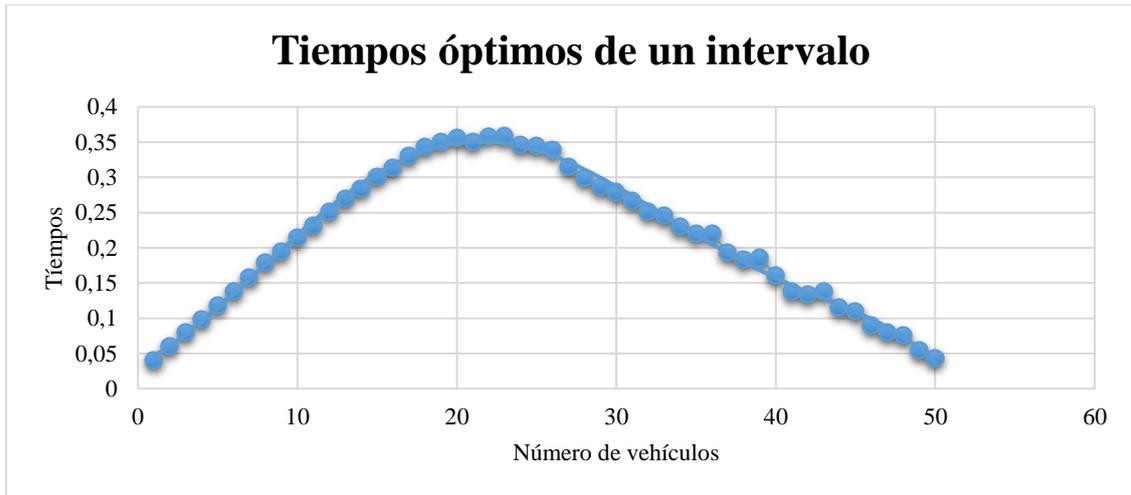


Figura 3. Combinación óptima de un intervalo.

Se elaboro el siguiente gráfico tomando en cuenta la siguiente coordenada o punto óptimo dentro del sistema de dos intercepciones (21,0.3510), mismo que se encuentra en la cresta de la curva, para ello se realizaron múltiples combinaciones aleatorias donde cruza la mayor carga vehicular, a continuación, se muestra la validación del punto óptimo.

Determinación la función.

$$f(x) = -4E^{-10}\chi^6 + 3E^{-8}\chi^5 + 7E^{-7}\chi^4 - 0.0001\chi^3 + 0.002\chi^2 + 0.0069\chi + 0.0398$$

Como la función $f(x) = (x,y)$ de clase C^6 Esta en un conjunto abierto U en R^2 , podemos calcular un punto (X_0, Y_0) Como maximo local de $f(x)$ de acuerdo a $f(x) \leq f(x_0)$ para $X \in A$ localizando los puntos críticos. Por lo tanto, derivando $f(x)$ obtenemos:

$$f'(x) = -2E^{-9}\chi^5 + 1.5E^{-7}\chi^4 + 2.8E^{-6}\chi^3 - 0.0003\chi^2 + 0.004\chi + 0.0069$$

El punto crítico que se analizo es (21,0.3510) en el sistema de dos intercepciones, posteriormente se obtiene la segunda derivada, fundamentándolo

en qué.

$$F'' = \lim_{x \rightarrow z} \frac{F'(x) - F'(z)}{x - z} = \lim_{x \rightarrow z} \frac{F'(x)}{x - z} > 0$$

Por lo tanto: $\exists, \delta > 0 \lim_{x \rightarrow z} \frac{F'(x)}{x - z} > 0, \forall x \in |z - \delta, z + \delta | x \neq z$

Y en particular se obtiene:

$$F'(x) < 0 \forall x \in |z - \delta, z - \delta |$$

$$F'(x) > 0 \forall x \in |z - \delta, z + \delta |$$

Por lo que se obtiene la segunda derivada:

$$f''(x) = -1E^{-8}\chi^4 + 6E^{-7}\chi^3 + 8.4E^{-6}\chi^2 - 0.0006\chi + 0.004$$

Sustituyendo en z obtenemos:

$$f''(21) = -2.60581E^{-3}$$

Al cambiar de signo de positivo a negativo encontramos un máximo, sustituyendo en z en la función original se obtiene:

$$f(x) = 0.3510$$

Obteniendo el punto máximo de la gráfica: (21, 0.3510), lo que nos da un valor aproximado al valor de la función. (Dominguez & Cortínez,

2012) Un método continuo- Discreto para el diseño óptimo de sistemas de transporte urbano.

