

MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD  
DE MÉXICO

# UACM

**Universidad Autónoma  
de la Ciudad de México**

---

*Nodo humano me es ajeno*

COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES  
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO  
VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN  
CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD PRESENTA  
ÓSCAR VALDÉS AMBROSIO.

Director de Tesis.  
Dr. Felipe Humberto Contreras Alcalá.

México D. F. Octubre de 2015

## SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



## UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

### RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

#### DERECHOS RESERVADOS<sup>©</sup>

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a La Secretaría de Ciencia, tecnología e innovación del Distrito Federal la beca recibida para la elaboración de esta tesis, bajo el proyecto denominado:

**TRÁFICO EN GRANDES CIUDADES. UN ENFOQUE ALGORÍTMICO, RUTEO, GEOMETRÍA Y AGENTES COMPUTACIONALES (MODELOS COMPUTACIONALES) PI2011-56R**

Agradezco a la **UACM** por el apoyo recibido para la impresión y empastado del Trabajo de Tesis

Al Dr. Felipe Humberto Contreras Alcalá

A mi Madre.

A los Profesores de la Maestría. "Gracias a Todos"

A mis Amigos

# MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

## Contenido

Introducción .....	5
Objetivos Particulares .....	7
Justificación .....	8
Estado del Arte .....	8
Capítulo 1. Fundamentos teóricos de tráfico Vehicular .....	11
Generalidades .....	11
Modelos de simulación de tráfico microscópicos .....	14
Fundamentos de Vías .....	15
Normatividad .....	17
Capítulo 2. Modelo basado en agentes .....	19
Concepto y características de los modelos .....	19
Funciones de los modelos .....	19
Modelación de Sistemas Basados en Agentes .....	21
Técnicas de simplificación de modelos .....	22
Estructura de un modelo basado en agentes: .....	23
Parámetros de estado y parámetros de control .....	24
Ventajas y desventajas de la simulación .....	24
Riesgos al momento de realizar una Simulación .....	25
Fundamento de Redes .....	26
Estructura física de la red .....	27
Estructura física de las rutas .....	27
Utilización de Netlogo .....	28
Modelos de Software de Tráfico Vehicular que existen en el mercado .....	29
Gráficas-Tráfico .....	37
Consideraciones al Modelo .....	38
Comportamiento del conductor .....	39
Comportamientos Generales .....	39
Comportamiento en Glorietas .....	41
Vías de Circulación de alta velocidad .....	41
Capítulo 3. Desarrollo del Programa Basado en Agentes con ejemplos .....	42

# MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Diseño .....	43
Descripción y uso del programa .....	44
Ejemplos .....	30
Crucero Eje 10 y Eje Central Aztecas .....	50
Glorieta Dr. Vertiz y Avenida Universidad .....	55
Cruce Av. División del Norte y Guadalupe I Ramírez .....	58
Eje 1 Norte y Avenida de los Insurgentes .....	61
Eje Xola y Avenida Cuauhtémoc .....	64
Aportaciones a la Modelación del Tráfico .....	67
Conclusiones .....	68
Bibliografía .....	70

## Introducción

La congestión vehicular es uno de los principales problemas que aquejan a las grandes metrópolis, donde el tiempo de espera es muy prolongado para continuar con el trayecto. La interacción de múltiples vehículos circulando por las vías de transporte que es sobreutilizado, y cuyos problemas producen consecuencias que van desde pérdidas de horas productivas hasta accidentes por esta misma situación, y que no siempre puede ser explicado por la adición de sus componentes. En este trabajo intentamos mostrar al tráfico vehicular como un sistema complejo, representándolo con un Modelo Basado en Agentes y una red, y analizando con él diferentes condiciones de tráfico vehicular en cruceros de la Ciudad de México (Antún, 2013).

La congestión en calles y vías rápidas de las ciudades (Arrowsmith, 2005) ha hecho aumentar tanto el tiempo promedio de los recorridos, como las variaciones alrededor del promedio. También ha hecho dichos recorridos menos disfrutables y más peligrosos. Cada vez es más difícil encontrar espacio de estacionamiento y más caro de adquirir cuando se le encuentra. Y encima de todo, la contaminación ambiental que producen los autos rápidamente se está convirtiendo en una amenaza a la supervivencia en muchas ciudades. Aunado a esto, se le debe sumar el transporte público que se incrementa cada vez más, lo reducido de las vías y otros elementos más, hacen que el tráfico en las ciudades aumente y en consecuencia lo antes mencionado cobre importancia (Ackoff, 1994).

En los países subdesarrollados o en vías de desarrollo, los sistemas de transporte se basan principalmente en el uso de vehículos automotores. La alta demanda ha

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

originado que en ocasiones las vías por las que circulan sobrepasen la capacidad de las mismas (Appert-Rolland, 2009). Esta es una de las principales causas de que se provoque la contaminación ambiental, los congestionamientos y los accidentes, etc. Con esto el tráfico vehicular ha llegado a ser uno de los problemas sociales y económicos más importantes de la vida diaria. Aunque la construcción de nuevas vías de transporte o la modificación de las existentes pueden ser un método simple y efectivo para disminuir las consecuencias inducidas por la alta demanda vehicular. Debido a diversas restricciones espaciales, sociales y económicas, no es fácil de implementar en la actualidad (Backhoff, 2005). La alternativa es buscar nuevas soluciones orientadas a un uso más eficiente de las estructuras existentes, que permitan mejorar el desempeño de las mismas. Sin embargo, probar los impactos de estas nuevas soluciones en el mundo real antes de su implementación final puede ser muy costoso o no factible. Esto ha motivado el desarrollo continuo de modelos de tráfico vehicular orientados al análisis y entendimiento de su comportamiento, así como a la valoración de alternativas para mejorar su desempeño (Acuña, 2005).

La Ciudad de México ha crecido de manera considerable, de los años 50-s a la fecha. El aumento tanto de vehículos como de calles, ha permitido que el espacio de la misma se vea altamente invadido por este fenómeno. Esto ocasiona tiempos de espera muy largos, además de que no existan de primera mano lugares donde estacionarse, donde realizar las diferentes actividades (sean de trabajo, entretenimiento, entre otras). La congestión vehicular se ha vuelto un fenómeno cada vez más estudiado por todas las implicaciones de tiempo y espacio y sobre todo por los retrasos que ocasiona el hecho de tener que enfrentarla cada día (Álvarez, 2011).

Consideramos en este trabajo, que la congestión vehicular en "horas pico" es un fenómeno indicador de la sobre-utilización de vías de transporte, que evidencia tanto decisiones económicas como de planeación urbana incorrectas. Es por ello que en la presente investigación analizaremos la congestión como el fenómeno determinado por múltiples componentes (vehículos, representados por agentes computacionales) interactuando en medios limitados espacialmente, como lo son las vialidades existentes (Alcántara, 2010).

Para lograr esto utilizaremos la modelación basada en agentes (MBA), a través de un programa que está disponible en la red llamado NetLogo. Este es un entorno de programación que permite la simulación de fenómenos naturales y sociales. Fue creado por Uri Wilensky en 1999 y está en continuo desarrollo por el Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling (Allsop, 1985).

# MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Bajo este contexto y como ya se mencionó antes, utilizando herramientas de los sistemas complejos se abordará el estudio de esta problemática. En el Capítulo 1 tomaremos en cuenta el hecho de que en la Ciudad de México hay diferentes tipos de vías que surgieron a lo largo de la historia. Mencionaremos que los pueblos originarios que están actualmente, han estado por muchos años en el pasado, se han tenido que adaptar a los cambios gestados en el desarrollo de la Ciudad. Un segundo elemento son los asentamientos irregulares, que han ocupado una parte importante de la Ciudad, mostraremos que es importante la adecuación de las vías y su incorporación a la normatividad existente. Estableceremos que en este trabajo estudiaremos el tráfico, de las vías existentes, daremos los argumentos por los cuales utilizamos el modelo de simulación microscópico, este nos permite ver de manera local el tráfico y las consecuencias en las vías que la rodean. También revisaremos la normatividad existente para la adecuación de las mismas, las señales y sobre todo las dimensiones que deben tener para que los vehículos circulen de manera adecuada por la ciudad.

En el Capítulo 2 daremos el sustento teórico de la Modelación Basada en Agentes, del por qué utilizamos este tipo de herramienta, complementada con teoría de redes, (Barthélemy, 2011) ya que a través de las redes "conectamos" las vías de circulación. Estos elementos se utilizan en el software que desarrollamos en Netlogo. Además lo contrastamos con otros programas que existen en el mercado. Cerramos el capítulo dando otros elementos importantes tales como el comportamiento de los vehículos en los diferentes escenarios estudiados: cruceros, gloriets, etc. (Barceló, 2010)

En el Capítulo 3 daremos una explicación amplia de los elementos que contiene el programa, así como las funciones que realiza, propondremos diferentes ejemplos de las vías, utilizadas como caso de estudio, así como una descripción y el análisis del fenómeno en algunas zonas conflictivas.

Finalmente daremos las conclusiones a las que llegamos con este proyecto.

## **Objetivos Particulares.**

- Desarrollar un programa para modelar problemas de tráfico en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.
- Establecer las bases teóricas para el desarrollo de la metodología.
- Utilizar la herramienta computacional para el desarrollo de nuestro trabajo.

# MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

- Establecer una metodología para seleccionar los lugares a modelar.

## **Justificación.**

En el presente trabajo estudiaremos el problema de tráfico vehicular como un sistema complejo. En particular nos enfocamos en modelarlo utilizando multiagentes, el cual es uno de los métodos mas utilizados en esta área (Batty, 2005). Preferiremos este método y no otros, debido a que queremos observar comportamientos de los vehículos individuales y cómo estos afectan al comportamiento global en diversas zonas de la ciudad (Batty, 2003). Esto es imposible con otras metodologías que obtienen resultados promediales o globales directamente, como lo son los métodos de sistemas de ecuaciones diferenciales u otros métodos de teoría de sistemas.

## **Estado del Arte**

El crecimiento de la cantidad de vehículos en las grandes ciudades del mundo, genera un problema de congestión vial que afecta a los usuarios automovilistas (Betauncourt, 2011). Este problema ha tratado de ser solucionado con sistemas para adquirir, analizar y presentar información para apoyar en la toma de decisiones tendientes a mejorar la vialidad en el sentido del tiempo de circulación de alguna zona de la ciudad (Bird, 2004). Estos sistemas pueden ser utilizados tanto por automovilistas que atraviezan cierta zona conflictiva de la ciudad así como las diferentes vías, vecinos que desean mejorar el tráfico en su zona evitando las molestias que el ruido y el humo excesivo pueda ocasionar, transportistas que realizan maniobras para estacionarse o realizar alguna maniobra extra y estudiosos de los sistemas de tráfico multiagentes (Belitsky, 2001).

Con respecto a esto, podemos mencionar tres tipos de modelación, el macroscópico el mesoscópico (Ilagorre, 2000) y el microscópico. Los modelos macroscópicos se enfocan en captar características globales y métodos agregativos que involucran relaciones entre la velocidad de los vehículos, flujo y densidad de tráfico. Los modelos mesoscópicos utilizan métodos estadísticos para expresar la probabilidad de que alguno de ellos se encuentre en cierto momento en una posición determinada. Finalmente los modelos microscópicos tratan de modelar el tránsito describiendo el comportamiento individual de cada uno de los mismos. Este comportamiento se ve afectado con el comportamiento de los que se encuentran muy cerca de ellos mismos, lo que provoca que exista una interacción entre todos al mismo tiempo, formando parte del sistema (Tang, 2008).

# MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Dentro de los modelos microscópicos, se destacan los modelos *car-following* (Papageorgiou, 1983) y los basados en agentes, en los cuales nos apoyaremos para desarrollar el presente estudio (Cardoso).

Este trabajo se basa en el paradigma de la Modelación Basada en Agentes, que como ya se mencionó es una herramienta que han adoptado los estudiosos de los Sistemas Complejos (García-Valdecasas, 2011). Esto de manera práctica significa la implementación de un programa de cómputo diseñado para modelar el comportamiento de vehículos alrededor de cruceros, glorietas, contraflujos, de una ciudad, mediante el cual se pueda observar la formación de congestionamiento vehicular en dichos lugares. Por ello ponemos aquí una breve reseña del estado del arte de modeladores de este tipo en existencia en el mercado (Herty, 2008).

1.- *TransCAD* es un sistema de información geográfica (SIG) diseñado especialmente para profesionales de transporte con el objeto de almacenar, mostrar, y analizar datos de transporte<sup>1</sup>.

2.- *TransModeler* puede simular toda clase de redes viales, desde autopistas hasta calles de los centros de las ciudades, y puede analizar redes multimodales de áreas extensas con gran detalle y fidelidad<sup>2</sup>.

3.- *Aimsun*, simulación microscópica, mesoscópica y macroscópica en una misma aplicación de software; una única representación de la red; una única base de datos de los objetos simulados y los datos de soporte; y un archivo con el modelo<sup>3</sup>.

4.- *Arena*, Software de simulación. Las empresas puedan modelar y evaluar prácticamente todos los aspectos de su red logística<sup>4</sup>.

5.- *ArcG/S*, Combina los datos con mapas acreditados del sistema ESRI (Environmental Systems Research Institute) es una empresa fundada por Jack Dangermond en 1969 que en sus inicios se dedicaba a trabajos de consultoría del territorio. Actualmente desarrolla y comercializa software para Sistemas de Información Geográfica (GIS) y es una de las compañías líderes en el sector a nivel mundial. Tiene su sede en California, EE. UU. La popularidad de sus productos ha supuesto la generalización de sus formatos de almacenamiento de datos espaciales en el campo de los Sistemas de Información Geográfica

<sup>1</sup> Consultado el 15 de octubre de 2014: <http://www.caliper.com/TransCAD/introduccion.htm>

<sup>2</sup> Consultado el 15 de octubre de 2014: <http://www.caliper.com/transmodeler/descripcion.htm>

<sup>3</sup> Consultado el 15 de octubre de 2014: [http://www.aimsun.com/wp/7page\\_id=2048&1ang=es](http://www.aimsun.com/wp/7page_id=2048&1ang=es)

<sup>4</sup> Consultado el 15 de octubre de 2014: <https://www.arenasimulation.com/industry-solutions/logistics-simulation-software>

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

vectoriales, entre los que destaca el *shapefile*. Su producto más conocido es ArcGIS<sup>5</sup>. Con este programa se pueden visualizar múltiples elementos de mapas generados por organismos gubernamentales o privados y realizar diversas operaciones estadísticas con ellos.

6.- *PTV Traffic planning*. Este software cubre toda la gama de la planificación del tráfico - desde la planificación estratégica y la modelación del tráfico al transporte público, el vehículo y la simulación peatonal<sup>6</sup>.

Algunas Instituciones Educativas desarrollan Software para la modelación de tráfico los cuales son:

7.- *CA TT Lab*. De la universidad de Maryland. Analizando los datos de seguridad para determinar la causa de los accidentes e identificar lugares de alto índice de accidentes, ayuda a mejorar la seguridad vial y reducir la gravedad de los mismos<sup>7</sup>.

8.- *TRL Software Arcady*. Analiza datos grandes, los vehículos autónomos y energía eléctrica para los sistemas de transporte masivo, trenes ligeros, y la integración del transporte multimodal<sup>8</sup>.

9.- *VEINS Vehicules in network simulation*. Realiza simulaciones de redes de tráfico vehicular en las ciudades, tomando en cuenta la composición real de la zona a modelar<sup>9</sup>.

Todos estos los compararemos con el software propuesto que además de ser libre, tiene muchas aplicaciones para otras áreas del conocimiento y es muy práctico de programar.

---

<sup>5</sup> Consultado el 15 de octubre de 2014: <https://www.arcgis.com/features/features.html>.

<sup>6</sup> Consultado el 15 de octubre de 2014: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-uk/use-cases/>

<sup>7</sup> Consultado el 15 de octubre de 2014: <http://www.cattlab.umd.edu/?portfolio=explore-and-visualize-crashes>

<sup>8</sup> Consultado el 15 de octubre de 2014: <http://www.trl.eo.uk/solutions/transport-futures/smart-cities/>

<sup>9</sup> Consultado el 24 de agosto de 2015: <http://veins.car2x.org/>

## Capítulo 1. Fundamentos teóricos de tráfico Vehicular

En este apartado, consideraremos de manera general el desarrollo así como las características de las vialidades con las que cuenta la ciudad y veremos la manera en la cual las instituciones de gobierno y otras consideran a las mismas.

