



PROYECTO DE GRADO

Presentado ante la ilustre UNIVERSIDAD DE LOS ANDES como requisito para
obtener el Título de INGENIERO DE SISTEMAS

MODELADO MULTIAGENTE DE UNA PARADA DE TRANSPORTE PÚBLICO EN EL CASCO CENTRAL DE LA CIUDAD DE MÉRIDA

Por

Br. Rodríguez O. Gabriel

Tutor: Sebastián Medina

Febrero 2017

©2017 Universidad de Los Andes Mérida, Venezuela

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Modelado multiagente de una parada de transporte público en el casco centra de la ciudad de Mérida

Br. Gabriel Rodríguez O.

Proyecto de Grado – Investigación de operaciones, 118 páginas

El análisis del tránsito vehicular como una incidencia que genera preocupación y malestar en la sociedad, constituye uno de los problemas que afecta a las principales ciudades del mundo y, en particular, la ciudad de Mérida en el estado Mérida; ya que el incremento del volumen de vehículos y la limitada capacidad de las vías, originan congestión; tal es el caso de la parada “La otra Banda” ubicada en la calle 25, lo que conlleva a que los usuarios tengan que permanecer por largo tiempo en permanentes colas, traducéndose en el retardo para llegar a su destino, alto consumo de combustible, contaminación, entre otras. La solución, en término de ampliación o reingeniería civil para la creación de nuevas vías (calles o avenidas), por lo general, resulta costosa y complicada. Las alternativas para corregir la situación son difíciles de lograr. Por otro lado, el avance de la tecnología, el desarrollo de la informática y los sistemas computacionales, se han podido realizar estudios de forma virtual que permiten la comprensión en cuanto al comportamiento de tráfico vehicular; conforme a ello, en el presente estudio, se consideró el uso de sistemas multiagente (SMA) para modelar y simular el flujo vehicular en una parada de transporte público real, como lo es la de “La otra Banda” y vías adyacentes; observando su comportamiento de forma virtual, mediante la denominada plataforma NetLogo. Se evaluó la situación problemática, donde se plantearon algunas hipótesis y se corroboraron a través de varios escenarios, distinguiendo dos tipos de conductores: agresivos y pasivos, basados en una encuesta realizada por Camacho en el año 2008, en la cual se midió el comportamiento de los conductores merideños. Los resultados demuestran que el uso de la metodología de agentes y SMA, son viables en condiciones y características similares a las expuestas en la presente investigación; todo lo cual, permite conocer las incidencias del tránsito vehicular, lo que constituye un aporte inicial de orden académico para el desarrollo de futuras investigaciones.

Palabras claves: tránsito vehicular, congestión, agentes, Sistemas multiagentes, simulación, modelado, NetLogo.

www.bdigital.ula.ve

*A mi abuela Cenia,
mi alegría de cada mañana y de cada noche
que desde el cielo me cuida y me apoya,
y quien sería la persona más orgullosa con este logro.*

Índice

Índice	v
Índice de Tablas.....	ii
Índice de Figuras.....	iii
Indice de Gráficas	iv
Capítulo I.....	1
1 Introducción	1
1.1 Antecedentes	4
1.2 Definición del problema.....	5
1.3 Objetivo general	7
1.4 Objetivos específicos	7
1.5 Metodología	7
Capítulo II.....	9
2 Marco Teórico.....	9
2.1 Agentes	9
2.1.1 Definición	9
2.1.2 Propiedades y Características de los agentes.....	10
2.1.3 Clasificación de los agentes	11
2.1.4 Arquitectura de los agentes	13
2.1.5 Ambientes de los agentes	15
2.2 Sistemas Multiagente (SMA).....	17
2.2.1 Definición	17
2.2.2 Características	18
2.2.3 Metodologías y plataformas de desarrollo SMA	22
2.2.3.1 Metodologías.....	22
2.2.3.2 Plataformas.....	26
2.3 Tránsito Vehicular	28
2.3.1 Congestión vehicular	29
2.3.2 Causas de la congestión del tránsito vehicular	29
2.4 Modelado de tránsito	31

2.4.1	Enfoques del modelado de auto	32
2.5	Modelado del tráfico de autos usando sistemas multiagentes	34
2.6	NetLogo	35
2.6.1	Funcionamiento	36
Capítulo III		44
3 Marco Metodológico.....		44
Simulación del tráfico de autos en la parada “La Otra Banda” aplicando la plataforma NetLogo 44		
3.1	Descripción de parada y su entorno	45
3.1.1	Dinámica real del flujo vehicular en la parada “La Otra Banda”	47
3.1.2	Capacidad y dimensiones del entorno	47
3.2	Tipos de autos de circulación frecuentes en el entorno de la parada	50
3.2.1	Número de autos que circulan en el entorno de la parada bajo estudio. (Clasificación por tipo)	51
3.3	Descripción del comportamiento de los conductores	53
3.4	Simulación multiagente	54
3.4.1	Actuación de los agentes dentro del sistema	54
3.4.2	Variables que inciden en el comportamiento de los agentes	55
3.5	Desarrollo del Modelo	56
3.5.1	Procedimiento “crear-vías”	58
3.5.2	Procedimiento “crear-carros”	59
3.5.3	El procedimiento “mover”	60
3.5.4	Procedimiento “movimiento-p”	61
3.5.5	Procedimientos para cruzar en las intersecciones	62
3.5.6	Procedimiento “tiempo-cola”	63
3.6	Verificación	65
3.7	Validación	67
Capítulo IV.....		71
4 Planteamiento de hipótesis y escenarios		71
4.1	Hipótesis 1	71
4.1.1	Escenario 0	72
4.1.2	Escenario 1	74
4.2	Hipótesis 2	77
4.2.1	Escenario 2	77
4.2.2	Escenario 3	78

4.3	Hipótesis 3	81
4.3.1	Escenario 4	81
4.3.2	Escenario 5	83
4.3.3	Escenario 6	88
4.3.4	Escenario 7	92
Capítulo V.....		98
5 Conclusiones y recomendaciones.....		98
5.1	Conclusiones en base a las hipótesis:	100
6 Bibliografía.....		103
Apéndice A		108
Estudio del comportamiento de los conductores merideños		108
Apéndice B		¡Error! Marcador no definido.
Código en NetLogo		¡Error! Marcador no definido.

www.bdigital.ula.ve

Índice de Tablas

<i>Tabla 1 Comparativa general de las metodologías. Fuente: (Julian & Botti, 2003, sp)</i>	25
<i>Tabla 2 Comparativa de vistas y análisis en diseño. Fuente (Julian &, Botti 2003, sp).</i>	26
<i>Tabla 3 Medidas de los elementos que conforman la parada y su entorno.</i>	48
<i>Tabla 4 Equivalencia en parches de los valores reales de las medidas de los elementos que conforman la parada.</i>	49
<i>Tabla 5 Ciclos del semáforo de la avenida 2 Lora c/c viaducto Campo Elías</i>	49
<i>Tabla 6 Promedio de las medidas de los tipos de autos que más circulan por el entorno de la parada.</i>	50
<i>Tabla 7 Medidas en parches de los tipos de autos que más circulan por el entorno de la parada</i>	50
<i>Tabla 8 Planilla de recolección de datos.</i>	51
<i>Tabla 9 Comportamiento de los conductores según los valores de los parámetros del modelo real</i>	55
<i>Tabla 10 Valores de los parámetros que definen el comportamiento de los conductores.</i>	56
<i>Tabla 11 Valores de entrada para la verificación del modelo.</i>	66
<i>Tabla 12 Resultados de las modificaciones hechas para la verificación.</i>	66
<i>Tabla 13 Cantidad total de autos en cola en dirección Este-Oeste observados en el trabajo de campo</i>	67
<i>Tabla 14 Cantidad total de autos en cola en dirección Este-Oeste sacados de la simulación del modelo.</i>	68
<i>Tabla 15 Número de autos en cola en dirección Este-Oeste hasta la intersección "A" que arrojó NetLogo después de 30 corridas</i>	69
<i>Tabla 16 Valores iniciales para el escenario 0</i>	72
<i>Tabla 17 Resultados del escenario 0</i>	73
<i>Tabla 18 Resultados del escenario 1 Parte 1</i>	74
<i>Tabla 19 Resultados del escenario 1 Parte 2</i>	74
<i>Tabla 20 Comparativa entre el escenario 0 y el escenario 1</i>	75
<i>Tabla 21 Resultados del escenario 2</i>	78
<i>Tabla 22 Resultados del escenario 3</i>	78
<i>Tabla 23 Comparativa entre el escenario 0 y los escenarios 2 y 3.</i>	79
<i>Tabla 24 Resultados del escenario 4</i>	81
<i>Tabla 25 Comparativa entre el escenario 0 y el escenario 4</i>	82
<i>Tabla 26 Resultados del escenario 5 Parte 1</i>	84
<i>Tabla 27 Resultados del escenario 5 Parte 2</i>	84
<i>Tabla 28 Comparativa entre el escenario 1 y el escenario 5</i>	85
<i>Tabla 29 Comparativa entre el escenario 0 y el escenario 5</i>	87
<i>Tabla 30 Resultados del escenario 6</i>	89
<i>Tabla 31 Comparativa entre el escenario 2 y el escenario 6</i>	89
<i>Tabla 32 Comparativa entre el escenario 0 y el escenario 6</i>	91
<i>Tabla 33 Resultados del escenario 7</i>	93
<i>Tabla 34 Comparativa entre el escenario 3 y el escenario 7</i>	93
<i>Tabla 35 Comparativa entre el escenario 0 y el escenario 7</i>	95

Índice de Figuras

<i>Figura 1 Interfaz completa del modelo en NetLogo.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 2 Control de velocidad del modelo en NetLogo.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 3 Botones de instancia del modelo en NetLogo</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4 Deslizadores dentro de NetLogo</i>	<i>39</i>
<i>Figura 5 Switchs en NetLogo</i>	<i>39</i>
<i>Figura 6 Monitores en NetLogo</i>	<i>40</i>
<i>Figura 7 Monitor de gráficos o plot en NetLogo</i>	<i>40</i>
<i>Figura 8 Modelo básico de tráfico en NetLogo.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 9 Modelo de tráfico vehicular como una rejilla bidimensional y tridimensional en NetLogo</i>	<i>42</i>
<i>Figura 10 Modelo de tráfico vehicular en dos carriles en NetLogo</i>	<i>42</i>
<i>Figura 11 Modelo de una intersección en NetLogo.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 12 Descripción gráfica de la parada a estudiar y su entorno (fuente propia).....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 13 Representación gráfica de la parada y su entorno con NetLogo</i>	<i>46</i>
<i>Figura 14 Interfaz completa del modelo Traffic 2 lanes de NetLogo.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 15 Interfaz gráfica del modelo desarrollado en NetLogo</i>	<i>58</i>
<i>Figura 16 Valores iniciales para el escenario 0</i>	<i>72</i>

www.bdigital.ula.ve

Indice de Gráficas

<i>Gráfica 1 Porcentaje de frecuencia de vehículos en dirección Este-Oeste</i>	<i>52</i>
<i>Gráfica 2 Porcentaje de frecuencia de vehículos en dirección Sur-Norte</i>	<i>52</i>
<i>Gráfica 3 Porcentaje de frecuencia de vehículos en la dirección Norte-Sur</i>	<i>53</i>
<i>Gráfica 4 Comparación de autos totales en promedio de cada Escenario</i>	<i>75</i>
<i>Gráfica 5 Comparación de tiempos promedio Escenarios 0 y 1</i>	<i>76</i>
<i>Gráfica 6 Comparativa de autos totales en promedio de escenario 0, 2 y 3</i>	<i>79</i>
<i>Gráfica 7 Comparación de tiempos promedio de los Escenario 0, 2 y 3</i>	<i>80</i>
<i>Gráfica 8 Comparativa de autos totales en promedio de los escenarios 0 y 4</i>	<i>82</i>
<i>Gráfica 9 Comparación de tiempos promedio de los Escenario 0 y 4</i>	<i>83</i>
<i>Gráfica 10 Comparación de cantidad de autos totales promedio entre el escenario 1 y el escenario 5</i>	<i>86</i>
<i>Gráfica 11 Comparación de tiempos promedio entre el escenario 1 y el escenario 5</i>	<i>86</i>
<i>Gráfica 12 Comparación de cantidad de autos totales promedio entre el escenario 0 y el escenario 5</i>	<i>87</i>
<i>Gráfica 13 Comparación de tiempos promedio entre el escenario 0 y el escenario 5</i>	<i>88</i>
<i>Gráfica 14 Comparación de cantidad de autos totales promedio entre el escenario 2 y el escenario 6</i>	<i>90</i>
<i>Gráfica 15 Comparación de tiempos promedio entre el escenario 2 y el escenario 6</i>	<i>90</i>
<i>Gráfica 16 Comparación de cantidad de autos totales promedio entre el escenario 0 y el escenario 6</i>	<i>91</i>
<i>Gráfica 17 Comparación de tiempos promedio entre el escenario 0 y el escenario 6</i>	<i>92</i>
<i>Gráfica 18 Comparación de cantidad de autos totales promedio entre el escenario 3 y el escenario 7</i>	<i>94</i>
<i>Gráfica 19 Comparación de tiempos promedio entre el escenario 3 y el escenario 7</i>	<i>94</i>
<i>Gráfica 20 Comparación de cantidad de autos totales promedio entre el escenario 0 y el escenario 7</i>	<i>95</i>
<i>Gráfica 21 Comparación de tiempos promedio entre el escenario 0 y el escenario 7</i>	<i>96</i>

Agradecimientos

A Dios Todopoderoso sobre todas las cosas.

A los profesores Sebastián Medina, Franklin Dávila y Fernando Sancho, que me ayudaron e instruyeron en este trabajo.

A las instituciones que colaboraron en la realización de este proyecto.

A mi madre, que con su persistencia y apoyo me ayudó a seguir adelante y conseguir lo que quiero, gracias a ella sé que el límite es el cielo.

A mi padre, que no se cansó de ayudarme e instruirme en cada momento y me enseñó que con paciencia y trabajo duro todo es posible.

A mi tía Cristina, que con cada gesto me enseñó que todo se puede hacer con una sonrisa.

A toda mi familia, en especial mis tíos Dario, Rafael y Fabián, que siempre tenían unas palabras de aliento y de diversión, porque no hay que quitarle el humor a la vida.

A mis primas Nakarid, Olycen y Xenia, que se preocuparon cada segundo en la realización de este trabajo.

A mis amigos de toda la vida Charrier, Alexis, David y Ricardo, que siempre están cuando los necesito y pudieron ayudarme con nuevas ideas y consejos.

A mis amigos de carrera Gustavo, Rosangela, Carlos, Rosa y Jesús, que siempre hicieron más divertidas las noches de estudio y los días de clases.

A los amigos maravillosos que encontré durante estos años y forman parte importante de mi vida Rafael, Génesis, Chácharo, Compay, Paola, Yuliana, Bethania y muchos más que siempre han puesto su grano de alegría y felicidad.

A las familias Esqueda-Corona, Rangel-Arias, Medina-Larez, Camargo-Erazo y Gutierrez-Reverol, que siempre me recibieron como un hijo en sus hogares y me apoyaron en cada momento.

www.bdigital.ula.ve

Capítulo I

1 Introducción

El desarrollo tecnológico y particularmente el referido a los sistemas computacionales, han evolucionado vertiginosamente en los últimos años; tal desarrollo permite observar cambios importantes en cuanto a los enfoques de la Inteligencia artificial (IA), tal como expone Miguel, (2011, parr.14): “En la década de 1990 se desarrolla una nueva aproximación dentro de la Inteligencia Artificial, relacionada con la llamada “IA distribuida”, “inteligencia social” o “de enjambre” Schut (2007). Y añade inmediatamente:

Mientras que el objetivo de la IA *clásica* fue imitar el funcionamiento del cerebro humano, la nueva IA *distribuida* pretende resolver los problemas a los que se enfrenta desarrollando entidades autónomas e interdependientes que generan “inteligencia colectiva” a partir de la interacción entre elementos simples; pero esta vez cita a Ferber (1999)

La nueva IA distribuida, crea y desarrolla entidades autónomas independientes, constituidos por elementos simples que interactúan entre sí, para generar inteligencia colectiva, estos elementos son definidos como agentes, cuya aplicación puede resolver problemas complejos que, de forma tradicional, sería difícil solucionar; es por ello que hoy día, el estudio de los agentes y sistemas multiagentes (SMA) con sus distintas aplicaciones, adquieren relevancia, constituyendo uno de los ejes fundamentales sobre los cuales evoluciona la Inteligencia artificial.

Ahora bien, una de las aplicaciones de la tecnología de agentes y SMA es la simulación de distintos fenómenos, en virtud de que las ciencias sociales, en el desarrollo de su estudio, utilizan herramientas habituales, consistentes en la representación de los sistemas sociales, basados en sociedades de agentes, conforme a los cuales, ejecutan modelos y analizan su comportamiento, intentando dar repuesta a problemas cotidianos. Así por ejemplo un agente, tal como lo refiere Amandi (2001):

Es una entidad de software que exhibe un comportamiento autónomo y un sistema multiagente es un conjunto de agentes que tienen la capacidad de interactuar en un entorno común. Así, agentes en un entorno con otros agentes poseen capacidades como la comunicación, negociación, y coordinación. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92521304>

En todo caso, ambos conceptos serán abordados detenidamente más adelante. En síntesis, uno de los fines de la aplicación de los SMA es estudiar distintas realidades de forma virtual, haciendo uso de la simulación y el modelado, para lo cual es común observar, un conjunto de métodos y procedimientos, sobre la base de complejas y variadas plataformas tecnológicas, las cuales, cada una por su lado, buscan dar repuestas a problemas tales como tráfico vehicular, nanotecnología tratamiento de incendios forestales, aplicaciones a distintos tipos de juegos, entre otras; la selección de alguna de ellas, estará condicionada por el tipo de problema que se quiere estudiar.

En este contexto, una situación común en las principales ciudades del mundo es la estructuración de tráfico vehicular, lo cual constituyen uno de los temas que ocupan la atención de muchos investigadores; Venezuela y particularmente la ciudad de Mérida no escapa a esta realidad, cuya complejidad distingue un sistema vehicular precariamente organizado, por cuanto lo que se observa es más complejo que la simple descripción de reglas de tráfico. A él se suman, problemas de ordenamiento urbanísticos, así como la aparición de comportamiento emergentes, que de acuerdo con sus características, hacen posible la aplicación de modelos de simulación basados en agentes; dado que cada agente puede decidir por sí mismo donde transitar o

estacionar y embarcar o desembarcar pasajeros, siguiendo las normas de tránsito terrestre.

Otro problema adicional a la estructuración del tránsito vehicular es el uso y disposición de las paradas, ya que gran cantidad de ellas están localizadas en el centro de la ciudad de Mérida; y frecuentemente, por el irrespeto de normas básicas tales como: tiempo que las unidades de transporte permanecen en las paradas, embarque y desembarque de pasajeros en sitios no permitido y otras; generan embotellamientos, colas de usuarios, tiempos irregulares de espera y estrés.

En este sentido, la finalidad del presente proyecto es lograr la comprensión a cerca del congestionamiento vehicular que se produce en la parada de transporte público denominada “La Otra Banda” ubicada en la calle 25, entre avenidas 2 y 3 del casco central de la ciudad de Mérida, a través de la modelación y simulación basado en agentes, buscando alternativas al uso y disposición de tal parada, dicho estudio analiza el comportamiento del transporte público y sus alrededores, de lo cual se desprende la siguiente interrogante: ¿Qué pasaría si se reduce o amplía la capacidad en cuanto al uso y disposición que el transporte público hace de esta parada?

para a la organización y estructuración del presente trabajo se establecieron cinco capítulos, destacando en el **Capítulo I**; además de la introducción, inclusión de antecedentes, definición del problema, objetivos y la metodología respectiva. En el **Capítulo II**, contiene el marco teórico: conceptos, propiedades, características y ambientes de los agentes y sistemas multiagentes, revisión de algunas metodologías y plataformas usadas para su desarrollo, incluye aspectos relativos al tránsito vehicular, congestión vehicular y sus causas, modelado de autos y sus enfoques, exposición detallada de la plataforma NetLogo.

El Capítulo III, contiene la metodología utilizada en la construcción, diseño y desarrollo del modelo de tráfico de autos basado en SMA, caracterizando el dinamismo funcional alrededor de la parada en estudio, previa verificación y validación. **Los Capítulo IV**: muestra los resultados corroborados mediante escenarios hipotéticos **Capítulo V**: conclusiones y recomendaciones.

1.1 Antecedentes

En la actualidad se ha suscitado gran interés por conocer el desarrollo del tránsito vehicular en general, así como sus realidades y la problemática que su incidencia genera. En este sentido, muchos investigadores han venido utilizando distintas plataformas tecnológicas de modelación y simulación para explicar su comportamiento. Por tal motivo, algunos de esos estudios o trabajos son tomados en cuenta en la presente investigación:

Meigan, Simonin, & Koukam (2006) Presentaron una simulación para redes de buses que modela sus especificaciones y permite analizar y evaluar una red de buses en diversos espacios y en escalas de tiempos.

Zambrano (2008), cuyo trabajo de grado: “Modelado y simulación a nivel mesoscópico mediante Redes de Petri Híbridas del tráfico urbano en la ruta del Trolmérica”, fue presentado en la Universidad de los Andes; tuvo como objetivo general, construir un modelo de simulación que analiza el comportamiento del tráfico vehicular en las distintas intersecciones semaforizadas, en las cuales intervienen vehículos particulares así como el sistema de transporte masivo Trolmérica.

También Camacho en el 2008 realizó un trabajo de grado para la Universidad de los Andes titulado: “Estudio del uso de sistemas multiagentes para el tráfico de autos”, en el que muestra la viabilidad del uso de los sistemas multiagentes para el modelado del tráfico de autos, a través de la plataforma NetLogo, cuyo objetivo general fue modelar el tránsito vehicular en una intersección de la ciudad, estableciendo el comportamiento de dos tipos de conductores que previamente fueron considerados como pasivos y agresivos.

Tlig & Bhouri, (2011) Utilizan los sistemas multiagente para el control y regulación de tráfico urbano y de buses, donde un principal objetivo de esta estrategia es reducir el retraso en el cruce de una intersección para cualquier tipo de vehículo,

además de la regulación de buses. Para esto, desarrollaron una estrategia multiagente bimodal de control de tráfico urbano.

En el año 2011, Al-Dmour desarrolla para la Universidad de Mutah, Jordania, la presentación de “TraffSim”; que es un sistema de simulación de tráfico multiagente usando la herramienta NetLogo; donde un vehículo es considerado como agente que descubre otros vehículos en la vía y observa cómo se mueven constantemente y se moviliza para alcanzar su destino final de la forma más segura y rápida posible.

En un estudio de Calderón (2014), desarrolla para la Universidad Católica Andrés Bello, como parte de su trabajo especial de grado, un modelo de administración de tránsito basado en agentes que interactúan en una intersección de calles dentro de una ciudad virtual, cuya realización refleja la utilización de tres escenarios diferentes, en la que se van agregando agentes, produciendo con su interacción, comportamientos emergentes variados. El software utilizado para esta simulación es el SeSAm, cuyas siglas traducidas al inglés, provienen de Shell for simulated Agents Sistem, que no es más que un ambiente basado en agentes para desarrollar la simulación.

1.2 Definición del problema

En los últimos años, el tránsito de automóviles se ha convertido en un problema que afecta a la población venezolana; una realidad tangible son los congestionamientos vehiculares, cuya consecuencia es la pérdida de tiempo y tardanza para llegar a los sitios de destino. Frecuentemente, las zonas más afectadas por el congestionamiento vehicular gira alrededor de aquellos espacios donde hay una alta densidad poblacional, funcionan oficinas gubernamentales, comercios y oficinas particulares, que tradicionalmente se ubican en el centro de las principales ciudades.

El casco central de la ciudad de Mérida es un claro ejemplo de esta realidad; debido al crecimiento desmedido de la circulación de vehículos que agotan la capacidad de avenidas y calles, ocasionando, que los espacios destinados a paradas de transporte público, sean ocupados por vehículos particulares o irrespetado por los propios conductores del transporte público. También es frecuente observar que muchos peatones

no atienden correctamente las señales de los semáforos y cruce de vías o intersecciones, lo cual impide el flujo normal de los vehículos, igualmente ocurre con los usuarios del transporte públicos, ya que ascienden o descienden de la unidad en lugares distintos al de la parada reglamentaria.

Otro elemento que afecta al tráfico vehicular es el tiempo que las unidades de transporte público permanecen en las paradas, ya que no hay un límite en el que dicho transporte deba permanecer en cada una de ellas, lo cual genera congestionamiento frecuente en la calle donde se ubica la parada objeto de estudio y demás vías adyacentes.

La solución a esta problemática es sumamente compleja, ya que una de las alternativas es la de construir nuevas vías, que por razones de costo y espacios disponibles, resultarían difíciles de realizar; sin embargo, el comportamiento del transporte público y el respectivo uso de las paradas se puede abordar desde una perspectiva diferente, ello implica, desarrollar tecnologías, cuyas herramientas puedan hacer un análisis pormenorizado de las circunstancias descritas, de manera que tal problema, pueda ser tratado mediante el uso de SMA, toda vez que su empleo permite un conjunto de medios para evaluar el posicionamiento de las paradas y el del flujo vehicular, no sólo en la respectiva parada, sino además, observar el comportamiento del tránsito en calles y avenidas adyacentes.

La presente investigación se enfoca en el modelado y simulación del posicionamiento de una parada de transporte público y el tráfico vehicular en general; asignándoles la función de conductores a los agentes.

El tráfico está representado por la respuesta que genera la interacción entre los agentes y el ambiente; y éste a su vez, simbolizado por los elementos que conforman el casco central de la ciudad de Mérida, cuyas líneas de transporte público convergen en la parada la “Otra Banda” ubicada en la Calle 25 entre avenidas 2 y 3 y su entorno (avenidas, calles, peatones, pasajeros, semáforos y paradas de transporte público), conforme al cual los agentes, (conductores) deciden como desplazarse por las vías adyacentes y hacer uso de la parada.