Table 1.

La siguiente tabla se elaboró con los resultados óptimos obtenidos en el simulador considerando las diferentes cargas vehiculares en el sistema de dos intercepciones.

[Número de ejecución]	full_time	increment	num_autosx	num_autosy	Mediay	mediay
1	5	1	1	1	0.103448	0.034482
2	5	2	1	2	0.103489	0.103412
3	5	3	1	3	1.103667	1.103779
4	5	4	1	4	2.10355	2.10366
5	5	5	1	5	3.10449	3.10549

Fuente: (Elaboración propia)

Las simulaciones muestran varios escenarios óptimos y los resultados son alentadores. La interfaz se programó con diferentes ciclos al cambiar las luces y diferentes períodos de tiempo óptimos ya normalizados donde la mayor

cantidad de vehículos logran cruzar el sistema de dos cruces. La figura 4 muestra el tiempo mínimo para cambiar las luces con respecto a la carga del vehículo del sistema.

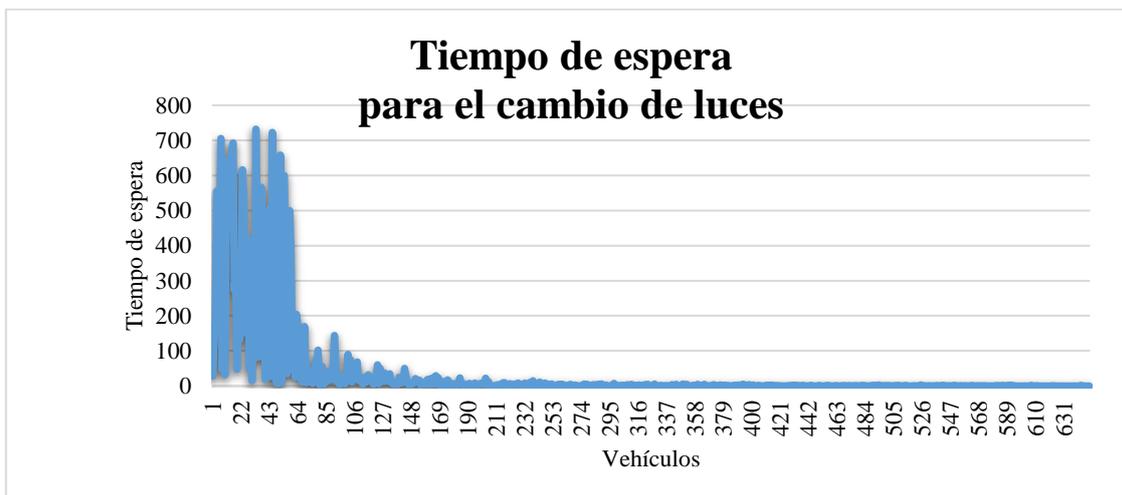


Figura 4. Con los datos obtenidos se elabora la siguiente gráfica donde se muestra la carga vehicular, así como el cambio de luces en el semáforo. (Elaboración propia)

Los resultados obtenidos en el simulador en los ejes de intercepción (Cars_x y Cars_y); Se programa la variable (full-time (t_T)), siendo el tiempo total década ciclo al momento de realizar el cambio de luces de la interfaz, a través del comando increment (tp) proporciona el tiempo óptimo normalizado de la interfaz, la variable (time) proporciona el total de combinaciones finitas del sistema en dos intercepciones.

Mediante una simulación Monte Carlo utilizando un modelo probabilístico, se obtuvo un elemento de predicción aleatoria, con el cual se obtuvieron las probabilidades del flujo vehicular, así como el tiempo óptimo normalizado dentro del sistema.

La Figura 5. Se muestra una tendencia de distribución normal sobre el número total de combinaciones realizadas por cada uno de ellos considerando sus diferentes cargas vehiculares en ambos ejes (X, Y). El semáforo, también llamada (interfaz), considera un tiempo relativo tp/t_T (Increment_time/Full_time) con una media 0.199872 y desviación estándar 0.098762 Como resultado de las tres mil quinientas simulaciones realizadas por cada combinación del modelo propuesto, se obtuvo una combinación óptima programable para La interfaz (35, 25, 70, 35) [Cars_x, Cars_y, Full_time se muestra Incremento_tiempo].