Se entiende por *camino*, aquella franja de terreno acondicionada para el tránsito de vehículos. La denominación de camino incluye a nivel rural las llamadas carreteras, y a nivel urbano las calles de la ciudad. Ciertamente uno de los patrimonios más valiosos con los que cuenta cualquier país, es la infraestructura de su red vial, por lo que su magnitud y calidad representan uno de los indicadores del grado de desarrollo del mismo. Se encontrará siempre que un país de un alto nivel de vida tendrá un excelente sistema vial, un país atrasado tendrá una red deficiente (Lezama, 2006).

*"El diseño geométrico de las carreteras y calles, incluye todos aquellos elementos relacionados con el alineamiento horizontal, el alineamiento vertical y los diversos componentes de la sección transversal"* (Cal y Mayor, 2004; 98), de ahí que sea importante conocer cada una de las vialidades en las cuales vamos a estar desarrollando nuestro trabajo.

### Generalidades

El Distrito Federal tiene una extensión territorial de 1,495 Km<sup>2</sup>, por ello es la entidad federativa más pequeña a nivel nacional, *"La superficie de Distrito Federal, forma parte de la provincia: Eje Neovolcánico. El relieve lo definen principalmente una sierra y un valle, la primera se localiza al oeste, extendiéndose del noroeste al sureste y la conforman rocas de origen ígneo extrusivo o volcánico (se forman cuando el magma o roca derretida sale de las profundidades hacia la superficie de la Tierra) producto de la formación de volcanes como: Tláloc, Cuautzin, Pelado, Teuhtli, Chichinautzin y el de mayor altitud cerro la Cruz de Márquez o Ajusco con 3,930 metros sobre el nivel del mar. En el centro-oeste, hay un lamería que separa al valle que se extiende desde el centro hasta el este, en este punto se localiza la altura mínima con 2,300 metros. La planicie del valle es interrumpida por el cerro de Chapultepec, cerro de la Estrella, volcán Guadalupe y Cerro del Chiquihuite. En*

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

*fas cercanías de la localidad San Andrés Mixquic, hay un lamería que se extiende de noroest a sureste<sup>m</sup> <sup>o</sup>.*

Con estas características la Ciudad de México tiene grandes cantidades de desplazamientos generados en ella misma, se debe, fundamentalmente, a la enorme concentración de población en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, "29 millones de habitantes" (inegi, 2011 b), 'con una flota vehicular en el 2008 de 4.5 millones de vehículos" (sma-df, 201 0b), con un índice de motorización de 157 vehículos por cada mil habitantes, la Zona Metropolitana del Valle de México se caracteriza por su desaceleración industrial y la consolidación de un sector para la prestación de servicios regionales y nacionales, es el centro financiero del país y sede de las principales empresas nacionales y extranjeras que operan en México.

*"Esta concentración de habitantes, de automóviles, de vialidades, etc., al mismo tiempo, causa y efecto de la oferta y demanda de bienes, servicios y empleos. Baste señalar que la tercera parte del producto interno bruto del país está concentrado en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México" (Islas, 2000).*

Históricamente las ciudades aglomeran una población que busca bienes y servicios accesibles de manera cada vez mas fácil, por lo que una ciudad es mas útil para sus habitantes en la medida de que se dé esta facilidad de acceder a estos bienes y servicios. Las vías de transporte facilitan esto, por lo que su trazado cobra mucha relevancia (Delgado, 2003).

En la Grecia antigua, a *Hipodamo de Mi/eta* se le reconoció como uno de los primeros urbanistas y planeadores de ciudades en documentar su trabajo, considerándosele como el padre del esquema en forma de "rejilla" cuadriculada en las vialidades para ciudades<sup>11</sup>. Por siglos este esquema se ha utilizado con muy pocas variaciones, hasta llegar a nuestros días. Fue preferido por su simplicidad y porque comunicaba de manera fácil muchos puntos de una ciudad. Desafortunadamente este esquema de trazado de calles no es el ideal cuando se tiene una cantidad grande de vehículos, ya que favorece los problemas de congestión.

Pero ciudades como la de México, en su trazado de vías de transporte, incorporan no solo retículas hipodámicas, donde fue posible su trazado por los conquistadores y planeadores urbanos que les siguieron, también tienen el

<sup>9</sup> Consultado el 10 de diciembre de 2014;

<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/relieve.aspx?tema=me>

<sup>11</sup> Consultado el 13 de septiembre de 2015; [https://es.wikipedia.org/wiki/Plan\\_hipodámico](https://es.wikipedia.org/wiki/Plan_hipodámico)

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

problema de la incorporación de pueblos originarios, contando estos con sus propios trazados y que no necesariamente coincidían con los de la zona central que los incorporaría. Tienen también el problema de los "accidentes geográficos", como cauce de ríos, colinas y laderas, zonas lacustres, etc., que hacen que el trazado, en ocasiones hipodámico, se modifique para ajustarse alrededor de estos accidentes (Garza, 2010). Todavía peor, trazados como el de la Ciudad de México también incluyen zonas incorporadas a la ciudad sin ningún tipo de planeación, sino solamente solucionando la necesidad inmediata y caprichos de sus habitantes (o dirigentes) de aquel entonces. Todo esto da como resultado, sólo considerando el trazado de las vialidades, una multitud de problemas del tipo "cuellos de botella" para la circulación actual (Bull, 2003).

Las "grandes decisiones" como el trazado de "ejes viales", circuitos periféricos, etc., aliviaron parcialmente estos problemas, aunque debido a que el problema principal no es el mal trazo de una ciudad sino su sobrepoblación y la mala distribución de esta, nos atrevemos a pensar que ninguna solución vial, por muy grande que fuera, puede aliviar todos los tipos de problemas de tráfico (Graizbord, 2008).

El conocimiento de las redes complejas, sin embargo, nos dá cierta esperanza en cuanto a posibles mejoras para estos problemas. ¿Por qué si naturalmente una ciudad tiende a crecer por zonas que se van añadiendo como "ramificaciones", los urbanistas insisten en realizar trazos con geometrías clásicas como la hipodámica? (Julia, 2006).

Esto incluso puede ser tema para otro trabajo de tesis, pero aquí buscaremos analizar las cosas no a nivel global como bosquejamos, sino más a nivel microscópico, a lo que cada quien puede ver a su alrededor. Y por supuesto, el trazado de las vialidades no es el único problema en el tráfico vehicular.

Hemos considerado algunos de los elementos que componen las vías, su desarrollo histórico y su adecuación a los espacios de circulación en la época actual, la problemática que enfrentan es sin lugar a dudas una cuestión espacial y de dimensiones, las cuales debieron ser adaptadas para el uso de los vehículos automotores, esto nos lleva a considerar la manera en la cual enfrentar esta problemática (Correa, 2010). Abordarlo es todo un reto ya que las condiciones tanto geográficas como sociales tienen mucha importancia, para ello echamos mano a uno de los modelos que nos pueden aportar mucho conocimiento del comportamiento de los vehículos en las mencionadas vías (Der-Horng, 2004). Estos son:

# MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

## Modelos de simulación de tráfico microscópicos

*"Modelos de microsimulación: Este modelo permite observar el movimiento de cada vehículo. Los vehículos pueden ser rastreados a través de la red y sus trayectorias tiempo-espaciales, pueden ser trazadas. El comportamiento incluye la aceleración, desaceleración, cambios de carril, maniobras de rebase, movimientos de vuelta y la aceptación de espaciamiento individual de un elemento y cómo este comportamiento afecta todo el sistema debido a las interacciones con el sistema en su totalidad. Son de gran utilidad por lo complejo de los sistemas urbanos"* (Vergara-Zuker. Et al.; 2013).

La simulación Microscópica es usada para estudiar la relación entre el comportamiento de los individuos y un fenómeno global. Este modelo aplica para diferentes objetos individuales (vehículos, animales, humanos), que determinan el comportamiento de ciertos fenómenos globales, como por ejemplo el comportamiento del tráfico vehicular (Gwilliam, 2002).

Los modelos de tráfico han sido construidos usando analogías con flujo de fluidos. Esto asume que cada camino en una red puede ser representado por un enlace que tiene una cierta capacidad de circulación. Este modelo es útil para los sistemas donde el flujo es libre, pero no son muy eficientes cuando el flujo tiene interrupciones tal como es el caso del problema del tráfico, y algo más importante es que no nos permite el nivel de detalle de los modelos de microsimulación (Puebla, 1998).

Los modelos tradicionales, también asumen que la demanda de tráfico entre un origen y un destino mantiene un valor constante, lo cual no se cumple en la mayoría de los casos, la demanda de la red es dinámica y no existe un estado de equilibrio (Shin, 2007).

La simulación microscópica de tráfico resuelve estos problemas dado que el movimiento de cada vehículo a través de la red es simulado de manera independiente. Donde cada vehículo (agente) es modelado de acuerdo a sus características y tiene un comportamiento individual indeterminado tal como ocurre en el mundo real (Sun, 1995).

*"El modelo microscópico de simulación de tráfico permite a los ingenieros del tráfico obtener una visión continua del estado del tráfico bajo ciertas condiciones determinadas. Como podemos observar la simulación microscópica de tráfico es usada para la evaluación en paralelo de la operación de una calle cubriendo objetivos como el estudio del control dinámico del tráfico, la administración de*

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

*incidentes, la construcción de estrategias de mejor ruta en tiempo real, y el control dinámico de las señales en las intersecciones"* (Rodríguez-Ardila: 2002).

### **Fundamentos de Vías**

Los caminos cumplen la función de ser vías de comunicación por las que se transportan personas y bienes entre dos puntos geográficos. Es conocido el hecho de que la eficiencia en los caminos, es un factor de suma importancia para la prosperidad de una región en el sentido de estar comunicado con el entorno, y un poco más allá de sus límites geográficos (Durán, 2013).

En las últimas décadas se ha comprobado a nivel mundial, una tendencia migratoria de grandes masas de población hacia los centros urbanos, esta migración ha producido un rápido crecimiento de las ciudades y conjuntamente con este comportamiento, el número de vehículos ha crecido en una progresión geométrica, lo que ocasiona como en su momento mencionaremos, la saturación de las vías (Bonsall, 1992).

En estas circunstancias, muchas áreas de las ciudades sufren concentración y cambios en el uso de suelo y la demanda de tránsito ha crecido sin que exista la posibilidad de que aumente proporcionalmente la infraestructura vial, debido a las altas inversiones requeridas y a la limitación de los espacios (Elefteriadou, 2014).

El sistema vial es el principal soporte de los flujos generados por las actividades urbanas y es también el principal estructurador de las ciudades, determinando la localización de las actividades y sus limitaciones de expansión (Figueroa, 2005).

*"Un sistema vial urbano desempeña dos funciones principales":*

- *Da acceso a las propiedades colindantes.*
- *Permite la circulación, creando los intercambios entre las diversas funciones que se desarrollan en una ciudad y facilita la movilización de sus habitantes.*

*La mayoría de los problemas relacionados con el incremento de los accidentes y el deterioro ambiental, provienen de conflictos entre las funciones de acceso y circulación.*

*Para una mejor atención a las necesidades de desplazamiento de la población, es recomendable que la red vial sea estructurada en sistemas, donde las funciones de acceso y circulación asuman proporciones variables.*

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Como un principio básico en la planeación del desarrollo de las ciudades, la noción de *jerarquización vial* debe utilizarse, con el objeto de dar organización a la estructura vial.

Los principales aspectos funcionales que definen la clasificación de una vía urbana son:

- El tipo de tránsito que permite.
- El uso de suelo colindante (acceso a los lotes urbanizados y desarrollo de establecimientos comerciales).
- El esparcimiento (considerando a la red vial en su conjunto).

De acuerdo a las diversas etapas de un proceso de clasificación, los criterios a ser establecidos se relacionan con:

- Funcionamiento de la red vial;
- Nivel de servicio y operación vial;
- Características físicas.

El subsistema vial primario debe constituir una estructura celular, que aloje en su interior y conecte entre sí al conjunto de núcleos que forman la ciudad. Las vías que componen esta red están destinadas a desplazamientos de más longitud y de mayor volumen de tránsito, de la manera más expedita que sea posible; uniendo los distintos sectores de la ciudad y asegurando la conexión entre la ciudad y la red nacional de carreteras. Tienen como fin secundario el acceso a las propiedades colindantes.

El subsistema secundario tiene como función principal, el distribuir el tránsito de las propiedades colindantes al subsistema primario o viceversa. Los desplazamientos son cortos y los volúmenes del tránsito vehicular son de menor importancia.

Conforme a lo anterior, las Vías Urbanas se clasifican en:

- Subsistema vial primario
- Vías de acceso controlado
- Arterias
- Subsistema secundario
- Calles colectoras
- Calles locales" (SEDESOL; 2009).

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

El reglamento de tránsito de DF en su artículo 2º frac. XIII, menciona: "*Vía Pública, todo espacio terrestre de uso común delimitado por los perímetros de las propiedades y que esté destinado al tránsito de peatones y vehículos, así como a la prestación de servicios públicos y colocación de mobiliario urbano*"

*"Esta clasificación está vinculada a su funcionalidad y al papel que se espera desempeñe en la red vial urbana, implica de por sí el establecimiento de parámetros relevantes para el diseño como son:*

- *Velocidad de diseño;*
- *Características básicas del flujo que transitará por ellas;*
- *Control de accesos y relaciones con otras vías;*
- *Número de carriles;*
- *Servicio a la propiedad adyacente;*
- *Compatibilidad con el transporte público; y,*
- *Facilidades para el estacionamiento, la carga y descarga de mercaderías.*

*El crecimiento de los centros urbanos se ve facilitada por su accesibilidad, que a su vez va a crear una gran demanda en términos de medios de transporte. Este simple hecho significa que los enfoques de modelado deben considerar el acoplamiento entre diversos factores socio-económicos, un esfuerzo que ya se ha llevado a cabo por los geógrafos, economistas e investigadores de transporte, pero en el que las redes complejas siguen desempeñando un papel menor.*

*Cabe destacar que este tipo de estudios nos permiten ganar un poco de comprensión de las características globales del tráfico sin necesidad de un conocimiento preciso de la estructura de red. Por otra parte, un modelo teórico de tráfico en redes a gran escala no puede descuidar la topología global del sistema. En esta zona la mayor parte de la actividad de modelado tiene que ver con la auto-similitud del tráfico y la aparición de la congestión en las redes tecnológicas como Intemef" (Barrat et al. 2008: 246).*

Bajo estos criterios y en el contexto que ya hemos mencionado con respecto a la historia del lugar y la forma en como se fue construyendo la vialidad, pasaremos a conocer la manera en la cual está regulada la circulación de la misma.

### **Normatividad**

*"Los elementos con que se cuenta para una vía, están dados por las Señales Preventivas, las cuales tienen como función dar al usuario un aviso anticipado para prevenirlo de la existencia, sobre o a un lado de la carretera o calle, de un peligro potencial y su naturaleza. Así se cumple con la Regla de Oro del Tránsito*

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

*que dice: que no deben existir cambios bruscos. La señal por si misma debe provocar que el conductor adopte medidas de precaución, y llamar su atención hacia una reducción de velocidad o a efectuar una maniobra con el interés de su propia seguridad o la de otro vehículo o peatón" (Cal y Mayor, 2004; 118).*

*"Las señales son placas, fijadas en los postes o estructuras, con símbolos, leyendas o ambas cosas, que tienen por objeto prevenir a los usuarios sobre la existencia de peligros y su naturaleza, determinadas restricciones o prohibiciones que limiten sus movimientos sobre la calle o camino, así como proporcionarles la información necesaria para facilitar sus desplazamientos.*

*Las señales, en general, serán aplicables a toda la anchura de la calzada. No obstante, su aplicación podrá limitarse a uno o dos carriles, determinados con precisión mediante marcas longitudinales en el pavimento.*

*Las señales se usarán, únicamente, en donde estén apoyadas por hechos y estudios de campo, y son esenciales en donde se apliquen restricciones especiales, para lugares específicos, para lapsos de tiempo determinados donde los peligros no sean evidentes por sí solos. También proporcionan información como los números de las rutas en los caminos, direcciones de tránsito, destinos y puntos de interés.*

*En cuanto a su función las señales se clasifican en:*

- a) Preventivas*
- b) Restrictivas*
- c) Informativas" (SUBSECRETARIA, D. D. U. Y. O., & TERRITORIO, D. 2001)*

Este apartado sólo se menciona ya que las señales por si solas en determinado mometo son "*barreras u obstáculos*" esto es, que reducen la velocidad de los autos, deteniendo el flujo vehicular. Por eso me parece importante tomarlo en cuenta, aunque en nuestro modelo no se enfatiza su uso, si me parece importante hacer mención de ello en este momento (Gold, 1998).