1.3 Objetivo general

Modelar y simular mediante un sistema multiagente, la parada de transporte público “La Otra Banda” ubicada en la calle 25, entre avenidas 2 y 3 del casco central de la ciudad de Mérida del estado Mérida y su respectivo flujo vehicular, considerando el entorno urbano, vías e intersecciones adyacentes.

1.4 Objetivos específicos

- Revisar las metodologías y plataformas de desarrollo SMA aplicables al modelado del sistema de paradas y el respectivo tráfico vehicular.
- Hacer un diagnostico del área de estudio incluyendo: tiempo de espera, número de unidades de transporte, capacidad de la parada en estudio, flujo vehicular y capacidad de calles y avenidas.
- Modelar dos tipos de conductores; pasivos y agresivos.
- Verificar y validar el modelo desarrollado.
- Observar posibles comportamientos emergentes que surjan en el simulado del tráfico con respecto al transporte público.
- Medir y analizar, en el proceso de simulación, variables de interés a la problemática a estudiar como por ejemplo: tiempos en el sistema, tiempos en cola, entre otros.

1.5 Metodología

La investigación se llevará a cabo de la siguiente forma:

En el presente estudio se estableció una secuencia de actividades que permitieron abordar desde el punto de vista bibliográfico, los elementos fundamentales del tema investigado. Así por ejemplo, una vez conocido el problema planteado, se procedió a analizar algunos conceptos y definiciones relativos a los agentes y sistemas multiagente, a la vez que se indagó lo correspondiente al tránsito de autos, transporte

público, congestionamiento vehicular y sus consecuencias. Seguidamente, se revisaron algunas metodologías y plataformas requeridas para el modelado y simulación basado en agentes y sistemas multiagentes y específicamente las relativas a la modelación del tráfico vehicular; conocidas sus características y funcionamiento, se optó por la plataforma NetLogo para modelar y simular el comportamiento del flujo vehicular y el entorno, ya que esta plataforma considera una dimensión mesoscópica, tanto de la parada en estudio, como de sus vías de acceso. Además, dicha plataforma resultó accesible, de fácil manejo y adecuada para poder desarrollar el tema de investigación seleccionado.

Previo al desarrollo de la investigación, se seleccionó una parada de transporte público y sobre la misma, se hicieron observaciones, recolección de datos, mediciones y estudios que permitieron visualizar la realidad que en dicho entorno se vive. La información obtenida fue objeto del análisis estadístico respectivo, conforme al cual, poder diagnosticar su situación y proceder a su modelización

Finalmente, se efectuó el modelado de acuerdo a las características funcionales de los agentes que intervienen y en base a los datos reales obtenidos en la parada y su entorno. Así mismo, se realizaron pruebas con el modelo desarrollado para observar los comportamientos emergentes de la parada de transporte público a través de la simulación.

Capítulo II

2 Marco Teórico

Para la revisión conceptual y fundamental de los sistemas multiagentes y su aplicación al tráfico de autos y la utilización de las paradas de transporte público, se establece un conjunto de definiciones de conformidad con los agentes que intervienen y sus características, se realiza igualmente la caracterización de los sistemas multiagentes, describiendo su arquitectura y funcionamiento. Por otro lado se señala el significado de tráfico vehicular, rutas por las cuales transitan y utilización de sus respectivas paradas, haciendo énfasis en el transporte público, todo lo cual, constituye el objetivo general de la presente investigación, logrando una fundamentación teórica de los modelos de interacción entre agentes, metodologías de desarrollo SMA, detallando la aplicación del modelo seleccionado que permita su simulación.

2.1 Agentes

2.1.1 Definición

Como se ha expuesto en el Capítulo anterior, hay diversas definiciones de agentes y SMA, ya que el tema puede ser aplicado a varias áreas de estudio, ello va a depender de cada investigador y a la selección de metodologías apropiadas. Varias de estas definiciones se presentan a continuación.

Para Maes (1994), “los agentes son sistemas computacionales que habitan en algún ambiente complejo y dinámico, pudiendo sentir ese entorno y actuar en

consecuencia, tomando en cuenta el conjunto de objetivos y motivaciones que intenta conseguir a través de sus acciones.” (p. 2)

En su Trabajo de Grado Molina (2010), citando a Wooldridge & Jennings, (1995), expresa que: “Un agente es un sistema situado en un determinado entorno, capaz de actuar de forma autónoma y razonando en dicho entorno”, (p. 9).

Miguel (2011); cita a Huhns & Singh (1998) para definir a un agente como: (...) un programa informático auto contenido que puede controlar sus propias acciones basado en sus percepciones del entorno”. (parr. 14)

Por su parte Weiss, (1999) establece que “Un agente es un sistema computacional que está situado en un ambiente, y que es capaz de tomar acciones autónomas en ese ambiente con el fin de cumplir sus objetivos de diseño”. (citado en Bravo, Aguilar y Rivas, 2004, p. 76)

Según Lobo (2003), “el agente es una entidad que tiene un conocimiento propio sobre su problema y su entorno, que puede interactuar con otros agentes y el entorno y que puede realizar sus propios procesos de razonamiento”. (p. 11)

Russell & Norvig (2004), señalan que un agente “es cualquier cosa capaz de percibir su medio ambiente con la ayuda de sensores y actuar en ese medio utilizando actuadores”. (p.37).

Para Arroyo & Hassan (s.f.) que forman parte del Grupo de Agentes Software, Ingeniería y Aplicaciones (GRASIA) de la Universidad Complutense de Madrid:

Un agente es una entidad software a la que se ha dotado de inteligencia artificial, con capacidades cognitivas, de interacción con su entorno y con otros agentes y de toma de decisiones autónomas. Constituye la base para modelar individuos del sistema real, es decir seres humanos. (parr. 11)

2.1.2 Propiedades y Características de los agentes

Un agente debe tener ciertas cualidades para ser definido como tal. Según Wooldridge & Jennings (1995) estos son los atributos que definen a un agente (p. 116):

- **Autonomía:** Capacidad de actuar sin la intervención directa de una persona o de otro agente. Un agente debe poder controlar sus propias acciones y estado interno.
- **Habilidad Social:** Un agente debe tener habilidad para interactuar con otros agentes o incluso con alguna persona. Un agente debe ser comunicativo.
- **Reactividad:** Un agente actúa como resultado de cambios en su entorno. En este caso, un agente percibe el entorno y esos cambios dirigen el comportamiento del agente.
- **Pro-actividad:** Un agente no sólo debe actuar en respuesta a los cambios en el medioambiente, debe además trabajar para conseguir los objetivos por los cuales ese agente fue diseñado.

En este orden de ideas, Franklin & Graesser, (1996) y Nwana (1996), citados en (Camacho 2008, pp. 11-12), agregan las siguientes caracterizaciones:

- **Continuidad Temporal:** En virtud de que un agente sigue un proceso sin fin, ejecutando y desarrollando su función continuamente.
- **Racionalidad:** El agente siempre realiza “lo correcto” a partir de los datos que percibe del entorno.
- **Adaptabilidad:** Está relacionado con el aprendizaje que un agente es capaz de realizar y si puede cambiar su comportamiento basándose en ese aprendizaje.
- **Movilidad:** Capacidad de un agente para trasladarse a través de una red.
- **Veracidad:** Un agente no comunica información falsa a propósito.
- **Benevolencia:** Un agente está dispuesto a ayudar a otros agentes si esto no entra en conflicto con sus propios objetivos.

2.1.3 Clasificación de los agentes

Existen muchas maneras de clasificar a los agentes. (Quintero, Rodríguez, & Ucrós, 2003, citado por Molina 2010, p. 15), los clasifican de la siguiente manera:

- **Agente Cognitivo:** Es individualmente inteligente y puede comunicarse con los demás agentes y llegar a un acuerdo con todos o alguno de ellos, sobre

algunas decisiones. Efectúa operaciones complejas. Usualmente un sistema cognitivo se compone de un número pequeño de agentes cognitivos.

- **Agente Reactivo:** Es un agente de bajo nivel, que no dispone de un lenguaje de comunicación y cuya única capacidad es responder a estímulos. Los agentes reactivos no son individualmente inteligentes, sino globalmente inteligentes. Los sistemas reactivos comúnmente están compuestos por un gran número de agentes reactivos que realizan acciones entre todos, para esto es necesario tener en cuenta nuevas teorías de cooperación y comunicación que permitan el desempeño de estas acciones.

Otros autores como Tolosa & Bordignon (1999, p. 302-304), clasifican a los agentes de la siguiente manera:

- **Agentes Interfaz:** Se enfatizan en la autonomía y la adaptabilidad, es un software casi inteligente que asiste a un usuario cuando interactúa con una o más aplicaciones. Lo más resaltante de este tipo de agente es que puede adaptarse a las preferencias y hábitos de sus usuarios. El agente interfaz aprende a asistir mejor al usuario de varias formas: observando e imitando al usuario, recibiendo reacciones positivas y negativas del usuario, recibiendo instrucciones explícitas del usuario, preguntando a otros agentes. Es así que el agente actúa como un asistente personal y autónomo del usuario.
- **Agentes Móviles:** La noción de movilidad viene del objeto de reducir el tráfico innecesario dentro de una red, con lo que se puede reducir los costos de comunicación. Es por esto que los agentes móviles son capaces de viajar por una red de computadoras, interactuando con equipos y recopilando información. Representan un nuevo modelo en la computación distribuida, posibilita el mejor aprovechamiento de los recursos de la red y permite que los usuarios tengan acceso a una cantidad de mayores recursos.
- **Agentes de Información:** Estos agentes obtienen información por el usuario. La motivación para su construcción es que con el crecimiento de Internet, la

cantidad de información accesible supera la cantidad de tiempo disponible para analizarla

- **Agentes Colaborativos:** estos constituyen un SMA, lo que quiere decir que existe más de un agente dedicado a satisfacer los requerimientos de sus usuarios. Es necesario contar con esquemas de comunicación entre agentes que posibiliten la cooperación e intercambio de información.

Existe una amplia clasificación de agentes inteligentes, de allí la importancia de su aplicación, ya que la misma estará orientada a los criterios y metodologías que se desea desarrollar.

Es bueno aclarar que en el caso de los agentes móviles, Nwana (1996), (citado por Tolosa et al. 1999, p. 304), expone que para crear sistemas con dichos agentes es necesario definir ciertos elementos, tales como:

- **Transporte:** forma en la cual se mueven de un lugar a otro.
- **Ejecución:** ejecución del agente en forma remota.
- **Autenticación:** forma de comprobar si el agente es quien dice ser y a quién representa.
- **Privacidad:** asegurar que el agente mantenga resguardado su estado interno.
- **Seguridad:** protección contra archivos malicioso. Prevenir que el agente entre en bucles infinitos o falle.

2.1.4 Arquitectura de los agentes

La arquitectura de agentes permite descomponer un SMA y determinar cómo deben interactuar entre ellos. Kaelbling, (1991), define la arquitectura de agente como:

Una colección específica de módulos de software (o hardware), típicamente designados por cajas con flechas que indican el flujo de datos y el control entre los módulos. Una vista abstracta de una arquitectura es como una metodología general para diseñar descomposiciones modulares particulares para tareas particulares (p.86).

Molina (2010) citando a Maes, (1991), que una arquitectura de agente es: Una metodología particular para construir agentes. Esta especifica cómo puede descomponerse el agente, construyendo un conjunto de componentes modulares y cómo deben realizarse estos módulos para que interactúen. El conjunto total de módulos y sus interacciones tienen que dar una respuesta a la pregunta: de ¿Cómo los datos de los sensores y el estado interno actual del agente determinan las acciones y el futuro estado interno del agente? Una arquitectura comprende técnicas y algoritmos que soportan esta metodología. (p. 16)

La estructura correcta de las arquitecturas es directamente proporcional a las tareas y el entorno donde éstas se desarrollen.

Según Camacho (2008, p. 13) citando a Quintero et al. (2003); La arquitectura interna de un agente se puede clasificar de la siguiente manera:

- **Funcionalidad:** Es el conjunto de tareas o funciones que el agente debe hacer y que los demás agentes pueden conocer que él hace. Dentro de estas funciones pueden estar las de comunicación con otros agentes, de selección de agentes para una tarea concreta, de obtener información del sistema, de información de estado interno del agente, entre otros.
- **Conocimiento:** Es el conocimiento que cada agente tiene y que usa para la resolución de un problema, es decir, es la representación de lo que se sabe y de lo que ha adquirido en experiencias pasadas, de tal manera que al presentarse algún problema esto le sirve para hallar soluciones o seleccionar acciones a seguir.
- **Creencias:** Es el conocimiento subjetivo o conjunto de opiniones que el agente tiene de sí mismo y de los demás agentes. Puede comenzar como una opinión o conocimiento inicial y cambiar con las acciones y desempeño de cada uno de los agentes, incluido él mismo.
- **Comunicaciones:** Los agentes cognitivos cuentan con mecanismos de comunicación que les permiten interactuar con los otros agentes para la resolución cooperativa de problemas, para la coordinación o sincronización de

acciones, para resolver conflictos con recursos, para participar en una negociación, o simplemente para enviar información. Uno de estos mecanismos de comunicación los constituye el paso de mensajes entre los agentes. Algunos tipos de comunicación se describen a continuación:

- **Comunicación selectiva o difusa:** en la comunicación selectiva, los agentes destino de los mensajes son escogidos por medio de alguna función de selección; en la comunicación difusa o "broadcast", por el contrario, el mensaje es enviado a todos los agentes.
- **Comunicación con o sin espera de confirmación:** se dice que existe comunicación con espera de confirmación, si el agente emisor espera un mensaje de "acknowledge" de recepción por parte del agente receptor. Si el agente emisor no espera dicho mensaje de reconocimiento, se dice que existe comunicación sin espera de confirmación.
- **Comunicación de transmisión simple o con retransmisión:** en la comunicación de transmisión simple, el emisor transmite solo una vez un mensaje; en la comunicación con retransmisión, el emisor retransmite varias veces un mensaje.
- **Control:** El control en un agente está representado por la estructura local de metas que el agente tiene. Para manejo más efectivo de estas estructuras se adicionan los conceptos de planes, metas, intenciones y estrategias que el agente tiene.

2.1.5 Ambientes de los agentes

Russell & Norvig (2004), (p. 47- 49) sugieren la siguiente clasificación de ambientes:

- **Totalmente observable vs Parcialmente observable:** Un ambiente totalmente observable o accesible es uno en el que el agente puede obtener una información completa y precisa acerca del estado del ambiente, ya que sus sensores le dan acceso al estado completo del medio en cada momento. Ambientes moderadamente complejos son parcialmente observables debido al ruido y a la existencia de sensores poco exactos.

- **Determinista vs Estocástico:** Un ambiente determinista es uno en el que cualquier acción tiene garantizado un único efecto, lo que quiere decir, que si el siguiente estado del medio está totalmente determinado por el estado actual y la acción ejecutada por el agente, entonces el entorno es determinista; en caso de ser al contrario el ambiente es estocástico. En la mayoría de los casos los agentes no tienen un control completo del ambiente, sino que tienen un control parcial, es decir, que pueden influir en él. Esto quiere decir, desde el punto de vista del agente, que la misma acción realizada varias veces, en idénticas circunstancias, podría tener efectos completamente diferentes.
- **Episódico vs Secuencial:** En un ambiente episódico la experiencia de un agente se divide en episodios de percepción-acción (atómicos). El próximo episodio no depende de la acción tomada en el episodio anterior. En ambientes secuenciales la decisión actual puede afectar a las decisiones futuras. Esto hace que los medios secuenciales sean más complejos que los episódicos porque la gente no necesita pensar con tiempo.
- **Estático vs Dinámico:** Si el entorno puede cambiar cuando el agente está deliberando, entonces se dice que el entorno es dinámico para el agente, de otra forma se dice que es estático. Si el entorno no cambia con el paso del tiempo, pero el rendimiento del agente cambia, entonces se dice que el medio es semi-dinámico.
- **Discreto vs Continuo:** Un ambiente es discreto cuando en él existe un número fijo y finito de acciones y percepciones. El juego de ajedrez es un ejemplo de un ambiente discreto y manejar un taxi un ejemplo de un ambiente continuo. La distinción entre discreto y continuo se puede aplicar al estado del medio, a la forma en la que se maneja el tiempo y a las percepciones y acciones del agente.

Como puede observarse, los agentes constituyen un elemento esencial de los sistemas computacionales y existen diversidad de criterios para lograr una definición que sea universalmente aceptada por todos, es por ello que en este estudio se considera

a un agente, como una entidad software con capacidad de adaptarse, comunicarse e interactuar autónomamente con otros agentes y elementos del sistema, desenvolviéndose en un medio ambiente particular, produciendo comportamientos emergentes, conforme al cual, puedan explicarse fenómenos sociales; así como la caracterización de problemas técnicos cotidianos, cuyos resultado puedan ser objeto de análisis en forma virtual.

2.2 Sistemas Multiagente (SMA)

2.2.1 Definición

Los SMA, dentro de la inteligencia artificial, se refieren a sistemas dinámicos y complejos en el que muchos investigadores muestran interés por su estudio; en razón a ello, cada uno por su lado, procuran una aproximación conceptual sujeta a cada línea de investigación. Así por ejemplo, (Julian, 2002, pp. 13-15.), dice que:

Un SMA está formado por un conjunto de entidades llamadas agentes que coordinan sus habilidades para resolver problemas individuales o globales. Un sistema distribuido puede ser visto como un SMA, en el cual los nodos son sistemas de inteligencia artificial y su conducta produce un resultado inteligente.

También Aguilar, Ríos, Hidrobo y Cerrada, (2013) expresan que:

Un SMA tiene que ver con el comportamiento de una colección de agentes autónomos tratando de resolver un problema dado, por lo cual comparten conocimiento acerca del problema y sus soluciones. Un SMA está formado por un grupo de agentes que interactúan entre sí, utilizando protocolos y lenguajes de comunicación de alto nivel, para resolver problemas que están más allá de sus capacidades o de conocimiento de cada uno. (p. 20).

Es bueno establecer que los sistemas multiagentes son por excelencia ambientes sobre los cuales interactúan agentes inteligentes, y en tal sentido:

La inteligencia de un SMA puede obtenerse de dos maneras; la primera, mediante el uso de agentes inteligentes para el sistema. La segunda, usando agentes reactivos. En este caso, la inteligencia colectiva del sistema es un fenómeno o comportamiento emergente, según expresa (Molina, 2010, p. 21).

Camacho (2008), hace notar que los agentes no siempre son inteligentes y al respecto señala: “Existen como en todo el resto del dominio de la inteligencia artificial, dos enfoques para construir sistemas multiagentes” (pp. 14 y 15):

- **El enfoque formal o clásico:** Consiste en dotar a los agentes de la mayor inteligencia posible utilizando descripciones formales del problema a resolver y de hacer reposar el funcionamiento del sistema en tales capacidades cognitivas. Normalmente se usa un sistema formal para definir la inteligencia (sistemas de inferencia lógica) para el raciocinio, la descripción, inferencia de nuevo conocimiento y planificación de acciones a realizar en el medio ambiente.
- **Enfoque constructivista:** Viene con la idea de brindarle inteligencia al conjunto de todos los agentes, para que mediante mecanismos elaborados de interacción, el propio sistema genere comportamiento inteligente que no necesariamente estaba planeado desde un principio o definido dentro de los agentes mismos. Este tipo de conducta es conocido como comportamiento emergente.

2.2.2 Características

Estos sistemas considerados como un todo, exhiben características particulares, se presentan a continuación; (Quintero et al., 2003, citado por Molina 2010, pp. 21-25):

Organización social: La organización social define la forma como el grupo de agentes está constituido en un instante dado y está relacionada con la estructura de los

componentes funcionales del sistema, sus características, sus responsabilidades, sus necesidades y la manera como realizan sus comunicaciones.

Se puede considerar que una sociedad de agentes está constituida por tres elementos: un grupo de agentes, un conjunto de tareas a realizar y un conjunto de recursos.

De acuerdo al tipo de comunicación, al modo de cooperación entre agentes y a su tipo, se pueden distinguir tres tipos de organizaciones:

- Estructura centralizada. Existe un agente que controla la interacción de los demás agentes del sistema porque tiene la información o la funcionalidad para hacerlo.
- Estructura horizontal. Este tipo de configuración existe cuando todos los agentes que integran un sistema están al mismo nivel, es decir, no hay ningún agente que haga las veces de maestro o supervisor, ni tampoco agentes esclavos.
- Estructura jerárquica. En esta configuración los agentes trabajan en diferentes niveles de abstracción de un problema. En un mismo nivel se establece una configuración horizontal, si hay más de un agente. Para resolver un problema cada agente divide el problema en subproblemas que él puede resolver, subproblemas que puede resolver con la cooperación de los agentes que están al mismo nivel y subproblemas que sabe que los agentes de niveles inferiores de la jerarquía pueden resolver.
- Estructura "ad hoc". Esta configuración puede ser una mezcla de las tres anteriores. Se caracteriza porque la dinamicidad de la estructura está regida por el ajuste mutuo entre los pequeños grupos de agentes en el sistema.

Cooperación: En un SMA existen dos tipos de tareas que deben ser realizadas: las tareas locales y las tareas globales. Las tareas locales son las tareas relacionadas con los intereses individuales de cada agente y las tareas globales son las tareas relacionadas con los intereses globales del sistema. Las tareas globales son descompuestas en subtareas para que cada una de ellas sea abordada por un agente de acuerdo a sus habilidades. Luego se integran los resultados para llegar a la solución global.

Para que los agentes puedan cooperar de manera eficiente, cada uno de ellos debe tener ciertas características:

- Tener un modelo bien definido del entorno, que le permite localizar a los demás agentes, saber cómo comunicarse con ellos y que tareas pueden realizar.
- Poder integrar información de otros agentes con la suya, para formar conceptos globales o conocimiento conformado por varios agentes.
- Poder interrumpir un plan que se esté llevando a cabo para ayudar o atender a otros agentes para que puedan cooperar entre sí.

Coordinación: La coordinación entre un grupo de agentes les permite considerar todas las tareas a realizar y tener cuidado de no ejecutar acciones indeseables. Estas acciones pueden ser, que los agentes no generen y comuniquen subsoluciones que lleven al progreso en la solución de un problema, que los agentes generen y comuniquen resultados redundantes, o que surja una distribución inapropiada de la carga de trabajo entre los agentes.

Hay varios modelos de coordinación de acciones entre agentes, de los cuales se destacan dos:

- Coordinación global. Cuando el SMA determina y planifica globalmente las acciones de los diferentes agentes.
- Coordinación individual. Cuando el SMA le da completa autonomía a los agentes para que decidan que hacer e intenten resolver localmente los conflictos que detecten con otros agentes.

Negociación: Para que los mecanismos de cooperación y coordinación sean exitosos en un sistema de agentes, debe existir un mecanismo adicional, por medio del cual los integrantes de un sistema se puedan poner de acuerdo cuando cada agente defiende sus propios intereses, llevándolos a una situación que los beneficie a todos teniendo en cuenta el punto de vista de cada uno. Este mecanismo es llamado negociación.

Los procesos de negociación tienen como resultado la modificación o conformación de las creencias de cada agente involucrado, en lo relacionado con los demás agentes y con el mundo en el que se desenvuelve.

La negociación se puede mirar bajo una perspectiva racional, la cual describe la negociación como un proceso de seis pasos:

- Definir el problema
- Identificar aspectos
- Ponderar criterios
- Generar alternativas
- Evaluar alternativas
- Formular solución

Para llevar a cabo el proceso de negociación se toman en cuenta las siguientes dos reglas:

- Consenso o unanimidad. Una decisión es tomada cuando todos los miembros de un grupo están de acuerdo con dicha decisión. Es posible que se llegue a esto después de negociar varias veces la decisión.
- Mayoría. Una decisión es tomada cuando la mayoría de los miembros de un grupo está de acuerdo con dicha decisión. La definición de mayoría depende del sistema y se puede relacionar con el número de votos a favor de una decisión.

Control: El control se relaciona directamente con determinar cuáles son las subtareas más importantes a realizar en un momento dado, determinar qué contexto deben ser usados en la solución de esas actividades, así como estimar el tiempo de generación de dicha solución y evaluar si el tratamiento de un problema ha sido generado.

El control puede ser aplicado bajo dos tendencias: control global y control local.

El control global se relaciona con tomar decisiones basándose en datos obtenidos a partir de la información de todos los agentes del sistema; el control local se relaciona con tomar decisiones basándose sólo en datos locales.

Un mecanismo empleado para la implementación del control en un SMA, es la creación y manejo de estructuras que puedan acceder todos los agentes y en las que se representen, organicen e integren, a alto nivel, las metas globales y locales del sistema.

2.2.3 Metodologías y plataformas de desarrollo SMA

Existe actualmente un gran número de metodologías y plataformas usadas para el desarrollo de sistemas multiagente, depende de cada investigador, la elección de la que mejor se adapte al desarrollo que desea realizar, ya que la mayoría de estas metodologías coinciden en algunas características básicas, pero poseen capacidades distintas y están orientadas a diferentes ambientes.

2.2.3.1 Metodologías

En el X Congreso de Ciencias de la Computación, realizado en el 2004 en Matanzas-Argentina, Marchetti y García expusieron que: “Una metodología constituye un conjunto de etapas o fases que van guiando a los diseñadores partiendo de una definición de alto nivel hacia una aproximación a una implementación”. (parr. 1). Entre todas las metodologías que existen se puede decir que las más conocidas son:

- **Método de Burmeister** (Burmeister, 1996), citado por Julian, (s/f) En este trabajo se especifica tres modelos para el análisis orientado a los agentes de un sistema. (...)Organización, agentes e interacción son los elementos claves a detectar y modelar que introduce esta metodología”. (parr. 7)
- **MAS-CommonKADS** (Iglesias, 1998, p.1)
El resultado de esta revisión ha sido denominado MAS-CommonKADS, que ha incorporado una fase de conceptualización a la metodología, un nuevo modelo para describir la definición de una de las interacciones entre los agentes (denominado modelo de coordinación), ha extendido el modelo de organización para

describir las estructuras sociales de los agentes y ha realizado una nueva definición de los modelos de agente y de diseño.