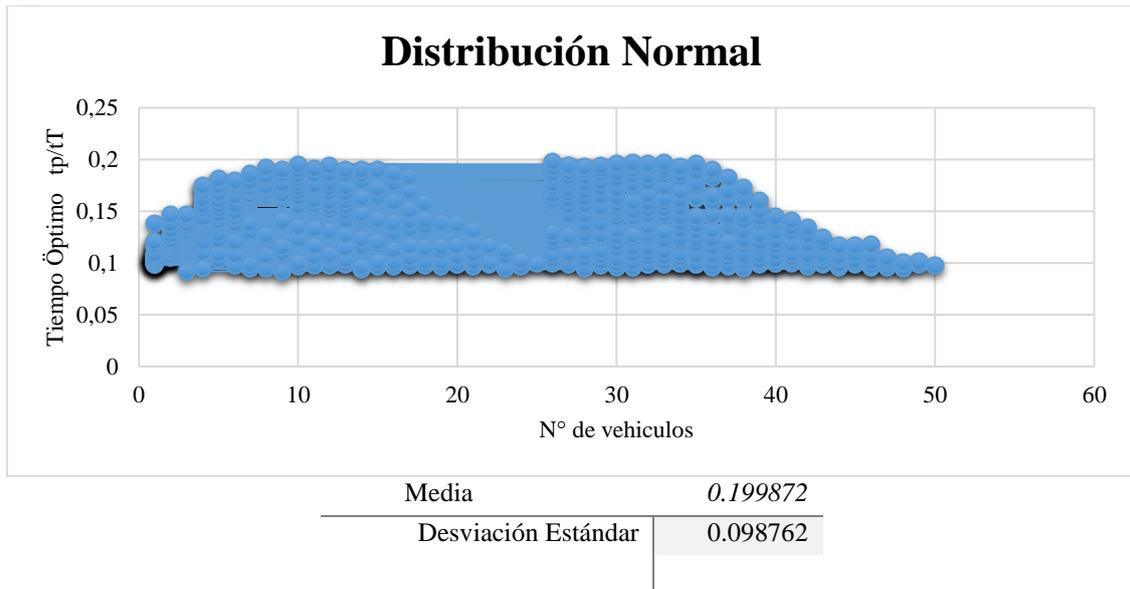


Figura 5. Se muestra el tiempo óptimo de una sola combinación, así como las medidas de tendencia en un sistema de dos intercepciones. (Elaboración propia)

Los resultados obtenidos tras realizar 3,500 simulaciones para cada punto óptimo se denominan el punto óptimo donde se cruza la mayor carga vehicular en ambos ejes. Teniendo en cuenta la probabilidad de éxito de que un evento de este tipo ocurra en un escenario del

mundo real. Las múltiples simulaciones realizadas en el simulador NetLogo muestran el algoritmo matemático para programar la interfaz con las diferentes cargas vehiculares en ambos ejes (X, Y), evitar los problemas de congestión vial como se muestra en la tabla 2.

Table 2.
Programación óptima de semáforos en un sistema de dos cruces.

ID	X	Y	Full Time (s)	Increment (s)	Probabilidad de éxito
1	2	1	4	2	0.09081633
2	2	2	10	5	0.08959184
3	2	3	24	10	0.09863946
4	2	4	10	5	0.80040816
5	2	5	2	5	0.90657771
6	2	6	25	7	0.60673469
7	2	7	24	8	0.80602041
8	2	8	24	8	0.70557823

Notas: 1. (s) Representa la unidad de medida en segundos. (Elaboración propia)

En la tabla siguiente se describe el contenido de la siguiente tabla: La primera columna muestra un (ID) como identificador De las múltiples combinaciones realizadas en el simulador, la segunda y tercera columnas muestran la carga vehicular en ambos cruces (X, Y), La cuarta y

quinta columnas determinaron el tiempo total en segundos para cambiar las luces de la interfaz, finalmente se determinó la probabilidad de éxito de cada evento en un escenario real. La Fig. 6 muestra el comportamiento óptimo de la interfaz en un sistema de dos intersecciones.