## Capítulo 2. Modelo basado en agentes

Los modelos basados en agentes representan un campo de investigación relativamente reciente, que se encarga del estudio de sistemas complejos desde la perspectiva de la interacción entre las entidades (agentes) que los conforman así como de la interacción que éstas tienen con su entorno. Dentro de esta tesis se hace uso de este enfoque con el fin de facilitar el aprendizaje de estrategias de los agentes interactuando con el medio.

### Concepto y características de los modelos

Un *modelo* es una representación de la realidad en la cual se observan cada uno de los elementos que la componen, y seleccionando los elementos que nos interesan de la misma, en el caso que nos ocupa, tomamos los comportamientos de los vehículos (Echenique, 1970). No vamos a medir la cantidad de CO<sub>2</sub> que originan los autos, ni la cantidad de personas que circulan por el lugar, y en los comportamientos vamos a tomar lo que ocurre cuando un auto circula y se encuentra con barreras u obstáculos, estos detalles los mostramos más adelante. (Munizaga, 2000).

En el modelo vamos a considerar cuatro condiciones principales: 1) Seleccionar las características o elementos relevantes de una realidad, esto es el comportamiento de los vehículos al circular en las vías de tránsito; 2) Los medios que son elegidos para representarla, en este caso utilizaremos la MBA y las redes; 3) Para qué sirven los modelos, en donde representaremos algunos de los elementos viales relevantes para la Ciudad, y 4) De qué están hechos los modelos, donde mostraremos una propuesta de modelo de tráfico vehicular utilizando los elementos antes mencionados, es decir, MBA y redes (Pavón, 2012).

### Funciones de los modelos

Con respecto a para qué sirven -a su función metodológica y lo que nos pueden aportar-, los modelos se pueden ordenar según sus objetivos hacia el

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

*conocimiento* (teoría física, modelos económicos y sociales), o hacia la *operación* (planificación, diseño, construcción). Se distinguen, con respecto a su función metodológica, cuatro tipos, que también se orientan crecientemente, desde aspectos descriptivos, a la determinación de medios y objetivos de acción los cuales se establecen de acuerdo con lo que queremos observar de la realidad.

- *Los modelos descriptivos*, que se orientan a la observación y comprensión de la realidad, sea como proceso o como fenómeno, a su explicación de causa y efecto.
- *Los modelos predictivos*, cuya intención principal es predecir el futuro. Estos modelos intentan representar las formas en que la realidad está cambiando.
- *Los modelos explorativos*, en que se extrapolan y varían los parámetros básicos de la realidad observada, para formular o descubrir otras realidades.
- *Los modelos de planificación*, en que, con objetivos operacionales, se determinan criterios de optimización sobre los medios para lograr los objetivos o programas preestablecidos sobre una determinada realidad.

Otra característica de los modelos se refiere al modo como están hechos. Su grado relativo de abstracción, los medios de representación que se eligen y su formulación material o conceptual.

Se presentan dos tipos fundamentales: los *modelos físicos* y los *modelos* o *teorías conceptuales*. En los primeros, las características de la realidad están representadas por características *materiales* similares; se distinguen entre ellos, los *modelos físicos icónicos* y *análogos*.

- *En los modelos físicos icónicos*, las propiedades son representadas con un cambio de escala y en algunas de sus propiedades (maquetas, fotografías, isométricas, imágenes). Tipos y Arquetipos son modelos icónicos.
- *En los modelos físicos análogos*, las propiedades del mundo real son representadas con mayor abstracción y de acuerdo a las reglas de transformación (mapas, planos, gráficos, esquemas).
- *En los modelos conceptuales*, estas características relevantes están representadas por conceptos, y se distinguen modelos verbales y matemáticos. Los modelos conceptuales se representan por medio del lenguaje o símbolos.
- *El modelo conceptual verbal*, utiliza palabras escritas u orales, dentro de una sintaxis lógica. Los *modelos conceptuales matemáticos*, en cambio,

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

utilizan símbolos y establecen relaciones expresadas en términos de operaciones. Los modelos matemáticos presentan un importante desarrollo en ciencia urbana, sean como técnicas estadísticas, como sistema de ecuaciones, como modelos de simulación, con variables libres y algoritmos, ambos utilizando computación. Para efectos de este proyecto este es el tipo de modelo que utilizaremos en el desarrollo de este planteamiento.

En los diferentes modelos urbanos que se expondrán, encontraremos representadas estas categorías. Los modelos, en sus diferentes acepciones, se refieren a tráfico vehicular. Todos, abordan fenómenos que son parte del proceso urbano.

### **Modelación de Sistemas Basados en Agentes**

Para poder establecer lo que es un modelo basado en agentes, debemos primero definir que es un agente, ya que este término lo estaremos utilizando frecuentemente:

Agente: es una entidad computacional con un conjunto de características y atributos. Es autónoma, con un conjunto de reglas que gobiernan su comportamiento y su capacidad de tomar decisiones y con protocolos de comunicación. Responden a su entorno e interactúan con otros agentes. Son diversos y heterogéneos. Además los agentes aprenden y podemos modificar su comportamiento y ver lo que realizan con el paso del tiempo.

Propiedades de un agente:

- *Autonomía:* Un agente es autónomo y auto dirigido. Un agente puede funcionar de manera independiente en su entorno y en sus interacciones con otros agentes, generalmente en una gama limitada de situaciones a las que los enfrentamos, que son de interés y que surgen en el modelo, además de que tienen la capacidad de respuesta basado en sus percepciones y conocimientos que le permiten alcanzar el objetivo que tenga planteado.
- *Modularidad:* Los agentes son modulares. Los requerimientos de modularidad implican que un agente tiene un límite que se establece en el momento en el cual se programan sus funciones, y uno puede determinar fácilmente si algo (es decir, un elemento del estado del modelo) es parte o no de un agente, o es una característica compartida entre los agentes.
- *Sociabilidad:* Un agente es social e interactúa con otros agentes, esto implica cooperación o egoísmo. Incluyen protocolos comunes de interacción

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

entre agentes, peleas por el espacio y para evitar colisiones, reconocimiento de agentes, comunicación e información de cambio, influencia, y otros tipos de dominio o mecanismos específicos de la aplicación.

- *Condicionalidad*: Un agente tiene un estado que varía con el tiempo. Así como un sistema tiene un estado que consiste en la colección de variables de sus estados, un agente también tiene un estado que representa su condición, las variables esenciales asociadas a su situación actual. El estado de un agente consiste en un conjunto o subconjunto de sus atributos.
- *Proactividad*: El hecho de que un agente tome la iniciativa para alcanzar su objetivo.
- *Personalidad*: Forma el "carácter" del agente, y constituye las reglas que seguirá el agente en cuanto a su sociabilidad.

Estas características, que no siempre son todas imprescindibles, hacen de los agentes una herramienta ideal para utilizar en el ámbito de la simulación de tráfico que es el caso que nos ocupa.

### **Técnicas de simplificación de modelos**

Cuando se analiza y se hace una síntesis sobre un sistema se plantea una simplificación que permite abstraer el sistema y representarlo con un modelo donde aparezcan sus principales características o elementos que tomaremos en cuenta de nuestra realidad y su comportamiento en relación a un objetivo en estudio.

Una vez contruidos los modelos de las partes entonces se trata de combinarlos, esto es las interacciones de cada uno con el medio así como sus comportamientos, lo que implica sintetizar a partir de partes relativamente simples un modelo aproximado de una situación más compleja. Antes de combinar (sintetizar) es necesario validar y verificar las relaciones. Para poder plantear nuestro modelo consideraremos lo siguiente:

El procedimiento general para modelar es:

1. Establecer claramente los objetivos de la problemática observada.
2. Dividir el problema total en problemas más simples, esto nos permite establecer correctamente lo que vamos a observar de todo el sistema.
3. Buscar analogías, nos permite "comparar" con otros modelos ya existentes.

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

4. Realizar tomas "fotográficas" o realizar diagramas para fortalecer nuestro **sistema a observar**.
5. Escribir todos los datos o la información con la que contemos de la zona o zonas a modelar que se requieran para establecer una aproximación más certera de nuestra problemática.
6. Si el modelo es manejable o simple, entonces enriquecerlo, de acuerdo con los datos con los que contamos o buscar si es que nos hace falta; si no lo es, se debe simplificar, esto puede ser;
  - Convertir en constantes algunas variables.
  - Eliminar o combinar variables.
  - Suponer linealidad o promedios.
  - Agregar suposiciones y restricciones más "fuertes".
  - Reducir los límites del sistema.

Un modelo debe ser fácil de entender por el usuario o usuarios a los cuales les puede interesar la herramienta de modelación.

### **Estructura de un modelo basado en agentes:**

1. Agentes, con sus propiedades y comportamientos.
2. Relaciones entre agentes y los métodos de interacción. Una topología subyacente de conexión que define cómo y con cuáles agentes interactuar esto nos determinará la forma en la cual interactúan los mismos.
3. Medio ambiente de los agentes. Los agentes viven e interactúan con su entorno, además de otros agentes. Los agentes ...
  - Están dirigidos a objetivos claros establecidos de acuerdo a lo que queremos observar.
  - No deben dar respuestas absurdas, la información que se obtenga nos debe aportar datos que podamos interpretar.
  - Se comunican fácilmente.
  - Deben describir todo lo importante y, si fuera posible, un poco más.
  - Adaptable y, por consiguiente, fácil de modificar.
  - Evolutivo, implica sencillo al principio y cada vez más complejo (a medida que el usuario aprende a manejarlo) ya que le podemos agregar más elementos.

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Aunque hay pocas reglas firmes sobre como uno debe avanzar en el proceso de modelado, un punto en el que la mayoría de los autores coinciden, es que siempre es una buena idea comenzar con un modelo que es sólo moderadamente detallado, el cual más tarde puede hacerse más sofisticado si es necesario.

Un modelo debe contener solo suficiente detalle en principio para capturar la esencia del sistema para los propósitos mediante los cuales el modelo fue pensado; no es necesario tener una correspondencia uno a uno entre elementos del modelo y elementos del sistema.

### **Parámetros de estado y parámetros de control**

Parámetros de estado, son aquellas cuyos valores determinan el estado interno del sistema en un instante cualquiera y en las que va comprendida la historia del propio sistema. Las variables de estado se llaman también "stocks" o variables de nivel, porque reflejan la acumulación de una cierta magnitud a través de la historia del sistema y, además, si el sistema se "congelara" o dejara de funcionar, los parámetros de estado mantendrían su valor.

Por ello, los parámetros de estado constituyen la "memoria" del sistema y, cuando el sistema es expresable matemáticamente, el número de variables de estado determina el orden del sistema.

Parámetros de control, son aquellos susceptibles de ser manipulados directamente de manera intencional con el fin de llevar el sistema a un estado deseado.

### **Ventajas y desventajas de la simulación**

Algunas posibles ventajas de la simulación son:

- La mayoría de los sistemas complejos del mundo real con elementos estocásticos no pueden ser descritos precisamente por un modelo matemático que pueda ser evaluado analíticamente.
- La simulación le permite a uno estimar el desarrollo de un sistema existente bajo algún conjunto proyectado de condiciones operativas.
- Los diseños de sistemas propuestos alternativos (o políticas operativas alternativas para un sistema) pueden ser comparadas vía simulación para ver cuál satisface mejor un requerimiento específico.
- En una simulación podemos mantener mucho mejor control sobre las condiciones experimentales que lo que generalmente sería posible cuando experimentamos con el sistema en sí mismo. Es decir, podemos observar en el escritorio, lo que en campo nos puede tomar días.

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

- La simulación nos permite estudiar un sistema con un largo horizonte de tiempo (por ejemplo el modelo que nos ocupa) en un tiempo comprimido, o alternativamente estudiar los funcionamientos detallados de un sistema en un tiempo expandido.
- El ahorro horas-hombre es mucho mayor ya que solo requerimos observaciones en el sitio y datos para el desarrollo de nuestra simulación.

Algunas desventajas de la simulación son:

- Cada ejecución de un modelo de simulación estocástico produce sólo estimaciones de las características reales de un modelo para un conjunto particular de parámetros iniciales, de ahí la importancia de contar con datos reales de nuestro problema. Así, se requerirán varias corridas independientes del modelo para cada conjunto de parámetros de entrada a ser estudiado. Por esta razón, los modelos de simulación no son tan buenos en optimización como lo son en comparación de un número fijo de diseños de sistemas alternativos especificados. Por otro lado, si un modelo analítico es apropiado, puede fácilmente producir las características reales exactas del modelo para una variedad de conjuntos de parámetros de entrada. Así, si un modelo analítico válido está disponible o puede ser desarrollado en forma simple, este será preferible a un modelo de simulación.
- Los modelos de simulación son comúnmente costosos y consumidores de tiempo para desarrollar.
- El gran volumen de números producidos por un estudio de simulación o el impacto persuasivo de una animación realística, por lo general crean una tendencia a tenerle mayor confianza al resultado de un estudio. Si un modelo no es una representación válida de un sistema bajo estudio, los resultados de la simulación, sin importar lo impresionantes que parezcan, proveerán poca información útil sobre el sistema actual.
- En algunos estudios, tanto la simulación como los modelos analíticos podrían ser útiles. En particular, la simulación puede usarse para chequear la validez de suposiciones necesarias en un modelo analítico. Por otro lado, un modelo analítico puede sugerir alternativas razonables para investigar en un estudio de simulación.

### **Riesgos al momento de realizar una Simulación**

Asumiendo que se ha tomado una decisión prudente de utilizar la simulación, por facilidad de uso, existen varios riesgos a lo largo del camino hacia la terminación

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

exitosa de un estudio de simulación que deben ser tomados en cuenta. Estos riesgos son:

- Los objetivos no están bien definidos al comienzo del estudio de la simulación.
- Inapropiado nivel de detalle del modelo.
- Tratar un estudio de simulación como si éste fuera principalmente un ejercicio complicado de programación.
- Usar software de simulación comercial que puede contener errores o cuyas sentencias pueden no estar bien documentadas y pueden no implementar la lógica de modelado deseada.
- Fallar en no tener en cuenta correctamente los orígenes de la aleatoriedad en el sistema actual.
- Analizar los datos de salida de una corrida de simulación usando fórmulas estadísticas que suponen independencia.
- Realizar una repetición simple de un diseño de sistema particular y tratar las estadísticas de salida como las "respuestas reales".
- Comparar diseños de sistemas alternativos sobre la base de una repetición para cada diseño.

