

Coloquio de Investigación Multidisciplinaria



VOLÚMEN 8 Núm.1 OCTUBRE 2020

Revista Periódica



JOURNAL CIM-REVISTA DIGITAL

ISSN: 2007 - 8102

DIFUSIÓN VÍA RED DE CÓMPUTO
<https://www.cim-tecnm.com/articulos>



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



COLOQUIO DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA
JOURNAL CIM
Science, Technology and Educational Research

VOLUMEN 8, NÚMERO 1, OCTUBRE 2020

ISSN: 2007-8102

COMITÉ EDITORIAL

Dr. Mario L. Arrijo Rodríguez
Responsable General

Dr. Fernando Ortíz Flores
Responsable Técnico

M.C María Elena García Reyes
Responsable de Logística

Dr. Fernando Aguirre y Hernaández
Ingeniería Administrativa

Dra. Ma. Eloísa Gurruchaga Rodríguez
Ingeniería Industrial

Dr. José de Jesús Agustín Flores Cuautle
Ingeniería Electrónica y Eléctrica

Dr. Oscar Osvaldo Sandoval González
Ingeniería Mecánica y Mecatrónica

M.S.C. Luis Ángel Reyes Hernández
Ingeniería en Sistemas Computacionales

Dra. Leticia López Zamora
Ingeniería Química

Dra. Martha Elena Fernández Ramírez
Investigación Educativa

COORDINACIÓN EDITORIAL

M.C. Gabriela Cabrera Zepeda
Dr. Ignacio López Martínez

**COLOQUIO DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA
JOURNAL CIM**

Science, Technology and Educational Research

VOLUMEN 8, NÚMERO 1, OCTUBRE 2020

ISSN: 2007-8102

© D.R. Tecnológico Nacional de México /I.T. Orizaba
Av. Oriente 9 No. 852
C.P. 94320
Orizaba, Veracruz México
<http://www.cim-tecnm.com/journal-cim-open-access>
<http://www.itorizaba.edu.mx>

Coloquio de Investigación Multidisciplinaria, Vol. 8, Núm. 1, octubre 2020, es una publicación anual, publicada y editada por el Tecnológico Nacional de México dependiente de la Secretaría de Educación Pública, a través del Tecnológico Nacional de México /I.T. Orizaba, Avenida Universidad No. 1200, 5to. Piso, Colonia Xoco, Alcaldía Benito Juárez, C.P. 03330, Ciudad de México, Tel. 5536002500 Ext. 65064, d_vinculacion05@tecnm.mx, Editores Responsables M.C. Gabriela Cabrera Zepeda y Dr. Ignacio López Martínez. Reserva de derecho al Uso Exclusivo NO. 04 - 2013 - 093010380600 – 203, ISSN 2007-8102, ambos son otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Responsables de la última actualización de este número M.C. Gabriela Cabrera Zepeda y Dr. Ignacio López Martínez, en la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México /I.T. Orizaba, Oriente 9, No. 852, Col. Emiliano Zapata, Orizaba Veracruz, México, C.P. 94320, Tel. 012727257056. Fecha de término de la última actualización, 19 de Octubre del 2020.

Su objetivo principal es difundir resultados de proyectos de investigación de personal adscrito a diversas instituciones nacionales y extranjeras.

Queda prohibida la reproducción parcial o total de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto encargado, salvo que sea citada la fuente de origen.



Revista Indexada en LATINDEX

ÍNDICE GENERAL

Ingeniería Administrativa	1
Ingeniería Eléctrica y Electrónica	657
Ingeniería Industrial	793
Ingeniería Mecánica y Mecatrónica	1141
Ingeniería Química	1313
Ingeniería en Sistemas Computacionales	1873
Investigación Educativa	2085