Comportamiento del sistema con diferentes cargas vehiculares

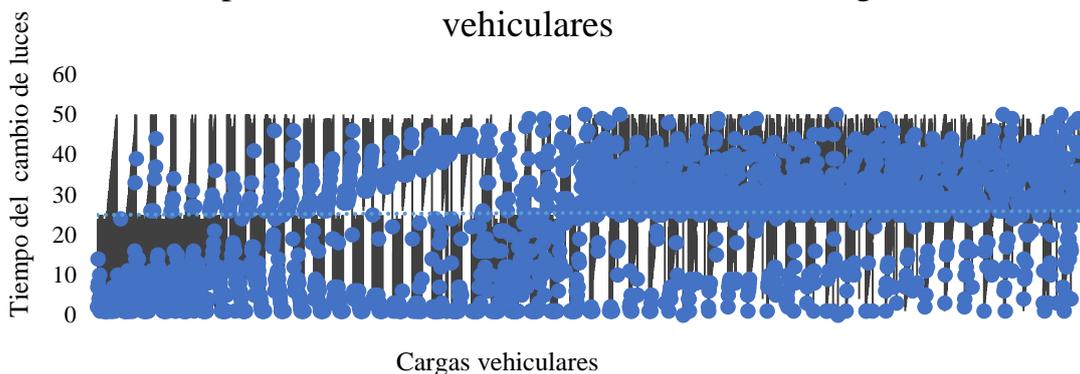
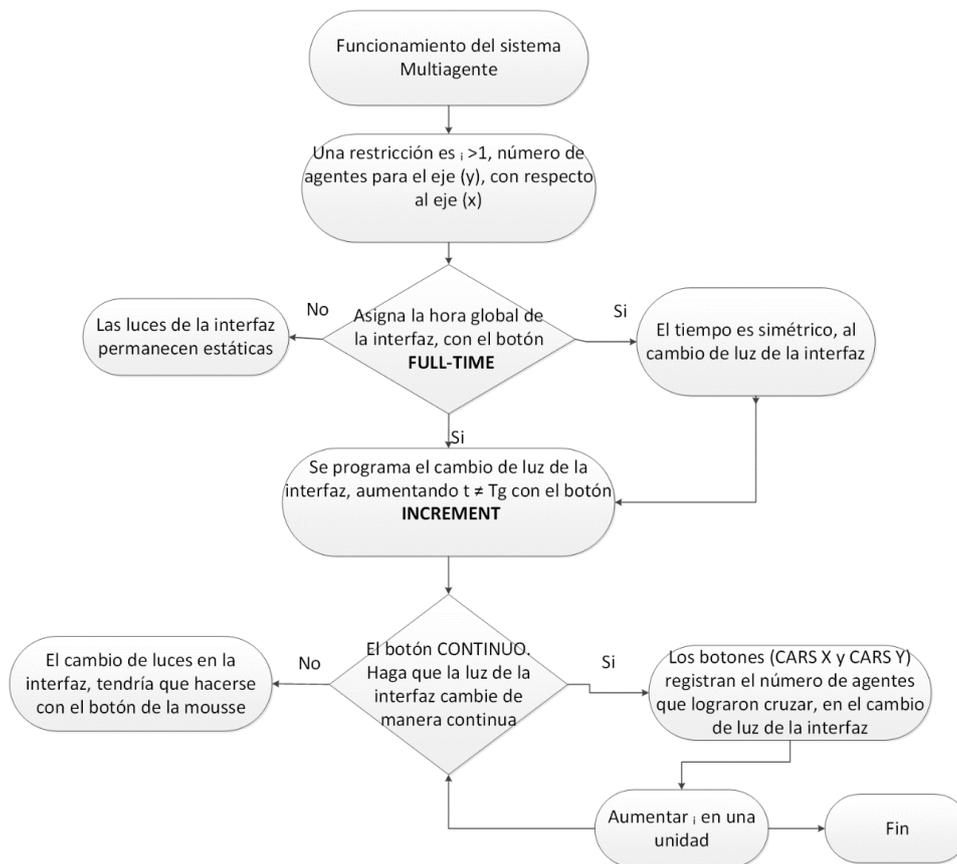


Figura 6. Comportamiento óptimo de la interfaz (semáforo) considerando sus diferentes cargas en un sistema de dos cruces. (Elaboración propia)

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del funcionamiento del programa NetLogo, facilitando el proceso de simulación.