Como se observa, esta metodología está basada en *CommonKADS*, aportando una serie de modelos para desarrollar las fases de análisis y diseño de SMA. Estos modelos son: agente, experiencia, tareas, coordinación, comunicación, organización y diseño.

- **GAIA** (Jennings, Wooldridge & Sycara, A Roadmap of Agent Research and Development 1998) y (Wooldridge, Jennings, & Kinny, 'The GAIA methodology for agent oriented analysis and design', 2000). Los dominios considerados por la metodología como roles, responsabilidades e interacciones, tienen las siguientes características: los agentes son heterogéneos, la estructura de organización del sistema es estática, las habilidades de los agentes y sus servicios son estáticos y no cambian en el tiempo de ejecución, además emplea un número manejable de agentes.
- **DESIRE** Constituye un entorno altamente expresivo para permitir a los diseñadores de sistemas multiagente enfocarse en el diseño y especificación de su sistema. El entorno de modelización permite automáticamente generar prototipos de aplicaciones directamente desde la especificación. (Brazier, Dunin, Jennings, & Treur, 1997, pp. 67-94).
- **MASSIVE** (*Multi-Agent SystemS Iterative View Engineering*) (Lind, 1999). Está constituido por un conjunto de vistas diferentes del sistema a construir donde el desarrollo que se sigue consiste en una visión iterativa del mismo. En él se combinan procesos de reingeniería junto con un método en cascada mejorado que permite realizar refinamientos. (Citado por Julian & Botti, 2003, sp)

- **MaSE** (*Multiagent System Engineering*) (Wood, 2000).

Es una metodología desarrollada en el Air Force Institute of Technology. Dicha metodología trata de cubrir todas las etapas en el proceso de construcción de un sistema multiagente, partiendo de la especificación del mismo hasta su implementación. Dispone de un lenguaje de especificación basado en UML+OCL [Robinson00] y una herramienta de desarrollo denominada AgentTool que trata de cubrir la totalidad de fases de la metodología pero que por el momento se queda en sólo una parte de ellas. (Op.cit. s/p)

- **BDI** (*Belief, Desire, Intentions*). Su autor; Kinny (1996), desarrolla una arquitectura BDI, inspirada en un modelo cognitivo del ser humano. Los agentes utilizan un modelo del mundo, una representación de cómo se les muestra el ambiente. El agente recibe estímulos a través de sensores ubicados en el mundo. Estos estímulos modifican el modelo del mundo que tiene el agente (que está representado por un conjunto de creencias que tiene el agente). Para guiar sus acciones, el agente tiene deseos. Un deseo es un estado que el agente quiere alcanzar a través de intenciones. Al respecto Julián & Botti, (2003), señalan que: “Esta aproximación trata de explorar cómo las técnicas de modelado se pueden extender para aplicarse a sistemas de agente basados en la arquitectura BDI”, (sp).

Tal como se ha señalado, son múltiples la metodologías que se han venido utilizando para el desarrollo de sistemas multiagentes, con lo cual, se quiere dar respuesta a una serie de interrogantes planteadas. Dichos métodos atienden a criterios particulares de cada investigador y al tipo de aplicación que se quiere desarrollar. En este sentido, en las tablas siguientes se muestran sendos cuadros comparativos de algunas metodologías, las cuales son aplicables al modelado y diseño de Sistemas Multiagentes.

	KINNY	GAIA	BURMEISTER	MAS-C. KADS
<i>Fases* consideradas</i>	AD	AD	AD	AD
<i>UML</i>	Empleo de OMT	–	–	Empleo notación OO en algunas fases
<i>Tipo Sistema</i>	Cerrado, no dinámico	Cerrado, no dinámico	Cerrado, no dinámico	Cerrado, no dinámico
<i>Orientación</i>	Extensiones OO	–	Extensiones OO	Ing. del conocimiento
<i>Movilidad</i>	NO	NO	NO	NO
<i>Tiempo Real</i>	NO	NO	NO	NO
<i>Herramienta desarrollo</i>	–	–	NO	SI, AgentEditor
<i>Limitaciones</i>	Sólo agentes BDI	Diseño alto nivel Máx. 100 tipos de agentes	Poco detallada	Complejidad Common-KADS
<i>Guías resto</i>	NO	NO	NO	Pequeños trazos
<i>Caract. interacciones</i>	No indicado	Modelado de interacciones independiente	Empleo KQML	Empleo KQML
<i>Arquitectura agente</i>	BDI	Independiente	Independiente	Independiente Empleo arq.propia
	MASSIVE	TROPOS	MaSE	MESSAGE
<i>Fases* consideradas</i>	ADI	ADI	AD(I)	AD
<i>UML</i>	SI	SI	SI (UML+OCL)	SI
<i>Tipo Sistema</i>	Cerrado, no dinámico	Cerrado, no dinámico	Cerrado, no dinámico	no dinámico
<i>Orientación</i>	Iterative View Engineering	Basada en el Objetivo Modelo i*	Basada en el Objetivo	Ing. Software + Teoría agentes
<i>Movilidad</i>	NO	NO	NO (en un futuro)	NO
<i>Tiempo Real</i>	NO	NO	NO	NO
<i>Herramienta desarrollo</i>	–	En un futuro	Si AgentTool	Guía herramientas a emplear
<i>Limitaciones</i>	–	Sin finalizar	Max. 10 clases de agente	–
<i>Guías resto fases</i>	–	Req. iniciales e implementación	Implementación en un futuro	SI
<i>Caract. interacciones</i>	Empleo KQML	AUML	Independiente, no broadcast	AUML
<i>Arquitectura agente</i>	Independiente	Uso de JACK (BDI)	Independiente	Según diseño

Tabla 1 Comparativa general de las metodologías. Fuente: (Julian & Botti, 2003, sp)

	<i>VISTAS O FASES EN ANÁLISIS</i>	<i>VISTAS O FASES EN DISEÑO</i>
Kinny	Modelo de Agente Modelo de Interacción Modelos de Creencias Objetivos y Planes	Refinamiento de los modelos del análisis
GAIA	Modelo de Roles Modelo de Interacción	Modelo de Agente Modelo de Servicios Modelo de Conocimiento
Burmeister	Modelo de Agente Modelo de Organización Modelo de Cooperación	Refinamiento de los modelos del análisis
MAS-C. Kads	Fase de Conceptuación Modelo de Organización Modelo de Agente Modelo de Tareas Modelo de la Experiencia M. Comunicación y Coord.	Diseño de Red Diseño de Agentes Diseño de Plataforma
MASSIVE	Vista de Tareas Vista de Entorno Vista de Sistema	Vista de Roles Vista de Interacción Vista de Sociedad Vista de Arquitectura Vista de Sistema
TROPOS	Requerimientos Iniciales Requerimientos Finales (Modelo actores y organización)	Diseño Arquitectónico (Refinado y creación de agentes) Diseño Detallado (Modelo interno de agentes)
MaSE	Captura de Objetivos Aplicación casos de uso Transformación de Roles Creación clases de agente	Construcción de conversaciones Ensamblado clases de agente Diseño del sistema
MESSAGE	Modelo de Organización Modelo de Objetivos/Tareas Modelo de Agente Modelo de Interacción Modelo de Dominio	Refinamiento de modelos (Organización e Interacción) Modelo interno de agentes (Elección de Arquitectura)

Tabla 2 Comparativa de vistas y análisis en diseño. Fuente (Julian &, Botti 2003, sp).

2.2.3.2 Plataformas

De la misma manera, son las plataformas de desarrollo SMA las que permiten el diseño, implementación y ejecución de agentes autónomos, así como la organización de estos. Existe gran variedad de plataformas de desarrollo y la elección de una de ellas

dependerá del desarrollador, entre las más conocidas dentro del mundo del software libre se encuentran:

- **JADE:** (*Java Agent Development Framework*) (Bellifemine, Caire, & Trucco, 2007).

Es un entorno que simplifica la implementación de SMA en base a las especificaciones de la Fundación para Agentes Físicos inteligentes (FIPA). La plataforma puede ser distribuida en varias máquinas (las cuales no necesitan compartir el mismo sistema operativo) y la configuración puede ser controlada mediante una interfaz gráfica remota, esta puede ser modificada en tiempo de ejecución moviendo agentes de una máquina a otra. (Aguilar, Ríos, Hidrobo y Cerrada, 2013, p. 110-111)

- **JAFMAS.** (*Java Framework for Multi-agent Systems*) en este sentido (Marchetti & García, 2003, parr. 10); “expresa que esta plataforma: provee una metodología genérica para desarrollar SMA basados en los actos del habla. (...)La intención del framework es asistir a los desarrolladores principiantes y expertos a estructurar sus ideas en aplicaciones de agentes concretas.”

- **MADKit.** Es una plataforma multiagente para desarrollar y ejecutar aplicaciones en un paradigma orientado a la organización. No está asociado a ninguna arquitectura de agentes, esto hace que los usuarios tengan libertad al implementar sus arquitecturas. (...) “La principal característica de MaDKit es que es, principalmente un motor de ejecución multi-agente. Esto conduce a un desarrollo y despliegue simple, ya que la plataforma se centra en la infraestructura de los agentes”. (Aguilar et al., 2013, p. 145),

- **JACK.**

Provee un entorno de desarrollo orientado a agentes construido sobre java y completamente integrado con este lenguaje de programación. Incluye todas las componentes del entorno de desarrollo de java, y

también las siguientes extensiones para implementar el comportamiento de los agentes. (Citado en Molina, 2010, p. 42).

- **NetLogo.** (Wilensky, 1999). Es una herramienta que facilita la construcción de un SMA con elevado número de agentes y todos pueden estar en ejecución a la vez. Está construido sobre *Java* y es la última generación de una serie de lenguajes de modelado multiagente que comienza con *StarLogo*.

2.3 Tránsito Vehicular

En la práctica; tránsito vehicular (o tráfico vehicular), denota la circulación de vehículos por un área o zona acondicionada para tal fin, sin embargo existen aspectos conceptuales que lo enmarcan como el “fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista”. (Wikipedia, 2016).

En tal sentido es un fenómeno recurrente, “(...) encontrándose presente en casi todas las zonas de las ciudades, coincidiendo con las actividades de las personas, esto hace que se creen gran variedad de fenómenos donde resaltan los congestionamientos” (Camacho, 2008, p. 30, citando a Bull & Díez, 2001).

Por su parte, el Instituto Nacional de Tránsito Terrestre; en el Glosario de Término: Educación y Seguridad Vial, señala los siguientes significados:

Tráfico: Acción de traficar. Circulación de vehículos por calles, caminos u otros. Movimiento o tránsito de personas, mercancías, etc. Por cualquier medio de transporte.

Tránsito: Acción de transitar. Sitios por donde se pasa de un lugar a otro. Se dice que la cantidad de vehículos que se trasladan de un lugar a otro. Ir de un lugar a otro por vías o parajes públicos. Acción de desplazarse personas, vehículo y animales por vías públicas.

El tránsito vehicular por sí sólo constituye un problema; pero en todo caso, es el congestionamiento que su intensidad produce, lo que más preocupa a la colectividad, de allí la necesidad de investigar su incidencia, en este caso, referida a las vías de acceso a una parada en el centro de la ciudad, la cual se señala al comienzo de este estudio.

Es por ello que el fenómeno del congestionamiento, como consecuencia del tránsito vehicular es objeto de estudio, así por ejemplo (Zambrano, 2008, p.11) expuso que (Guash, Piera, Casanova y Jaume, 2002), señalan que:

(...) el modelo de tráfico tradicional agrupa las variables de velocidad, flujo y densidad, donde la velocidad corresponde a la velocidad de los carros. La densidad está definida por el número de autos por unidad de longitud y el flujo es el número de vehículos que pasan por un punto del camino por unidad de tiempo. Cada una de estas variables se relaciona a través de ecuaciones diferenciales parciales no lineales de primer orden denominadas Ecuaciones de Conservación.

2.3.1 Congestión vehicular

El diccionario de la Real Academia Española (2001) define la palabra congestión como “acción y efecto de congestionar o congestionarse”, e igualmente “congestionarse” significa “obstruir o entorpecer el paso, la circulación o el movimiento de algo”, lo cual es aplicable a nuestro caso del tránsito vehicular. Coloquialmente es entendible como una situación, (Thomson y Bull, 2002, p. 110), “donde existen muchos vehículos circulando de forma lenta o forma irregular por una razón en especial”.

2.3.2 Causas de la congestión del tránsito vehicular

Para el referido autor Thomson & Bull (2002): existen tres aspectos fundamentales por la cual la congestión vehicular es originada:

Características del transporte urbano: Una característica fundamental es que generalmente el uso de transporte se corresponde con una necesidad de trasladarse a sitios y lugares diferentes, con el objeto de realizar distintas actividades, casi nunca ocurre por deseos; lo cual significa, que su incidencia sea una consecuencia de aquel hecho, por lo tanto, la demanda en la utilización de transporte es “derivada”.

Un hecho racional, es el de no poder acumular la capacidad de las vías en momentos de poca demanda para luego usarla en momentos de gran demanda, ya que los espacios viales, no siempre son suficientes y, favorecer la construcción de nuevas vías para garantizar un uso eficiente en épocas de gran demanda, resultaría muy costoso. La consecuencia inmediata de esta situación es la congestión vehicular y por tanto, afecta la calidad de vida, sobre todo en áreas urbanas.

- **El problema es creado principalmente por los automóviles:** Algunos vehículos generan más congestión que otros. En la ingeniería de tránsito cada tipo de vehículo tiene asignada una equivalencia en una unidad de vehículos de pasajeros denominada *pcu* (*passenger car unit*). Así por ejemplo, un automóvil tiene una equivalencia igual a 1 pcu, mientras que un autobús, tiene el equivalente a 4.5 pcu, de lo cual se infiere -aunque el problema es complejo- que el autobús genera más congestión.

- **La condición de las vías y las prácticas de conducta contribuyen a la congestión:** Por varias razones explicadas a continuación:

- La vialidad de las ciudades: Problemas de diseño y conservación:
El inadecuado diseño o poco mantenimiento de la vialidad, es causas de una congestión innecesaria. En muchas ciudades es frecuente encontrar casos de falta de demarcación de los carriles de circulación, inesperados cambios en el número de carriles, paradero de buses ubicados donde se reduce el ancho de la calzada, demarcación indebida de puesto de estacionamiento y muchas otras deficiencias como éstas entorpecen la fluidez del tránsito. Asimismo, el mal estado del pavimento, y en especial la presencia de baches, genera crecientes restricciones de capacidad y aumenta la congestión. En muchas ciudades latinoamericanas, como Caracas, la lluvia acumulada sobre las calzadas reduce la capacidad de las vías y, por ende, agrava la congestión.
- Algunas conductas causan más congestión que otras:
El abuso en las intersecciones, ya que muchos conductores apresurados intentan cruzar las vías de forma inoportuna, produciendo trancas y

congestión vehicular; así mismo, Un vehículo parado o accidentado, perturba gravemente la fluidez del tránsito, ya que elimina una pista de circulación. También la actuación de conductores que muestra poco o ningún respeto por aquellos con los que comparten las vías.

- La información disponible sobre las condiciones del tráfico es deficiente:
El desconocimiento de las condiciones del tráfico es otro factor que aumenta la congestión vehicular.
- Como consecuencia, prevalece una capacidad disminuida de las calles:
En general, la conducta de motoristas, vehículos y la condición de la vialidad hacen que una calle o una red urbana en América Latina probablemente tengan una capacidad inferior que otras dimensiones geométricas iguales ubicada en Europa o Norteamérica.

2.4 Modelado de tránsito

Según (Becerra, Lampon, Otero, & Ramirez, 2002, citados en Camacho, 2008,), afirman que:

La investigación del tránsito vehicular empezó en 1930, por estudios de Bruce D. Greenshields donde hacia relación entre variables como el volumen y la velocidad del flujo de los automóviles, también hizo un estudio en el desarrollo del tráfico en los cruces. Cuando termina la segunda guerra mundial, existe un incremento masivo del número de vehículos, debido a esto existe la necesidad de realizar investigaciones más profundas en la teoría de tránsito vehicular. (p.32).

De tal expresión se distinguen claramente tres variables que hay que tomar en cuenta para el modelado del tránsito de vehículos: el volumen, la velocidad y el tiempo que utilizan para desplazarse de un punto a otro; a ello habría que agregarle la dimensión y capacidad de las vías, pudiendo reflejar un criterio más amplio para la modelización y con ello, abordar problemas complejos del flujo vehicular

2.4.1 Enfoques del modelado de auto

Existen cuatro tipos de enfoques, según Zambrano (2008), citando a Immers & Logghe, 2002, que permiten realizar modelos de simulación del tráfico:

- **Los modelos macroscópicos:** Asumen que el comportamiento de los conductores depende de las condiciones del tráfico y estudia el comportamiento de los autos a gran escala. Estos corresponden a modelos continuos que utilizan de manera extensiva las ecuaciones diferenciales.

Los modelos macroscópicos más comunes son:

- Lighthill-Whitham-Richards.
- Payne.
- Helbing

- **Los modelos mesoscópicos:** Hacen el estudio de los autos en forma de grupos o de manera individual, donde las propiedades que cada uno de ellos tiene son parecidas. También, existen algunos que se clasifican de acuerdo a sus velocidades y obteniendo tipos de autos que se pueden estudiar de forma individual. Para realizar la descripción se utilizan funciones probabilísticas.

Los modelos más conocidos son:

- **Modelo de distribución de carreteras:** Es definido por la diferencia entre tiempo de separación de dos vehículos sucesivos. En general, se asume que los tiempos se distribuyan de forma aleatoria e independiente.
- **Modelo cluster:** Son caracterizados porque los vehículos se encuentran agrupados por una propiedad específica. Diferentes aspectos de los clusters pueden ser considerados. Las variables de importancia son el tamaño de un cluster y la velocidad.
- **Modelo de gas cinético continuo:** Describen la dinámica del tráfico de vehículos individuales y además, éste modelo describe la dinámica de las funciones de distribución de velocidad de los vehículos en el flujo del tránsito.

- **Los modelos microscópicos:** Se enfocan en la descripción del comportamiento del flujo del tráfico vehicular en alto nivel de detalle, a través de describir entidades discretas individuales y atómicas que interactúan unas con otras. Por lo general estos modelos son discretos y es la herramienta más avanzada de representación de circulación vehicular en calles, avenidas, carreteras y autopistas.

Existen varios tipos de modelos microscópicos:

- **El modelo car-following:** Fue desarrollado en 1950 y simula el comportamiento de un vehículo específico en base al comportamiento del vehículo que se encuentra adelante. Existen dos modelos de car-following: Modelo de la distancia segura y el modelo de estímulo-respuesta.
- **El modelo de cambio de ruta:** Se ocupa de la forma en la cual los vehículos cambian de rutas en base a los vehículos que se encuentran alrededor de él.
- **El modelo de elección de ruta:** Simula a los vehículos en busca de la ruta más corta en una autopista o carretera.
- **Autómatas celulares:** Describe el sistema del tráfico como un conjunto de celdas del mismo tamaño, observando el movimiento de cada vehículo celda por celda.
- **Multiagente:** Simula los estados internos/mentales, es decir, la forma de pensar de cada conductor al momento de tomar una decisión.
- **Los modelos submicroscópicos:** Describen el mismo comportamiento de un modelo microscópico, pero añadiendo al modelo mayor especificación, en especial sobre el vehículo. Aquí se representa el funcionamiento de partes específicas y las actividades que realiza un conductor, por ejemplo la forma en que aplica los frenos.

2.5 Modelado del tráfico de autos usando sistemas multiagentes

Como se ha establecido al inicio del presente capítulo, un sistemas multiagentes, está constituido por varios agentes con una orientación organizativa, capaces de dar repuestas inteligentes a un fenómeno o problema concreto de forma virtual. Dichos agentes revelan una condición especial, ya que pueden actuar independientemente en cualquier entorno, mediante la comunicación con otros agentes del sistema, cuyas tareas han sido previamente definidas.

Modelar el tráfico vehicular, requiere de un diseño que contemple cada una de las características de los agentes y un entorno en el cual puedan desarrollarse; así por ejemplo, los elementos que actúan en el modelo, deben representar a los conductores, peatones, semáforos, paradas de transporte público, intersecciones, vías de comunicación (calles, avenidas), entre otros; distinguiendo las funciones que cada uno de ellos debe cumplir; por lo cual es necesario usar herramientas para establecer plataformas adecuadas que faciliten su implementación y desarrollo.

Para que el modelado del tráfico vehicular -usando sistemas multiagentes- cumpla su cometido, deben considerarse las características y funcionalidad de las múltiples plataformas computacionales existentes, requiriendo distintos niveles de experticias. En este sentido Miguel, (2011) sostiene que: “Una modelización en sentido computacional es simplemente un conjunto de líneas de código informático en alguno de los lenguajes de programación disponibles), (parr. 7). Se trata entonces de elegir la plataforma adecuada, conforme a la cual, modelar lo relativo al tránsito vehicular.

En este sentido, el punto 2.2.3.2 del presente estudio, describe las distintas plataformas que pudieran aplicarse para este fin, sin embargo, la ausencia de trabajos relacionados con ellas, así como su acceso y disponibilidad, entre otras, limitan la posibilidad de selección. Para ayudar al desarrollo de modelos basados en agentes; Berryman & Angus, (2009) explican que:

(...) se han desarrollado un gran número de plataformas. Las plataformas varían según el apoyo que estas proveen. Algunas plataformas de SMA

proveen una serie de reglas arregladas que pueden ser usadas con algunos parámetros, pero por lo general, son muy restringidas para tomar en cuenta el tamaño del rango del fenómeno que uno quiere estudiar. (p. 3)

En consideración a lo antes citado y en aras de lograr mayor certeza en la ejecución del modelado y simulación, se recurrió a la plataforma NetLogo, cuya versatilidad y consistencia, permiten la ejecución de su aplicación para modelar y simular distintos sistemas del tráfico vehicular, así mismo, es fácil de operar, su lenguaje es de alto nivel y ofrece una excelente interfaz gráfica. A continuación detallamos sus características y funcionamiento.

2.6 NetLogo

NETLOGO fuente original: <<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>>:

Originariamente se creó como una herramienta educativa para niveles básicos, como ampliación de StarLogo (que a su vez ampliaba el lenguaje LOGO original). Es un entorno integrado de programación gratuito, dedicado específicamente a la modelización y simulación de fenómenos naturales y sociales como sistemas complejos que evolucionan con el tiempo y constituidos por centenares o miles de “agentes” independientes que trabajan de forma concurrente. Dispone de una extensa documentación, tutoriales para su aprendizaje y una biblioteca de modelos referentes a diversas disciplinas que pueden ser reusados y modificados, además de una amplia y creciente comunidad de usuarios. Las simulaciones generadas por Netlogo están implementadas internamente en lenguaje Java, pero no es preciso conocer Java para programar modelos Netlogo ya que se utiliza un lenguaje de programación propio, de muy alto nivel, que contiene elementos que reducen considerablemente el esfuerzo de programación y de visualización de resultados. Como características distintivas, además de un entorno “inteligente” de programación (que controla en tiempo real

diversos aspectos relativos a la correcta escritura del código Netlogo), Netlogo incorpora una herramienta de automatización para la repetición de simulaciones, incluso con cambios de parámetros iniciales, y para la exportación de resultados en formato CSV (recuperables desde MS-Excel, SPSS, etc.). Puede ejecutarse en todo tipo de sistemas operativos, o incluso a través de WWW mediante un navegador. A partir de la versión 5 (beta01, marzo 2011) incluye el interfaz en castellano. (Miguel, 2011,). Disponible en: sct.uab.cat/llds/es/content/simulación-social-una-introducción

2.6.1 Funcionamiento

Los elementos o agentes principales que usa NetLogo son “*turtles*” y “*patches*”. Los primeros son los agentes que tienen capacidad de movimiento en el “mundo”, espacio donde estos agentes se desarrollan y evolucionan, interaccionan entre sí y con el medio ambiente, además cada “*turtle*” tiene su identificador único. Los “*turtles*” tienen coordenadas en los ejes x e y , las cuales son llamadas $xcor$ y $ycor$. A diferencia de las coordenadas de un *patch*, que son números enteros, las coordenadas de los *turtle* pueden tener número decimales, lo que significa que una tortuga puede posicionarse en cualquier punto sin que esté en el centro del *patch*.

Los *patches* en cambio son unidades básicas que no tienen movimiento, son cada una de las porciones cuadradas en las que se subdivide el “mundo” y por donde se mueven los “*turtles*”.

Cada uno de los “*patches*” está identificado por las coordenadas cartesianas de su punto central, el *patch* con coordenada (0,0) es llamado origen y las coordenadas de los otros *patches* son la distancia horizontal y vertical entre estos y el origen. Estas coordenadas son llamadas $pxcor$ y $pycor$ y al igual que las coordenadas en un plano incrementan si se mueven hacia la derecha y hacia arriba.

Además de los agentes principales, *turtles* y *patches*, existen dos tipos de agentes, enlaces “*Links*” y “*observer*”, los primeros son agentes que conectan dos tortugas y

los segundos no tienen localización, se puede imaginar que está mirando el mundo formado por los *patches* y *turtles*.

Los agentes principales tienen una serie de variables que son propias, aunque el programador puede definir variables específicas. Otro elemento importante son los “*ticks*” o unidades temporales, útiles para controlar la duración de las simulaciones.