SISTEMAS COMPUTACIONALES

- SC01 **Detección y ubicación de drones empleando SDR (Software Defined Radio)** 1875
Rogelio Jaimes Rico y Saul Lazcano Salas.
- SC02 **Reconociendo patrones de la deserción en el contexto educativo universitario aplicando visualización de datos** 1882
Argelia B. Urbina Nájera, Acela Tejeda Gil, Leilani de la Cruz Toledo, Isabel Pimentel Hernández y Kevin Diaz Guarneros.
- SC03 **NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL USANDO DEEP LEARNING** 1893
Michael Reyes, Hernán de la Garza Gutiérrez, Rafael Sandoval Rodríguez, Arturo Legarda Sáenz y Marisela Ivette Caldera Franco.
- SC04 **Análisis y diseño de una herramienta de software para la lectoescritura en niños con autismo** 1903
Lizbeth Mercedes López Bautista, Mariela Lizeth Martínez Hernández y Braulio Bautista López.
- SC05 **Abstracción y Evaluación de la Intención de los Individuos en las Organizaciones de Acuerdo a la Teoría de la Agencia** 1911
Jorge Armando Alcántara Godínez y Leticia Dávila Nicanor.
- SC06 **Comparación de los métodos PCA y LDA para selección de características** 1919
J. E. Pat Cetina, L.J. Peniche Ruiz, M. I. Jiménez Ochoa, D. F. Villafañá Gamboa, K.A. López Puerto y G. Navarro Rodríguez.
- SC07 **DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA LA OPERACIÓN Y MONITOREO DE UN PROTOTIPO DE CONTROL DE RIEGO** 1927
Víctor César Olguín Zárate, Omar Gómez Carrasco, Edaly Castañeda Méndez, Cristian Alonso Palma Sifuentes y Edmundo Blanco Peña.
- SC08 **Novel Contextual Computing Application for attendance control on University campus through Beacons** 1936
Joaquín Guillén-Rodríguez, Jesús Felipe Pérez-Sandoval, Jaime Alfredo Mariano-Torres, Adriana Becerril-Rodríguez y Hernán Peraza-Vázquez.
- SC09 **Sistema de Información Geográfica para la Detección de propagación de plagas en cultivos de aguacate** 1945
Julieta Santander-Castillo, Mariela J. Alonso-Calpeño y Raúl Alanis-Teutle.
- SC10 **El Algoritmo de Optimización del Dragón de Komodo (KDOA): Un algoritmo bio-inspirado novedoso** 1953
Abigail María Díaz Guerrero, Ana Beatriz Morales Cepeda y Hernán Peraza Vázquez.
- SC11 **Seguridad aplicada en las Redes Sociales mediante extracción de datos** 1962
Eric Onofre Ruiz, Benny Yael Ramírez Herrerías, Jorge Martínez Santiago, Ricardo Castro Valdivia y Arturo Escobar García.
- SC12 **Método Experimental para Capacitación Laboral mediante una Aplicación Multimedia** 1970
Eduardo César Contreras Delgado, Rodolfo Morales García, Ivonne Damayanti Contreras González, Raquel Alejandra Vásquez Torres y Kouani Mildred López López.
- SC13 **Conteo de modelos usando forma normal para lógica bivalente y trivalente** 1978
Rafael Sánchez Maldonado, Pedro Bello López, Meliza Contreras González y Miguel Rodríguez Hernández.
- SC14 **Reconstrucción de objetos 3d a partir de nubes de puntos rgbd** 1986

- Noé Vásquez Godínez, Heriberto Casarrubias Vargas y Carlos Omar González Morán.*
SC15 **Revisión Sistemática de la Literatura sobre Concern-Oriented Software Engineering** 1993
Aline Montserrat Hernández-Fajardo, Karen Cortes-Verdín y Ulises Juárez-Martínez.
- SC16 **Algoritmo de predicción para radiación ultravioleta: caso Nogales, Sonora, México.** 2005
Sigifredo García Alva, Julio Enrique Arreola Valle, Guillermina Muñoz Zamora, Jesús Raúl Cruz Rentería y Zindi Sánchez Hernández.
- SC17 **Sitio web para red de EMA's de IES en el Estado de Sonora, México** 2013
Sigifredo García Alva, José Jesús Miranda Mirasol, Guillermina Muñoz Zamora, Jesús Raúl Cruz Rentería y Omar Velarde Anaya.
- SC18 **Predicción de Robo con Redes Neuronales Recurrentes LSTM** 2021
José Ulises Teyechea Peralta, C. E. Rose Gómez, M. T. Serna Encinas y R. A. Galaz Bustamante.
- SC19 **Recuperación de indicadores alométricos de publicaciones científicas utilizando minería de datos** 2029
Mario Armando Martínez Barajas, José Román Herrera Morales, María Andrade Aréchiga, Jorge Rafael Gutiérrez Pulido y Sara Sandoval Carrillo.
- SC20 **Estrategias de movilidad vehicular inteligente en la ZMVM con miras a una Ciudad Inteligente** 2037
Erick Daniel Pérez Mata, Héctor Rafael Orozco Aguirre y Saul Lazcano Salas.
- SC21 **PREDIAPP Plataforma tecnológica para la prevención y control de diabetes por medio de Inteligencia Artificial** 2045
Eva María Landa Huerta, María Reina Zarate Nava, Aldair Ruíz Nepomuceno, Elimar Leza Caballero y Adrián de Jesús Montalvo Trejo.
- SC22 **Simulación computacional de la corrosión de metales con autómatas celulares** 2053
Heriberto Casarrubias-Vargas, Noé Vásquez Godínez, Héctor Herrera-Hernández, José Guadalupe Miranda-Hernández y Carlos Omar González-Morán.
- SC23 **Sistema experto basado en reglas para la generación de horarios académicos del Tecnológico de Teziutlán** 2061
Marco Antonio Aguilar Cortés, José Luis Gutiérrez García, Heriberto Hernández Rodríguez, Jacobo Robles Calderón y Miguel Aguilar Cortés.
- SC24 **Detección automatizada de emociones a través del rostro, una revisión del estado del arte** 2069
Quetzalli Abigail Pinzón Montes, Saul Lazcano Salas, Héctor Rafael Orozco Aguirre y Maricela Quintana López.
- SC25 **PREDICCIÓN DE OXÍGENO DISUELTOS EN CULTIVOS ACUICOLAS POR MEDIO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES** 2077
J. R. Navarro Ruiz, N. García-Díaz, J. A. Verduzco, J. García Virgen, A. C. Ruiz Tadeo.