### Fundamento de Redes

*"La correcta planeación de una red de transporte influye en tres aspectos principales del sistema:*

- *En el desempeño*
- *En la atracción de usuarios*
- *En la operación*

*Esto obliga a cumplir con tres metas principales al diseñar nuestra red, siendo éstas:*

- *Transportar al máximo número de pasajeros*
- *Lograr la máxima eficiencia operativa y con ello buscar los costos mínimos para un determinado nivel de desempeño*
- *Tener presente los impactos que se inducen en los patrones de uso de suelo así como en las metas sociales que la comunidad busca cumplir (Ferragut, 2012).*

# MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

## **Estructura física de la red**

*Un sistema de transporte se encuentra integrado por una variedad de líneas y rutas que en su conjunto conforman a la red de transporte de una ciudad. Es por ello que primeramente se tratará la estructura física de las rutas y posteriormente la conjunción de rutas en la red (Abed, 2005).*

## **Estructura física de las rutas**

*Se pueden distinguir 5 tipos fundamentales de rutas:*

*Radiales. Es el tipo común y un gran número de ciudades se han desarrollado en función de este tipo de rutas. Predominan en ciudades pequeñas y medias al estar la mayor parte de sus viajes canalizados a un centro de actividades o centro histórico. En ciudades mayores a 300,000 habitantes este tipo de rutas empieza a ser insuficiente ya que concentra los movimientos y no considera las necesidades que se presentan entre otras áreas urbanas. Esto induce a que la distribución del servicio se encuentre limitada a ciertas áreas de la ciudad y concentre /as terminales en las zonas de mayor densidad.*

*Diametrales. Por lo general, al desarrollarse la red de transporte y crecer la ciudad, un primer ajuste que se realiza es la conexión de dos rutas radiales, mismas que conforman una nueva ruta que pasa por el centro y conecta dos extremos de la ciudad.*

*Con esta conexión se logra una mejor distribución del servicio y evita la concentración de terminales en los centros históricos o de actividades, lográndose una mayor eficiencia. Sin embargo, se debe tener presente la necesidad de que exista un balance en la demanda de ambos extremos de la ruta ya que en caso contrario la operación y la asignación de oferta se dificulta con los consecuentes desbalances en la relación oferta-demanda. Asimismo, la longitud de la ruta puede ocasionar demoras y cargas desbalanceadas.*

*Tangencial. Son rutas que pasan a un lado del centro de actividades o centro histórico de una ciudad. Este tipo de rutas solo es recomendable en las grandes ciudades debido a la menor demanda que ellas presentan. Un ejemplo claro lo representa la línea 4 del metro de la Ciudad de México o la Línea 1 del tren ligero de Guadalajara.*

*Rutas de lazo en su extremo. Son rutas de configuración radial en las que se presenta un lazo en uno de sus extremos lo que induce a contar con una sola terminal. Es necesario buscar una coordinación para lograr un mismo intervalo en la porción que conforma el lazo.*

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

*Circulares. Por lo general, sirven de rutas conectoras con las radiales, permitiendo una mejor distribución de los usuarios así como una mejor utilización del parque vehicular. En este caso, se eliminan las terminales, pero presentan el problema operativo de no poder recuperar tiempos perdidos. A su vez, pueden presentarse rutas en forma de arco o segmentos de círculo que no pasan por el centro de la ciudad" (Molinero. 2005:21 O)*

### **Utilización de NetLogo**

*Netlogo es un entorno de modelado programable para simular fenómenos naturales y sociales. Fue escrito por Uri Wilensky en 1999 y ha estado en constante desarrollo desde entonces en el "Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling"<sup>12</sup>.*

Es particularmente adecuada para el modelado de sistemas complejos en desarrollo en el tiempo esto es a sistemas dinámicos los cuales son claramente sociales, físicos entre otros. Los modeladores pueden dar instrucciones a cientos o miles de "agentes" todos los que operan de forma independiente como ya se hizo mención con las indicaciones que se requieran. Esto hace que sea posible explorar la conexión entre el comportamiento a nivel micro de los individuos y los patrones de nivel macro que surgen de su interacción (lyetomi, 2009).

Permite a los investigadores que lo utilizan, hacer simulaciones abiertas y "jugar" con ellas, la exploración de su comportamiento bajo diversas condiciones, dadas por el ambiente o los escenarios que requiera nuestro programa. También es un entorno de edición que permite a los mismos, crear sus propios modelos o modificar los existentes.

Tiene una extensa documentación y tutoriales. También viene con modelos en la Biblioteca, una gran colección de simulaciones pre-cargadas que pueden ser utilizadas y modificadas. Estas simulaciones abordan las áreas de contenido en las ciencias naturales y sociales, incluyendo la biología y la medicina, la física y la química, las matemáticas y la informática, y la economía y la psicología social. Así como varios programas de estudio basados en la investigación-modelación.

Funciona en todas las plataformas (Mac, Windows, Linux, y otros). Se ejecuta como una aplicación independiente. Los modelos y actividades HubNet se pueden ejecutar como applets de Java en un navegador web. También se admite la operación de línea de comandos.

Elementos de Sistema; Gratuito, de código abierto.

---

<sup>12</sup>Consultado el 21 de abril de 2014: <http://ccl.northwestern.edu/docs/>

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Elementos de Programación: Totalmente programable, Sintaxis accesible esto es que no requiere conocimientos de programación muy profundos, sólo básicos. Los agentes móviles (tortugas) se mueven a través de una rejilla de agentes estacionarios (parches).

Elementos de Medio Ambiente: Centro de mando para el manejo de las corridas, botones, deslizadores, interruptores, selectores, monitores, cajas de texto, notas, área de salida. Ficha de Información para anotar sus títulos con formatos de texto e imágenes. Supervisión de manera individual a cada agente, con sus características e interacciones. Sistemas dinámicos y 3D para el modelado de los mundos en 3D

Elementos de Pantalla y visualización: Gráficos de líneas, de barras y de dispersión. Control deslizante de velocidad, permite el avance rápido del modelo o verlo en cámara lenta. Se puede ver el modelo en 2D o 3D así como, formas vectoriales escalables y giratorias incluidas las etiquetas de las tortugas y los parches.

### **Modelos de Software de Tráfico Vehicular que existen en el mercado**

En este punto vamos a mostrar algunos de los programas que existen en el mercado, que si bien no son libres, si se utilizan tanto en las empresas como en algunas universidades para modelar y desarrollar los modelos de tráfico.

#### **1.-TransCAD**

**Costo.-** 1 Año de TransCad Escolar, \$ 2,400.00 Dolares. Es la presentación básica, solo incluyen los mapas.

**Actualizaciones.-** En cuanto a las actualizaciones se requiere comprar el servicio

**Prerrequisitos.-** Memoria. Como TransCAD es una aplicación completamente de 64 bits, se recomienda 16 GB de RAM y 64 bits de Windows 7, aunque 6.4 GB será suficiente para muchos usuarios y también suficiente para la versión de 32 bits de TransCAD. Disco Duro. Se recomienda 200 GB o más de espacio de almacenamiento en disco.

**Plataforma.** Windows 8 (incluyendo 8.1), 7, XP Professional y Vista son compatibles.

**Breve descripción.** TransCAD es el primer y único sistema de información geográfica (SIG) diseñado específicamente para su uso por los profesionales del transporte para almacenar, visualizar, gestionar y analizar datos de transporte.

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

TransCAD puede usarse para todos los modos de transporte, a cualquier escala o nivel de detalle.

**Facilidad de programación y uso.** TransCAD le permite crear mapas usando sus propios datos o datos de otras fuentes. Se pueden representar los datos en un mapa, directamente desde un archivo dBase, un archivo tipo texto. Se pueden también rastrear imágenes de satélite, o fotos aéreas directamente para sus mapas. Estas imágenes pueden ser utilizadas como medio de referencia o en conducción con las herramientas del editor de mapas para crear o editar archivos geográficos. También puede utilizar las imágenes de mapa de bits, tales como el satélite o fotografías aéreas directamente en sus mapas. El software tiene mapas, que incluye cajas de herramientas para acceder rápidamente a las imágenes on-line de OpenGIS Web Map Services y Google Earth. Estas imágenes se pueden utilizar como un medio de referencia o en conjunto con las herramientas de edición de mapa para crear o editar archivos geográficos.

**Con que otros paquetes comparten datos.** TransCAD soporta más de 50 tipos de archivos y más de 100 formatos de GIS y CAD.

**Metodología que usan.** Crear y personalizar mapas, construir y mantener conjuntos de datos geográficos, y realizar diferentes tipos de análisis espacial. TransCAD incluye entidades GIS sofisticados como superposición de polígonos, zonas de separación, y geocodificación.

### 2.- TransModeler

**Costo.-** \$12,000 dólares (first copy)

**Actualizaciones.** Gratuitas durante el período de un año a partir de la fecha de entrega.

**Prerrequisitos.** Mismos que TransCad.

**Plataforma.** Misma que TransCad

**Breve descripción.** 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. Se puede animar el comportamiento de sistemas de tráfico complejos para ilustrar la circulación de tráfico, la operación semafórica, y el funcionamiento conjunto de la red.

# MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

**Facilidad de programación y uso.** TransModeler trabaja con software de pronóstico de demanda de viajes para suministrar una capacidad integrada para ejecutar análisis operacional de proyectos y planes de transporte. Los resultados de las simulaciones de tráfico pueden ser empleados para retroalimentar pronósticos de demanda de viajes.

Simula el comportamiento de cada vehículo cada décima de segundo. Los vehículos pueden variar sus características físicas o de rendimiento y puede ser adecuado a las necesidades del usuario. Se simula en detalle la aceleración, desaceleración, intervalo entre vehículos, cambios de carril, confluencias e incorporaciones, situaciones que pueden ser afectadas por el comportamiento del conductor, las características del vehículo o la geometría de la vía. Transmodeler incluye parámetros por defecto para los modelos más importantes de comportamiento. Sin embargo, el usuario puede cambiar estos parámetros fácilmente para calibrar el software a casos específicos.

**Con que otros paquetes comparten datos.** TransCAD, Synchro, shapefiles ESRI / geodatabases, Excel.

**Metodología que usan.** 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.

### 3.-Aimsun

**Costo.** No esta especificado en Internet, se debe consultar a un proveedor en Guadalajara.

**Actualizaciones.** Todos los usuarios con licencia pueden reportar bugs y tienen acceso a todas las actualizaciones menores del software y al Aimsun Forum, en el que los usuarios y su propio equipo de consultoría pueden intercambiar información, sugerencias y consejos online.

**Prerrequisitos.** Sistema. Versión Windows®

- Windows® XP/Vista/7 (versiones 32- y 64-bit).
- 2 GB de RAM (recomendados 4 GB)
- 200 MB de capacidad de disco duro
- 1 ranura USB

# MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

**Plataforma.** Aimsun funciona en Mac OSX, Linux Ubuntu, Windows XP, Windows Vista y Windows 7. Multihilo: Para conseguir una velocidad invariable, Aimsun soporta 64bit, lo que permite manejar modelos muy grandes adaptable y extensible: Cambia Aimsun a tu gusto utilizando los estándares de la industria como Python y C++ de cuatro maneras diferentes.

**Breve descripción.** Simulación microscópica, mesoscópica y macroscópica en una misma aplicación de software; una única representación de la red; una única base de datos de los objetos simulados y los datos de soporte; y un fichero con el modelo.

Este simulador híbrido proporciona simulaciones microscópicas y mesoscópicas simultáneas, lo que permite simular grandes áreas para luego acercarse en las áreas que requieren un mayor nivel de detalle.

## **Facilidad de programación y uso.**

- Creación de modelos, simulación y análisis de resultados en un único entorno
- Interfaz de usuario intuitiva, muy visual y adaptada al uso del ratón
- Vistas simultáneas en 2D y 3D (sólo en microsimulación)
- Resultados gráficos fáciles de visualizar

**Con que otros paquetes comparten datos.** Aimsun se integra en el software E:istente y puede intercambiar datos con las herramientas de software más conocidas de CAD, GIS, simulación de tráfico, optimización de señales y control adaptativo.

**Metodología que usan.** Tanto las técnicas del Equilibrio Dinámico de Usuario (DUE) como los modelos de elección de carril estocásticos/diferenciados están disponibles en Aimsun en combinación con la simulación tanto microscópica como mesoscópica.

## **4.- Arena. PTV Vissim**

**Costo.** Hay una versión incompleta de esta versión para estudiantes que es gratuita, para laboratorio e industria se debe buscar a un proveedor el cual esta en Brasil.

**Actualizaciones.** Vía Internet.

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

**Prerrequisitos.** Unidad de disco duro con 4 GB de espacio libre en disco (o más), 4 GB de RAM (o más) de procesadores Intel® de doble núcleo (o más), 3 GHz o más rápido acceso a Internet para la instalación de activaciones FactoryTalk. Para Gráficos: Tarjeta gráfica debe tener 512 MB

**Plataforma.** Arena es una aplicación de escritorio de Windows de 32 bits que también se ejecuta en sistemas operativos de 64 bits. Apoyamos los siguientes sistemas operativos:

- Microsoft® Windows® 7, Microsoft Windows Vista (SP2 o posterior)
- Microsoft Windows 8, Microsoft Windows 8.1
- Microsoft Internet Explorer, versión 6.0 o posterior.

**Breve descripción.** Puede simularse la situación del tráfico a la perfección, tanto la comparación de operar con distintos tipos de intersecciones como el análisis de implementar medidas de prioridad al transporte público o el impacto de un distinto plan de semaforización.

**Facilidad de programación y uso.** El software de Arena se puede ejecutar en un solo procesador, multi procesador, y las computadoras de procesador multi-core; Sin embargo, sólo se puede ejecutar una instancia de Arena a la vez. La herramienta Arena Diseñador Visual aprovechará la capacidad multi-núcleo para mantener el gráfico con velocidad de actualización mientras trabajas te da la información al momento.

**Con que otros paquetes comparten datos.** Acrobat Reader.

**Metodología que usan.** Arcos y conectores permite que los usuarios modelen geometrías de cualquier tipo. Las características de conductores y vehículos permiten una parametrización individual.

### 5.-ArcGIS

**Costo.** Se debe contactar al proveedor en México y después de la prueba de 30 días se establece si es para organización pública o privada, escuelas o laboratorio de investigación y después de un contrato se establece el precio.

**Actualizaciones.** El soporte técnico se incluye como parte de la suscripción, vía email.

**Prerrequisitos.** Esri Maps for Office.

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

**Plataforma.** Escritorio, 10S, Android, Web Windows Phone.

**Breve descripción.** Combina tus datos con mapas de ESRI sobre cientos de temas. Imágenes, sobre personas y empresas, suelos y climas, fauna y flora, y mucho más.

**Facilidad de programación y uso.** Trabaja con mapas, tanto de la Web como los que requiere, se le pueden agregar datos a tus mapas con el mouse. Aloja tus datos en la nube segura de ESRI o en tu propio servidor para facilitar el uso compartido, este software es para negocios y conocer datos importantes como la densidad.

Con que otros paquetes comparten datos. Crear un mapa dinámico de tus datos de Excel es tan fácil como crear un gráfico o diagrama. Representa las ubicaciones y otros datos geográficos.

**Metodología que usan.** Mapas de la Web topográficos, geográficos, de densidad.

### 6.- PTV Traffic planning

**Costo.** Por medio de un contacto en el país de residencia.

**Actualizaciones.** Soporte para PTV Visum: Consejos y trucos, preguntas frecuentes, descargas y el formulario de soporte.

**Prerrequisitos.** 32 bits y una edición de 64 bits disponible para VisSim que tanto el trabajo. 3 GB de RAM. Windows® 7. Windows® Vista. Memoria (RAM): min. 2 GB (4 GB para la edición de 64 bits).

**Plataforma.** Microsoft Windows

**Breve descripción.** Analizar operaciones de tráfico, evaluar el impacto de los nuevos desarrollos y optimizar la programación de las señales. Puede analizarse una intersección, un corredor, o una red completa. PTV Vistro ha sido desarrollado específicamente para analizar el tráfico y para ayudar a los planificadores de transportes y los ingenieros de tráfico en sus proyectos. Se caracteriza por permitir una configuración de red rápida y sencilla, una entrada de datos eficaz y una generación automática de informes que ahorra tiempo y dinero.

**Facilidad de programación y uso.** Los mapas de Bing, los gráficos «arrastrar y colocar» y las plantillas de intersecciones facilitan la construcción eficiente de las redes. Además de ello, un panel del flujo de trabajo guía a los usuarios a través de

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

las diversas fases del proyecto y proporciona una optimización de la programación de la señal.

**Con que otros paquetes comparten datos.** Archivos de AutoCAD® DWG permiten almacenar varios diseños en el mismo archivo. El VisSim se utiliza siempre que AutoCAD® esté activado. Microsoft® Excel®

**Metodología que usan.** Redes interurbanas, capas topográficas,

### 7.- CATT Lab

Dentro de la revisión de software es digno de mencionar los softwares elaborados en los laboratorios de transporte mas reconocidos a nivel mundial. En particular mencionaremos el Transport Research Laboratory (TRL) del Reino Unido y el Center for Advanced Transportation Technology Laboratory, en Maryland EEUU, ha hecho software especializado en la visualización de datos de tráfico vehicular y aéreo en tiempo real de cámaras y sensores y con datos históricos.