Cuando se abre NetLogo se muestra una interfaz con una vista en blanco, el observador puede crear *turtles* al igual que los *patches*. El valor máximo y mínimo para la coordenada *pxcor* llamada *max-pxcor* y *min-pxcor* es por defecto de 16 y -16 respectivamente. Del mismo modo el valor máximo y mínimo para la coordenada *pycor* llamadas *max-pycor* y *min-pycor* son por defecto de 16 y -16 respectivamente. Este número puede variar utilizando el botón llamado “*settings*” que se encuentra en la parte superior izquierda de la interfaz gráfica de NetLogo.

En la plataforma NetLogo existe múltiples modelos en la Biblioteca de Modelos, que van desde simples modelos matemáticos a modelos en el área de ciencias sociales.

Al abrir cualquier modelo encontramos la ventana “*Interface*” (Figura 1). Las partes principales de la ventana *Interface* son: barra de control de la velocidad de simulación (Figura 2), botones “*setup*” y “*go*” (Figura 3), el primer botón se utiliza para iniciar o reiniciar la simulación, este se encarga de instanciar el modelo con los parámetros por defecto o con la variación de los parámetros que hagamos en pantalla dentro del modelo. Seguidamente habrá que hacer *click* en el botón “*go*” el cual hará que empiece la simulación. Existen dos tipos de botón “*go*”, “*go forever*” que una vez que se aprieta, empieza a correr la simulación hasta que lo volvamos a hundir, y el otro, “*go once*” que se va a ir apretando conforme van pasando los pasos del programa.

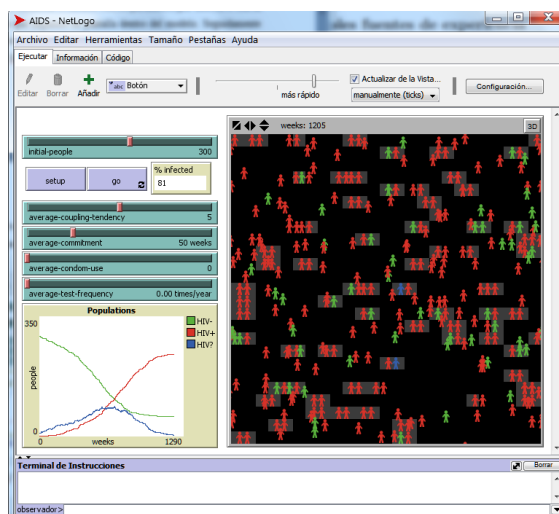


Figura 1 Interfaz completa del modelo en NetLogo

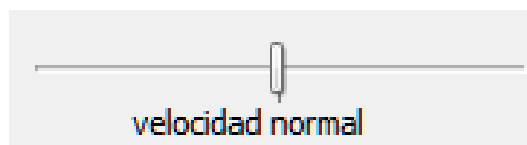


Figura 2 Control de velocidad del modelo en NetLogo



Figura 3 Botones de instancia del modelo en NetLogo

Los sliders (Figura 4) también forman parte de la interfaz, estos ayudan a realizar cambios sobre los parámetros del modelo. Los valores tope de estos sliders se adaptan a los valores reales.

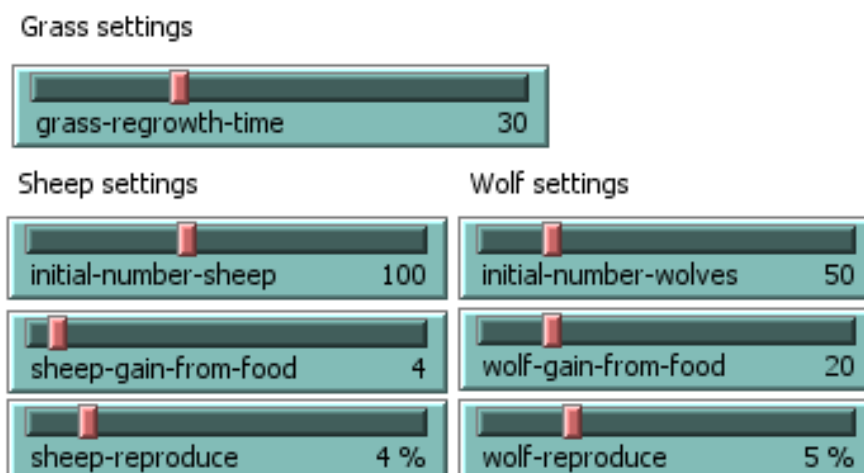


Figura 4 Deslizadores dentro de NetLogo

Los *switchs* (Figura 5) A diferencia de los sliders, estos solo toman dos valores, encendido o apagado. Los *switch* son los que se encargan de activar o desactivar ciertas acciones, por ejemplo si queremos conocer a lo largo de la simulación la cantidad de energía o reservas que tiene cada uno de los agentes, en el caso del modelo *Wolf-Sheep Predator*.

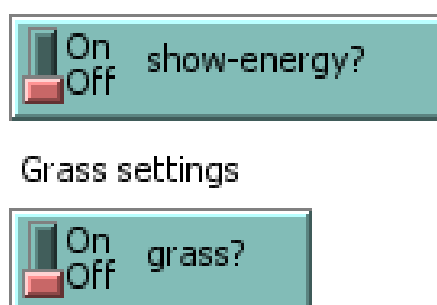


Figura 5 Switchs en NetLogo

Además de todo esto, el modelo cuenta con tres “*monitors*” (Figura 6) y los “*plot*” (Figura 7). Los primeros pueden ser usados para mantener el rastro de algún número. Los segundos permiten la creación y generación de gráficos con diversas variables, a lo largo del tiempo de la simulación.

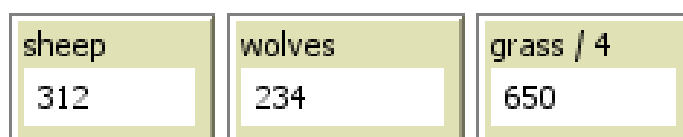


Figura 6 Monitores en NetLogo

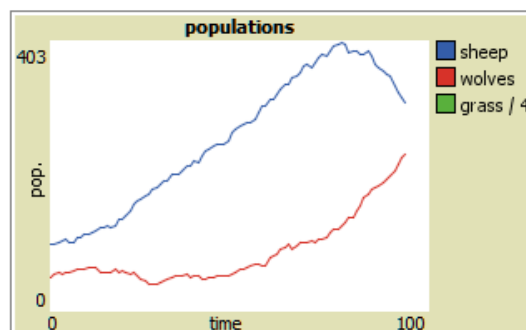


Figura 7 Monitor de gráficos o plot en NetLogo

La interfaz gráfica está soportada por un código que define los colores de los agentes, la forma y el comportamiento de los turtles para el modelo. El código en Netlogo debe ser escrito en el lenguaje de programación llamado Java y debe hacerse en la pestaña llamada “*Procedure*” o “Código”, ya que es en esta donde se definen los procedimientos del modelo.

En el lenguaje que usa NetLogo lo primero que se define son las variables globales del sistema, luego se define las variables internas de los *turtles* y de los *patches*, luego se define el procedimiento llamado “*setup*” donde se inicializan todos los valores de las variables del sistema, después de esto se define el procedimiento llamado “*go*” en el cual se hacen los llamados a demás procedimientos que rigen el comportamiento de los agentes. Por último es posible definir procedimientos para observar y monitorear los comportamientos en función del tiempo de los distintos agentes que en operen en el modelo.

NetLogo permite a los usuarios abrir simulaciones y “jugar” con ellas, explorando su comportamiento bajo una serie de condiciones que se pueden manipular. El

programa incluye una galería de modelos con una breve descripción de sus propósitos, que pueden ser ejecutados, y que permiten modificar valores de parámetros implicados en las simulaciones, estos se encuentran en “NetLogo Models Library”.

Entre esta gran variedad de modelos no existen modelos de transporte público, pero sí de tráfico de autos, los cuales se explican a continuación:

- Modelado básico del tráfico (Figura 8), el cual simula el movimiento de autos en una carretera. Estos siguen un conjunto de reglas como por ejemplo: desacelera si ve un auto delante de él y acelera si no es así. El en modelos se puede observar los congestionamientos que se generan sin necesidad de ocurrencia de accidentes, derrumbes de puentes o se vuelquen carros.



Figura 8 Modelo básico de tráfico en NetLogo

- Modelado de tráfico como una rejilla bidimensional o tridimensional (Figura 9), es un modelo que controla los semáforos y las variables generales del tránsito vehicular, como el límite de velocidad y el número de carros en la misma simulación a tiempo real. Lo que permite desarrollar estrategias para controlar el tráfico y para entender las diversas maneras de medir la calidad del mismo. Para este modelo los autos deben seguir los siguientes reglas: en cada paso, los autos intentan moverse hacia adelante manteniendo su velocidad actual, si es menor que el límite de velocidad y si no se encuentra ningún auto directamente delante de ellos, entonces aceleran. Si existe un carro más lento por delante de ellos, emparejan la velocidad del auto más lento y desaceleran. En caso de que el semáforo se encuentre en luz roja o un auto parado delante de ellos, entonces dejan de moverse. Las luces de los autos solo pueden cambiar de dos formas. En primer lugar, el usuario puede cambiar cualquier luz en cualquier momento, y en segundo lugar, las luces pueden cambiar

automáticamente, una vez por ciclo. Inicialmente, todas las luces cambiarán automáticamente al principio de cada ciclo.

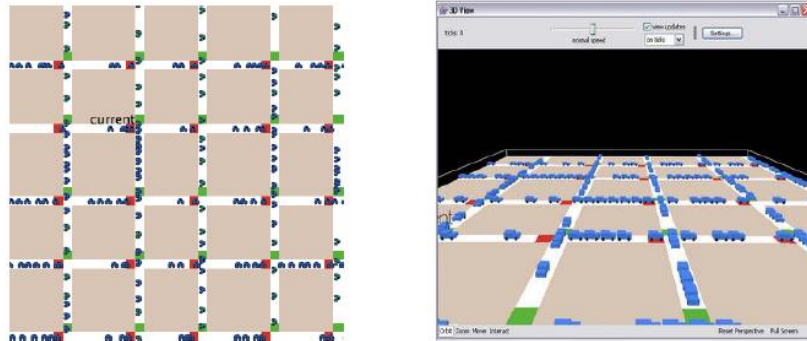


Figura 9 Modelo de tráfico vehicular como una rejilla bidimensional y tridimensional en NetLogo

- Modelo del tráfico en dos carriles (Figura 10). Este modelo es una versión mejorada del modelo básico del tráfico, ya que modela carreteras de dos carriles. Al igual que el modelo más simple, este modelo demuestra cómo se forman los atascamientos en el tráfico, pero en esta versión, los conductores tienen una nueva opción; pueden cambiar de carril. Los autos comienzan con posiciones y velocidades seleccionadas al azar. Si algunos de los autos se agrupan, entonces estos se moverán lentamente, haciendo que los autos detrás de ellos se retrasen, y por lo tanto se producirá un atasco en el tráfico. Aunque todos los autos se estén moviendo hacia adelante, los atascamientos tienden a moverse al revés. Este comportamiento es común en fenómenos de ondas.

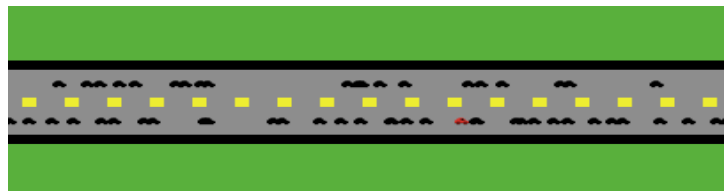


Figura 10 Modelo de tráfico vehicular en dos carriles en NetLogo

- Modelo de una intersección (Figura 11), en este caso los autos viajan a través de una intersección. El usuario tiene la capacidad de: Controlar la frecuencia en que aparecen los coches en cada dirección, controlar la velocidad de los mismos, y de

sincronizar las luces en la intersección. Una vez que la frecuencia y la velocidad de cada uno de los autos se seleccionen, el usuario debe correr la simulación y ajustar la sincronización de la luz en la intersección, para reducir al mínimo la cantidad de tiempo de espera, de los autos que viajan a través de la intersección.

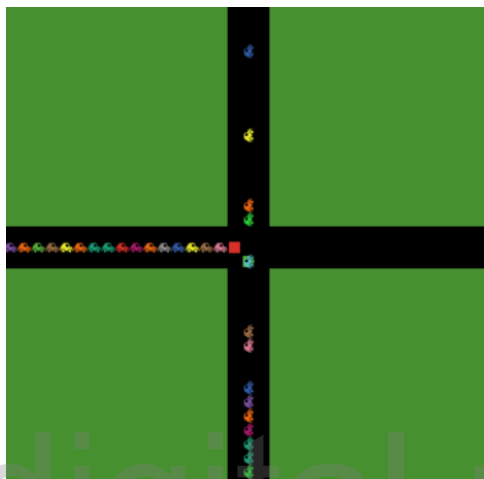


Figura 11 Modelo de una intersección en NetLogo

Capítulo III

3 Marco Metodológico

Simulación del tráfico de autos en la parada “La Otra Banda” aplicando la plataforma NetLogo

La dinámica metodológica utilizada en el presente estudio tiene su antecedente en un trabajo de investigación realizado por (Camacho, 2008), quien modeló el flujo vehicular en una intersección vial semaforizada de la ciudad de Mérida, utilizando sistemas multiagentes. En ella se pondera el comportamiento de dos tipos de conductores: Agresivos y pasivos; igualmente resalta la modelación de 5 tipos de autos que son los que frecuentemente transitan por dicha intersección.

Partiendo de tal caracterización, el autor considera pertinente hacer uso de los resultados de la encuesta realizada por Camacho ibidem, (transcrita íntegramente) ya que lo que se quiere medir es la frecuencia del congestionamiento generado por el comportamiento del tránsito vehicular en la calle donde está localizada la parada objeto de estudio, tomando en cuenta la pasividad o agresividad de los conductores en general.

En este caso, el desarrollo del modelado y simulación comprende varias etapas que abordan en primer lugar, la descripción real de la parada estudiada, la intersección previa y posterior inmediata a ella, además de un semáforo ubicado en el viaducto Campo Elías cruce con la avenida 2. En segundo lugar, analiza el comportamiento del tráfico vehicular que circula por la calle 25, así como el uso y disposición exclusiva

que el transporte público hace de dicha parada y en tercer lugar; la construcción del modelo y su simulación con agentes, mediante la llamada plataforma NetLogo, cuyos agentes en el plano virtual, semejan el comportamiento de los conductores, interactuando entre ellos y tomando decisiones de forma independiente de acuerdo al entorno que los rodea.

Es importante resaltar que dicha plataforma es una herramienta versátil, capaz de ambientarse a una realidad concreta, y por ende, simular el comportamiento de los conductores, incluyendo sus características psicológicas, de allí la importancia y pertinencia de su elección para analizar aspectos fundamentales del modelo estudiado. Sirva ello pues, para abordar la temática en cuestión desde la siguiente perspectiva.

3.1 Descripción de parada y su entorno

Tal como muestran las figuras (12 y 13), la parada sometida a estudio se encuentra en la Calle 25, entre avenidas 2 y 3. La circulación ocurre desde el viaducto Campo Elías, por la av. 3, en sentido Sur-Norte (canal de subida), hasta llegar a la calle 25, formando una intersección, señalada con la letra “A”; luego la circulación continúa en sentido Oeste hasta llegar a la Av. 2, formándose otra intersección, la cual se ha distinguido con la letra “B”. En este mismo sentido, el flujo vehicular continúa en sentido Norte-Sur desde la intersección “B”, (canal de Bajada) hasta llegar nuevamente al viaducto Campo Elías, pero esta vez con la Av. 2, distinguiendo un semáforo que forma parte del entorno. Así mismo, se toma en cuenta la circulación proveniente de la Av. 4 hacia la Av. 3, en sentido Este-Oeste, coincidiendo con la prenombrada calle 25, Cuyos detalles se aprecian a continuación:

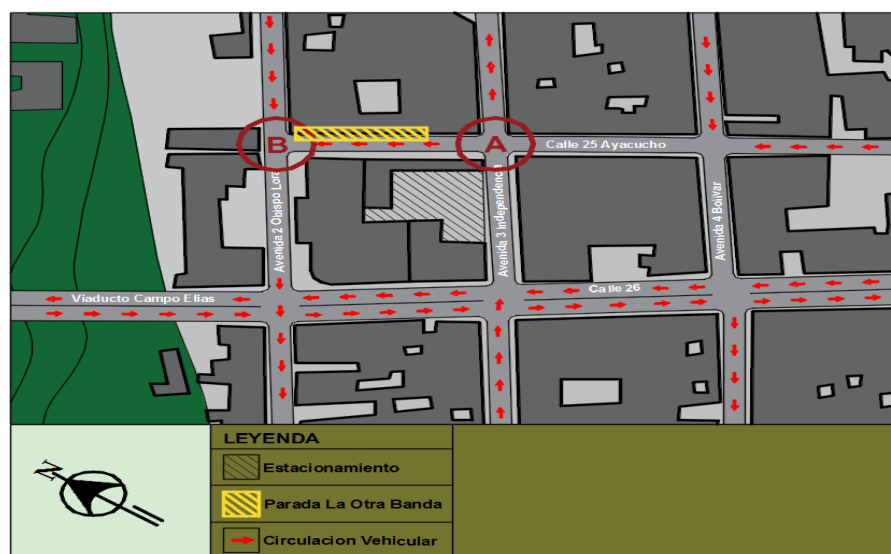


Figura 12 Descripción gráfica de la parada a estudiar y su entorno (fuente propia)

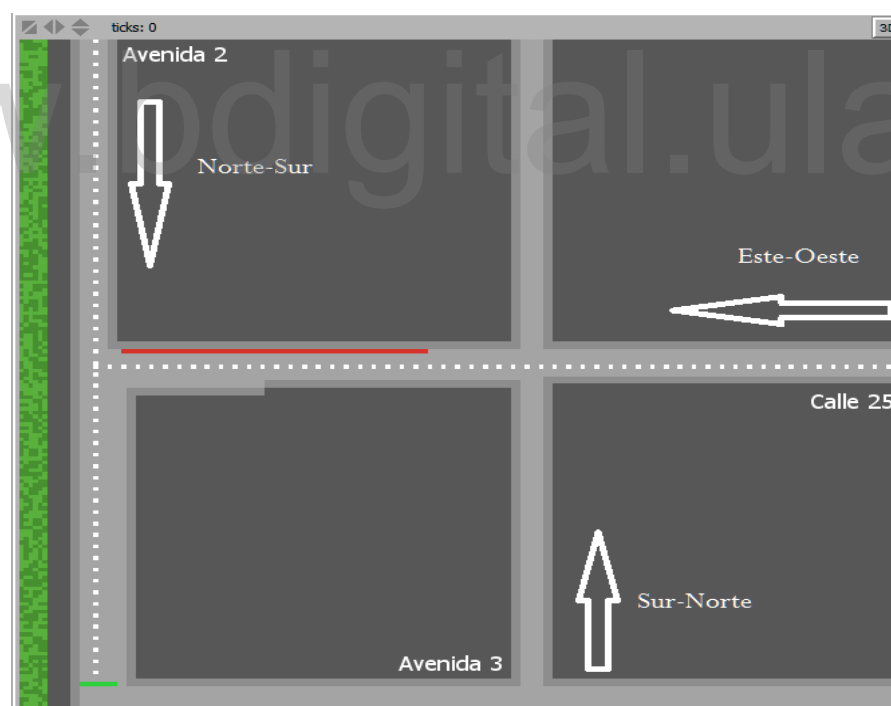


Figura 13 Representación gráfica de la parada y su entorno con NetLogo

3.1.1 Dinámica real del flujo vehicular en la parada “La Otra Banda”

La calle 25 entre las av. 2 y 3 tiene dos carriles, uno de ellos se utiliza como parada de transporte público, por lo que la circulación vial sólo se produce por el carril que queda libre. En ella convergen los vehículos que requieren transitar por dicha calle; dígase los que provienen de la Av. 3, en cuya intersección coinciden, los que circulan en sentido Este-Oeste, provenientes de la Av. 4.

De acuerdo al trabajo de campo realizado, a simple vista se aprecia un proceso recurrente de formación de colas sobre la calle 25, ello trae como consecuencia el congestionamiento intermitente en la Av. 3 en su sentido Sur-Norte, así como en su sentido Este-Oeste, producto de los vehículos que proviene de la Av. 4.

En esta parada se observan dos líneas de transporte público; la primera se denomina Línea “La otra Banda” y atiende las rutas 1, 2 y 3, disponiendo de cinco lugares o puestos, los cuales se distribuyen de la siguiente manera: un puesto para la ruta 1 y dos puestos para las rutas 2 y 3 respectivamente. La segunda es la Línea Humboldt y atiende una cuarta ruta y dispone de dos puestos; en total, ambas líneas usan y disponen de 7 lugares o puestos para embarcar o desembarcar pasajeros.

La parada en estudio tiene una funcionalidad de parada tipo terminal, es decir, que no es necesario que haya otros buses esperando para que el que ocupa el puesto salga a viajar por su ruta, sino que el conductor espera un tiempo determinado para iniciar su recorrido, es por esto que se midió el tiempo que tardan los buses desde que ocupan el puesto de salida hasta que salen de la parada, el cual se refleja en un mínimo de tres minutos con veinte segundo (3':20'') y un máximo de cuatro minutos (4':00'') para cada ruta.

3.1.2 Capacidad y dimensiones del entorno

Las medidas de las calles adyacentes a la parada se obtuvieron mediante mediciones llevadas a cabo en el sitio. De igual manera, la capacidad de la parada se hizo a través

de la observación directa y confirmada en entrevista realizada con miembros de la directiva de ambas líneas de transporte, tal como se muestra en la siguiente tabla:

	Av. 2 Lora Total- Tramo: Viaducto Campo Elías a Calle 24	Av. 3 Independencia Total – Tramo: Viaducto Campo Elías a Calle 24	Calle 25 Ayacucho – Tramo Avenida 2 a Avenida 4	Avenida 2- Tramo: Calle 25 a Viaducto Campo Elías	Avenida 3- Tramo: Viaducto Campo Elías a Calle 25	Calle 25 – Tramo: Avenida 3 a Avenida 2
Largo (metros)	167,6	167,6	177,8	73,31	76,25	85,88
Ancho (metros)	6 - 9,48	4 - 3,79	6,9	9,48	4	6,9
Número de carriles	2	1	2	2	1	2
Número de paradas	0	0	7	0	0	7
Ancho de carril	3,0	3,79	3,45	3,0	4	3,45

Tabla 3 Medidas de los elementos que conforman la parada y su entorno.

Según la descripción de la plataforma NetLogo, cada parche representa un metro establecido en el modelo real, de tal manera que al realizar la equivalencia correspondiente se establecen números exacto por efecto del redondeo, tal como se muestra en la tabla 4

	Av. 2 Lora	Av. 3 Independencia	Calle 25 Ayacucho	Avenida 2- Tramo: Calle 25 a Viaducto Campo Elías	Avenida 3- Tramo: Viaducto Campo Elías a Calle 25	Calle 25 – Tramo: Avenida 3 a Avenida 2
Largo (patches)	168	168	178	73	76	86
Ancho (patches)	6 - 9	4	7	9	4	7
Número de carriles	2	1	2	2	1	2
Número de paradas	0	0	7	0	0	7
Ancho de carril	3	4	3	3	4	3,45

Tabla 4 Equivalencia en parches de los valores reales de las medidas de los elementos que conforman la parada.

Como se expresó al comienzo de este trabajo, existe un semáforo ubicado en el viaducto Campo Elías, cuya incidencia regula el flujo vehicular proveniente de la avenida 2 Lora y en consecuencia afecta directamente la circulación que se produce en la calle 25 donde está ubicada la parada sometida a estudio. Dicho semáforo reflejó los siguientes ciclos, ver tabla 5.

Rojo (segundos)	Verde (segundos)	Amarillo (segundos)
55	30	5

Tabla 5 Ciclos del semáforo de la avenida 2 Lora c/c viaducto Campo Elías

3.2 Tipos de autos de circulación frecuentes en el entorno de la parada

Una vez hecha la descripción de la parada y su entorno, se procedió a la observación in situ del flujo vehicular correspondiente, detectando la presencia de 5 tipos de vehículos que son: buses, busetas y taxis relativos al transporte público; además autos particulares y camiones; todos los cuales resultan adecuados para la representación del modelo, ya que sus características facilitan el estudio del comportamiento de los conductores. Cada uno de los tipos de vehículos tiene formas y medidas específicas, cuyo promedio se detallan en la tabla siguiente:

Tipo de auto	Ancho (metros)	Largo (metros)
Particular	1,50	3,50
Taxis	1,65	4,20
Buseta	1,80	5,70
Bus	2,30	7
Camión	2,30	7

Tabla 6 Promedio de las medidas de los tipos de autos que más circulan por el entorno de la parada.