Estrategias de movilidad vehicular inteligente en la ZMVM para una transición a una Ciudad Inteligente

E. D. Pérez Mata^{1*}, H. R. Orozco Aguirre¹, S. Lazcano Salas¹,

¹Centro Universitario UAEM Valle de México, Universidad Autónoma del Estado de México, Profr. Boulevard Universitario S/N Valle Escondido, Río San Javier, C.P. 54500, Ciudad López Mateos, Estado de México, México.

[*eperezm238@alumno.uaemex.mx](mailto:eperezm238@alumno.uaemex.mx)

Área de participación: *Sistemas Computacionales*

Resumen

El desmesurado crecimiento de las ciudades ha provocado problemas como son aquellos derivados del agobio tráfico vehicular aunado a las grandes cantidades de emisiones de gases nocivos, el daño ambiental por la contaminación, la poca eficiencia en los procesos de servicios públicos, entre otros. En este trabajo, se hace uso de la plataforma AnyLogic para presentar como caso de estudio un modelo de simulación 2D/3D del cruce vial Puerto de Chivos y sus alrededores, ubicado en los límites que conectan los municipios de Atizapán de Zaragoza y Nicolás Romero ambos del Estado de México. En este modelo, se implementan y evalúan distintas estrategias de movilidad vehicular inteligente enfocadas al control y reducción del tráfico vehicular para su posible implementación en la realidad evitando un gasto de recursos e infraestructura. Finalmente, estas estrategias son para una transición de la Zona Metropolitana del Valle de México a una ciudad inteligente.

Palabras clave: *Ciudades Inteligentes, Movilidad vehicular, Simulación.*

Abstract

The excessive growth of cities has caused problems such as those derived from the overwhelming vehicular traffic coupled with the large amounts of harmful gas emissions, environmental damage due to pollution, the low efficiency in public service processes, among others. In this work, the AnyLogic platform is used to present as a case study a 2D/3D simulation model of the Puerto de Chivos road crossing and its surroundings, located on the limits that connect the municipalities of Atizapán de Zaragoza and Nicolás Romero both of the State of Mexico. In this model, different intelligent vehicular mobility strategies are implemented and evaluated focused on the control and reduction of vehicular traffic for its possible implementation in reality, avoiding an expenditure of resources and infrastructure. Finally, these strategies are aimed at a transition from the Mexico Valley Metropolitan Area to a smart city.

Key words: *Simulation, Smart Cities, Vehicular mobility.*

Introducción

En las grandes urbes del mundo como lo es en la Ciudad de México (CDMX), al ser una zona altamente concurrida por personas y vehículos ha provocado que se coloque como la trigésima ciudad con mayor porcentaje de congestión del mundo, ocasionando que un viaje tome más de la mitad de tiempo bajo condiciones de tráfico vehicular normal para poder ser concluido. Aunque los reglamentos viales se hayan implementado desde hace bastante tiempo y se han llevado a cabo programas como el "hoy no circula" esto no ha permitido una apreciable mejoría en el tráfico vial. El uso excesivo del transporte particular ha ocasionado que la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) haya sufrido en cinco ocasiones contingencias ambientales a lo largo del 2019 [1], atentando contra la salud de todos los habitantes de población.

Acorde con el último reporte del índice de tráfico de TomTom [2] que fue realizado en 57 países, entre ellos México, basado en un análisis de aproximadamente 1,500 millones km de vialidades

alrededor de la CDMX, se determinó que el 48% de estos (720 millones de km) fueron carreteras de alta velocidad y el restante 52% (780 millones de km) carreteras normales. En estas vialidades, por cada 30 minutos de viaje en la mañana se adicionan 25 minutos, mientras que en la noche son 26 minutos. De acuerdo con la Encuesta de Origen-Destino en Hogares de la ZMVM [3], realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), gobiernos de la CDMX y del Estado de México, así como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); se encuestaron a los residentes de las 16 alcaldías de la CDMX, 59 municipios dependientes del Estado de México y Tizayuca, Hidalgo. Encontrando que de lunes a domingo se realizan alrededor de 34.56 millones de trayectos, de los cuales 7.29 y 15.57 millones de viajes fueron realizados en transporte privado y público respectivamente. La distribución porcentual del transporte privado es la siguiente: el 90.6% en automóvil o camioneta, 5.1% en motocicleta y 4.4% en transporte escolar y de personal, mientras que en el transporte público es: 74.1% en microbús o combi, 28.7% en metro, 10.5% en taxi de sitio, calle o aplicación, 7.1% en Metrobús o Mexibús, 5.8% en autobús suburbano, 2.6% en la Red de Transporte de Pasajeros (RTP) o M1, 1.8% en Mototaxi y 3.5% en otro tipo como Tren Suburbano, Trolebús, Tren Ligero, Bicitaxi y MEXICABLE.