**Costo.** Gratuito para las agencias de gobierno (de Estados Unidos)

**Actualizaciones.** En red a los usuarios.

**Prerrequisitos.** Es una aplicación WEB.

**Plataforma.** Linux.

**Breve descripción.** La CATT Lab desarrolla la analítica visual y herramientas de visualización de información que conducen a los usuarios a ideas que normalmente sería difícil, si no imposible, para descubrir a través de técnicas de análisis de'datos tradicionales.

**Facilidad de programación y uso.** Fácil

**Con que otros paquetes comparten datos.** Colectivamente, el equipo del Laboratorio de CATT tiene experiencia en el uso de las tecnologías, los marcos y los idiomas, tales como Java, entre otros.

**Metodología que usan.** Múltiples metodologías para representación y visualización de datos.

### 8.- TRL Software Arcady

**Costo.** [ 320

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

**Actualizaciones.** Teléfono / correo electrónico / soporte web para el asesoramiento que abarque todos los aspectos del software - incluyendo ayuda para la instalación y orientación sobre la manera de optimizar el uso del software.

**Prerrequisitos.** Microsoft Windows

**Plataforma.** Microsoft Windows

**Breve descripción.** Modelador de glorietas, mini-glorietas, redes de glorietas ligadas, glorietas separadas por grados, glorietas en carreteras interestatales, cruces de peatones señalizados, no señalizados y adaptativos.

**Facilidad de programación y uso.** Media.

Con que otros paquetes comparten datos. Autodesk Vehicle Tracking. Versiones previas de ARCADY

**Metodología que usan.** Modelado sobre fotografías aéreas, colas y comportamiento de vehículos.

### 9.-Veins

**Costo.** Ninguno es de código totalmente abierto.

**Actualizaciones.** Por la Web en la página de Veins

**Prerrequisitos.** Ninguno, corre en las tres plataformas, Linux, Mac OS X, y Windows 7

**Plataforma.** Puede estar en cualquiera de las plataformas, alguna de las aplicaciones requiere C++.

**Breve Descripción.** Las redes del programa, incluye una completa gama de modelos para hacer simulaciones de red vehicular lo más realista posible, sin sacrificar la velocidad. La interfaz gráfica de usuario y el IDE de OMNeT ++ y SUMO se pueden utilizar para configurar rápidamente y de manera interactiva correr simulaciones.

- Basado en software libre 100% que ofrece extensibilidad sin restricciones.
- Permite la reconfiguración en línea y re-enrutamiento de vehículos en reacción.
- Se puede incluir modelos de redes celulares.

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

- Puede simular a nivel de bloque en cualquier parte de la ciudad en tiempo real en una sola estación de trabajo
- Puede importar escenarios enteros de cualquier parte de la ciudad, incluyendo edificios, límites de velocidad, los recuentos de carriles, semáforos, el acceso y restricciones de giro.
- Se pueden emplear validados, modelos de cómputo de bajo costo de sombras efectos causados por los edificios, así como por los vehículos

**Facilidad de programación y uso.** Requiere para su uso descargar dos programas que de manera modular corren con C++, estos se deben descargar también el programa OMNeT ++ 4 IDE, para simular el escenario de demostración de redes, además de SUMO (Simulation of Urban MObility) el escenario de simulación de trabajo utilizando OMNeT ++ y SUMO en paralelo para simular un flujo de vehículos.

### **Con que otros paquetes comparten datos.**

- OMNeT ++ - El objetivo del Banco de Pruebas Modular Red
- **MIXIM** - paquete de redes de comunicación de simulación para OMNeT ++ con un enfoque en las redes inalámbricas
- El INET Marco - redes de comunicación paquete de simulación para OMNeT ++ y OMNEST
- Java en Simulación Tiempo / Escalable inalámbrica Adecuada para simulación de redes.
- SUMO - Simulación de la movilidad urbana

**Metodología que usan.** Redes de tráfico, imágenes satelitales, movimientos de autos, camiones y peatones en tiempo real.

### **Gráficas-Tráfico**

**Costo.** Software totalmente libre.

**Actualizaciones.** Por correo electrónico, en Internet

**Prerrequisitos.** Funciona con Mac, Windows, Linux, requiere tener instalado el Netlogo. Los complementos Web y Shell se descargan gratuitamente al ejecutarse el programa.

**Plataforma.** Funciona con Mac, Windows, Linux.

# MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

**Breve Descripción.** Este programa fue diseñado para modelar tráfico en las grandes ciudades, se puede trazar la red y colocar los carritos, desde una fotografía o una referencia de internet, a través de los botones con los que cuenta,

**Facilidad de programación.** Es muy sencilla ya que solo requiere seleccionar un área determinada, bajar la imagen o la geolocalización a través de Internet y con los comandos integrados, se puede desarrollar la zona a estudiar.

**Con que otros paquetes comparten datos.** Con editores imágenes y texto.

**Metodología que usa.** Teoría de Redes, Modelación Basada en Agentes.

## **Consideraciones al Modelo**

Para nuestro modelo estamos principalmente interesados en los retrasos provocados por acumulaciones de vehículos en las vías. Esto lo representaremos de forma gráfica en el programa realizado.

*"Los modelos de car following, como se puede observar, consideran el comportamiento de los vehículos sobre un único camino. Para la representación de un cruce o un conjunto de vialidades, es necesario realizar modificaciones a dicho modelo para incluir una red (o grafo) en donde cada uno de los arcos representa una calle y los nodos del grafo representan una intersección. Esta representación permite modelar cualquier tipo de red de transporte.*

*Desde el punto de vista del modelo utilizado, es necesario considerar que un vehículo que llega al final de una calle, debe ingresar en alguna de las siguientes calles del sistema. Sólo aquellos vehículos que llegan al final de una calle que no tiene sucesores, salen del sistema.*

*Otra modificación que se debe realizar en el modelo es la posibilidad de considerar varios carriles dentro de una calle. Esta incorporación de carriles permite que un vehículo que viene con una velocidad mayor que su predecesor, pueda desplazarse a un carril de mayor velocidad para sobrepasar al vehículo lento. Además, esto permite modelar el comportamiento de cierto vehículo que tiene la necesidad de detenerse en algún punto del camino (por ejemplo para el transporte, público de pasajeros) o simplemente un vehículo que desea estacionarse sobre el camino, sin provocar que todos los vehículos detrás de éste deban detenerse" (Mayorana, et al.: 2008).*

Son muchos los incidentes o puntos que pueden suceder en una red vial. Motivados por la búsqueda de la simplicidad del modelo, representaremos una gran variedad de estos mediante unos pocos elementos geométricos y conforme

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

nuestro modelo avance, se incorporarán elementos más específicos de considerarse necesario (Lam, 2003).

Consideramos un vehículo que esta detrás, se debe adaptar a la velocidad del vehículo que tiene adelante para continuar con su marcha, y que se pueden tener "obstáculos" los cuales pueden estar por un periodo corto de tiempo por segundos, como pueden ser topes, zonas con vehículos deteniendo tránsito, señales viales, etc., también consideraremos "barrera" en vías a algún elemento que detenga la circulación por ellas, como espacios ocupados por vehículos estacionados o algún desperfecto en la vía o accidente (Miyajima, 2007).

La calle o calles destino que los vehículos que circulan sobre una calle origen dada pueden t9mar, luego de pasar cierta intersección señalizada.

Los semáforos sincronizados en un cruce dado, únicamente darán paso a vehículos sobre calles origen indicado en ese momento impidiendo la circulación de vehículos sobre otras calles, viendo las que son permitidas, con el tiempo a fin de distribuir el uso del cruce.

Nuestro modelo considera los semáforos de esta manera aunque el mecanismo para la sincronización no ha sido implementado.

### Comportamiento del conductor

Consideramos importante para la modelación el reflejar el comportamiento de los conductores ante diversas situaciones encontradas en las vialidades por las que puedan estar circulando. Esto naturalmente tiene dos componentes: lo que describen las *reglas de tránsito*, como el mantener cierta velocidad, no estacionarse en determinadas vías, mantener la distancia entre vehículos, atender a las luces del semáforo, no hacer doble fila en zonas escolares.entre otras, y lo que el conductor *realmente pueda realizar*, o cómo el conductor interpreta las reglas (Zhu, 2013).

### Comportamientos Generales

En general en ciudades como la nuestra, se pueden encontrar los siguientes comportamientos:

- Los conductores se detienen o estacionan en lugares no destinados para ello, ocasionando una reducción de carriles para la circulación ya sea por corto o por largo tiempo.
- Los conductores cambian frecuente o bruscamente de carril de circulación
- Los conductores cambian frecuente o bruscamente de velocidad

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

- Los conductores ignoran reglas elementales de tránsito, como señalar cuando realizará un cambio de carril, para rebasar o porque así lo desean o darán vuelta, o cambian más de un carril a la vez
- Los conductores, mas frecuentemente los de transporte público, se detienen en segundo, tercer o cuarto carril (haya o no vehículos en los primeros), por ejemplo para cargar pasaje, y en ocasiones ocupando mas de un carril con esta acción. No sólo bloqueando las vías para la circulación, sino también arriesgando vidas con ello. Además se detienen sin señalar y sin apoyarse en ninguna regla escrita.
- Los conductores circulan a baja velocidad en carriles de alta velocidad sin razón aparente
- Los conductores frecuentemente rebasan por el lado ilegal (derecho en nuestro caso), quizás apoyado por el punto antes mencionado. Lo cual puede desconcertar y provocar un accidente con quien rebasan o quien viene detrás, o quien entra o se encuentra en la vía por el lado donde se rebasa (peatón u otro vehículo).
- Los conductores "invaden" parcial, momentánea y brúscamente un carril contiguo, por lo general para esquivar algún obstáculo u otro vehículo en el carril por donde circulan, sin señalar y sin importar si viene otro vehículo por el carril que invaden.
- Los conductores no se detienen ante la señalización que así se lo indica, ya sea señales fijas, semáforos en amarillo o rojo, agentes de tránsito, barreras que están cayendo (pasos de tren}, peatones u otros vehículos.
- Los conductores realizan un rebase con poco espacio libre contra el vehículo que viene detrás en el carril al que invaden.
- Los conductores manejan hablando por celular o mandando textos.
- Los conductores no son cordiales y no ceden el paso a peatones u otros vehículos tanto automotores como bicicletas o motocicletas.
- Los conductores hacen caso omiso del señalamiento de otros vehículos.
- Los conductores se detienen después de iniciado un cruce (en el paso de peatones o en medio del cruce) debido a vehículos que ya pasaron el cruce pero detenidos enfrente de ellos
- Los conductores realizan "venganzas", esto es, persiguen y presentan un manejo peligroso contra otros conductores que ellos consideran que les han hecho una ofensa (por ejemplo, casi cualquiera de los comportamientos anteriores) (Yan-Lin, 2002).

# MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

## Comportamiento en Glorietas

Esta construcción vial está diseñada para facilitar los cruces de caminos y reducir el peligro de accidentes. Las glorietas deben circularse en sentido anti horario. El tráfico en una glorieta se ve afectado cuando se reduce la velocidad y la circulación se obstaculiza al reducirse la velocidad del transporte público y/o privado (Box, 1985).

Los carriles de las glorietas deben contar con un ancho de 3.5 metros en cada tramo, la circulación debe ser como ya se mencionó, contrario al de las manecillas del reloj, y debe contar con el espacio designado para cambiar de carril y maniobrar en las salidas.

En las entradas como en las salidas, la preferencia la tiene el que está dentro de la glorieta ya que es el que tiene la velocidad de circulación y debe continuar con ella hasta que encuentre la salida que requiere, tiene prioridad sobre el que entra.

Si llueve, se deberá reducir la velocidad lo suficiente para poder frenar en caso de alguna emergencia. En caso de alguna deficiencia en las condiciones físicas de la vía, se tendrá que circular con la velocidad mínima (20 Km/h), esto permitirá una reacción de frenado oportuna, respecto de los demás vehículos.

- Los vehículos que ya están circulando dentro de la glorieta en ocasiones buscan salida sin avisar, o frenan intempestivamente.
- Las incorporaciones-salidas, están muy cerca una de la otra.
- Hay vehículos que se detienen antes de las salidas o en ellas, ocasionando reducción de la velocidad en los autos que las van a tomar o que van saliendo.
- En ocasiones existen malas condiciones en la vía. (Baches, ralladuras en los señalamientos, etc.) Ocasionando retrasos frecuentes por librarlos buscando otros carriles afectando la circulación.
- Existen vehículos que se detienen en la glorieta.

## Vías de Circulación de alta velocidad

Periférico, o cualquier otra en donde haya más de dos carriles. En vías de alta velocidad, la circulación se ve afectada cuando:

- Los vehículos se detienen en un carril para pasar a otro o para salir o sufren alguna descompostura o imprevisto.
- Se invaden los carriles de alta velocidad por vehículos pesados en carriles de vehículos pequeños (Campari, 2000).

## Capítulo 3. Desarrollo del Programa Basado en Agentes con ejemplos

De acuerdo con el desarrollo de nuestro modelo, hemos presentado el fundamento teórico y lo que observaremos en el desarrollo de nuestro programa, en este capítulo mostraremos la utilización de la herramienta, así como diferentes ejemplos en los cuales aplicaremos las ventajas del programa.

Consideremos además un mecanismo de comportamiento vehicular basado en metas y tareas. Las metas son listas ordenadas de tareas de las cuales todas se deben realizar con éxito a fin de que la meta actual se considere cumplida, de lo contrario todas las tareas se realizarán de nuevo, valorando de nuevo su éxito. Cuando una meta se considera cumplida, se saca del listado de metas para el vehículo actual y se procede con la segunda meta. Cuando no hay otra meta por realizar se saca al vehículo del sistema (Ferragut, 2012).

En los siguientes pasos mostraremos la manera en la cual funciona el programa, de manera consecutiva y de acuerdo al orden en la cual los vehículos van a comportarse en el programa:

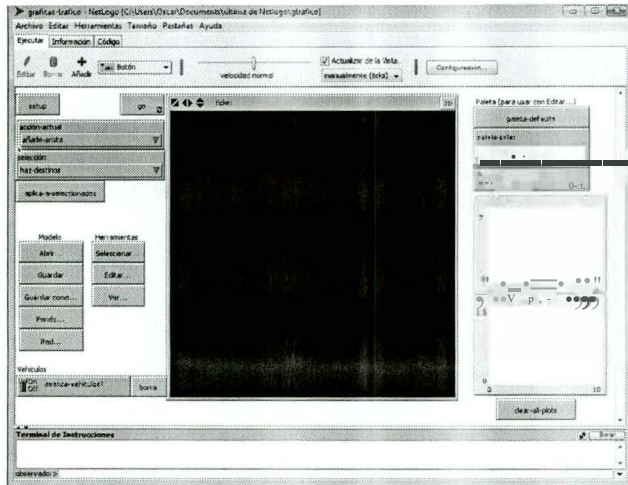
- 1.- El vehículo sale de un nodo origen,
- 2.- Mientras el vehículo no cumple con su meta (la meta "camaleato", caminante aleatorio) esta en circulación,
- 3.- Mantiene la distancia al siguiente carro,
- 4.- Si encuentra un obstáculo o barrera, se detiene o baja la velocidad.
- 5.- Si hay un semáforo, lo respeta.
- 6.- Si llega a un nodo que no es el destino (o cruce), elige la calle siguiente en el caso de camaleato, la elige al azar.
- 7.- Si escoge la calle que sigue, repite mientras no encuentre el nodo destino.

# MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

El programa puede determinar automáticamente nodos *origen* (aquellos a los que no le llegue una calle) o nodos *destino* (aquellos de los que no surja una 'calle'). También se pueden designar nodos *origen* y *destino* de forma manual por el usuario (Franz, 2001).

## Diseño

El programa, como ya se ha mencionado, está escrito en Netlogo, y por lo mismo, su interfase está diseñada utilizando los elementos que este provee.



Como se puede observar, cuenta con los botones "setup" y "go" que en ese orden, son los primeros que se deben presionar para comenzar a utilizar el programa. Por comodidad se colocan al principio y que son los que hacen que nuestro modelo haga las actividades principales.