En NetLogo los diferentes tipos de autos, se adaptaron sus medidas reales a las dimensiones de los parches, obteniendo como resultado los siguientes valores:

Tipo de auto	Ancho (parches)	Largo (parches)
Particular	2	4
Taxis	2	4
Buseta	2	6
Bus	2	7
Camión	2	7

Tabla 7 Medidas en parches de los tipos de autos que más circulan por el entorno de la parada

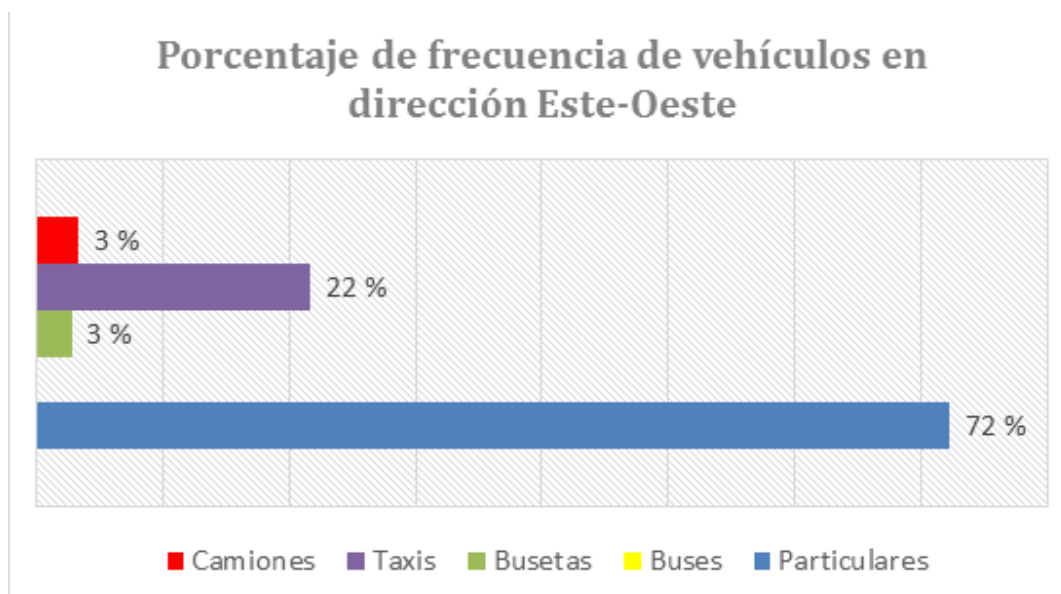
3.2.1 Número de autos que circulan en el entorno de la parada bajo estudio. (Clasificación por tipo)

Para determinar la densidad de vehículos que circulan en el entorno de la parada, fue necesario recabar datos en tiempo real, para ello se requirió la presencia de tres observadores que estratégicamente ubicados lograron su cometido. La dinámica utilizada consiste en observar el flujo vehicular por espacio de una hora, dividida en intervalos de dos minutos, en el horario comprendido entre las 10:00 am. y las 11:00 am. por un lapso de cinco días. Tal información fue recolectada en una planilla diseñada para tal fin, mostrada a continuación:

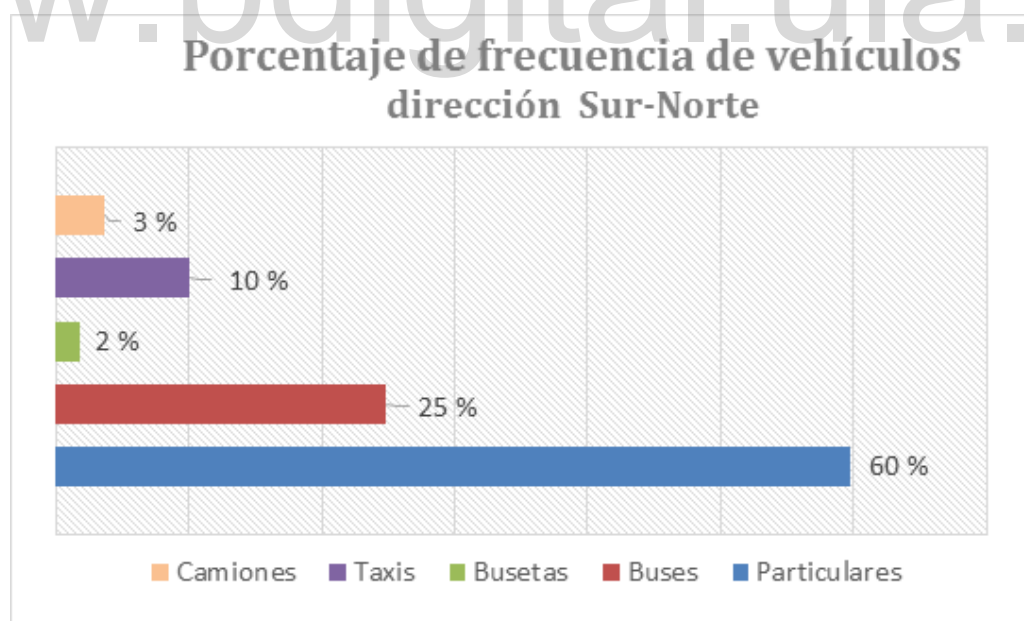
Registro: Número de ocurrencias de los diferentes tipos de autos que circulan por la calle 25 y el entorno de la parada. Día: Dirección: Horario: 10:00 a.m. 11:00 a.m. Periodo: una hora a intervalos de 2 minutos																			
Autos particulares																			
Buses																			
Busetas																			
Taxis																			
Camiones																			
Numero de autos en cola																			

Tabla 8 Planilla de recolección de datos.

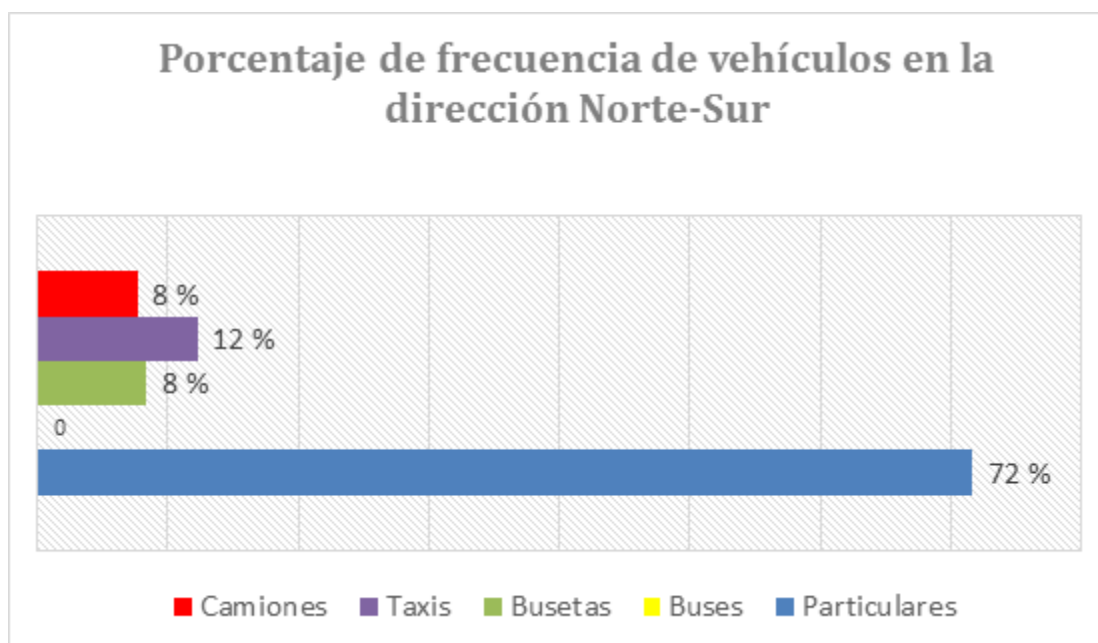
Los datos obtenidos fueron agrupados y analizados mediante Excel que es un software de aplicación práctica para el estudio de eventos estadístico y otros cálculos matemáticos; además útiles para valorar las observaciones y mediciones tomadas de la realidad y reportar los resultados en forma gráfica tal como se muestra a continuación:



Gráfica 1 Porcentaje de frecuencia de vehículos en dirección Este-Oeste



Gráfica 2 Porcentaje de frecuencia de vehículos en dirección Sur-Norte



Gráfica 3 Porcentaje de frecuencia de vehículos en la dirección Norte-Sur

3.3 Descripción del comportamiento de los conductores

La encuesta aplicada por Camacho ibidem, descrita en el Apéndice A, fue diseñada para medir el comportamiento de los conductores merideños, la cual determinó la presencia de conductores agresivos y pasivos, señalando de forma concluyente que los conductores agresivos manifestaron el siguiente comportamiento:

- Acercarse excesivamente al vehículo precedente, eliminando la distancia mínima de seguridad.
- Conducir con cambios frecuentes de carril con invasión de la distancia de seguridad delantera, lateral y trasera de los otros vehículos.
- Conducir a velocidad excesiva para las condiciones del tráfico.
- Usar el carril que no le corresponde según la velocidad.
- No respetar los semáforos en luz roja y considerar la luz amarilla como verde.

En cambio, los pasivos manifestaron un comportamiento contrario al de los conductores agresivo.

Se debe acotar que la encuesta antes mencionada, fue diseñada por expertos en materia de seguridad vial de la ciudad de Mérida y especialistas del centro de investigaciones Psicológicas de la Universidad de los Andes y aplicada a una muestra de 180 conductores que constantemente circulaban alrededor de la intersección sometida a estudio.

Es oportuno señalar que los resultados obtenidos son aptos para la representación del modelo concerniente a la parada “La otra banda” ubicada en las inmediaciones de la calle 25 Ayacucho; constituyendo un elemento importante para analizar la problemática expuesta, en tal razón; tanto la encuesta como sus resultado se muestran en el apéndice “A”, al final del presente trabajo de investigación.

3.4 Simulación multiagente

En el presente estudio, conforme al desarrollo de la plataforma NetLogo, se establece que el entorno, es decir la parada, la vialidad y las intersecciones, mantienen un comportamiento estático durante la simulación, ya que están definidos como parches. Por otro lado, cada vehículo representa a un agente móvil o tortuga, que en el modelo actúa como conductor, por lo cual al moverse autónomamente, toma en cuenta el entorno y decide comportarse conforme al flujo vehicular que va descubriendo en su desplazamiento.

3.4.1 Actuación de los agentes dentro del sistema

El comportamiento de los agentes van estar definido por sus características, así por ejemplo, mientras los agentes estáticos o parches sirven para modelar el entorno; los llamados agentes tortugas, actúan con movilidad en el sistema, representando a los cinco tipos de autos que, de acuerdo a esta investigación, circulan por dicho entorno, de allí la posibilidad de asignarle cualquier tipo de comportamiento. Ello se traduce en manifestaciones acordes a las variables que se vayan incorporando al sistema, además de aquellas variables internas previstas para su funcionamiento. Esto es: que las

tortugas coordinarán sus actuaciones de moverse, detenerse, cruzar en las intersecciones, entre otras, según le correspondan, bajo el criterio normal de desenvolvimiento de los tipos de conductores establecidos en las variables internas del modelo y, adicionalmente se incorporan actuaciones basadas en la pasividad o agresividad de los mismos a los efectos de observar las variaciones que ocurran durante el proceso.

3.4.2 Variables que inciden en el comportamiento de los agentes

Tal como se ha señalado, analizar el flujo vehicular que ocurre en la calle 25 donde se localiza la parada “La otra Banda”, toma en cuenta variables internas tales como: comportamiento, dirección, velocidad, números de autos en cola, tiempo en cola y tiempo en sistema, aplicables a los cinco tipos de agentes delimitados para el modelo mostrados en la tabla (8) los cuales adquieren las características de la tortuga dentro del sistema.

En su estudio Camacho *ibidem*, se acomodaron los parámetros de los agentes móviles de acuerdo al trabajo de campo realizado en ese momento.

Para este trabajo se tomará en cuenta el artículo 254, numeral 2, aparte B del Reglamento de la Ley de Tránsito Terrestre, publicado en Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5420 del 26 de junio de 1998, cuyo texto establece un máximo de velocidad de 15 Km/h en zonas urbanas con intersección, el cual será el valor que asumirán los agentes pasivos como límite de velocidad y los agresivos tendrán un límite de velocidad superior a este. Igualmente los valores de máxima aceleración y desaceleración se asignan dependiendo del tipo de auto. Los valores de velocidad se exponen en la siguiente tabla:

Parámetros	Agresivo	Pasivo
Velocidad	> 15 Kmph.	<= 15 Kmph.

Tabla 9 Comportamiento de los conductores según los valores de los parámetros del modelo real

Si adaptamos estos valores a la plataforma NetLogo, serían representados de la siguiente manera:

Parámetros	Agresivo	Pasivo
Velocidad	> 4 (parches/tick)	≤ 4 (parches/tick)

Tabla 10 Valores de los parámetros que definen el comportamiento de los conductores.

3.5 Desarrollo del Modelo

NetLogo tiene una gran variedad de modelos, entre ellos tenemos los que se encuentra en el área de ciencias sociales relacionados con el tráfico vehicular. Para este modelo se tomó como base, el modelo “tráfico en dos carriles” el cual establece una vía, donde los autos tienen la opción de ocupar uno de los dos carriles. El comportamiento de los autos va a variar según los valores modificables de acelerar y desacelerar, los agentes dentro de este modelo se desplazarán hacia adelante, detectando la presencia de otros agentes, si en este sentido encuentra otro agente con velocidad inferior a la de él, disminuirá su velocidad; si por el contrario la velocidad de aquél agente es mayor o no hay otro agente, procederá a incrementar su velocidad.

Adicionalmente este modelo presenta una variable interna de paciencia que si es sometida a su límite, hará que el conductor cambie de carril, siempre y cuando tenga el espacio para hacerlo.

El modelo dispone de cuatro deslizadores donde se pueden modificar el número de autos en sistema, la cantidad de parches que debe revisar cada agente hacia adelante y el valor máximo de aceleración y desaceleración, con la finalidad de comprobar distintas hipótesis. Así mismo tiene ocho procedimientos encargados de establecer los colores para el modelo, inicializar los carros, acelerar, desacelerar, conducir, cambiar de líneas y seleccionar un auto.

Las salidas del sistema serán la velocidad promedio, la velocidad máxima y mínima del sistema y la velocidad del vehículo seleccionado; las cuales serán visibles mediante un gráfico y sólo la velocidad promedio, será visible por medio de un monitor, como lo indica la figura N° 14.

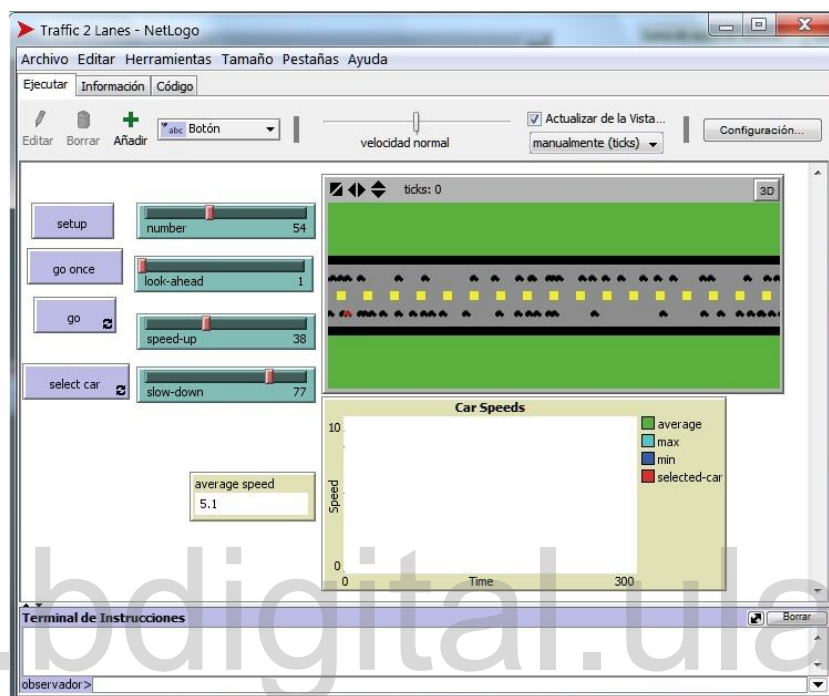


Figura 14 Interfaz completa del modelo Traffic 2 lanes de NetLogo

Este sistema podría considerarse como base para el tráfico vehicular, es por esto que el modelo descrito en la presente investigación, se desarrolla como una extensión del mismo, contando con dos intersecciones, un semáforo y tres vías de circulación.

Los conductores, además del cambio de carril, podrán escoger entre hacer un cruce o seguir transitando por la vía. También se presentan distintos tipos de autos con variados tamaños, límites de velocidad, límites de aceleración y desaceleración, comportamiento de conductores entre otras.

Para el modelo desarrollado (Figura N° 15) se crearon treinta y cinco (35) procedimientos, que se muestran en el Apéndice B



Figura 15 Interfaz gráfica del modelo desarrollado en NetLogo

A continuación se explica los procedimientos tales como: crear vías, movimiento de los buses en parada, creación de carros y el movimiento de los mismos en el sistema, así como, medición de tiempos en el sistema, tiempos en colas y números de autos en embotellamiento

3.5.1 Procedimiento “*crear-vías*”

Este procedimiento se encarga de crear el entorno gráfico del área de estudio; paradas, calles, avenidas, semáforo. En primera instancia, se aplicó un color base a todo el ambiente, el cual es un degradado del gris, siendo el mismo color para las vías e intersecciones, luego se procedió a dibujar aceras y manzanas que se encuentran en el área de estudio con un color gris, tomando en cuenta las medidas de la tabla (4); al lograr dibujar las manzanas y aceras, quedan demarcadas las vías e intersecciones, el paso siguiente, fue dibujar las líneas divisoras de circulación en el caso de las vías que presentan dos canales y por último, se dibujó el semáforo de la avenida 2 con viaducto Campo Elías.

3.5.2 Procedimiento “*crear-carros*”

Se encarga de crear los vehículos en la dirección adecuada.

Este procedimiento hace uso de los datos estadísticos obtenidos en el trabajo de campo y define cada cuanto tiempo se debe crear un vehículo. Este valor resulta de una función propia de NetLogo llamada “*random-exponencial*”, la cual genera números aleatorios con una media de tiempo.

Como ejemplo, tomaremos la dirección Sur-Norte que tiene un promedio de llegada por auto de doce segundos, este valor será el de la variable global “*segundos-por-auto-norte*” y será la media para la función *random-exponential*. Para ello Se tiene una variable llamada “*north*” en donde se guardará el numero generado por la función anterior, se evaluará si este valor es menor que uno, de ser así, se cambiará a uno y, si el valor es decimal se redondeará al valor más cercano, ya que estamos tomando cada *tick* como un segundo y en NetLogo, los *ticks* no se pueden trabajar en unidades decimales. Luego, el valor de *north* se sumara a la variable “*north-freq*” que es la suma de todos los números aleatorios generados anteriormente en la variable *north* y se evaluará si *north-freq* es igual al *tick* actual, si no lo es, salta al siguiente *tick* hasta que sean iguales. Después, si hay espacio se generará un tipo de tortuga: camión, particular, taxi, bus o buseta. Si no hay espacio no se genera ningún vehículo, pero si se genera un nuevo número para la variable *north-freq* de esta forma se pueden generar los demás autos.

Para crear cada tipo de auto, se genera un numero aleatorio entre 0 y 100 y dependiendo de cuál sea, se llamará una de las funciones para inicializar vehículos; “*inicializar-particular*”, “*inicializar-taxi*”, “*inicializar-camion*”, “*inicializar-bus*” o “*inicializar-buseta*” y cada uno de estos procedimientos le asigna valores a las variables internas de cada tortuga como por ejemplo; forma, tamaño, comportamiento, límite de velocidad según el comportamiento, cruce-derecha, máxima aceleración y desaceleración y color.

En el caso de los buses, se le agrega un valor de uno a cuatro a la variable “*tipo*” la cual define el tipo de ruta que este va a tener ya que cada ruta tiene un puesto de parada definido.

3.5.3 El procedimiento “*mover*”

Es el que le da la movilidad a todos los tipos de auto dentro del sistema, incluye varios procedimientos dentro de sí como por ejemplo; el procedimiento “*reporta-n*” que funciona en la dirección sur-norte y es el que hace que varíe la velocidad, dependiendo de si tiene o no tortugas adelante, llamando a dos procedimientos que son “*acelerar*” o “*frenar*” según el espacio que tenga cada tortuga por delante.

En el caso de la dirección sur-norte, también llama a procedimientos como, “*cruzar-n*” que evalúa el entorno de la intersección “A” y decide si puede cruzar o no, siguiendo su camino o cruzando a la izquierda. Si sucede lo primero, este seguirá por su ruta hasta llegar al final del entorno gráfico y si cruza a la izquierda se cambiara su valor de dirección y *heading* para que tome las características de movimiento de la dirección este-oeste.

En la interfaz gráfica se tienen dos botones llamados “*setup*” que es el encargado de inicializar los parámetros del modelo y “*go*” que se encarga de hacer correr la simulación

El modelo también ofrece deslizadores para cada tipo de auto y siete deslizadores adicionales que permiten modificar los parámetros del sistema y así poder comprobar varias hipótesis. Tales parámetros son el tiempo entre llegada de cada auto para cada dirección, la cantidad de puestos de buses en la parada y los tiempos de salida de los mismos.

El primer paso es inicializar el modelo y luego realizar la corrida, con el botón “*go*” que al ser presionado, genera el llamado a los procedimientos que crean los autos y hacen que se muevan; además activa el funcionamiento del semáforo adyacente.

Las salidas del sistema son: la cantidad total de carros en cola para cada dirección, la cantidad total de autos en sistema, la cantidad total de autos en cola, el

tiempo promedio de los autos que finalizan su recorrido y el tiempo promedio de los autos en cola.

3.5.4 Procedimiento "*movimiento-p*"

Este procedimiento es el que hace todo el movimiento de los buses en el entorno de la parada.

Consta de tres partes, la primera es el frenado en el carril izquierdo en la posición que le corresponde, según sea su tipo de ruta; esto se hace mediante el procedimiento "*frenado-p*", el cual dependiendo de su ruta, frena en una posición establecida.

La segunda parte, luego de que el bus frenó, se llama al procedimiento "*estacionado-p*", el cual revisa si hay un espacio dentro de la parada, si está vacío entra a la parada, si no, espera a que se desocupe. Una vez adentro de la parada y si el bus es de algún tipo de ruta distinto a "1", revisa si tiene otro bus por delante, de ser así, espera hasta que el siguiente espacio se libere y si no, avanza hasta donde termina su espacio asignado, a partir de allí se le asigna el valor "1" a la variable interna "*bandera-parada*"; para el caso de los buses con ruta tipo "2" se le asigna el valor del *tick* actual a la variable "*contador-e-t2*"; así mismo se le asigna un valor entre doscientos y doscientos cuarenta *tick* a la variable "*contador-s-t2*", la cual es el tiempo en el que debe salir el bus de la parada.

La tercera parte es la salida de la parada, la cual toma en cuenta si la variable *bandera-parada* es igual a uno y si el valor de los *ticks* es mayor o igual a la variable *contador-s-t2*, si esto se verifica se llama al procedimiento "*salir-de-parada*", el cual revisa si hay espacio para salir al carril izquierdo, de ser así, asigna la coordenada y para el carril izquierdo y cambia el tipo de ruta de bus a "0". A partir de ahí, los buses que salgan seguirán el movimiento de la dirección.

3.5.5 Procedimientos para cruzar en las intersecciones

Ya que las intersecciones “A” y “B” (ver figura 12) son intersecciones que no cuentan con un semáforo que regule el paso de los vehículos de una vía u otra, se realizaron procedimientos que hicieran posible el cruce de los vehículos por estas intersecciones tomando en cuenta dos factores, el primero es que existe una premisa en la circulación del tráfico en el casco central de la ciudad que es el que le da preferencia a los vehículos que van por las avenidas y los vehículos que van por las calles teóricamente deben ceder el paso. El segundo factor que se tomó en cuenta para la realización de los cruces en las intersecciones es el del comportamiento pasivo o agresivo de los conductores.

Para explicar un poco mejor estos procedimientos tomaremos como ejemplo el procedimiento “*cruzar-o*”, el cual es el procedimiento que hace posible el cruce de los vehículos que van en dirección Este-Oeste en las intersecciones “A” y “B”: en primera instancia este procedimiento llama a otro que se llama “*frenar-cruce-o*”, el cual representa, dentro del modelo, el movimiento de desaceleración que hacen los vehículos al llegar a una intersección, para los vehículos que vienen en esa dirección que se encuentran antes de la intersección “A”, el modelo verifica en la variable interna de cada agente “*cruce-derecha*” si el vehículo va a seguir por la vía, si el valor de esa variable es *false* o si va a realizar un cruce, si el valor de esa variable es *true*. Primeramente, para los vehículos que tengan esta variable con el valor *true* ya están ubicados en el carril 1, luego de estar parches antes de la intersección los vehículos revisan, con la función de NetLogo “*in-cone*”, que permite ver si hay un agente a una distancia y a una abertura si hay algún agente en la zona donde va a cruzar, este primer *in-cone* revisa si hay agentes a una distancia de siete (7) parches y una abertura de 160 grados, ya que esta función revisa un área bastante amplia es probable que el agente consiga a otros agentes pero que van en la misma dirección y que no deberían interrumpir el flujo de los vehículos, entonces si se encuentra con otro vehículo, el agente vuelve a revisar, primeramente en un área corta de la avenida y si no hay vehículos en esa área pasa a revisar en un área más pequeña en este caso usa la función

in-cone con seis (6) parches de distancia y 10 grados de abertura, de estar ocupado el espacio a donde se quiere cruzar el vehículo espera hasta estar libre, luego de que esté libre el espacio el vehículo avanza, se posiciona en la vía deseada, cambia su *heading* a 0, que es el valor que tienen los vehículos que van de subida por la avenida 3 y cambia su *dirección* de “Oeste” a “Norte”. Ahora, para los autos que van a seguir su ruta por la calle 25, deben tener la variable interna *cruce-derecha* con el valor *false*, luego de verificado esto, el auto revisa que no haya vehículos con la función *in-cone* que tiene una distancia de siete (7) parches y una abertura de 160 grados, de no haber vehículos, el avanza, de lo contrario, como la función evalúa un área amplia, revisa si hay vehículos subiendo por la avenida 3 en un área más corta, de haber vehículos, si el agente tiene un comportamiento *agresivo* y no tiene vehículos de frente, el vehículo avanzará un metro y volverá a evaluar, hasta que realice el cruce de la intersección para seguir por su vía, caso contrario pasa con los agentes con comportamiento *pasivo*, los cuales esperan a que se encuentren a una distancia mayor a seis (6) parches con respecto al vehículo que va subiendo para poder avanzar. Si en la verificación de estas funciones, los agentes no encuentran ningún otro agente en el área de cruce, realizarán su cruce por la intersección “A” con normalidad.

Para la intersección “B” es el mismo procedimiento que se realiza para la intersección “A” solo que la *dirección* que toma el agente es “Sur”, su *heading* pasa de ser 0 a tomar el valor de 180, el cual es el *heading* para los vehículos que bajan por la avenida 2.