Con el objetivo de llegar a ser un mundo completamente sostenible se aprobó la agenda 2030 de Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en septiembre del 2015, en la ciudad de Nueva York, reuniendo a más de 150 jefes de estado. 17 son los objetivos para cumplir esta meta, entrando en vigor a partir del 1 de enero de 2016, siendo el onceavo titulado "Ciudades y comunidades sostenibles" que propone que todos los núcleos urbanos sean invulnerables, protegidos y autosuficientes [4]. Siguiendo de la mano del objetivo 11 de dicha agenda, en los últimos años ha surgido el término Ciudad Inteligente (CI), el cual aplica a ciudades que tienen una gran influencia por parte de las tecnologías de la información [5]. Sin embargo, para que una ciudad pueda llegar a ser considerada una CI debe cumplir varios requisitos, los cuales están en constante cambio y eso no ha permitido establecer un único concepto de CI que sea acreditado internacionalmente.

A pesar de que se tiene el compromiso de los jefes de estado, a la CDMX, conforme al índice de tráfico de TomTom [2] el cual recaba información de 416 ciudades alrededor de 6 continentes, se le atribuye la mayor congestión vial en Norteamérica con un 52% obtenido en 2017, 2018 y 2019, manteniéndose igual en estos años, inclusive superando a la Ciudad de Los Ángeles, California, Estados Unidos; a su vez es la única ciudad de México en este ranking con mayor congestión en el mundo, siendo la tercera en el continente americano, solo por detrás de Bogotá (COL) y Lima (PER), y trigésima en el ranking mundial. Acorde a este mismo índice de tráfico, el promedio del porcentaje de congestión vehicular de la CDMX en la hora pico por la mañana es de 82%, mientras que por la noche asciende a 87%. El porcentaje de congestión vehicular indica cuanto tiempo adicional tarda un traslado de un punto a otro, es decir, un trayecto que aproximadamente dura una hora sin tráfico vehicular tomará con 50% de congestión vehicular un promedio de hora y media realizarlo.

Los datos mostrados en la Tabla 1 reflejan el porcentaje de congestión en cada hora de cada día de la semana, en donde los porcentajes más altos y que están rellenos con mayor intensidad de color son en los que corresponden al promedio de horario laboral en la sociedad, es decir, de lunes a viernes de las 6:00 a las 20:00 horas. El sábado es donde la congestión es menor, pero sigue representando porcentajes elevados, el periodo de horas con el mayor porcentaje se da el viernes de 14:00 a 19:00 horas, mientras que el pico máximo se da el jueves a las 19:00 horas.

Tabla 1. Porcentaje de congestión en hora y días de la semana en la CDMX. Fuente: [2].

Hora	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
0:00	7%	1%	0%	1%	2%	5%	8%
1:00	3%	0%	0%	0%	0%	0%	3%
2:00	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1%
3:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
4:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
5:00	0%	15%	13%	12%	12%	11%	1%
6:00	2%	46%	45%	43%	43%	39%	7%
7:00	2%	71%	72%	69%	69%	63%	13%
8:00	6%	82%	86%	84%	83%	77%	24%

9:00	10%	64%	71%	71%	71%	66%	31%
10:00	15%	43%	54%	55%	56%	53%	35%
11:00	19%	36%	47%	49%	51%	50%	39%
12:00	24%	37%	47%	49%	51%	54%	44%
13:00	29%	44%	53%	55%	58%	65%	54%
14:00	32%	50%	61%	64%	67%	84%	62%
15:00	29%	49%	58%	61%	66%	94%	57%
16:00	25%	43%	51%	54%	58%	86%	44%
17:00	25%	53%	60%	63%	67%	80%	33%
18:00	30%	76%	86%	87%	92%	91%	33%
19:00	32%	77%	88%	89%	96%	89%	33%
20:00	30%	56%	67%	69%	76%	71%	31%
21:00	24%	34%	43%	44%	50%	51%	26%
22:00	15%	17%	22%	24%	29%	34%	20%
23:00	7%	6%	8%	10%	14%	20%	13%