NOMENCLATURA :

- i = Agente (Vehículo)
- t = tiempo
- T_g = Tiempo global

Figura 7. Diagrama de flujo del sistema multiagente NetLogo en un sistema de dos intercepciones. (Elaboración propia)

Resultados y discusión

El presente trabajo muestra una solución al problema vehicular, donde fueron consideradas las múltiples combinaciones en el simulador NetLogo, se presentan los resultados óptimos que podrán ser programadas en un futuro en una interfaz (Semáforo). Se realizaron 3,500 simulaciones para cada punto óptimo. Los resultados son contundentes sobre la densidad vehicular en un sistema de dos intercepciones, Con el objetivo de programar los tiempos óptimos globales de mayor afluencia vehicular (T.O.). Total de cruces vehiculares max (CcT), controlando las diferentes cargas vehiculares en el sistema, así como el cambio de las luces definida por $\max\{CcT/(tp/tT)\} \max(CcT)$; con respecto al tiempo Optimo; es decir, $T.O.(\max [Cc] _T) = \{t \in T / [Cc] _T \text{ es el valor máximo}\}$. Observamos que existen básicamente dos tipos de comportamientos, el primero es donde se obtiene un punto óptimo, el segundo comportamiento es donde se obtienen varios puntos óptimos es fácil de justificar ya que existe un cierto nivel de tránsito, los vehículos pueden circular a una velocidad relativamente libre, determinada por los límites de velocidad aleatorias dentro del sistema multiagente. Sin embargo, al ponderar un vehículo adicional en ambos ejes el desplazamiento entre vehículos comienza el fenómeno de la congestión. La propuesta es muy interesante ya que el modelo presenta diferentes tiempos óptimos es un escenario que se ofrece cuando los automóviles

tienen un menor tiempo de espera, por lo que en estos casos consideramos el tiempo óptimo (T.O) como tiempo mínimo.

La congestión de los sistemas de vialidad en todo el mundo es una de las causas principales al conflicto de movilidad. Sin embargo, algunos avances en inteligencia artificial y agentes autómatas han fracasado en el intento de utilizar vehículos de navegación al ser tripulados por agentes o sistemas inteligentes, sin embargo, la falta de equipamiento tecnológico en algunas partes del mundo hace que dicha propuesta tenga o presente problemas de adaptabilidad a las nuevas propuestas. La propuesta que plantea la investigación desarrollada consiste en programar un micro chip el cual contenga los resultados obtenidos y dar solución a la problemática planteada.

Con el fin de obtener nuevos hallazgos en un futuro se pretende dar continuidad a la investigación, modelando los resultados ya obtenidos sobre los tiempos óptimos en un sistema de múltiples intercepciones o cruces controlados por semáforos. Es necesario invertir en los equipos necesarios adaptados a escenarios reales donde la amplitud de variables que no fueron consideradas pueda ser tomadas en cuenta y proporcionar nuevos resultados que den respuesta al problema del tráfico vehicular.

En la figura 8. Se muestra el proceso de simulación de dos intercepciones en la plataforma NetLogo.