3.5.6 Procedimiento “*tiempo-cola*”

Este procedimiento se encarga de medir el tiempo que los vehículos se encuentran en embotellamientos, el número de veces que están en embotellamiento, contabiliza el número total de autos en embotellamiento durante la simulación y contabiliza el número de autos en embotellamiento para cada dirección.

El primer paso, el modelo verificar si el vehículo es un bus o cualquier otro tipo de auto, de ser bus verifica que se encuentre fuera de la parada, ya que si se encuentra en la parada no se contabiliza su tiempo de permanencia en cola. De verificarse a lo anterior el modelo verifica una variable interna de cada agente, su velocidad, si es menor o igual a un metro sobre segundo quiere decir que se encuentra transitando en un embotellamiento, ya que según (Wikipedia, s.f.), la velocidad promedio de las personas que realizan caminata de paseo es de cinco (5) Kmph que es equivalente a uno coma treinta y ocho (1,38) metros sobre segundo, es por esto que para este modelo se definió que un auto se encuentra en un embotellamiento o cola cuando su velocidad es menor o igual a un metro sobre segundo ya que se consideró que si una persona puede avanzar más rápido que un auto, este debe estar moviéndose de forma irregular, de estar a esa velocidad se inicia el tiempo de cola para el vehículo asignando el valor del tick actual a la variable interna “*tiempo-inicio-cola*”. Ya que está inicializado el auto en cola, se procede a agregar el valor del tick siguiente a la variable “*tiempo-final-cola*”. Ya que se tiene el tick de inicio en la variable “*tiempo-inicio-cola*” y el valor del tick actual en cola entonces se resta el valor de la variable *tiempo-final-cola* menos el valor de la variable *tiempo-inicio-cola* y se pone el valor resultante en la variable “*tiempo-en-cola*”. Luego se verifica cuanto tiempo tiene con esa velocidad en la variable “*tiempo-en-cola*” si es mayor a diez se empieza a contabilizar que el vehículo ingresó a un embotellamiento, ya que la forma cómo se modeló el sistema los vehículos disminuyen su velocidad a uno a diez parches de las intersecciones o a diez parches del vehículo que se encuentre al frente si lleva menos velocidad. Luego el modelo verifica si la variable interna “*marca*” es igual a cero, esta variable funciona como una bandera que indica si el vehículo ya se contabilizó en una cola, si tiene el valor uno o si no se ha contabilizado si tiene el valor cero. De tener el valor cero, el modelo procede a levantar esta bandera poniendo el valor uno dentro de la variable *marca*, luego se suma el valor uno a la variable interna de cada vehículo “*marca-total-cola*” la cual contabiliza el número total de veces que el vehículo estuvo en embotellamiento. Luego en un pequeño paso para contabilizar la cantidad total de autos en cola se verifica el

valor de la variable interna “*marca-cola*” si es cero, se cambia el valor a uno su valor interno y se le suma uno al valor que tenga la variable global “*carro-cola*”.

Adicionalmente en este procedimiento *tiempo-cola*, mientras las condiciones de las variables *velocidad* y *tiempo-en-cola* se cumplan, este procedimiento puede medir la cantidad de autos en cola por cada dirección, ya sea por tramos o para la vía completa. Cada vehículo tiene variables internas como por ejemplo: “*marca-cola-oeste*” que sirve como bandera para definir si el auto está o no en cola en la dirección Este-Oeste. De estar en dicha dirección se le sumará el valor de uno a la variable global “*carro-cola-oeste*” que es la que lleva la contabilidad de autos en cola en esa dirección, luego se cambia el valor de la variable “*marca-cola-oeste*” a uno para saber que ese carro ya fue contabilizado.

Al final de este procedimiento, si el auto aumenta su velocidad a más de un metro sobre segundo, todas sus banderas cambian su valor a cero nuevamente.

3.6 Verificación

La verificación es un paso necesario en la construcción de cualquier modelo de simulación basado en sistemas multiagentes. Así como ocurre con los procesos estadísticos; en la que los datos son sometidos a comprobación; igualmente sucede en la verificación del modelo de simulación. Al respecto Moreno, Velázquez y Ovalles (2007) dicen que: “(...) consiste en verificar la correcta correspondencia durante la transformación entre las representaciones abstractas de los modelos de las fases anteriores y el sistema implementado (el modelo de simulación como tal).” (p.152).

Hoeger, (1997), precisa que “la verificación también se le puede llamar depuración, esto es, asegurarse de cada modelo hace lo que debe hacer. En la literatura pueden encontrarse diversas técnicas de depuración. Cualquier combinación de ellas puede ser usada para verificar el modelo”. (Guía de Estudio p. 3)

Para la verificación se implementó una prueba de continuidad, en la que se hacen variaciones a parámetros de entrada y se observaron los cambios en las salidas

En este caso se varió el tiempo en segundos entre carro y carro para cada dirección. Con tiempos cortos entre carro y carro, se debería obtener números de autos en el sistema, numero de autos en colas, tiempos en cola promedio y tiempos en el sistema promedio más abultados que, cuando se tienen tiempos largos entre carro y carro.

De entrada se escogieron valores libres con tiempos cortos entre llegada y luego se fueron aumentando, a valores significativos, los resultados de los valores de entrada y valores de salida se encuentran en las siguientes tablas:

Parámetros del modelo	Valores escogidos libremente en segundos	Valores aumentados un 500% en segundos	Valores aumentados un 1200% en segundos
Segundos entre carro sur-norte	10	50	120
Segundos entre carro norte-sur	10	50	120
Segundo entre carro este-oeste	10	50	120

Tabla 11 Valores de entrada para la verificación del modelo.

Salidas del modelo	Valores iniciales	Valores incrementados 500%	Valores incrementados 1200%
Numero de autos generados	664	204	108
Numero de autos en cola	571	181	93
Numero de autos en cola (sur-norte) Intersección A	162	40	25
Numero de autos en cola (norte-sur) toda la avenida	326	92	45
Numero de autos en cola (este-oeste) intersección A	89	48	23
Tiempo en cola (promedio)	104,98 segundos	21,01 segundos	20,81 segundos
Tiempo en sistema (promedio)	227,46 segundos	77,72 segundos	73,29 segundos

Tabla 12 Resultados de las modificaciones hechas para la verificación

Se puede observar que los valores obtenidos al variar los parámetros de entrada disminuyen cuando se tienen tiempos entre carro y carro más grandes

3.7 Validación

Según Hoeger ibidem, “Validar es asegurarse de que los supuestos usados en el desarrollo del modelo son razonables en el sentido de que, si correctamente implementado, el modelo producirá resultados próximos a los observados en el sistema real.” (p. 5)

Para la validación se comparó el promedio de números de autos en cola en dirección este-oeste hasta la intersección “A”, con el promedio de número de autos en cola en la misma dirección y hasta la misma intersección que arrojó el modelo.

En el trabajo de campo un observador tomó los datos en esa dirección, el cual anotó la cantidad de autos en cola durante cinco días en el horario de 10:00 am a 11:00 am con los siguientes resultados:

Observación	Numero de autos en cola
1	102
2	84
3	100
4	96
5	90

Tabla 13 Cantidad total de autos en cola en dirección Este-Oeste observados en el trabajo de campo

La estimación de la media de autos en cola está dado por:

$$\bar{x} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 x_i = 94,4$$

Con un intervalo de confianza para la media de un 90% es:

$$\bar{x} \pm t_{1-\alpha/2; n-1} \sqrt{\frac{Var(x)}{n}} \quad 94,4 \pm t_{0,95;4} \sqrt{\frac{54,8}{5}}$$

$$94,4 \pm 2,132 * 3,30 = 94,4 \pm 7,04$$

Se puede decir entonces que con un 90% de confiabilidad el número de carros en cola en dirección este-oeste está en el intervalo [87,36 ; 101,44]

Para calcular el promedio de autos en cola que el modelo arrojó, se realizaron cinco corridas. En este caso las entradas del sistema se adaptaron a los datos obtenidos en el trabajo de campo con la finalidad de obtener una buena estimación del mismo. Los datos que arrojó el sistema están explicados en la siguiente tabla:

Corrida	Numero de autos en cola
1	99
2	93
3	89
4	84
5	95

Tabla 14 Cantidad total de autos en cola en dirección Este-Oeste sacados de la simulación del modelo

La estimación de la media de autos en cola está dado por:

$$\bar{x} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 x_i = 92$$

Con un intervalo de confianza para la media de un 90% es:

$$\bar{x} \pm t_{1-\alpha/2; n-1} \sqrt{\frac{Var(x)}{n}} = 92 \pm t_{0,95;4} \sqrt{\frac{33}{5}}$$

$$92 \pm 2,132 * 2,57 = 92 \pm 5,48$$

Se puede decir entonces que con un 90% de confiabilidad el número de carros en cola en dirección este-oeste está en el intervalo [86,52 ; 97,48]

Comparando el valor promedio de campo, con el valor promedio obtenido en la simulación, se observa que son valores cercanos y que está dentro del intervalo de confianza para la media de número de autos en cola en la dirección Este-Oeste, por lo tanto el modelo está validado.

También se realizó una prueba Kolmogorov-Smirnov que es considerada para el análisis de una muestra, un procedimiento de bondad de ajuste, lo que quiere decir

que permite la medición del grado de concordancia que existe entre la distribución de un conjunto de datos y una distribución teórica específica.

Los datos de las treinta corridas están explicados en la siguiente tabla:

Número de corrida	Cantidad de autos en cola en la dirección Este-Oeste hasta la intersección "A"
1	91
2	100
3	99
4	101
5	103
6	120
7	87
8	103
9	95
10	99
11	115
12	103
13	96
14	102
15	80
16	81
17	109
18	106
19	98
20	89
21	105
22	92
23	78
24	95
25	103
26	74
27	88
28	73
29	85
30	104

Tabla 15 Número de autos en cola en dirección Este-Oeste hasta la intersección "A" que arrojó NetLogo después de 30 corridas

El objetivo de esta prueba de bondad de ajuste es señalar si los datos estudiados provienen de una población que tiene una distribución teórica determinada. En el caso de este trabajo de investigación utilizaremos la cantidad total de autos en cola en dirección Este-Oeste hasta la intersección “A” que el modelo arrojó después de treinta corridas y las comparamos con los datos que se obtuvieron mediante el trabajo de campo, datos explicados en la tabla 13.

Se hizo la prueba Kolmogorov-Smirnov en la herramienta de análisis de datos “R Studio” la cual arrojó un p-value de 0.3968 que es mayor a 0.05 y menor al valor de $D = 0.4333$, lo que quiere decir que la hipótesis de que ambas muestras pertenecen a la misma distribución no se rechaza. Entonces el modelo está validado.

www.bdigital.ula.ve

Capítulo IV

4 Planteamiento de hipótesis y escenarios

En la presente investigación se plantearon varias hipótesis sobre el flujo vehicular en torno a la parada en estudio y se comprobaron mediante varios escenarios:

4.1 Hipótesis 1

La dinámica de funcionamiento de la parada “La Otra Banda”, afecta fuertemente el tráfico vehicular en las zonas adyacentes, como lo son la calle 25 entre avenidas 2 y 4 y la avenida 3 entre calles 25 y 26.

Para confirmar o no esta hipótesis mediante el modelado y simulación se establecieron dos escenarios; el primero es el escenario actual o escenario “0”, en el cual se ajustan los parámetros de entrada del modelo de acuerdo a lo constatado en el trabajo de campo; mientras que el segundo sería el escenario “1”, que es donde se le aplican los cambios en la estructuración de la parada.

4.1.1 Escenario 0

Los datos recolectados en el trabajo de campo señalan que el tiempo entre llegada de los autos que van en dirección Este-Oeste hasta la intersección “A” es de 15 segundos, los autos que van en dirección Sur-Norte hasta la intersección “A” es de 12 segundos y finalmente el tiempo entre llegada de los autos que van en dirección Norte-Sur hasta la intersección “B” es de 15 segundos (ver tabla 16).

	Norte-Sur	Sur-Norte	Este-Oeste
Tiempo de llegada entre auto y auto	15 segundos	12 segundos	15 segundos

Tabla 16 Valores iniciales para el escenario 0

También se ajustó la distribución para cada tipo de auto en cada dirección y se expone en la siguiente figura (16):



Figura 16 Valores iniciales para el escenario 0

Para el comportamiento de los conductores se tomó en consideración el estudio realizado por (Camacho, 2008), quien hace una distinción en porcentaje de los conductores pasivos y agresivos.

Se asignaron valores aleatorios para los autos que siguen por la misma vía, o los que van a realizar un cruce. En cuanto a los buses que van en dirección Sur-Norte se les asigna una posición de parada según el tipo de ruta y además un tiempo aleatorio de estadía en la parada que oscila entre doscientos (200) y 240 *ticks* que representan entre tres minutos con veinte segundos (3' 20'') y cuatro minutos (4' 00'') ya que la parada es de tipo terminal.

El modelo se detiene cuando llega a los 3600 *ticks* que representan 3600 segundo o una hora. Luego de acomodar todos los parámetros de entrada, se corrió treinta veces y se promediaron los resultados.

Los resultados que el modelo arrojó son los siguientes:

Promedio carros totales que estuvieron en cola en dirección Sur-Norte	165,77 carros
Promedio carros totales que estuvieron en cola en dirección Norte-Sur	273,37 carros
Promedio carros totales que estuvieron en cola en dirección Este-Oeste	95,8 carros
Promedio del tiempo promedio total que los autos estuvieron en el sistema	166,35 segundos
Promedio del tiempo promedio de los autos que estuvieron en cola	81,60 segundos

Tabla 17 Resultados del escenario 0

Según este escenario se puede concluir que el modelado y simulación es una primera aproximación de la situación actual de la parada en estudio.

Es bueno señalar que en la ejecución de la simulación de este escenario se observó un comportamiento emergente el cual consistió en la colisión de vehículos en la intersección “A”, como consecuencia del comportamiento agresivo de algunos conductores. Por tal motivo no fueron tomados en cuenta en los resultados obtenidos en este escenario, precisamente por corresponderse con un acto no previsto en el trabajo de campo.

4.1.2 Escenario 1

Para este escenario se consideraron los mismos tiempos de estadía de los buses en la parada, pero se modificó la estructuración dentro de ella, a tal efecto se asignó igual cantidad de puestos para cada tipo de ruta logrando establecer dos sub-escenarios o partes: en la primera parte se modificó para que todos tengan dos puestos por parada, esto quiere decir que el total de puestos en la parada se amplía a ocho puestos en la misma calle 25. Para desarrollar esta modificación dentro del modelo se cambió el valor de la variable global “grupo-paradas” a dos (2). En la segunda parte se redujeron los puestos a uno por ruta, esto significó bajar la ocupación de la parada a un total de cuatro puestos, lo cual dentro del modelo, se hizo cambiando el valor de la variable global “grupo-paradas” a uno (1).

Los resultados de evaluar ambas partes de este escenario durante treinta corridas son los siguientes:

Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección Sur-Norte	141,67 carros
Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección cola Norte-Sur	251,07 carros
Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección cola Este-Oeste	83,17 carros
Promedio del tiempo promedio total que los autos estuvieron en el sistema	186,84 segundos
Promedio del tiempo promedio total que los autos estuvieron en cola	95,83 segundos

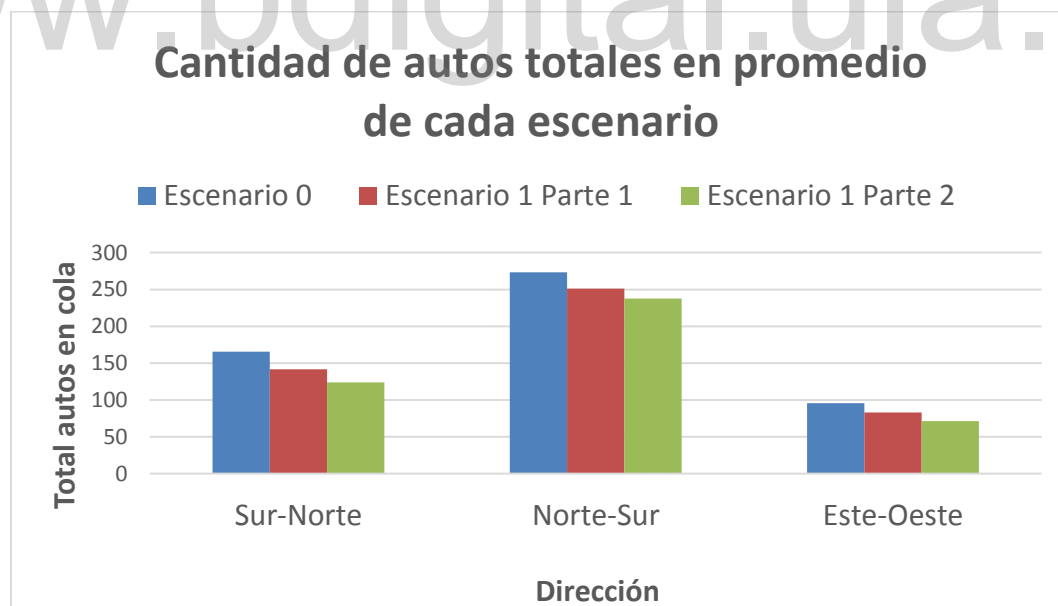
Tabla 18 Resultados del escenario 1 Parte 1

Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección Sur-Norte	124,07 carros
Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección cola Norte-Sur	237,67 carros
Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección cola Este-Oeste	71,57 carros
Promedio del tiempo promedio total que los autos estuvieron en el sistema	223,65 segundos
Promedio del tiempo promedio total que los autos estuvieron en cola	131,88 segundos

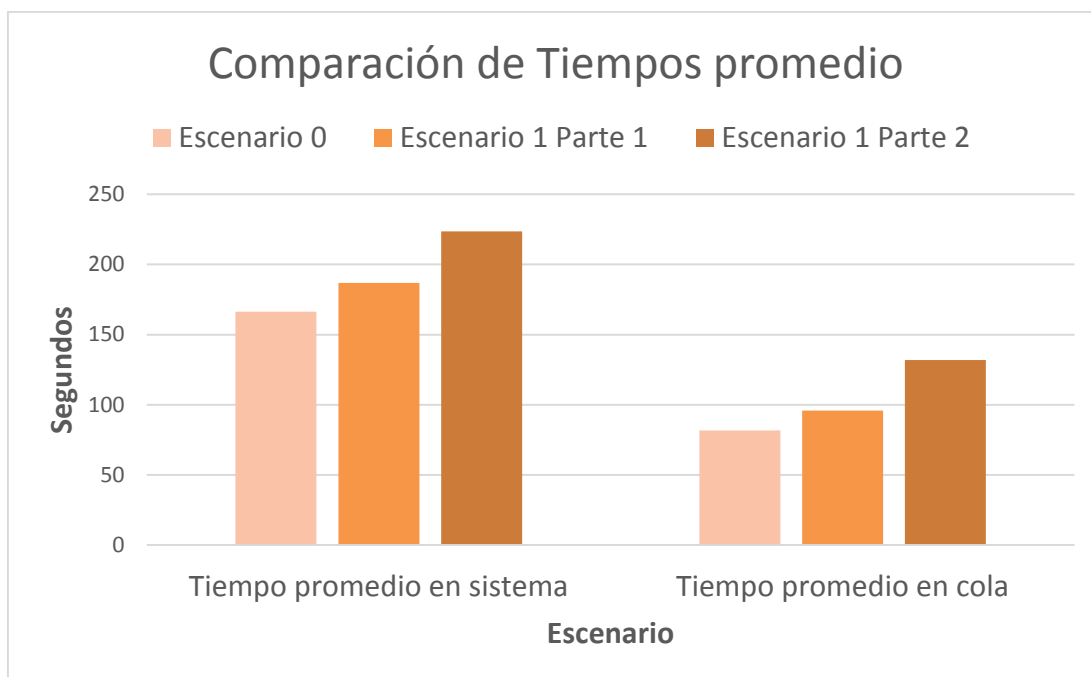
Tabla 19 Resultados del escenario 1 Parte 2

(TREINTA CORRIDAS)	ESCENARIO 0	ESCENARIO 1 (PARTE 1)	ESCENARIO 1 (PARTE 2)
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN SUR-NORTE	165,76 carros	-15,05%	-25,24%
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN NORTE-SUR	273,37 carros	-8,16%	-13,06%
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN ESTE-OESTE	95,8 carros	-13,18%	-25,29%
PROMEDIO DEL TIEMPO PROMEDIO TOTAL QUE LOS AUTOS ESTUVIERON EN EL SISTEMA	166,35 segundos	+12,32%	+34,45%
PROMEDIO DEL TIEMPO PROMEDIO TOTAL QUE LOS AUTOS ESTUVIERON EN COLA	81,60 segundos	+17,44%	+61,62%

Tabla 20 Comparativa entre el escenario 0 y el escenario 1



Gráfica 4 Comparación de autos totales en promedio de cada Escenario



Gráfica 5 Comparación de tiempos promedio Escenarios 0 y 1

Con los datos obtenidos en la tabla 20 en la que se comparan los resultados del escenario 0 con los del escenario 1 se observa que los tiempos en el sistema y los tiempos en cola, producto de la estructuración de la parada afectan fuertemente el entorno de la misma, haciendo que los carros duren un tiempo considerable dentro del sistema. Por lo tanto se puede concluir que la hipótesis 1 es corroborada con estos resultados.

Es de acotar, tal como se planteó en el desarrollo del problema del presente estudio, que según el modelo desarrollado para la parada “La Otra Banda”, los resultados obtenidos reflejan como primera aproximación que la parada es un foco de congestionamiento en las zonas adyacentes.

4.2 Hipótesis 2

De acuerdo a este modelo, cambiar las dinámicas de la parada pasando de ser parada tipo terminal a una parada de toque o en su defecto, quitar la parada “La Otra Banda” aligerará grandemente el flujo del tráfico en esa zona del casco central de la ciudad.

Para discutir esta hipótesis se procedió a crear dos escenarios, en el primero se modifica el funcionamiento de la parada con lo cual; el tiempo de estadía de los buses se reduce creando así una parada de toque. En el segundo escenario se modificaron los parámetros de entrada para que ningún bus entre a la zona de estudio.

4.2.1 Escenario 2

Este escenario muestra las consecuencias de crear una parada de “toque” en las salidas del sistema. Esto quiere decir que todos los buses, sin importar el tipo de ruta, que pasan por la calle 25 se posicionaran de acuerdo al orden de llegada hasta llegar al puesto final, donde harán su descarga y embarque de pasajeros; conforme al tiempo establecido para este fin.

Para realizar esto dentro del modelo, se deben seguir dos pasos, en el primer paso se agrupan todos los buses en una parada sin importar el tipo de ruta, esto se logra modificando la variable global “*grupo-paradas*” asignándole el valor 0. En el segundo paso se le asigna tiempo de estadía al bus en la parada, el cual está entre 40 segundos y 2 minutos (dato obtenido en el trabajo de campo en otra parada de este tipo). Para lograr este paso dentro del modelo se modifican tres variables globales; la primera es “*tiempo-parada*” de 0 a 1, cuya función es de activar las variables modificables para manejar el tiempo de estadía. La segunda variable a modificar es “*base*”, la cual es el tiempo mínimo que un bus permanece en la parada, para este escenario, tomando como referencia lo observado en otra parada, corresponde asignar un valor de 40 segundos.

La última variable a modificar es la variable “*t-aleatorio*” la cual será un valor aleatorio para cada bus entre cero y su valor, sumándosele la variable *base* para así obtener el tiempo de estadía de cada bus. Esta última variable tomó un valor de 80 segundos.