En la ZMVM difícilmente se visualiza poder llevar a cabo el cumplimiento total del objetivo sostenible debido a que la infraestructura actual fue mal planificada para que pueda ser implementado algún programa de éxito como en el caso de ciudades de primer mundo. Para evitar que el gobierno invierta en una habilitación de una infraestructura que no se sabe si tendrá éxito o no, se tiene a la simulación como una buena herramienta para poder simular estrategias en escenarios virtuales y poder evaluar sin que se comprometan recursos económicos, se provoque algún daño ambiental y sin que surja una mayor congestión vial aquellas que brinden resultados apropiados en la vida real. En este artículo, se presenta un escenario realista modelado en la plataforma AnyLogic [6] y valorado mediante un sistema multiagente (SMA), mismo que tendrá adecuaciones hacia estrategias de movilidad vehicular inteligente con el objetivo de sentar las bases para una transición a un CI. Este escenario es un caso de estudio de simulación 2D/3D del cruce vial Puerto de Chivos y sus alrededores, ubicado en los límites que conectan los municipios de Atizapán de Zaragoza y Nicolás Romero ambos del Estado de México. Distintas estrategias de movilidad vehicular inteligente serán simuladas y evaluadas para el control y reducción del tráfico vehicular y su posible implementación en la realidad con miras a una transición de la ZMVM a una CI.

Metodología

Como herramienta de trabajo se hace uso de la plataforma AnyLogic [6]. Esta plataforma permite diseñar un entorno virtual que emule las características del cruce vial Puerto de Chivos, así mismo se pretende mostrar la forma en que las estrategias de movilidad vehicular inteligente son evaluadas. Este entorno virtual servirá como base para trabajos futuros que tengan en mira la valoración de una transición a una CI en la ZMVM en materia de tráfico vehicular. La simulación del entorno virtual contempla un ambiente en 2D y 3D, donde las estrategias son puestas a prueba para evaluar qué tanto reducen el tráfico. Una de las principales características de esta plataforma son sus amplios recursos para desarrolladores de software tales como elementos en 2D y 3D, bibliotecas con funciones y paquetes de clases e interfaces en lenguaje Java para realizar casos de estudio. La Figura 1 muestra un diagrama que provee una vista general de la propuesta a desarrollar. Como primera parte, está la recreación del escenario virtual considerando todas las entidades involucradas y adjuntándole la creación de varios módulos que adecuarán el comportamiento general de la simulación. El primer módulo llamado: generador de facilidades urbanas estará encargado de recrear los semáforos en todas las vialidades que pertenecen y son adyacentes al cruce vial. Por otro lado, el módulo generador de contingencias surtirá de contingencias, desastres, entre otros. Por último, se abarcará un módulo generador del comportamiento vehicular para analizar su comportamiento dentro de su entorno y su interacción entre los demás agentes.

Resultados y discusión

Creación del modelo

En la Figura 2, se muestra una captura satelital del cruceo Puerto de Chivos, el cual es el escenario que es recreado en la plataforma AnyLogic.

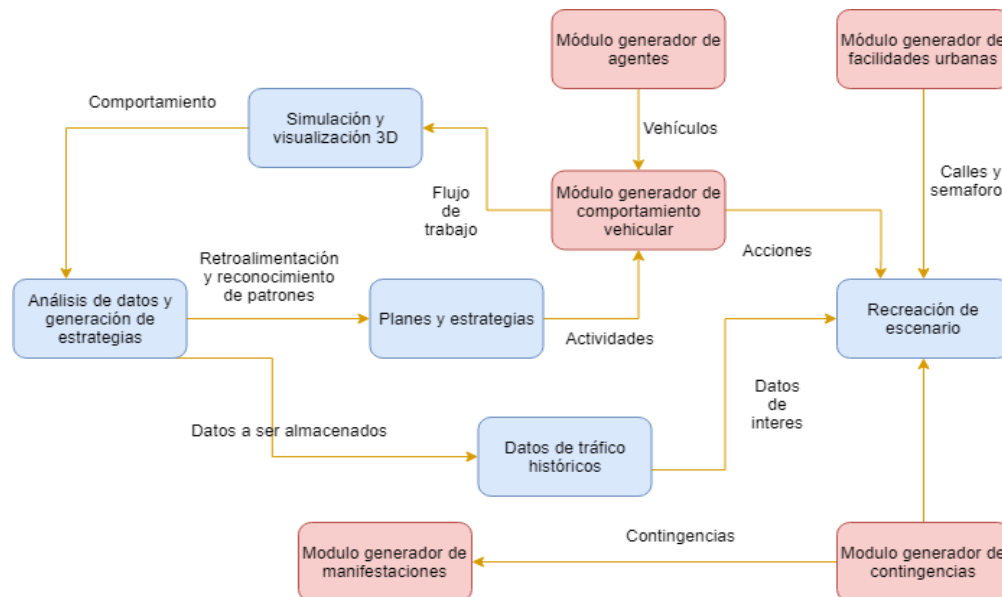


Figura 1. Diagrama general de la propuesta a desarrollar.