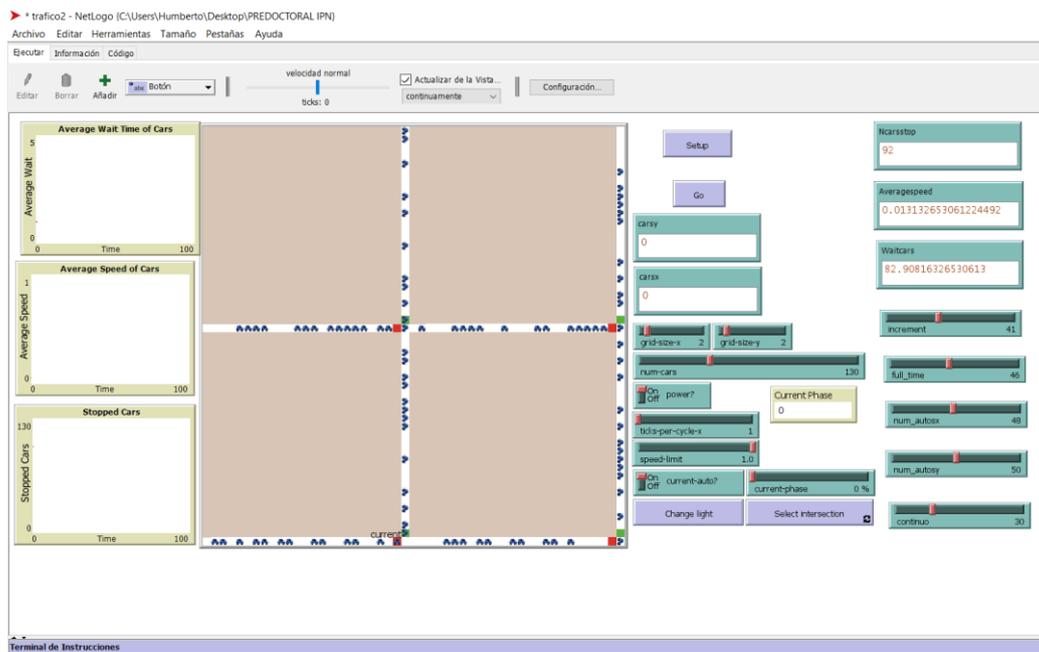


Figura 8. Pantalla del simulador NetLogo en su proceso de simulación. Fuente: (Wilinsky, 2003)

Los resultados muestran la dinámica eficaz, donde el semáforo muestra los diferentes ciclos

del cambio de luces en un sistema de dos cruces, (ver figuras 9 y 10).

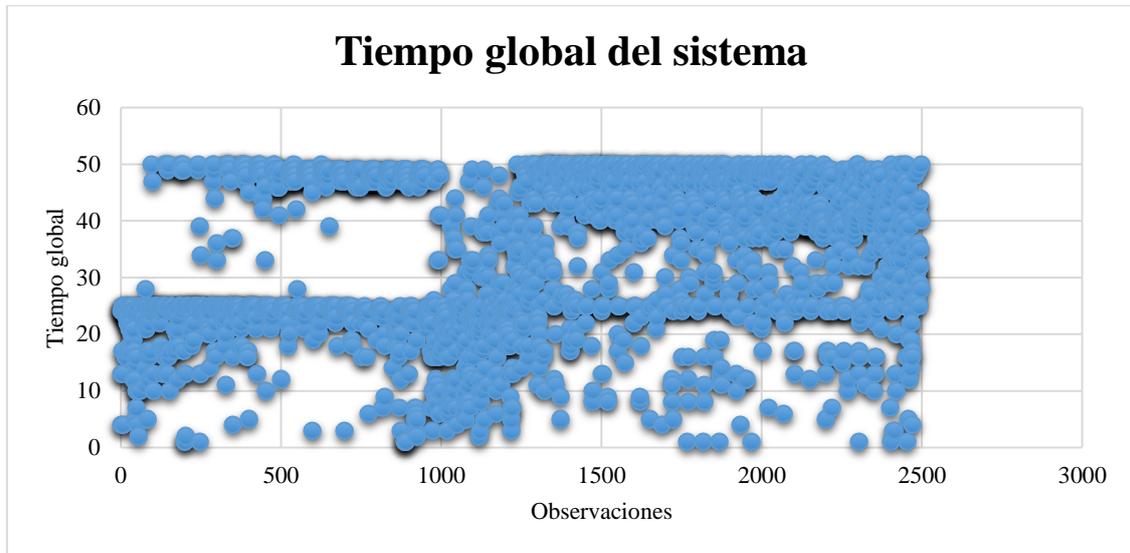


Figura 9. Se elaboró la gráfica donde muestra el comportamiento óptimo del tiempo global del semáforo. (Elaboración propia)