Los resultados de este escenario son los siguientes:

Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección Sur-Norte	80,13 carros
Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección Norte-Sur	297,2 carros
Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección Este-Oeste	14,4 carros
Promedio del tiempo promedio total que los autos estuvieron en el sistema	81,74 segundos
Promedio del tiempo promedio total que los autos estuvieron en cola	26,70 segundos

Tabla 21 Resultados del escenario 2

4.2.2 Escenario 3

El tercer escenario presenta cambios en la circulación de buses dentro del área de estudio, restringiendo el paso vehicular de los mismos, con la intención de estudiar políticas de “cero buses dentro del casco central de la ciudad de Mérida” lo que conlleva a la eliminación de la parada de transporte en la calle 25. Para esto se modifica la variable “*densidad-bus-norte*” a 0%. Los resultados después de 30 corridas dentro del modelo son las siguientes:

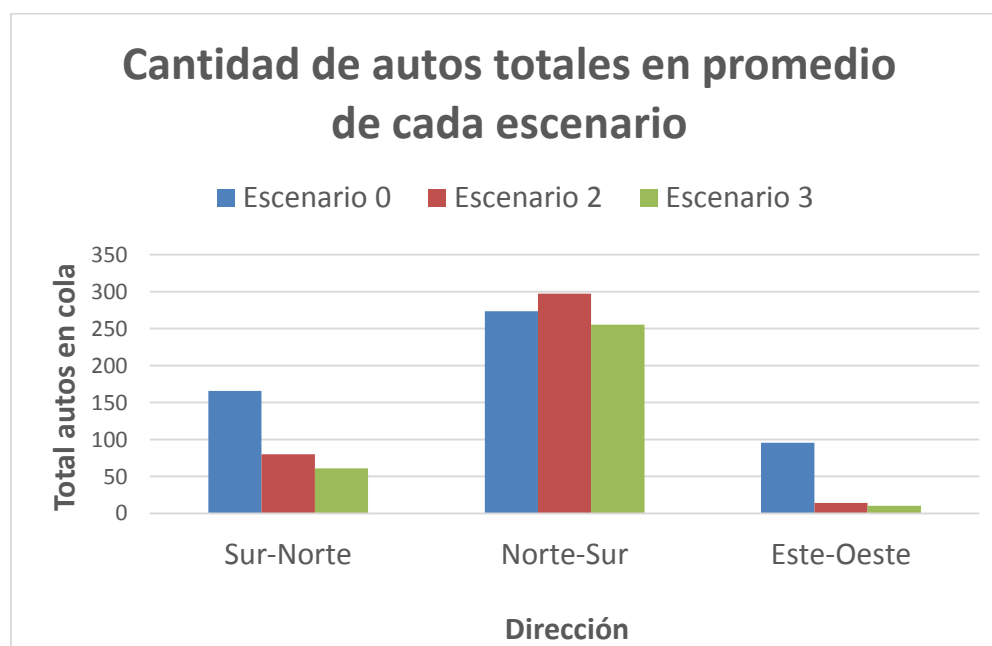
Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección Sur-Norte	60,9 carros
Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección Norte-Sur	255,57 carros
Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección Este-Oeste	10,5 carros
Promedio del tiempo promedio total que los autos estuvieron en el sistema	60,81 segundos
Promedio del tiempo promedio total que los autos estuvieron en cola	19,78 segundos

Tabla 22 Resultados del escenario 3

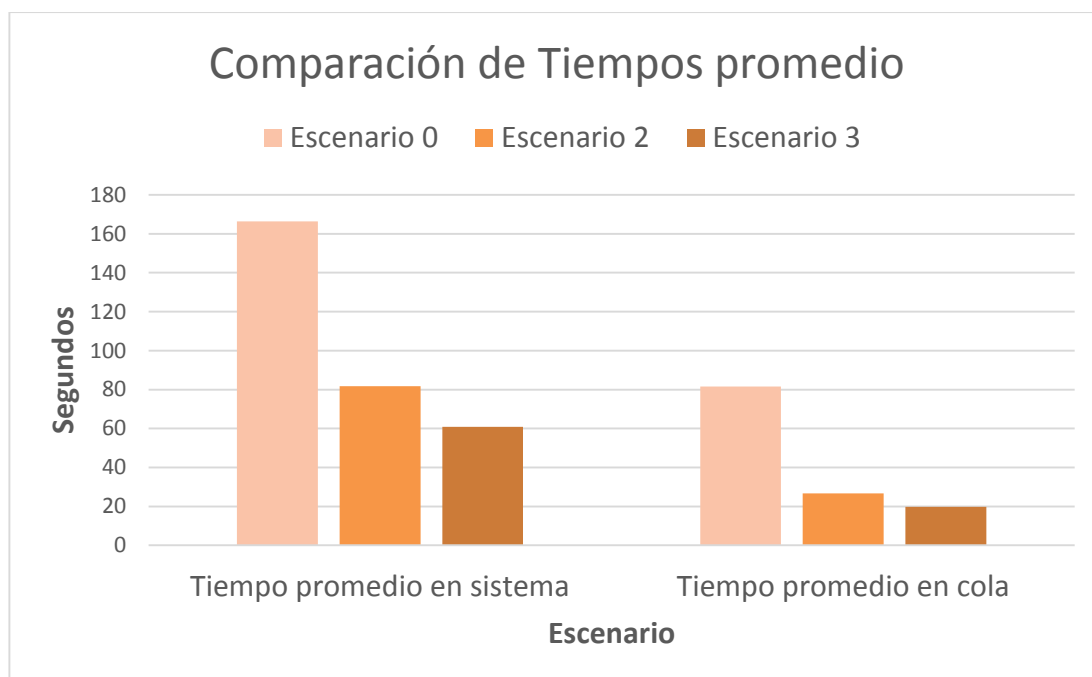
Para el escenario 2 y 3, respecto al escenario 0 se notan cambios significativos en las salidas. Empezando con el largo total promedio de autos en la dirección Sur-Norte; comparando el escenario 0 con el escenario 2 encontramos una disminución del 51,65% y al compararlo con el escenario 3 el resultado fue una disminución del 63,26%. La comparación de los resultados se explica en la siguiente tabla:

	ESCENARIO 0	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN SUR-NORTE	165,76 carros	-51,65%	-63,26%
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN NORTE-SUR	273,37 carros	+8,71%	-6,51%
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN ESTE-OESTE	95,8 carros	-85,17%	-89,04%
PROMEDIO DEL TIEMPO PROMEDIO TOTAL QUE LOS AUTOS ESTUVIERON EN EL SISTEMA	166,35 segundos	-49,14%	-63,44%
PROMEDIO DEL TIEMPO PROMEDIO TOTAL QUE LOS AUTOS ESTUVIERON EN COLA	81,60 segundos	-67,27%	-75,76%

Tabla 23 Comparativa entre el escenario 0 y los escenarios 2 y 3



Gráfica 6 Comparativa de autos totales en promedio de escenario 0, 2 y 3



Gráfica 7 Comparación de tiempos promedio de los Escenario 0, 2 y 3

Como se puede observar tanto en la tabla 23 como en las gráficas 6 y 7, ocurre una reducción significativa en el porcentaje de casi todas las salidas del sistema menos en el largo total promedio de autos en cola, dirección Norte-Sur que va desde la calle 24 hasta el semáforo del viaducto Campo Elías por la avenida 2. Resultado que podemos explicar de la siguiente manera: al no haber parada en la calle 25 o al reducir el tiempo de los buses en posición de salida se aligera el flujo vehicular de la intersección A para los autos que van en dirección Sur-Norte y dirección Este-Oeste, pero este flujo de vehículos se concentra en la avenida 2 debido a la dinámica del semáforo. Sin embargo al revisar los resultados de los tiempos en sistema y los tiempos que los autos estuvieron en cola, encontramos que pasan menos tiempo tanto en el sistema como en embotellamientos.

Con la aplicación de estos dos escenarios se está corroborando el enunciado de la hipótesis 2, lo cual constituye una aproximación de un modelo simulado para futuras investigaciones.

4.3 Hipótesis 3

El respeto por las normas de tránsito constituye uno de los factores de aproximación para mejorar el flujo vehicular en la parada “La Otra Banda”.

En esta tercera hipótesis se plantea una situación en la que los conductores modelados respetan las normas de tránsito, lo cual implica que ningún vehículo debe pasar el límite de velocidad alrededor de la parada, el cual es de 15 kmph o 4 metros sobre segundo. Es decir se asume, en el modelo, un comportamiento pasivo de los conductores.

Para evaluar esta hipótesis se redujo el número de autos con comportamiento agresivo a 0% y se evaluaron cuatro escenarios, que son los mismos que se evaluaron en las hipótesis 1 y 2 pero con esta restricción; los escenarios 0, 1, 2 y 3 previstos en las hipótesis anteriores se sustituyen por los escenarios 4, 5, 6 y 7 respectivamente con la condición de que todos los conductores tengan un comportamiento pasivo.

4.3.1 Escenario 4

Para este escenario se dejaron casi todas las variables de entrada iguales a las del escenario 0 y se modificó el comportamiento de los conductores para que fuesen conductores “pasivos”, representando de esta forma el respeto a las normas de tránsito conforme a las características del escenario 0.

Los resultados de este escenario son los siguientes:

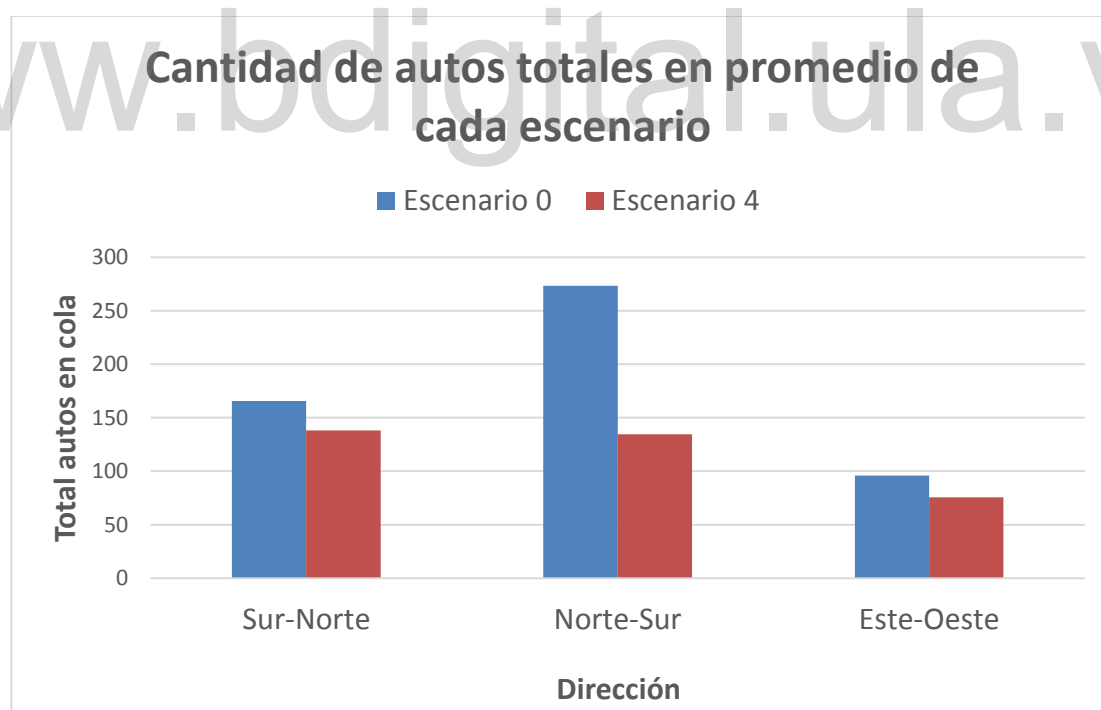
Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección Sur-Norte	138,07 carros
Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección Norte-Sur	134,63 carros
Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección Este-Oeste	75,47 carros
Promedio del tiempo promedio total que los autos estuvieron en el sistema	139,40 segundos
Promedio del tiempo promedio total que los autos estuvieron en cola	24,72 segundos

Tabla 24 Resultados del escenario 4

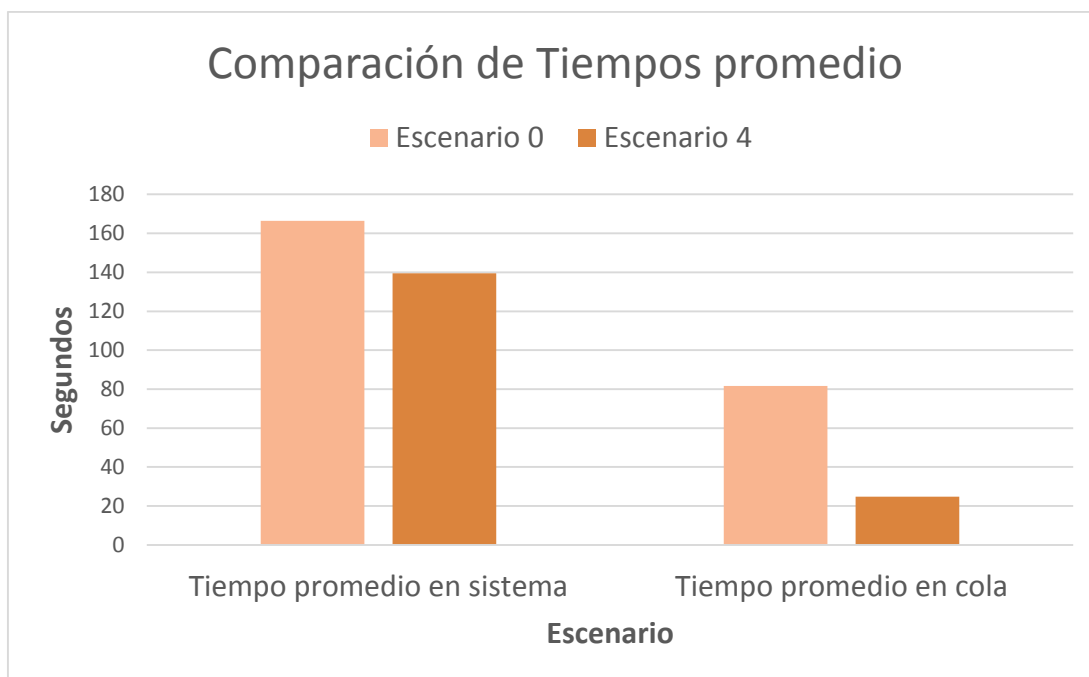
La siguiente tabla muestra una comparativa entre el escenario 0 y el escenario 4, mostrando las diferencias entre tener dos tipos de comportamiento en los conductores y hacer que todos cumplan las normas de tránsito si todos los conductores son pasivos.

	ESCENARIO 0	ESCENARIO 4
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN SUR-NORTE	165,76 carros	-17,21%
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN NORTE-SUR	273,37 carros	-50,75%
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN ESTE-OESTE	95,8 carros	-21,22%
PROMEDIO DEL TIEMPO PROMEDIO TOTAL QUE LOS AUTOS ESTUVIERON EN EL SISTEMA	166,35 segundos	-16,20%
PROMEDIO DEL TIEMPO PROMEDIO TOTAL QUE LOS AUTOS ESTUVIERON EN COLA	81,60 segundos	-69,71%

Tabla 25 Comparativa entre el escenario 0 y el escenario 4



Gráfica 8 Comparativa de autos totales en promedio de los escenarios 0 y 4



Gráfica 9 Comparación de tiempos promedio de los Escenario 0 y 4

Los resultados del escenario 4 comparados con los resultados del escenario 0 reflejan una reducción importante de todas las salidas, en especial en el tiempo en cola que pasan los vehículos durante la simulación. Se puede decir que para este estudio, hacer que todos los conductores respeten el límite de velocidad establecido para zonas urbanas con intersección, hará que estos permanezcan menos tiempo en cola y dentro del sistema.

4.3.2 Escenario 5

Este escenario presenta las modificaciones en la estructuración de la parada, modificando así la cantidad de puestos de parada, en una primera parte aumentándolo a 8 puestos de parada, 2 para cada tipo de ruta. En la segunda parte asignando un solo puesto de parada para cada ruta, con lo cual hay una reducción de la parada a 4 puestos

en total. Además de estas modificaciones, se mantiene la premisa de que todos los conductores son pasivos.

En la siguiente tabla se expresan los resultados de la primera parte de este escenario:

Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección Sur-Norte	127,17 carros
Promedio de carros total es que estuvieron en cola en dirección Norte-Sur	139,73 carros
Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección Este-Oeste	66,47 carros
Promedio del tiempo promedio total que los autos estuvieron en el sistema	148,36 segundos
Promedio del tiempo promedio total que los autos estuvieron en cola	28,11 segundos

Tabla 26 Resultados del escenario 5 Parte 1

www.bdigital.ula.ve

La siguiente tabla expresa los resultados de la segunda parte del escenario 5:

Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección Sur-Norte	99 carros
Promedio de carros total es que estuvieron en cola en dirección Norte-Sur	129,03 carros
Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección Este-Oeste	52,4 carros
Promedio del tiempo promedio total que los autos estuvieron en el sistema	191,80 segundos
Promedio del tiempo promedio total que los autos estuvieron en cola	39,56 segundos

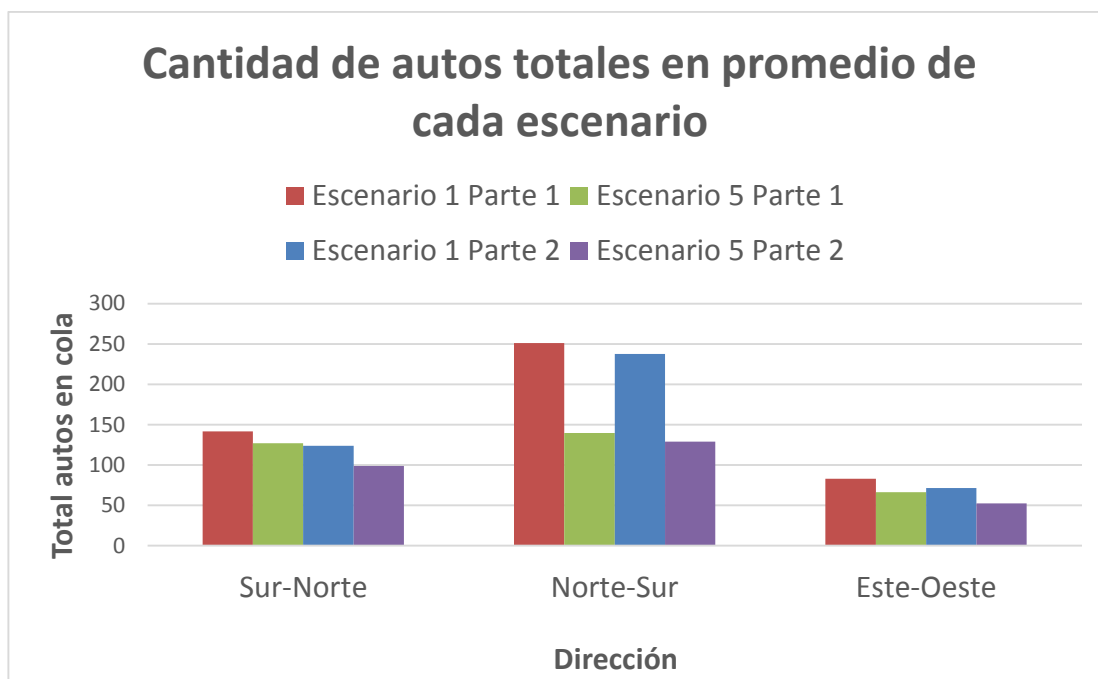
Tabla 27 Resultados del escenario 5 Parte 2

La siguiente tabla muestra el contraste entre las dos partes del escenario 1 y las dos partes del escenario 5:

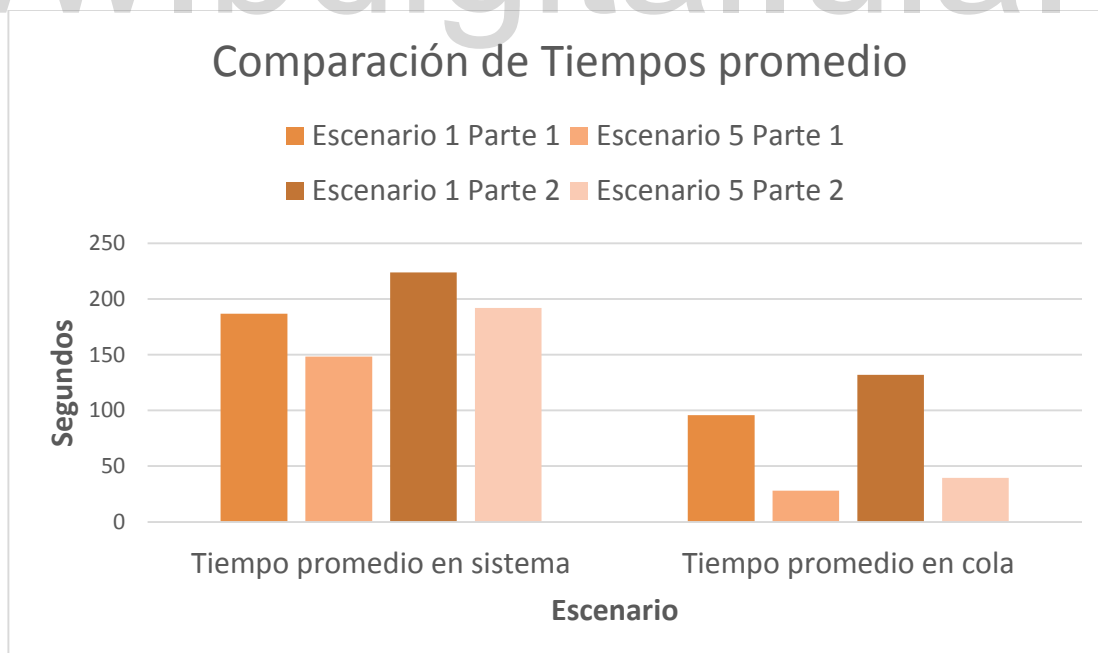
(30 CORRIDAS)	ESCENARIO 1 (PARTE 1)	ESCENARIO 5 (PARTE 1)	ESCENARIO 1 (PARTE 2)	ESCENARIO 5 (PARTE 2)
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN SUR- NORTE	141,67 carros	-10,24%	124,07 carros	-20,21%
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN NORTE- SUR	251,07 carros	-44,34%	237,67 carros	-45,71%
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN ESTE- OESTE	83,17 carros	-20,08%	71,57 carros	-26,78%
PROMEDIO DEL TIEMPO PROMEDIO TOTAL QUE LOS AUTOS ESTUVIERON EN EL SISTEMA	186,84 segundos	-20,60%	223,65 segundos	-14,24%
PROMEDIO DEL TIEMPO PROMEDIO TOTAL QUE LOS AUTOS ESTUVIERON EN COLA	95,83 segundos	-70,67%	131,88 segundos	-70,003%

Tabla 28 Comparativa entre el escenario 1 y el escenario 5

Comparando los resultados de las dos partes del escenario 5 con las dos partes del escenario 1, vemos que se reducen en valores significativos. Sobre todo el tiempo en cola promedio, el cual alcanzó más del 70% de reducción. Lo quiere decir que modificando el escenario 1 para que todos sus conductores sean de comportamiento pasivo, hace que la cantidad total de vehículos en cola para cada dirección, el tiempo promedio en sistema y tiempo promedio en cola, reduzcan.



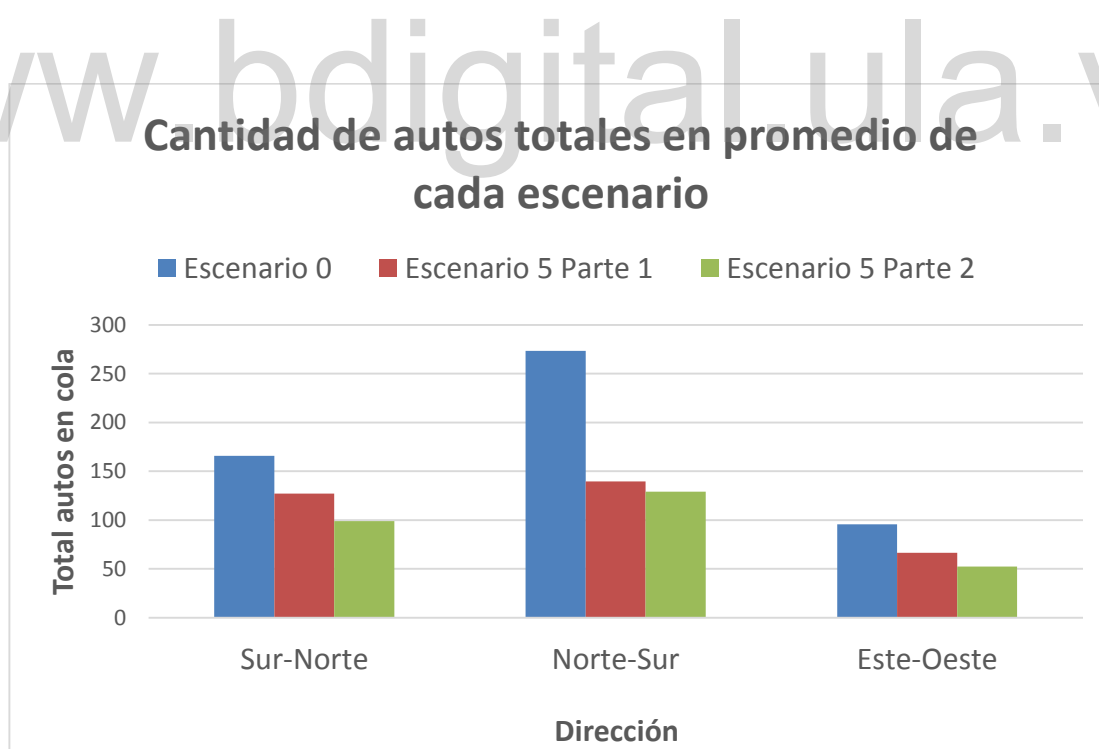
Gráfica 10 Comparación de cantidad de autos totales promedio entre el escenario 1 y el escenario 5



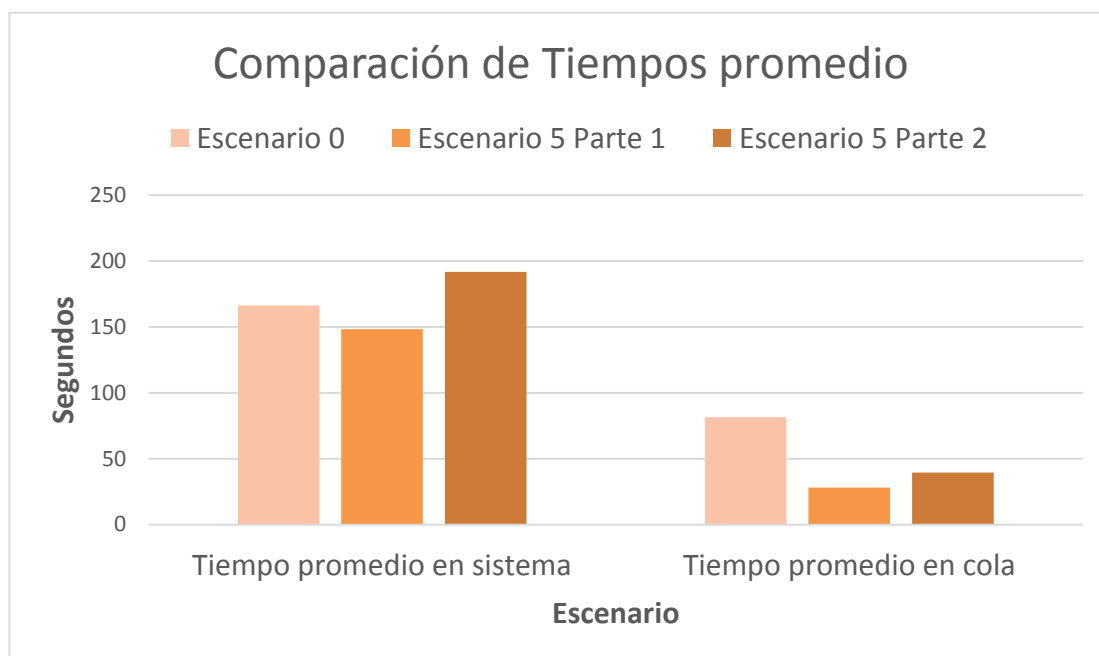
Gráfica 11 Comparación de tiempos promedio entre el escenario 1 y el escenario 5

	ESCENARIO 0	ESCENARIO 5 (PARTE 1)	ESCENARIO 5 (PARTE 2)
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN SUR-NORTE	165,76 carros	-23,75%	-40,64%
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN NORTE-SUR	273,37 carros	-48,89%	-52,80%
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN ESTE-OESTE	95,8 carros	-30,62%	-45,30%
PROMEDIO DEL TIEMPO PROMEDIO TOTAL QUE LOS AUTOS ESTUVIERON EN EL SISTEMA	166,35 segundos	-10,81%	+15,30%
PROMEDIO DEL TIEMPO PROMEDIO TOTAL QUE LOS AUTOS ESTUVIERON EN COLA	81,60 segundos	-65,55%	-51,51%

Tabla 29 Comparativa entre el escenario 0 y el escenario 5



Gráfica 12 Comparación de cantidad de autos totales promedio entre el escenario 0 y el escenario 5



Gráfica 13 Comparación de tiempos promedio entre el escenario 0 y el escenario 5

La tabla comparativa entre las dos partes del escenario 5 con el escenario 0 (tabla 29), refleja que el hecho de tener solo conductores pasivos hace que estos respeten el límite de velocidad dentro del sistema, igualmente refleja una disminución en los datos de salida de al menos un 23% en la cantidad de autos en cola y también, al menos una reducción del 51% en el tiempo de cola promedio.