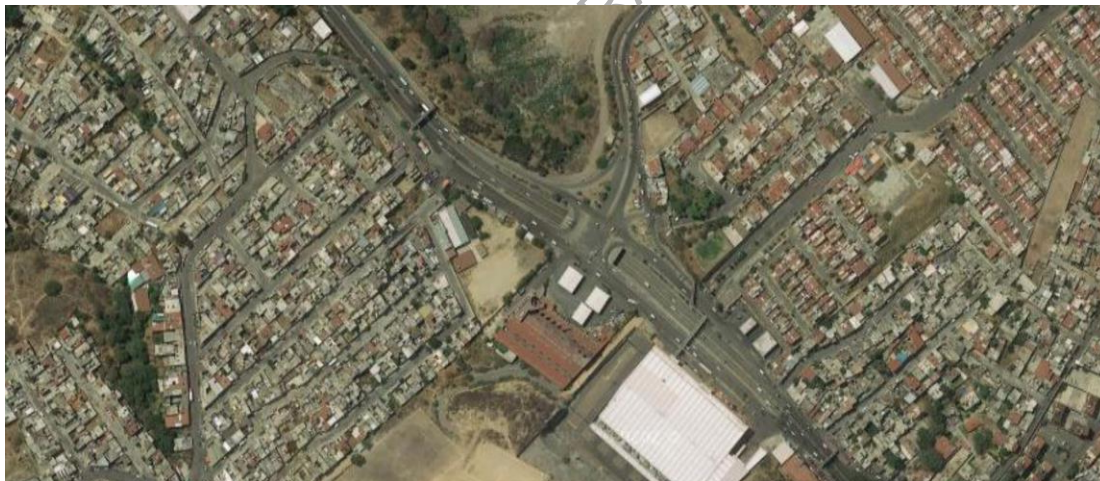


Figura 2. Captura satelital del cruceo Puerto de Chivos.

En la Figura 3 se muestra una captura del modelo finalizado y donde se dará lugar la implementación de las estrategias de movilidad vehicular previamente diseñadas para su posterior evaluación y análisis de que tan eficiente y eficaz es. En la figura 4 se muestra el diagrama de flujo de comportamiento vehicular en el cruceo, este diagrama se puede modificar para adaptarse a cada estrategia de movilidad vehicular inteligente que se deba simular y analizar para evaluar su pertinencia en el mundo real.

Simulación del flujo vial

En las Figuras 5 y 6 se muestra el modelo en ejecución, se puede apreciar el flujo vehicular, las vialidades y el entorno colindante como lo más apegado a la realidad. Hasta el momento, sólo se ha

el flujo vehicular en las vialidades más importantes del cruceo vial, lo cual es más que suficiente para los efectos de lo que se persigue en este artículo.



Figura 3. Vista en 2D del modelado del escenario Puerto de Chivos.

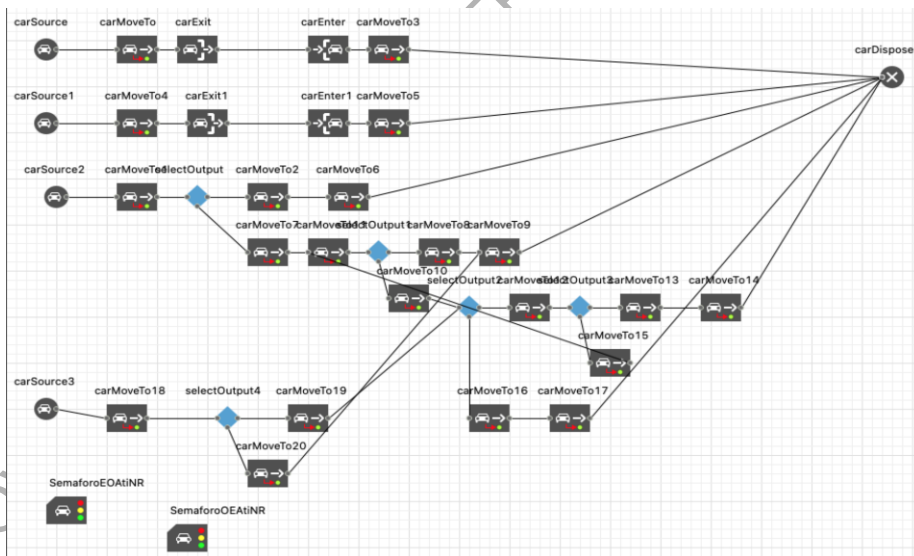


Figura 4. Vista diseño de un diagrama de comportamiento vehicular para evaluar una estrategia de movilidad vehicular inteligente en AnyLogic.

Semaforización inteligente para controlar tiempos

Con el objetivo de equilibrar el flujo vial en las distintas vialidades del cruceo, se creó un sistema de semaforización sincronizada como el presentado en [7]. Este sistema intercala el cambio de luz vehicular de los semáforos de manera proporcional a la tasa de flujo vehicular, es decir, que en las vialidades con más saturación habrá más tiempo de luz verde y en las de menor saturación más tiempo de luz roja, así eventualmente, se irán ajustando los tiempos con incrementos/decrementos hasta lograr un equilibrio del flujo vehicular y de los tiempos de las luces en los semáforos de las

vialidades, con ello, se evita una sobresaturación vehicular de las vialidades. La Figura 7 muestra la eficacia de esta estrategia de movilidad.