Las barras estado actual y elección tienen el menú para que sea por nodo o por red completa, nos permite de manera práctica manejar conjuntamente con el ratón las actividades que vamos a realizar en nuestra red.

Los botones que están como menú de Modelo y Herramientas, nos permiten guardar, abrir, manipular los contenidos de nuestra red, es importante mencionar que solo podemos avanzar los vehículos o realizar acciones con cada uno de los botones si el puntero del ratón se encuentra en la ventana del "mundo (ventana de fondo negro)" ubicada en la parte media de nuestro programa.

Además el botón avanza y borra nos permite detener a los vehículos y/o borrarlos sea para realizar otra corrida o para observar lo que sucede en la red.

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Del lado derecho están los gráficos, el manejo de la densidad, las paletas nos permiten poner color en los nodos.

### Descripción y uso del programa

En este apartado mostraremos la función de cada uno de los elementos con que cuenta nuestro programa. Es importante ya que lo que se pretende es que además de poder modelar cualquier cruce, glorieta, o elemento de vía que implique autos en circulación de la ciudad que sea, puede hacerlo de manera sencilla atendiendo a las instrucciones que aquí se detallan siendo lo más práctico en cuanto a su desarrollo, es decir, se facilita para cualquier persona interesada en algún problema en específico de modelación de tráfico.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
SETUP	Se inicializan todas las variables que necesite el programa, borra la pantalla y deja todo listo para aceptar un nuevo modelo.
GO	Permitir las acciones que son controladas con el ratón dentro del espacio del mundo, el rectángulo negro que es en donde se desarrollan las corridas.
LISTA DE ACCIÓN ACTUAL SELECCIÓN	Indica cual es la acción que está ejecutando el ratón en ese momento.
MENÚ MODELO	Aplica una operación a todos los nodos seleccionados. Se describen cada una de las operaciones que tiene que ver con la construcción del modelo tales como <i>abrir</i> , <i>guardar</i> , <i>renombrar</i> . Permite también importar o descargar imágenes para el <i>fondo</i> y/o <i>guardar</i> una red individual. Por lo general se va a trabajar con modelos completos los cuales ya contienen la imagen y la red, sea que abramos un archivo con extensión <i>.tra</i> o guardemos un archivo <i>.tra</i> , si se quiere hacer una modificación al archivo, se le da <i>Guardar</i> como o se <i>Renombra</i> con la extensión <i>.tra</i> . <i>Fondo</i> y <i>Red</i> son operaciones para cargar y <i>guardar</i> el fondo o la red en archivos separados al <i>.tra</i> .
MENÚ HERRAMIENTAS	Operaciones que se pueden seleccionar con el ratón, luego <i>Editar</i> que te permite detectar orígenes, sincronizar semáforos, acciones de editar con lo que está seleccionado, <i>Ver</i> permite <i>mostrar</i> u <i>ocultar la red</i> , y ajusta tres <i>tamaños de nodos</i> , en general, son opciones de como se ve la red mientras se desarrolla en el fondo.
MENÚ VEHÍCULOS	Se tiene la opción de encender y apagar el avance de vehículos o borrarlos todos.

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

<b>PALETA</b>	Define el color que por default en el que se van a pintar los nodos y si se quiere cambiar el color de una arista, primero se selecciona el color en la paleta, y luego le dices cambiar el <i>color de la arista</i> .
<b>GRÁFICAS</b>	<i>Gráfica</i> el número de vehículos por unidad de tiempo en el cruce y la velocidad promedio de esos vehículos
<b>BORRAR-TODOS-LOS-DIBUJOS</b>	<i>Borra las gráficas</i> trazadas.
<b>ACCIONES CON EL RATÓN</b>	Hacer operaciones con los nodos, con las aristas, con los semáforos, con los obstáculos y con las barreras, se puede añadir, borrar, seleccionar, y con los nodos además convertirlos en orígenes o destinos, pudiendo moverlos según lo requiera el fondo. A las aristas además de añadir, borrar o seleccionar, se le puede invertir el sentido de la calle esta es ya en el modelo la terminología correcta, con los semáforos seleccionamos los que estan partiendo en un sólo nodo y luego los obstáculos los añades o borras y las barreras también se pueden mover.
<b>ACCIÓN-ACTUAL</b>	En esta ventana están contenidas las diferentes componentes de la red que vamos a crear en nuestro "mundo", esto con el botón GO activado y <i>APLICA-A-SELECCIONADOS</i> , logra hacer y establecer la función que estamos proponiendo o que queremos que ocurra en la colocación y borrado de nodos y aristas, así como si se está moviendo o se contrae la red, esto funciona con el ratón colocado en el mundo.
<b>AÑADE-NODO</b>	Esta operación se refiere a colocar en nuestro mundo un nodo, el cual nos va a servir en nuestro desarrollo, para identificarlo por la función que va a desempeñar, lo identificamos como nodo origen que es en el cual van a iniciar el recorrido los carritos en la vía, el nodo cruce que por el cual van a pasar los carritos, cambios de dirección o realizar alguna actividad determinada, finalmente los nodos destinos que son aquellos en donde van a terminar el recorrido y desaparecen de la red. Cuando se han creado o "colocado en el mundo", aparecen oprimiendo el botón <i>"Identifica orígenes-destinos"</i> y es como realizan la función determinada.
<b>BORRA-NODO</b>	A diferencia del anterior si por alguna situación nos equivocamos y colocamos un nodo donde no debíamos o simplemente no debe aparecer, esta función nos permite borrar o quitar el nodo que no se necesite, seleccionándolo primero y después

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

	presionamos la tecla " <i>aplicar-a-nodo</i> ", con esto desaparece dicho nodo.
<b>MUEVE-NODO</b>	Cuando seleccionamos el nodo que queremos en otro lugar con esta función activada y con el puntero podemos deslizar el nodo indicado y colocarlo en algún otro lugar en donde se requiera.
<b>CONVIERTE-EN-ORIGEN</b>	De acuerdo con el sentido del nodo y de manera manual se selecciona el nodo que queramos para que sea el origen de donde parten los vehículos.
<b>CONVIERTE-EN-DESTINO</b>	Esta función de manera manual se selecciona para crear destinos en nuestra red, es en donde los vehículos terminan su recorrido.
<b>SELECCIONA-NODO</b>	Cuando requerimos que nuestro nodo cumpla alguna función en específico o simplemente le vayamos asignar alguna de las funciones ( <i>origen-destino-cruce-obstáculo-barrera</i> ) lo podemos cambiar (tanto de color para identificarlo o de función) lo seleccionamos y hacemos el procedimiento que requiera.
<b>MUEVE-NODOS-SELECCIONADOS</b>	Con el puntero seleccionamos varios nodos, esta función nos permite mover al mismo tiempo más de un nodo como se requiera a cualquier parte de nuestro mundo
<b>AÑADE-NODO-A-ARISTA</b>	Se selecciona una arista y con esta función podemos colocar un nodo en donde se requiera de la arista.
<b>AÑADE-ARISTA</b>	Seleccionando dos nodos los une con el sentido que seleccionamos, también se puede invertir.
<b>BORRA-ARISTA</b>	Cuando tenemos una arista que probablemente no utilicemos o simplemente no queremos que este en cierto lugar, seleccionando los nodos en donde está la arista, con esta función podemos quitar esa arista.
<b>SELECCIONA-ARISTA</b>	Con esta función activada nos permita marcar una arista cualquiera que requiera o borrarse, cambiarse de lugar o asignarle algunas características a la misma.
<b>INVIERTE-SENTIDO-DE-CALLE</b>	Seleccionando la arista (calle), y le cambia el sentido para acomodarla como se requiere.
<b>AÑADE-SEMÁFORO</b>	En los nodos seleccionados asigna semáforos.
<b>MUEVE-SEMÁFORO</b>	Con los semáforos seleccionados y con el puntero se mueven según se requieran en la red.
<b>BORRA-SEMAFORO</b>	Seleccionado el semáforo que se quiere borrar, con el puntero se le aplica esta función y el semáforo se borra
<b>SELEC-SEMÁFOROS-EN-NODO</b>	Con el puntero seleccionamos a los semáforos que se requieran, con esta función podemos cambiarle la sincronización.

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

<b>SELECCIONA-SEMÁFORO</b>	De manera particular y un solo semáforo de nodo para cambiar alguna de sus funciones.
<b>AÑADE-OBSTÁCULO</b>	Esta función nos permite colocar en alguna arista determinada un obstáculo o un evento que haga que nuestro tránsito vehicular se vea retrasado en cuanto a tiempo por la falta de circulación o flujo (puede ser un tope, un bache, un camión, autobús o cualquier otro vehículo automotor, que haga lento el flujo de circulación) dicho elemento reduce la velocidad de su flujo y hace que tenga que pasar de una arista a otra para librarlo o esperar un determinado tiempo para poderse mover.
<b>MUEVE-OBSTÁCULO</b>	Seleccionado este botón y con el puntero seleccionamos nuestro obstáculo y lo podemos mover hacia donde se requiere para continuar observando o midiendo la reducción de tiempo en los flujos vehiculares.
<b>BORRA-OBSTÁCULO</b>	Con el puntero seleccionado en el obstáculo que vamos a borrar, seleccionando esta opción se borran los obstáculos de nuestra red.
<b>AÑADE-BARRERA</b>	Una barrera es aquel elemento vial que detiene completamente el flujo vehicular. Para lograrlo se requiere detener absolutamente todo el sistema y para liberarlo se requiere buscar alternativas de circulación, puede ser un bache en reparación o de cualquier vía, un camión repartidor que se detienen más de 10 minutos.
<b>MUEVE-BARRERA</b>	Seleccionada esta barrera y apretado el botón con la ayuda del puntero o mouse, podemos cambiar de posición la barrera para fines de resultados.
<b>BORRA-BARRERA</b>	Con el puntero seleccionado en la barrera que vamos a quitar, seleccionando esta opción se borran las barreras de nuestra red.
<b>SELECCIÓN; AÑADE-ARISTAS-ENTRE-NODOS</b>	Previa selección en orden y en el sentido en el que lo requiramos, se van agregando aristas entre los nodos los cuales hemos seleccionado previamente.
<b>HAZ-ORIGEN ES</b>	Es la función mediante la cual "nacen" los vehículos, lo hacemos aparecer mediante el seleccionador de operaciones individuales.
<b>HAZ-DESTINOS</b>	Este nodo surge por ser activado al generar nodo en la última parte o en dirección de las flechas de las aristas, se encuentran al fin del recorrido. Es en donde los vehículos terminan el recorrido y desaparecen.
<b>HAZ-NODOS-NORMALES</b>	Crea nodos intermedios, entre los origen y destino, en los cuales solo van a transitarlos vehículos, o van a

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

	dar vuelta.
<b>CONSTRUYE-SISTEMA-DE-SEMÁFOROS</b>	En cada nodo coloca semáforos de acuerdo con el sentido de la calle.
<b>MENÚ MODELO: ABRIR</b>	Permite abrir los archivos.tra, que hayan sido generados con anterioridad o que tengamos como archivos.
<b>GUARDAR</b>	<i>Guardar</i> los archivos con los que estes trabajando con el nombre que se le asigno o el sistema le da un nombre default con extensión .tra
<b>GUARDAR COMO</b>	Te permite guardar el archivo que tengas actualmente, así, como asignarle otro nombre según sea la conveniencia del trabajo.
<b>FONDO</b>	Abrir un archivo de fondo jpg/png, abrir unas ciertas coordenadas que se obtienen de Google Maps, abrir una URL que contiene un archivo de fondo, el cual se puede compartir con otros usuarios dándoles la dirección que ya subiste en algún sitio previamente, lo puedes guardar como jpg/png, se puede borrar el fondo.
<b>RED</b>	Abrir un archivo de red e incluir un archivo de red además de el que ya se tenga actualmente, se puede borrar y ocultar.
<b>HERRAMIENTAS: SELECCIONAR</b>	Se pueden seleccionar nodos, aristas, algunos se seleccionan con el ratón, y cuando aplicas todos los que estén contenidos en la red se seleccionan, lo mismo para las aristas, luego cambia nodo, cambia aristas, los que estan seleccionados se deseleccionan y a la inversa, se pueden seleccionar semáforos, algunos o todos de la misma forma, con el ratón y en general que surgan de un solo nodo.
<b>EDITAR</b>	Editar los nodos seleccionados mostrando la lista de los nodos que vamos a estar editando, y se le puede cambiar la densidad (que es la cantidad de vehículos por unidad de tiempo, en este caso esta dado por clicks), que se combina con la paleta densidad, el valor que tenga es el que se le va a asignar a todos los nodos que esten seleccionados. <i>Detecta orígenes-destinos</i> es una detección automática a la red en cuanto se acciona y que nuestros nodos y aristas estén conectados. Ya se ha descrito más arriba la manera en la que funciona y su utilidad en el modelo. <i>Sincroniza semáforos seleccionados</i> que incluye en una sola lista y que un sólo periodo de tiempo se aplica a cada uno. Se puede hacer manualmente

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

	seleccionándolos con el ratón.
VER	<i>Muestra/Oculta la red, Muestra/Oculta semáforos</i> , se pueden seleccionar los nodos y reducirlos de tamaño para evitar el amontonamiento en las redes, si están muy grandes no se ve claramente. Se puede ver la información de Meta info que tiene el modelo actual, esto es las variables internas que maneja en la red, como nombres de archivo, etc.
VEHÍCULOS	Los vehículos no avanzan en 1 por 1, avanzan en un valor aleatorio de velocidad dentro de cierto rango o van a una velocidad deseada, cuando encuentran un obstáculo bajan esa velocidad y cuando pasan el obstáculo, entonces continúan con la velocidad deseada, cuando llegan a un cruce, el primero que llegue es el primero que pasa.
SELECCIONADOR DE OPERACIONES MULTIPLES	Con esta barra activada podemos realizar funciones con más de un nodo o aristas que se requieran en nuestro modelo.
TODOS-LOS-NODOS	Con esta función activada podemos terminar la operación ( <i>borrar-mover</i> o <i>seleccionar</i> ) en los nodos que se requieran trabajar <i>vio</i> ejecutar.
TODAS-LAS-ARISTAS	Cuando se desea que las aristas hagan alguna operación, con esta función activada se llevarán a cabo ( <i>seleccionar, mover</i> o <i>borrar</i> ) en las aristas aunque sea una sola con esta función activada se ejecuta la instrucción.
BORRA-SELECCIÓN	Esta función ejecuta el borrado tanto de nodos como de aristas que se hayan seleccionado.
INTERCAMBIA-NODOS	Nos permite cambiar nodos de una dirección a otra.
INTERCAMBIA-ARISTAS	Activada esta operación cambiamos el sentido de las aristas seleccionadas por otras en la otra dirección.
AÑADE-NODO-MEDIO	Esta función nos permite colocar en una arista y entre dos nodos un nodo más o entre tres nodos o como se requiera de acuerdo a lo que estemos necesitando en nuestro modelo.
APLICA-A-SELECCIONADOS	De todas las operaciones realizadas tales como <i>agregar nodo</i> o <i>borrarlo</i> , crear arista, mover los diferentes elementos, oprimiendo este botón se ejecutan la o las operaciones que hemos preseleccionado.
MUESTRA/OCULTA RED	Cuando tenemos una red trazada en todo nuestro mundo, este botón nos <i>permite ocultar y/o mostrar</i> la misma (los segmentos de recta con el sentido de las calles).

# MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

## Ejemplos

En este punto mostraremos la utilización práctica del modelo. Tomaremos cinco de los cruceros que hemos identificado de manera personal como "conflictivos" en horas pico y con ciertas cargas de densidad de vehículos. Observaremos algunos de los comportamientos que se han descrito (Galindo, 2006).

### Crucero Eje 10 y Eje Central Aztecas

Iniciaremos con el crucero objeto de estudio localizado en Eje Central Aztecas entroncando con el eje 10, en el cual podemos observar:



Ahora pasaremos a describir algunos elementos que consideramos importantes para representar en un modelo de este crucero de la Ciudad de México. Se encuentra situado en Eje 10 Sur Avenida Pedro Henríquez Ureña, Los Reyes, Coyoacán, Ciudad de México, D.F., con coordenadas 19.333959, -99.151442

Tomaremos en cuenta que la vía que escogimos para estudiar se encuentra junto a centros de servicio importantes, como un verificentro, en el cual se verifica la emisión de agentes contaminantes de los vehículos cada determinado tiempo (de acuerdo con la terminación numérica de las placas se llevan a cabo dos revisiones por año), esto ocasiona vehículos formados uno tras otro para poder acceder al espacio en donde se le hace la revisión a el vehículo. Esto es de suma importancia porque sobre todo al final de cada mes se complica mucho en cuanto a cantidad de vehículos formados y el tiempo que se tardan en acceder al servicio.