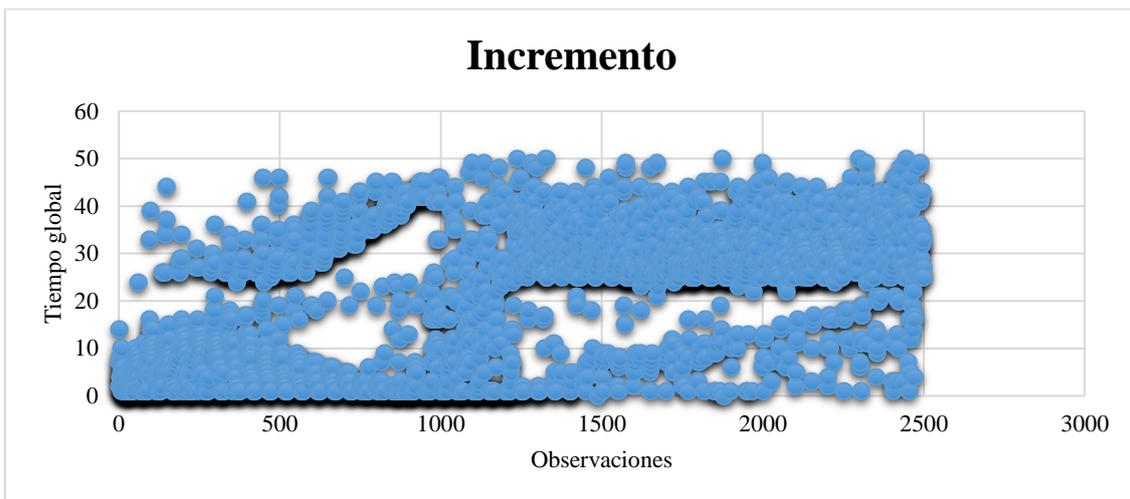


Figura 10. Presenta el funcionamiento óptimo del cambio de luces en el semáforo. (Elaboración propia)

Finalmente, se presenta el comportamiento óptimo del sistema en dos intersecciones, y el comportamiento sobre el flujo vehicular con las

diferentes cargas vehiculares y su óptimo desempeño como se muestra a continuación, ver la figura 11.

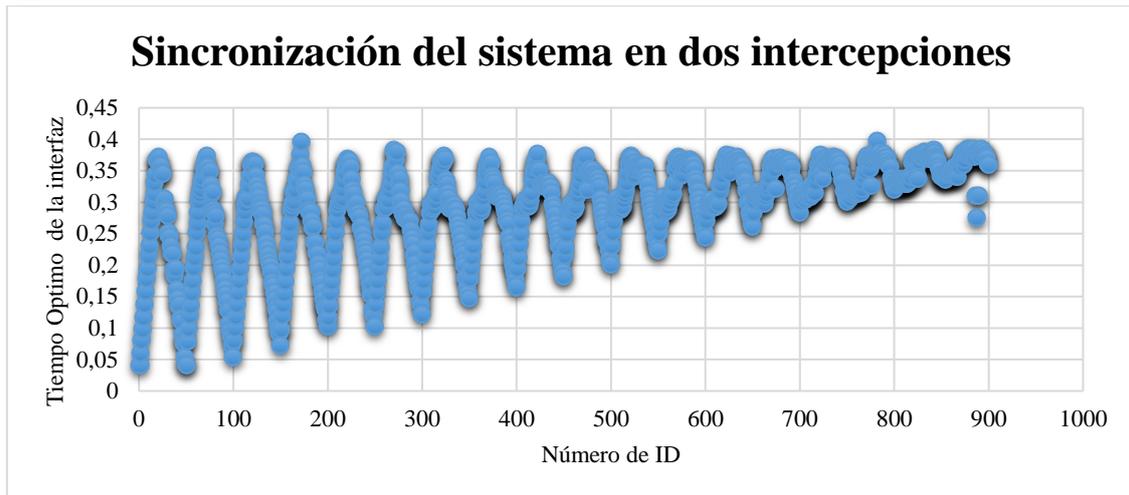


Figura 11. Sincronización al cambio de luces y diferentes cargas vehiculares en el sistema. (Elaboración propia)

Conclusiones

La congestión en los sistemas de vialidad en todo el mundo es una de las causas principales problemas que generan diversos problemas de contaminación, ruido, cuellos de botella etc. Los avances más significativos y evolutivos es dar paso a la inteligencia artificial sobre vehículos no tripulados en un futuro muy cercano. Algunas limitaciones es la falta de condiciones económicas y de infraestructura vial, por ende, al llevar a cabo la propuesta a un escenario real las condiciones como el estrés y diversas variables que no se mencionan en el presente estudio, hacen interesante el nuevo planteamiento y retos futuros. Un factor considerable son los costos en la adquisición de los dispositivos necesarios para su aplicación en un escenario real. La presente investigación hace énfasis sobre la solución al problema vehicular en un sistema de dos intersecciones. A través del comportamiento y programación dinámica de los agentes vehiculares en ambos cruces dan una posible respuesta a la problemática de movilidad. La presente investigación muestra los resultados obtenidos mediante un algoritmo matemático considerando las diferentes cargas vehiculares en ambos ejes como propuesta innovadora que utiliza los procesos de simulación para mejorar el tráfico vehicular. El planteamiento a futuro consistirá es reducir aún más el tiempo de espera y al mismo tiempo aumentar la velocidad de viaje al hacer que los automóviles se comuniquen entre sí. Por otra parte, uno de los trabajos futuros es optimización un sistema de múltiples intersecciones o cruces, utilizando semáforos inteligentes programados mediante un micro chip programado con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

La presente investigación brinda una solución innovadora al tráfico vehicular en un sistema de dos cruces, a través de la programación óptima de la interfaz (Semáforo) como se muestra en la tabla 2 del manuscrito.