Figura 5. Vista 2D del modelo en ejecución.



Figura 6. Vista 3D del modelo en ejecución.



Figura 7. Semaforización inteligente para lograr un equilibrio del flujo vehicular.

Simulación de un carril reversible

En diciembre del 2019 se puso en marcha el programa de carril reversible en el municipio de Nicolás Romero en el Estado de México para reducir el tráfico en los periodos de mayor congestión en la mañana de los vehículos que se trasladan hacia Atizapán de Zaragoza en el Estado de México y por la tarde-noche de los que ingresan de regreso. Esto es posible dado que existe una avenida de 4 carriles que es una de las más importantes de Nicolás Romero, normalmente son 2 carriles para cada sentido, pero con el programa del carril reversible, esto cambia pues durante la mañana son 3 carriles que van en dirección hacia Atizapán de Zaragoza y durante el atardecer se produce el efecto contrario para los que vienen de regreso. Cabe señalar que, por parte de los residentes más cercanos, el carril reversible tiene mayores resultados durante las noches mientras que por la mañana no parece tener algún beneficio real ya que genera un cuello de botella en el cruce vial dado que en Atizapán de Zaragoza no hay continuidad al carril reversible, que de haberlo, esta congestión desaparecería. Las Figuras 8, 9 y 10 muestran la realidad del cruce ante el carril reversible.

Carril exclusivo para el transporte público

Para esta estrategia se propone reservar un carril de uso exclusivo para el transporte público, el cual es el que está más próximo al paso peatonal. El transporte privado podrá hacer uso de este carril para descenso y aborde de personas y sólo en puntos designados, los mismos que a su vez también serán usados por el transporte público. La figura 11 muestra la simulación y valoración de esta estrategia, dando como resultado una mejor y más rápida circulación para el transporte público y una reducción notable del congestionamiento vehicular.

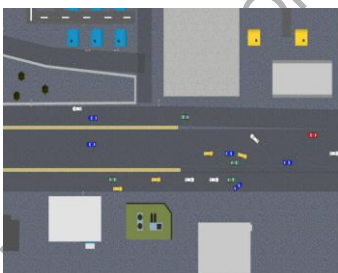


Figura 8. Estructura normal de los carriles.

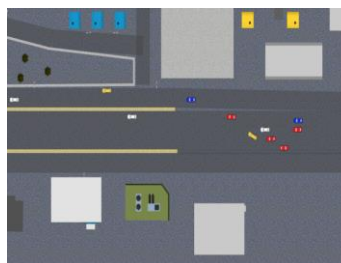


Figura 9. Carril reversible por la mañana.

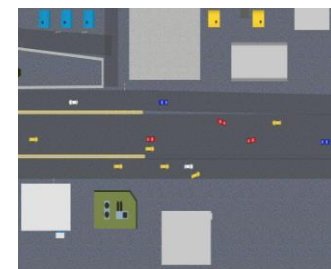


Figura 10. Carril reversible por la tarde-noche.



Figura 11. Carril exclusivo para el transporte público agilizando su circulación.

Eliminación del transporte público existente y su sustitución por uno único

Por último, esta estrategia emula la sustitución de las rutas existentes de transporte público y su reemplazo por una línea de Mexibús [8], como la existente en los municipios de Ecatepec, Tecámac y Nezahualcóyotl del Estado de México. Así, se busca implementar un sólo tipo de transporte público, con un carril propio y pago de uso con tarjetas electrónicas recargables. Lo ideal es que su terminal sea hasta la estación de metro Cuatro Caminos de la CDMX, siendo la más cercana. Sin embargo, aún no existe un suficiente análisis acerca de qué tan eficiente y pertinente pueda ser. Se debe valorar su impacto en el entorno urbano, además, de sus ventajas y desventajas. La Figura 12 muestra una parada exclusiva de una estación de la línea propuesta de Mexibús en el cruceo vial.

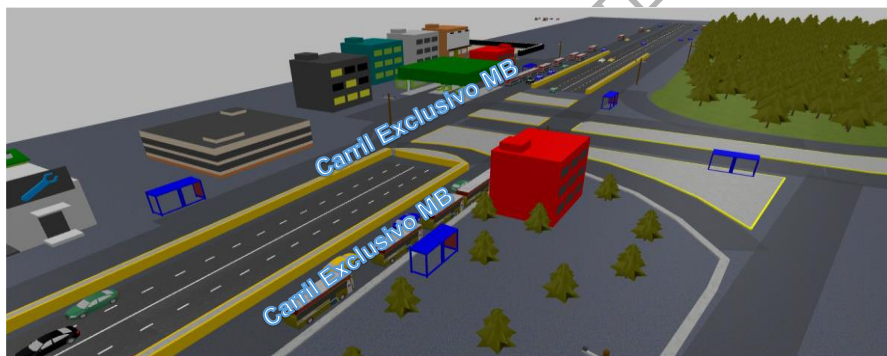


Figura 12. Carril exclusivo de una línea de Mexibús para un único tipo de transporte público.