En el lugar hay diferentes tipos de establecimientos comerciales, esto es importante considerarlo ya que dichos establecimientos requieren "servicios" de

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

abastecimiento de la materia prima, la cual transforman o distribuyen a los clientes, esto tiene como consecuencia que algunos transportes deban circular por la zona y detenerse para realizar dicha actividad, en el caso de un lugar en donde venden comida y a pesar de contar con estacionamiento, la circulación se detiene momentáneamente, lo que reduce el flujo de vehículos ocasionando el efecto "dominó" hacia atrás. Esto aumenta los tiempos de espera y disminuye el flujo de circulación. Se cuentan en la misma acera con tres negocios más, un laboratorio de verificación, una tlapalería, una tienda y un puesto de tacos, con las características antes mencionadas, obtenemos la complicación de la circulación en la zona en cuestión, ya que se forman barreras, esto es, el obstruir la circulación por más de 10 minutos.

Otra consideración es que en sentido contrario tenemos una rinconada, la cual tiene su acceso sobre la Avenida Aztecas, esto representa otro obstáculo más para la circulación, por lo menos 1 minuto para poder continuar con él.

Un elemento más es que en el eje 10 circulan Cuatro Rutas de Transporte público, 2 son de autobuses y 2 son de microbuses, una de las rutas de autobús da vuelta en "U" en el eje, toma tiempo el detenerse para ver el contrasentido y dar inicio a su vuelta. También lo consideramos por ser un obstáculo a la circulación.

Otros elementos más a tomar en cuenta es el hecho de que metros más adelante de la circulación sur-norte sobre *Avenida Aztecas* en unión con el Eje 10, existen dos escuelas primarias una pública y una privada, esto ocasiona obstáculos a la circulación en sentido inverso ya que el hecho de detenerse para dejar a los niños en la escuela ocasiona que en sentido contrario la circulación sea mucho más lenta. Se agrega que el transporte público realiza la misma operación con lo que una vez más el efecto es el mismo en esa dirección.

Existe un salón de fiestas infantiles en la zona, pero no está marcado, ya que por lo regular se utiliza en fines de semana. Se menciona por ser parte de nuestro lugar a modelar.

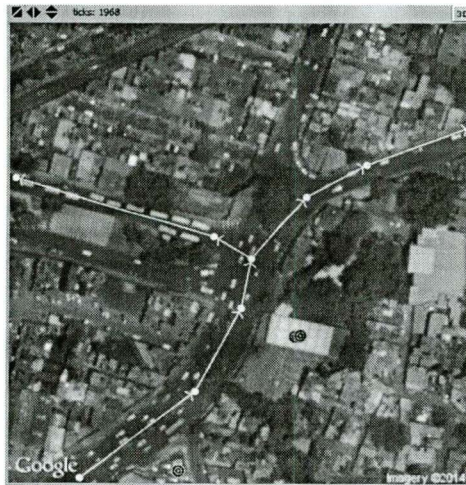
Vamos a importar el fondo de calles por medio de las coordenadas que nos dice Google maps al hacerle click a este cruce.

Eje 10 va de Norte a Sur y en ambos sentidos 3 carriles respectivamente, La Avenida Aztecas que va de Sur a Norte y en el entronque con el Eje 10 se convierte en un solo sentido la cual es de 4 carriles con dirección al Norte, esta Avenida es Candelaria y es aquí donde converge el tránsito de Aztecas y el Eje 10, en el otro lado esta la Privada Monserrat, que es en donde llega el tránsito de Norte a Sur, un poco antes del cruce con el eje 10, hay una diagonal llamada Eje

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

10 Monserrat, la cual conecta la Priva a con el Eje, y estas juntas se unen a la salida del Pueblo de Los Reyes, son de tres carriles. Para representar una calle se añade una arista con un nodo inicial y un nodo final, como el programa no maneja carriles se propone la vialidad con el mismo procedimiento. Al llegar a la intersección se añade una nueva arista con los últimos nodos añadidos y los nodos de la nueva calle a utilizar. Como a los vehículos del programa se le debe dar la indicación hacia donde se van a dirigir, se necesita hacer esto para cada una de las calles destino a utilizar, por ejemplo:

Se traza un carril sobre avenida aztecas, el nodo destino llega hasta el crucero de ese nodo, se hace el trazo de una arista hacia Eje 10 otra arista hacia Candelaria y a continuación de ese nodo de Eje 10 se debe trazar otra arista que continúe hacia eje 10y otra que continúe hacia Monserrat, tenemos:



Lo mismo se va hacer para las otras calles del crucero. En herramientas editar seleccionamos detecta "*órigenes-destinos*", Guardamos el Modelo.

Activamos el avance vehículos para que empiecen a circular.

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO



A continuación añadiremos un obstáculo sobre la arista que comunica un carril de Aztecas con Monserrat que corresponderá a los retrasos que causa el verificentro, observe como los vehículos disminuyen su velocidad al acercarse a este obstáculo y la aumentan al salir de el.



Ahora modificaremos la cantidad de vehículos por unidad de tiempo que surgen de los nodos origen esto se hace seleccionando uno herramienta/seleccionar/algunos nodos y le hacemos click con el botón go encendido a un nodo origen de avenida aztecas, se modifica el valor en la paleta-densidad por ejemplo a 0.1 y se aplica con herramientas/editar/nodos-seleccionados, nos indicará que hay un nodo



## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Estas dos situaciones reflejan parcialmente el origen de un embotellamiento y pensamos que el detectarlas es la parte más valiosa de este programa.

Note que la concentración de vehículos en esta pequeña área cercana a estos cruces de aristas se puede deber a dos factores,

- 1.- A la densidad de vehículos llegando al cruce.
- 2.- A los obstáculos cercanos que se puedan poner. (Por ejemplo Verificentro)

### Glorieta Dr. Vertiz y Avenida Universidad



Ahora tendremos una de las Glorietas más concurridas de la ciudad, se encuentra en Avenida Doctor Vertiz, Avenida Universidad y otras calles, con alta densidad.

La ubicación geográfica es la siguiente; 19.3918313,-99.1509344, es la localización de Google Maps, los datos completos son, Glorieta SCOP. Av Universidad y Doctor José María Vertiz SN. Narvarte Poniente, Benito Juárez. 03020 Ciudad de México, D.F.

Páginas atrás describimos el comportamiento de las glorietas, por esa razón me parece conveniente hacer el ejercicio de aplicación en los modelos, describir de manera práctica dicho comportamiento.

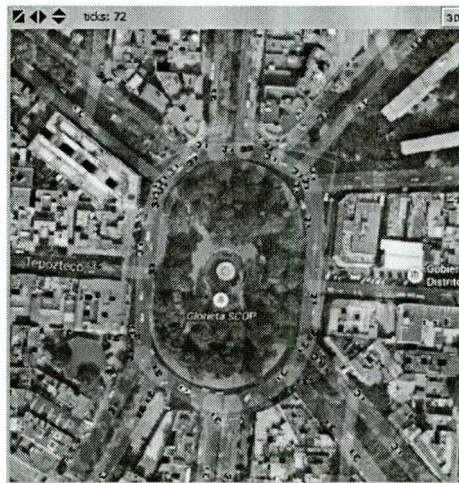
Le sugerimos al lector esta red para representar esta glorieta.

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO



En estos cruces señalados se observan las dos situaciones de cruces de aristas del ejemplo anterior.

Corremos nuestro modelo de acuerdo a lo que planteamos arriba, tenemos:



En este momento en un inicio, la glorieta al no tener muchos vehículos circulando, esta siendo muy fluida, no presenta ninguna situación en cuanto a la reducción de velocidad en alguno de los puntos de intersección o de circulación, dejamos que pase un poco de tiempo y observemos:

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO



En los puntos señalados ya hay acumulación de vehículos, esto es debido a las incorporaciones y a la salida de la glorieta:



A medida que pasa el tiempo, y con el incremento de carritos circulando en la glorieta, en el programa detiene la corrida, esto es debido a que las vías en este momento están saturadas, esto ocurre en ocasiones, tanto en horas pico, en días lluviosos por la reducción de la velocidad al entrar o salir de la glorieta.

Vamos a reiniciar nuestro ejemplo y ahora vamos a colocar una barrera, y un obstáculo, observemos:

# MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO



Si bien paginas antes mencionamos el efecto de la barrera y el obstáculo, aquí lo podemos apreciar, el obstáculo (circulo azul), impide el flujo de los carritos, el efecto se observa hacia atrás impidiendo la circulación y obstruyendo la salida y a la vez la entrada de los carritos a la glorieta, la barreran (circulo rojo), a pesar de estar colocada de manera aleatoria, solo hace que los carritos disminuyan su velocidad, continuando con el flujo en vía.

Mostraremos uno de los cruceos ubicado al sur de la Ciudad.

## **Cruce Av. División del Norte y Guadalupe I Ramírez**

Uno de los cruceos que ha tenido muchos conflictos en la zona sur de la ciudad es el que se encuentra en la avenida División del Norte y Antiguo camino a Xochimilco, Francisco Goytia Tierra Nueva, Xochimilco, Ciudad de México, D.F. las coordenadas son: 19.265915, -99.115354

Se realizó un corte a la circulación para proponer una vuelta intermedia con el fin de aumentar el flujo sobre cada avenida, existe el cruceo y las modificaciones a la circulación, la imagen que nos da google maps es:

# MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO



La red la trazamos de la siguiente forma:



Como en los ejercicios anteriores, dejamos que el programa avance un poco de tiempo:

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO



Observamos a la vía en flujo total, sin ningún inconveniente en cuanto al uso y circulación de los carritos. Dejamos pasar tiempo y vemos:



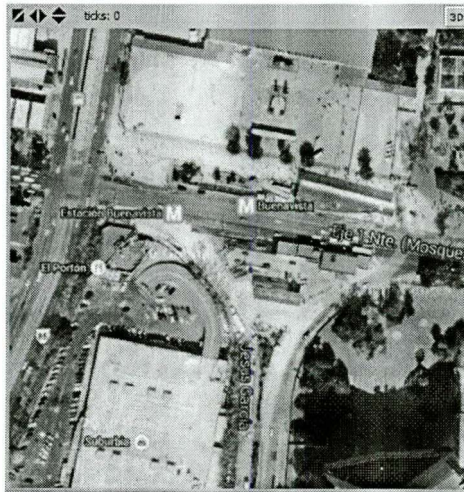
La situación de reducción de velocidad se da en el entronque de las dos avenidas, por un lado los que continúan sobre Francisco Goitia y los que dan vuelta hacia Xochimilco.

En este cruceo podríamos plantear otros escenarios, pero con el ejercicio realizado, es más que suficiente para conocer la problemática.

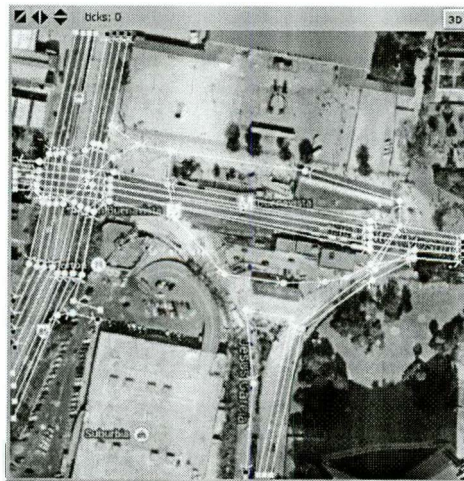
# MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

## Eje 1 Norte y Avenida de los Insurgentes

En los años de 1960's y 1970's, el gobierno de nuestra ciudad propuso la construcción de los ejes viales, y en algunas avenidas los contraflujos. Esto significa que para agilizar la circulación del transporte público, se optó por hacer que en las avenidas y en sentido contrario circularan las unidades (Autobuses, trolebuses, etc.), elegimos para visualizar lo práctico de nuestro modelo aplicado a un eje en particular, esta en; Eje 1 Nte. (Mosqueta), Cuauhtémoc, Cd de México, D.F. con coordenadas 19.4461158,-99.1514701.



La red inicial que se puede trazar es la siguiente:

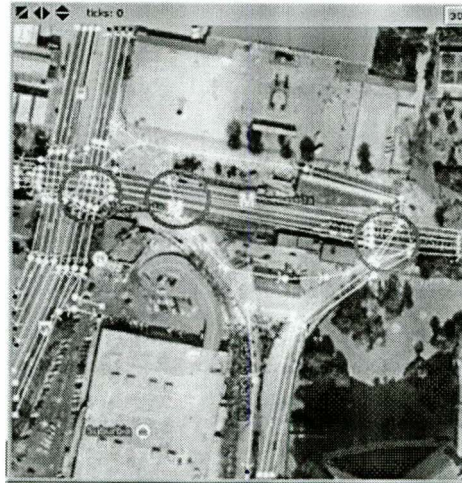


## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Analicemos, en esta zona existen algunos elementos a considerar, esto nos va a dar mucha información con respecto al comportamiento de los vehículos. Primero mencionaré que es la zona en la cual circulan tres líneas de Metrobús, los cuales utilizan el eje 1 de manera transversal, para retomar sus rutas (imagen abajo en círculos rojos), sobre el mismo eje circula un autobús en contra flujo, utiliza el último carril para circular en la zona, de lado contrario los cuatro carriles de carritos, existe una vuelta a la izquierda para retomar insurgentes, esto también es importante mencionarlo, ya que este elemento se vuelve un obstáculo debido a la reducción de velocidad para tomar la avenida de los Insurgentes.

Ahora sobre la avenida de los insurgentes, circulan tres rutas de Metrobús, en el carril confinado, tenemos una gasolinería en una de las esquinas, entradas al Sistema de Transporte Colectivo Metro, la entrada a un centro comercial que es a su vez la entrada al Tren Suburbano, se menciona esto, ya que otros vehículos se detienen momentáneamente (obstáculo) para realizar alguna maniobra.

Estos son algunos de los elementos que se han observado en el desarrollo de nuestro ejercicio, relizaremos una corrida sin ninguna tipo de "barrera" u "obstáculo", esto nos permitirá ver como es un día de tránsito normal.





# MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

vehículos se van acercando, esto reduce mucho la circulación por la avenida de los insurgentes de norte a sur, sobre la lateral del eje 1 sucede lo mismo, pero a esto le agregamos que el autobús en contraflujo reduce totalmente su velocidad, en este y en la entrada a Insurgentes de Sur con dirección al Norte para permitir el paso de los carritos que dan vuelta para tomar este sentido, unos metros antes se encuentra con la vuelta del Metrobús, así como un lugar en el cual se deben detener para realizar abordaje y descenso de pasajeros. Un poco más atrás vemos un conflicto importante, ya que entre la vuelta del Metrobús, y la circulación de los carritos, se ve claramente una reducción de la velocidad hasta el momento en que quedan totalmente quietos.

Esto nos permite considerar que en la vía existen demasiados obstáculos, es mucho el tiempo en el cual se quedan los vehículos en espera de poder circular, la problemática en esta zona es muy notoria por este motivo, el contraflujo y la líneas de Metrobús, en horas pico hay un congestionamiento mucho mayor.

## Eje Xola y Avenida Cuauhtémoc



Nuestro punto a modelar esta ubicado en Eje 1 Poniente (Avenida Cuauhtémoc) 607. Narvarte Poniente, D.F. con coordenadas; 19.396097, -99.156216., al sur de la Ciudad de México, en este punto se encuentra una estación del Sistema de transporte Colectivo Metro Etiopía.