Los resultados son alentadores y muestran que el algoritmo matemático programado en una interfaz, para el sistema de dos intersecciones ambas controladas por una interfaz se muestra que el sistema logra el equilibrio entre las diferentes cargas vehiculares y la excelente sincronización del semáforo, por último se brinda una posible respuesta a la problemática vial que afecta a todo el mundo, siendo un tema de gran interés donde los gobiernos deben de involucrarse a un más en la problemática antes mencionada.

Referencias bibliográficas

- Alam, M. R., & Guo, Z. (2023). Co-optimization of charging scheduling and platooning for long-haul electric freight vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 147, 104009. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X22004223>
- Bakar, N. A., Adi, A. F., Majid, M. A., Adam, K., Younis, Y. M., & Fakhreldin, M. (2018). The Simulation on Vehicular Traffic Congestion Using Discrete Event Simulation (DES): A Case Study. *International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT)*, Sakhier, Bahrain. Sakhier, Bahrain.
- Bani Younes, M., & Boukerche, A. (2016). Intelligent Traffic Light Controlling Algorithms Using Vehicular Networks. *IEEE*

- Transactions on Vehicular Technology*, 65(8), 5887-5899.
- Di Mare, A. (1993). La programación por objetos en los sistemas de información. *Acta Académica*, 3541. Obtenido de <http://www.di-mare.com/adolfo/p/oop-adt.htm>
- Dominguez, P. N., & Cortínez, V. H. (2012). Un método continuo- Discreto para el diseño óptimo de sistemas de transporte urbano. *Mecánica Computacional*, 13-16.
- Flórez, A., & Thomas, J. (1993). *La teoría General de Sistemas*. (Dialnet). Recuperado el 28 de 03 de 2023, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6581658.pdf>
- Illana, I. J. (27 de Marzo de 2024). *Metodos Monte Carlo*. [File PDF]. Obtenido de <https://www.ugr.es/~jillana/Docencia/FM/mc.pdf>
- Maksat, A., Ece, G. S., & Klaus Werner, S. (2023). Lane change scheduling for connected and autonomous vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 147, 103985.
- Miz, V., & Vladimir, H. (2014). Smart traffic light in terms of the cognitive road traffic management system (CTMS) based on the Internet of Things. Miz, Volodymyr and Vladimir Hahanov. "Smart traffic light in terms of the cognitive Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium", 1-5.
- Mohammadian, M. (2006). Multi-Agents Systems for Intelligent Control of Traffic Signals. *International Conference on Computational Intelligence for Modelling Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents Web Technologies and International Commerce*. Sydney, NSW, Australia.
- Ortiz, M. T., Sallent, O., Camps-Mur, D., Escrig, J. E., & Herranz, C. (2022). Analysis of Vehicular Scenarios and Mitigation of Cell Overload due to Traffic Congestions. *2022 IEEE 95th Vehicular Technology Conference: (VTC2022-Spring)*. Helsinki, Finland.
- Rezzai, M., Dachry, W., Moutaouakkil, F., & Medromi, H. (2018). Design and realization of a new architecture based on multi-agent systems and reinforcement learning for traffic signal control. *2018 6th International Conference on Multimedia Computing and Systems*, Rabat, Marruecos.
- Thomson, L., & Bull, R. (2002). La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales. *Revista de la CEPAL*, 109-121.
- TomTom. (4 de Abril de 2022). *TomTom*. Recuperado el 4 de Abril de 2022, de https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/mexico-city-traffic/
- Tulay, H., Barickman, F., Martin, J., Rao, S., & Koksall, C. (2019). Urban Traffic Monitoring via Machine Learning. *IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)* (págs. 1-2). Los Angeles, CA, USA: IEEE.
- Wilinsky, U. (12 de 06 de 2003). *NetLogo Traffic Grid model Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling*. Evanston, IL: Northwestern University. Recuperado de <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/TrafficGrid>
- Ziang, L., Gang, X., & Jizhi, M. (2023). A framework for strategic online en-route operations: Integrating traffic flow and strategic conflict managements. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 147, 103996.