Resultados obtenidos

Para evaluar qué tan efectiva es cada estrategia con respecto de otra, se usa como factor la cantidad de vehículos que están en cada vialidad importante cuando la luz de tráfico es roja, entre menos vehículos se encuentren conglomerados menor congestión vehicular habrá y será más rápido el flujo vial. Estas evaluaciones se realizaron en lapsos de 15 minutos en cada estrategia. En la tabla 2, se muestran los resultados obtenidos como promedio en las horas de mayor saturación vial. Como se observa, una semaforización inteligente o sustitución de transporte público son las estrategias que mejor funcionan mientras que las dos restantes no ofrecen una mejora notable en el flujo vial.

Tabla 2. Resultados obtenidos de cada estrategia de movilidad vehicular inteligente.

Estrategia de movilidad	Carretera NR-A Este a Oeste	Carretera NR-A Oeste - Este	Blvd. Universitario Norte - Sur
Escenario real	48	39	9
Semaforización inteligente	35	27	5
Carril reversible	42	36	9
Carril exclusivo del TP	40	35	7

Sustitución del TP	28	23	4
--------------------	----	----	---

Trabajo a futuro

Lo siguiente es extender el modelo para abarcar mayores vialidades y no sólo centrarse en el cruce vial, inclusive, verificar la funcionalidad de las estrategias en puntos importantes de congestión vehicular y así poder recrear una simulación donde se estudie el flujo vial de toda de la ZMVM. La evaluación de estrategias es bastante rápida en comparación con lo que conllevaría determinar qué tan eficientes y eficaces serían bajo otras perspectivas de estudio incluso sin necesidad de que éstas ya existan en la realidad. También se deberá considerar la ocurrencia de desastres naturales o situaciones de carácter social como manifestaciones, obras o construcciones viales.

Conclusiones

Las estrategias de movilidad vehicular inteligente que fueron simuladas prevén dar los cimientos que junto a otros aspectos deban ser contemplados para lograr una transición a una CI en la ZMVM. El caso de estudio permitió verificar que las distintas estrategias si pueden brindar beneficios para el control y reducción del tráfico vehicular. Sin embargo, algunas pueden resultar más económicas que otras y pueden implementarse en la realidad en un tiempo menor. Otras como una nueva línea del Mexibús sería la más pertinente pero su implementación sería lenta y muy costosa, pero los beneficios serían considerablemente mayores. Finalmente, entra en juego el aspecto ambiental, el cual se vería afectado como precio de la modernidad y mejora de la calidad de vida. Además, puede haber intereses de terceros que resultarían afectados como lo es para los concesionarios de las rutas de transporte público, para los cuales habría pérdidas económicas considerables si estas rutas son reemplazadas por un transporte público único bajo una nueva línea de Mexibús.

Referencias

- [1] Gobierno de la Ciudad de México, "Programa para Prevenir y Responder a Contingencias Ambientales Atmosféricas en la Ciudad de México," Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/ultima-hora/calidad-aire/pcaa/pcaa-historico-contingencias.pdf>, 2020.
- [2] TomTom, "Índice de tráfico TomTom 2019," Disponible en: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/, 2019.
- [3] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Gobierno de la Ciudad de México, Gobierno del Estado de México y Universidad Nacional Autónoma de México, "Encuesta Origen - Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México 2017," 2017.
- [4] Organización las Naciones Unidas, "Objetivos de desarrollo sostenible," Disponible en: www.un.org/sustainabledevelopment, 30 Agosto 2015.
- [5] A. Gómez Oliva, M. Server Gómez, A. J. Jara, and M. C. Parra Meroño, "Turismo inteligente y patrimonio cultural: un sector a explorar en el desarrollo de las smart cities," *International journal of scientific management and tourism*, vol. 3, no. 1, pp. 389-411, 2017.
- [6] I. Grigoryev, and A. Borshchev, "AnyLogic 7 in three days: a quick course in simulation modeling," Chicago: AnyLogic North America, 2016.
- [7] H. R. Orozco Aguirre, S. Lazcano Salas, and V. M. Landassuri Moreno, "SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES PARA EL CONTROL INTELIGENTE DE SEMÁFOROS MEDIANTE LÓGICA DIFUSA," *Pistas Educativas*, vol. 39, no. 128, pp. 1206-1223, 2018.
- [8] J. L. Zarco, "Evaluación del transporte público en el Estado de México. El caso del Mexibus," *Paradigma Económico*, vol. 12, no. 1, pp. 133-160, 2020.