Este crucero llama la atención, porque convergen dos líneas de Metrobús, da vuelta una de ellas en "U" para retomar la ruta de regreso, los efectos que esto trae en horas pico implica que los vehículos se detengan, y a su vez la otra línea

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

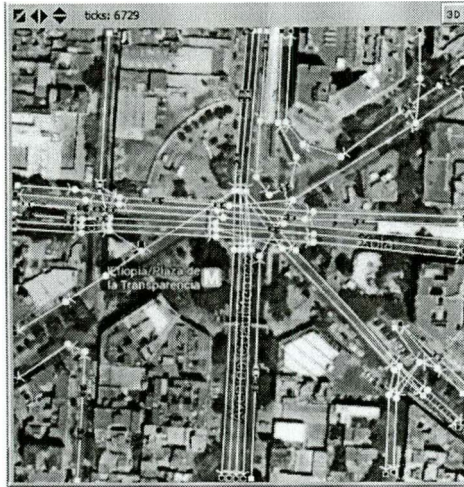
toma la diagonal para tomar de nuevo la ruta, se encuentran otra diagonal en la cual solo ingresan vehículos, existen bancos y comercios alrededor de la glorieta, así como sobre el eje 1 de norte a sur, hay una ruta de autobús en contraflujo, tomando la otra parte de la diagonal San Antonio para continuar con su ruta. Las calles aledañas, cuentan con edificios de departamentos y circulación en un solo sentido esto reduce un poco el problema de la congestión debido a que no hay tardanza en cuanto a retomar los sentidos y disminuir las vueltas.

La propuesta de red se ve de la siguiente forma:



Al igual que en los ejercicios anteriores, realizamos una corrida y observamos lo que sucede;

# MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO



Con la red podemos observar el flujo continuo y la circulación de los carritos en horas tranquilas, de manera constante, nos deja que el trazado de las vías son adecuadas, pero, ¿qué sucede en horas pico?



En los puntos señalados la acumulación de vehículos es muy marcada, debido a las vueltas, incorporación y retoma de carriles, es uno de las situaciones que hacen que esta zona enfrente conflictos viales, reducción a la velocidad de circulación, así como otros elementos los cuales son objeto de otra tesis.

# MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

## Aportaciones a la Modelación del Tráfico

Las vías de circulación han sido "adecuadas" para nuestra ciudad, en esa adecuación se han tomado algunas medidas en las cuales no se tomaron en cuenta algunas de las circunstancias, tales como el incremento en la compra de vehículos, algunas vías se saturan muy rápido ya lo revisamos en algunos de nuestros ejemplos.

Estas y otras aportaciones las reconocimos de la información obtenida en el lugar observado como de lo que el programa realizó. Es importante para la representación del tráfico, como ya revisamos los software que propusimos, algunos son costosos y eso implica inversión, en cambio en nuestro planteamiento además de resultar práctico es gratuito, se puede modelar cualquier tipo de cruce, en cualquier ciudad y con las herramientas que contiene, podemos obtener bastante información para la toma de decisiones.

## Conclusiones

El estudio del tráfico en las grandes ciudades es muy necesario debido al impacto que presenta a las mismas: los automovilistas pasan muchas horas en la espera de moverse de un punto a otro, debido a la saturación de las vías en horas pico, además de que se produce ruido, contaminantes, accidentes, entre otras situaciones (Gazis, 2002).

Esto fue parte de la motivación para la presente tesis, en la cual podemos observar lo necesario de proponer una alternativa para el análisis y estudio del tráfico vehicular en las grandes ciudades, de ahí concluimos que:

- Realizar análisis de las diferentes vías, nos permite conocer como se comportan los vehículos cuando en conjunto circulan por las mismas.
- Un programa de cómputo nos permite representar las vías y los elementos involucrados, de manera que podemos observar como afectan a la circulación.
- La simulación basada en dicho programa de cómputo, ayuda a la reducción de tiempos que antes se invertían en realizar observaciones de campo, recolectando manualmente, o mediante sensores, información como la cantidad de vehículos y las características físicas de las vías. Esto es importante, ya que con poco tiempo invertido podemos aproximar los datos en diferentes zonas de la ciudad, agregando los elementos mencionados.
- La Modelación de los diferentes cruceros presentados, nos permitió observar que debido a las barreras u obstáculos que se agregan a los mismos, el comportamiento de los vehículos se ve afectado, sea en tiempo de espera para continuar su marcha o en alto total. Además permite que cualquier interesado en la observación de los detalles de las calles, puede sin ser un experto en programación, hacer observaciones y aportes en la zona observada.
- El uso de las herramientas que los Sistemas Complejos nos aporta (Teoría de Redes, Modelación Basada en Agentes, etc.) aplicadas a un software libre (Netlogo), nos permite no sólo modelar, sino conjeturar las causas de

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

esta situación y mediante esta podemos hacer aportes a la mejora del tráfico en la zona o zonas observadas.

- Algunos Sistemas Complejos son redes hechas de un número de componentes que interactúan entre sí, en nuestro caso compuesto por los carritos, las barreras y los obstáculos en una vía determinada, típicamente en una forma no lineal. Así los sistemas complejos pueden surgir y evolucionar a través de la auto-organización (proceso dinámico por el cual un sistema, forma espontáneamente estructuras y/o comportamientos) visto en el momento en el cual la circulación de los vehículos se detiene, tomando cierto tiempo de espera para continuar circulando, de manera que no son ni totalmente regulares ni completamente aleatorias.
- En esta tesis, además de tomar en cuenta el concepto de los sistemas complejos, y su aplicación a el tráfico vehicular, observamos que al interactuar cada uno de los carritos con barreras y obstáculos, tomando en cuenta la forma de la vía, en los diferentes lugares modelados, nos aporta mucha información con respecto a la toma de decisiones en el manejo de los tiempos de las personas que deben hacer uso de esas vías, es esto lo que esta tesis aporta, la utilización adecuada de las herramientas de los sistemas complejos a un problema de la ciudad.

## Bibliografía.

Abed, E. H. (Ed.) (2005). *Advances in Control, Communication Networks, and Transportation Systems*. Birkhauser Basel Springer

Ackoff Russell, L. (1994). *Rediseñando el futuro*. Limusa. México.

Acuña Vigil, P., (2005). *Análisis formal del espacio urbano*. Aspectos Teóricos. Instituto de Investigación de la Facultad de Arquitectura Urbanismo y Artes. Lima

Alcantara Vasconcellos, E. (2010). *Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad*. Centro Andino de Fomento CAF, Bogotá.

Allsop, R., Coeymans, J. (1985). *La gestión de tráfico: de la intuición a la simulación* [versión electrónica]. *Eure*, 12 (33), 33-48.

Álvarez Enríquez, Lucia. (2011) *Pueblos Urbanos. Identidad, ciudadanía y territorio en la ciudad de México*. UNAM CEIICH PORRÚA.

Antún, J. P. (2013). *Distribución urbana de mercancías*. SD/56, Instituto de Ingeniería, UNAM, México DF.

Arrowsmith, D. K., Mondrag, R. J., & Woolf, M. (2005). *Data traffic, topology and congestion*. In *Complex Dynamics in Communication Networks* (pp. 127-157). Springer Berlin Heidelberg.

Appert-Rolland, C., Chevoir, F., Gondret, P., Lassarre, S., Lebacque, J. P., & Schreckenberg, M. (2009). *Traffic and Granular flow'01*. Springer.

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

- Backhoff Pohls, M. A. (2005). *Transporte y espacio geográfico. Una aproximación geoinformática*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Barrat, A., Barthelemy, M., & Vespignani, A. (2008). *Dynamical processes on complex networks* (Vol. 574). Cambridge: Cambridge University Press.
- Barceló, J. (2010). *Fundamentals of Traffic Simulation*, volume 145 of International Series in Operations Research & Management Science.
- Barthélemy, M. (2011). *Spatial networks*. Physics Reports, 499(1), 1-101.
- Batty, M. (2005). *Agents, cells, and cities: new representational models for simulating multiscale urban dynamics*.
- Batty, M., and Shioda, N. (2003) *Population Growth Dynamics in Cities, Countries and Communication Systems*, in P. A. Longley and M. Batty (Editors) *Advanced Spatial Analysis: The CASA Book of GIS*, ESRI Press, Redlands, CA, 327-343.
- Belitsky, V., Krug, J., Neves, E. J., & Schütz, G. M. (2001). *A cellular automaton model for two-lane traffic*. Journal of Statistical Physics, 103(5-6), 945-971.
- Betancourt Olmos, M. (2011). *El Gasto público en infraestructura vial y de servicios de transporte público en el Distrito Federal 2000-2010*. UNAM. Facultad de Economía.
- Bird, R. B., Stewart, W. E., & Lightfoot, E. N. (2004). *Fenómenos de transporte*. Libros Técnicos e Científicos.
- Bonsall, P. (1992). *The influence of route guidance advice on route choice in urban networks*. Transportation, 19(1), 1-23. Springer
- Box, P. C., Oppenlander, J. C. (1985) *Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito*. Representaciones y Servicios de Ingeniería, S. A. México.
- Bull, A., Comp. (2003) *Congestión de tránsito: el problema y cómo enfrentarlo*. United Nations Publications.
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2004). *Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones*. Alfaomega. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Cardoso, C., Bert, F., Podestá, G. *Modelos Basados en Agentes (MBA): definición, alcances y limitaciones*. Landuse, biofuels and rural development in the La Plata Basin.

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

- Campari, E. G., & Levi, G. (2000). *A cellular automata model for highway traffic*. The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems, 17(1), 159-166.
- Correa, G. (2010). *Transporte y Ciudad* [versión electrónica]. EURE, 36 (107), 133-137.
- Delgado, J., Chías, L., Et Al. (2003) *Vialidad y vialidades en la Ciudad de México*. Ciencias 70 abril junio 2003
- Der-Horng, L. (2004) *Urban and Regional Transportation Modeling*. Essays in Honor of David Boyce. MPG Books Ltd, Bodmin, Cornwall.
- Distrito Federal (Mexico). (2003). *Reglamento de tránsito en el DF*. Versión Electrónica.
- Durán, R. A. V., & Varela, E. Z. (2013). *Modelo de gestión urbana sostenible*. Universidad del Norte.
- Echenique, M. (1970). *Modelos: Una Discusión*. Separata de Revista de Planificación. Santiago, Noviembre.
- Elefteriadou, L. (2014). *An introduction to traffic flow theory*. Springer.
- Ferragut, J., Mangués-Bafalluy, J., Núñez-Martínez, J., & Zdarsky, F. (2012). *Traffic and mobility management in networks of femtocells*. Mobile Networks and Applications, 17(5), 662-673.
- Figuerola, O. (2005). *Transporte urbano y globalización: Políticas y efectos en América Latina*. EURE (Santiago), 31(94), 41-53.
- Franz Mayinger. Ed. (2001). *Mobility and Traffic in the 21<sup>st</sup> Century*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- García-Valdecasas Medina, J. I. (2011). *La simulación basada en agentes: una nueva forma de explorar los fenómenos sociales*. Revista Española de Investigaciones Sociológicas, 136(1), 91-109.
- Galindo, L. M., Heres, D. R., & Sánchez, L. (2006). *Tráfico inducido en México: contribuciones al debate e implicaciones de política pública*. Estudios Demográficos y Urbanos, 123-157.
- Garza, G., Schteingart, M., Coor. (2010). *Desarrollo urbano y regional*. T-II Los grandes problemas de México. El Colegio de México.

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Gazis, D. C. (2002). *Traffic Theory*. Kluwer's International Series.

Gold, P. A. (1998). *Seguridad de tránsito: aplicaciones de ingeniería para reducir accidentes*. Banco Interamericano de Desarrollo

Graizbord, B. (2008) *Geografía del transporte en el área metropolitana de la Ciudad de México*. El Colegio de México.

Gwilliam, K. (2002). *Cities on the move: a World Bank urban transport strategy review*. The World Bank Washington, D.C.

Herty, M., Moutari, S., & Rasche, M. (2008). *Intersections Modeling with a Class of "Second-Order" Models for Vehicular Traffic Flow*. In *Hyperbolic Problems: Theory, Numerics, Applications* (pp. 755-763). Springer Berlin Heidelberg.

Ilagorre García, J. G. (2000). *Meso-Simulación de Tráfico Vehicular*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.

Islas Rivera, V., (2000). *Llegando tarde al compromiso: la crisis del transporte en la Ciudad de México*. El Colegio de México.

Iyetomi, H., Aoyama, H., Fujiwara, Y., Ikeda, Y., & Souma, W. (2009). Agent-based model approach to complex phenomena in real economy. arXiv preprint arXiv:0901.1794.

Izquierdo, L. R., Galán, J. M., Santos, J. I., & Olmo, R. D. (2008). *Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas*. EMPIRIA: Revista de Metodología de Ciencias Sociales, 16.

Julia Sort, J. (2006). *Redes Metropolitanas*. Gustavo Gili.

Lam H K W, Bell, M G H (2003) *Advanced Modeling for Transit Operations and Service Planning*. Emerald Group Publishing Limited.

Lezama, J. L. Morelos, J. B. (2006) *Población, ciudad y medio ambiente en el México contemporáneo*. El Colegio de México, Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales.

Mayorana, F., D'Amato, J. P., Rubiales, A., & Lotito, P. (2008). *Prototipo de simulador de tráfico vehicular*. In X Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación.

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

México Secretaría de Comunicaciones y Transporte (2000) *El transporte hacia el tercer milenio: el cambio estructural en el sector transportes 1995-2000*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2008). *Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación*. Santiago de Chile

Miyajima, C., Nishiwaki, Y., Ozawa, K., Wakita, T., Itou, K., Takeda, K., & Itakura, F. (2007). *Driver modeling based on driving behavior and its evaluation in driver identificatcn*. Proceedings of the IEEE, 95(2), 427-437.

Molinero Molinero. Á. R., Sánchez Arellano, L. I. (2005). *Transporte público: Planeación, diseño, operación y administración*. Universidad Autónoma del Estado de México.

Munizaga Vigil, G. (2000) *Diseño Urbano. Teoría y Método* 2ª Edición. Alfaomega-Universidad Católica de Chile.

Pachón de la Cruz, A., Nieto, C. F., & Velasco Vivas, M. L. (2010). *Modelos de comportamiento de las redes vehiculares en sus escenarios más representativos, utilizando simulación en la herramienta NCTUns*. Sistemas y Telemática.

Papageorgiou M. (1983). *Applications of automatic control concepts to traffic flow Modeling and control*. Springer.

Pavón, J., López-Paredes, A., Galán, J.M. (2012) *Modelado basado en agentes para el estudio de sistemas complejos*. Novática 218, pp. 13-18

Puebla, J. G. (1998, January). *Redes, espacio y tiempo*. In Anales de geografía de la Universidad Complutense (Vol. 18, p. 65).

Rodríguez Niño, D. F., Ardila Díaz, G. O. (2002). *Concurrencia en sistemas multiagente: implementación de un simulador de tráfico urbano*. Proyecto de Investigación 11. Director: Ing. Enrique González Guerrero. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá.

Sedesol. (2009) *Vialidad Urbana*.

Shin, I. R. N. M., Lee, S. H. N. K., & Chong, S. (2007). *Human mobility patterns and their impact on routing in human-driven mobile networks*.

SUBSECRETARIA, D. D. U. Y. O., & TERRITORIO, D. (2001). Programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades medias mexicanas. *Manual de Diseño Geométrico de Vialidades Tomo IV*, México.

## MODELACIÓN DE PROBLEMAS PARA TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Sun, Y., & Ioannou, P. A. (1995). *A Handbook for Inter-Vehicle Spacing in Vehicle Following* (No. UCB-ITS-PRR-95-1).

Tang, T., Huang, H., Wong, S. C., & Jiang, R. (2008). *A car-following model with the anticipation effect of potential lane changing*. *Acta Mechanica Sinica*, 24(4), 399-407.

Vergara, R. A., Zurek, E. et al. (2013) *Modelo de gestión urbana sostenible*. Barranquilla. Editorial Universidad del Norte.

Yan-lin, W., & Tie-jun, W. (2002). *Car-following models of vehicular traffic*. *Journal of Zhejiang University Science*, 3(4), 412-417.

Zhu, H., & Li, M. (2013). *Realistic Vehicular Mobility Models*. In *Studies on Urban Vehicular Ad-hoc Networks* (pp. 23-39). Springer New York.



Este Utiro rue Impreso en et Taller Lucas *Utitado* en  
Paseo de las facultades Medicina 37 N local 1 y 2 Copilco Universidad  
imprenta\_lucas7@hotmail.com Tel. 69933553