4.3.3 Escenario 6

Este escenario tiene relación con el escenario 2, en donde modifican los valores de entrada con respecto a los tiempos de estadía de un bus en la parada y eliminando la división por ruta de bus. En este caso también eliminaremos todos los conductores agresivos dentro del sistema para que de esta forma se respeten las normas de tránsito.

Los resultados de este escenario se explican en la siguiente tabla:

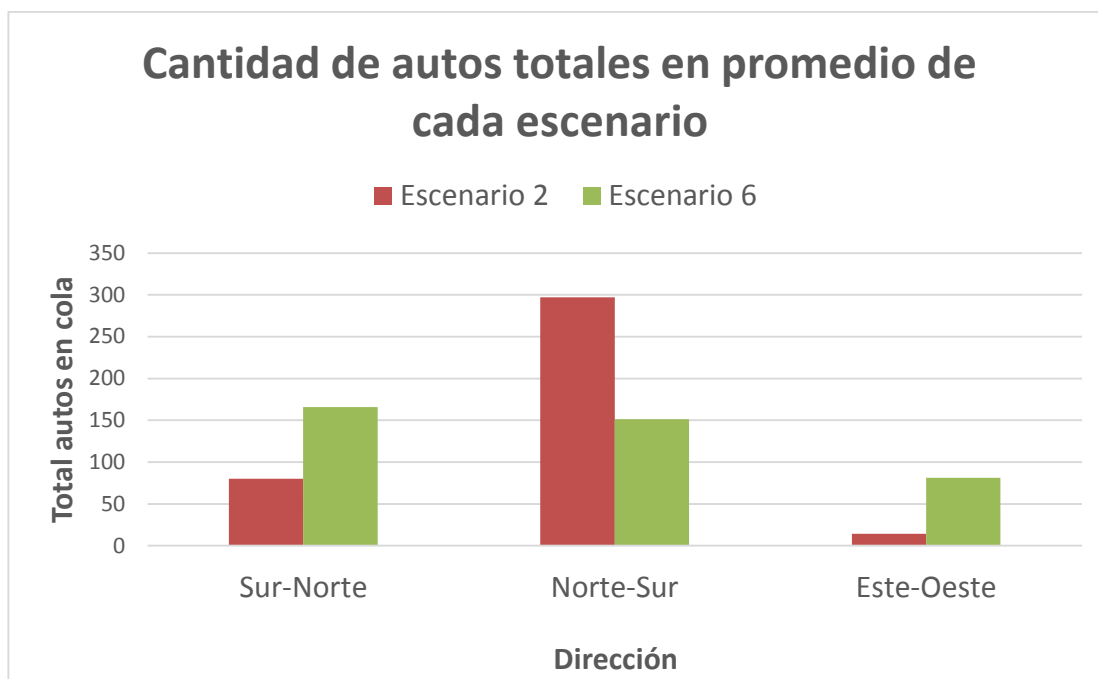
Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección Sur-Norte	165.93 carros
Promedio de carros total es que estuvieron en cola en dirección Norte-Sur	151.17 carros
Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección Este-Oeste	81.2 carros
Promedio del tiempo promedio total que los autos estuvieron en el sistema	94.49 segundos
Promedio del tiempo promedio total que los autos estuvieron en cola	16.40 segundos

Tabla 30 Resultados del escenario 6

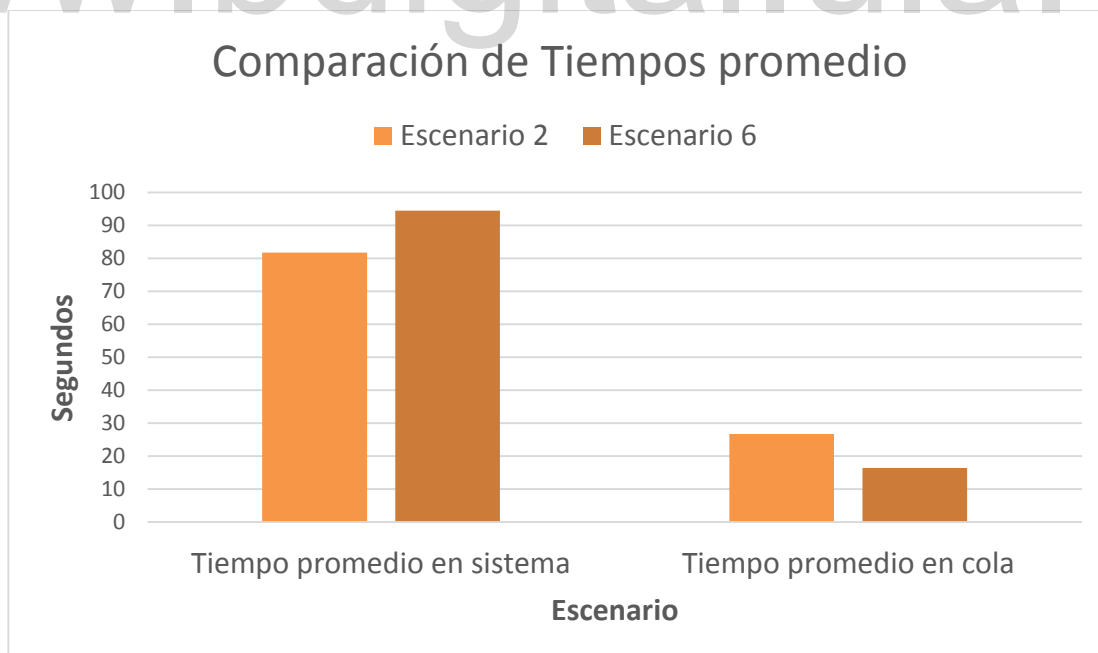
A continuación se muestra la tabla comparativa entre el escenario 2 y el escenario 6 en donde solo hay conductores pasivos:

	ESCENARIO 2	ESCENARIO 6
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN SUR-NORTE	165,76 carros	+107,08%
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN NORTE-SUR	273,37 carros	-49,14%
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN ESTE-OESTE	95,8 carros	+465,89%
PROMEDIO DEL TIEMPO PROMEDIO TOTAL QUE LOS AUTOS ESTUVIERON EN EL SISTEMA	166,35 segundos	+15,60%
PROMEDIO DEL TIEMPO PROMEDIO TOTAL QUE LOS AUTOS ESTUVIERON EN COLA	81,60 segundos	-38,58%

Tabla 31 Comparativa entre el escenario 2 y el escenario 6



Gráfica 14 Comparación de cantidad de autos totales promedio entre el escenario 2 y el escenario 6



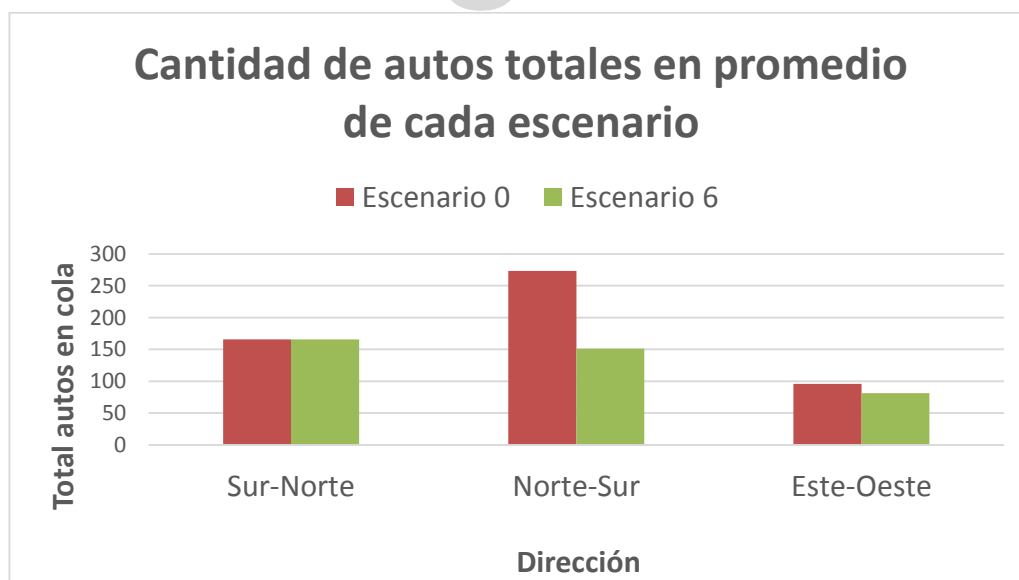
Gráfica 15 Comparación de tiempos promedio entre el escenario 2 y el escenario 6

En la tabla 31 se refleja un aumento importante del escenario 6 en cuanto a la cantidad total de autos en cola en la dirección Sur-Norte y la dirección Este-Oeste con respecto al escenario 2, además se refleja una reducción importante en el tiempo promedio en cola, lo que significa que aunque hayan más autos en cola durante las corridas de este escenario, estos duran menos tiempo en embotellamiento.

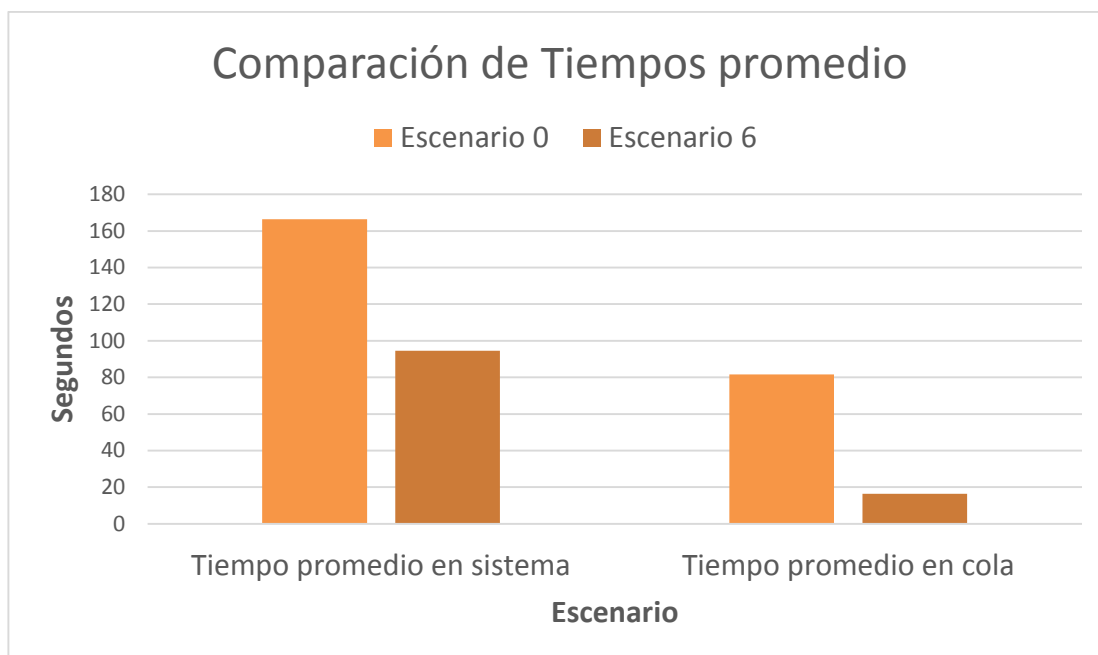
La siguiente tabla es una comparativa entre el escenario 0 y el escenario 6:

	ESCENARIO 0	ESCENARIO 6
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN SUR-NORTE	165,76 carros	+0,103%
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN NORTE-SUR	273,37 carros	-44,70%
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN ESTE-OESTE	95,8 carros	-15,24%
PROMEDIO DEL TIEMPO PROMEDIO TOTAL QUE LOS AUTOS ESTUVIERON EN EL SISTEMA	166,35 segundos	-43,20%
PROMEDIO DEL TIEMPO PROMEDIO TOTAL QUE LOS AUTOS ESTUVIERON EN COLA	81,60 segundos	-79,90%

Tabla 32 Comparativa entre el escenario 0 y el escenario 6



Gráfica 16 Comparación de cantidad de autos totales promedio entre el escenario 0 y el escenario 6



Gráfica 17 Comparación de tiempos promedio entre el escenario 0 y el escenario 6

Esta comparativa muestra que los resultados obtenidos en el escenario 6 no distan mucho en cuanto a número de autos en cola en la dirección Sur-Norte y dirección Este-Oeste, pero si reflejan una disminución del 43,20% en el tiempo promedio en el sistema y también un 79,90% en el tiempo promedio que los autos se encuentran en cola, lo que quiere decir que hacer que si todos conductores dentro del sistema son pasivos no refleja una reducción importante en la cantidad de autos en cola promedio, pero si hace que estos autos, que encuentran un embotellamiento, reduzcan su tiempo en la misma.

4.3.4 Escenario 7

Para este último escenario se elimina la posición de la parada, la cual queda libre circulación de los vehículos en esa zona. Además de estas modificaciones, al igual que

en los demás escenarios que se estudian para esta hipótesis, se aumenta el número de conductores pasivos a un 100%

Los resultados se encuentran en la siguiente tabla:

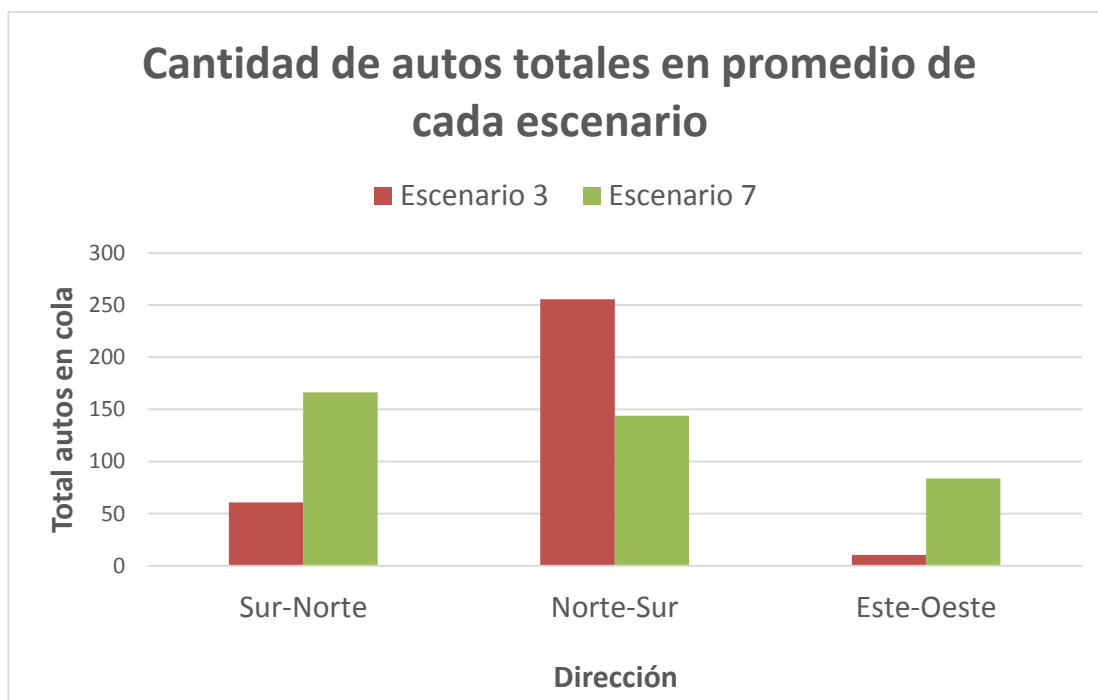
Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección Sur-Norte	166.33 carros
Promedio de carros total es que estuvieron en cola en dirección Norte-Sur	144.13 carros
Promedio de carros totales que estuvieron en cola en dirección Este-Oeste	83.87 carros
Promedio del tiempo promedio total que los autos estuvieron en el sistema	86.65 segundos
Promedio del tiempo promedio total que los autos estuvieron en cola	16.47 segundos

Tabla 33 Resultados del escenario 7

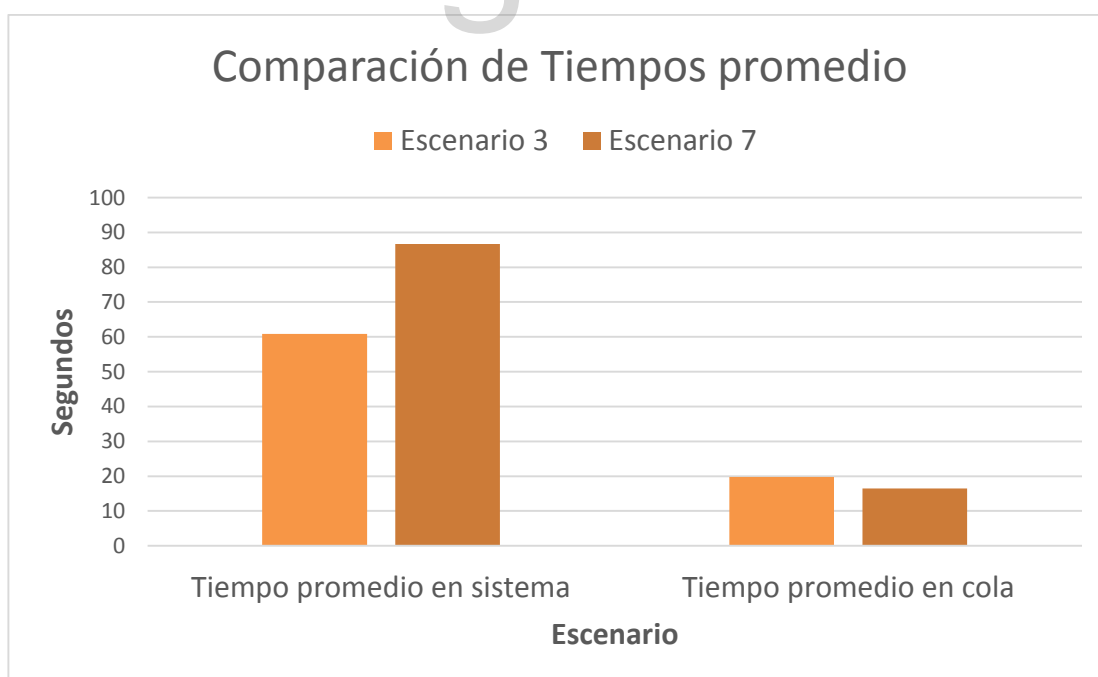
La siguiente tabla muestra los resultados del escenario 3 contrastados con los del escenario 7 en donde no se encuentra ningún conductor con comportamiento agresivo, por lo cual no irrespeta las normas de tránsito establecido para este sistema.

	ESCENARIO 3	ESCENARIO 7
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN SUR-NORTE	60,9 carros	+173,12%
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN NORTE-SUR	255,57 carros	-43,60%
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN ESTE-OESTE	10,5 carros	+698,76%
PROMEDIO DEL TIEMPO PROMEDIO TOTAL QUE LOS AUTOS ESTUVIERON EN EL SISTEMA	60,81 segundos	+42,85%
PROMEDIO DEL TIEMPO PROMEDIO TOTAL QUE LOS AUTOS ESTUVIERON EN COLA	19,78 segundos	-16,73%

Tabla 34 Comparativa entre el escenario 3 y el escenario 7



Gráfica 18 Comparación de cantidad de autos totales promedio entre el escenario 3 y el escenario 7

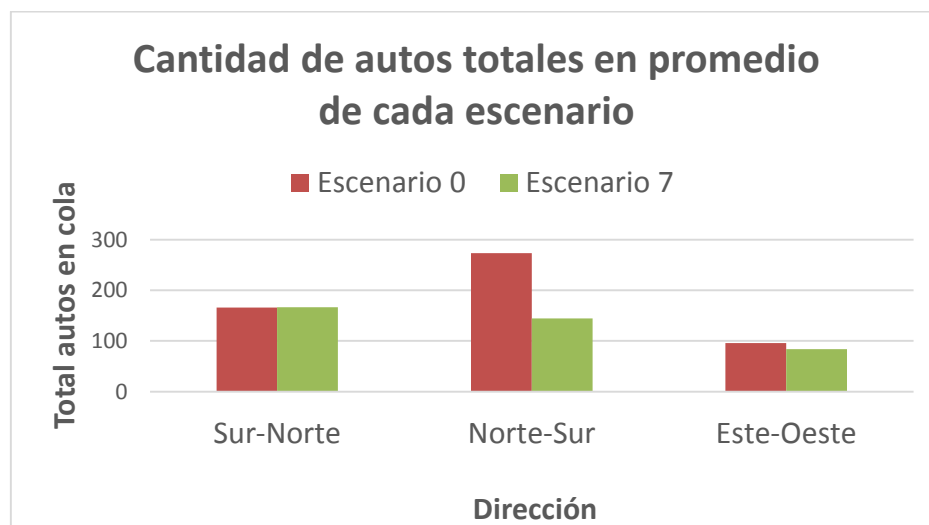


Gráfica 19 Comparación de tiempos promedio entre el escenario 3 y el escenario 7

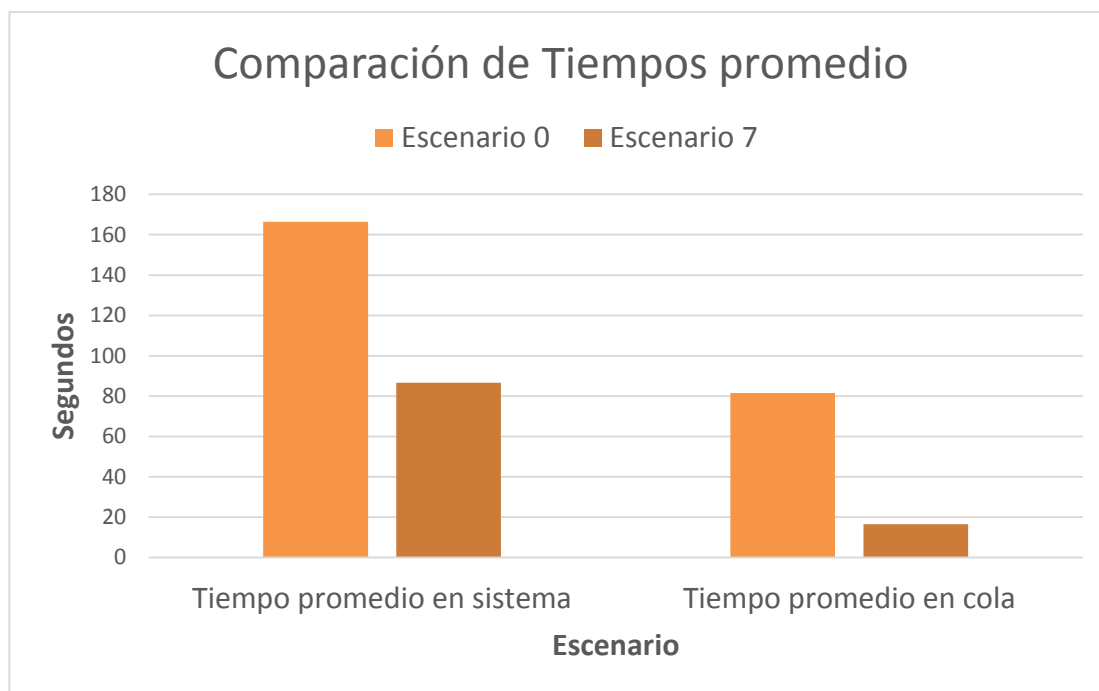
Esta comparativa de resultados hace notar un aumento en la cantidad total de autos en cola para la dirección Sur-Norte y la dirección Este-Oeste, también un aumento en el tiempo promedio que los autos se encuentran en el sistema. Pero revisando el tiempo promedio en cola, resalta el hecho de que, a pesar de que el promedio de autos en cola aumenta de gran manera, el tiempo que estos autos permanecen en embotellamiento reducen un 16,73%.

	ESCENARIO 0	ESCENARIO 7
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN SUR-NORTE	165,76 carros	+0,34%
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN NORTE-SUR	273,37 carros	-47,28%
PROMEDIO DE CARROS TOTALES QUE ESTUVIERON EN COLA EN DIRECCIÓN ESTE-OESTE	95,8 carros	-12,45%
PROMEDIO DEL TIEMPO PROMEDIO TOTAL QUE LOS AUTOS ESTUVIERON EN EL SISTEMA	166,35 segundos	-47,91%
PROMEDIO DEL TIEMPO PROMEDIO TOTAL QUE LOS AUTOS ESTUVIERON EN COLA	81,60 segundos	-70,82%

Tabla 35 Comparativa entre el escenario 0 y el escenario 7



Gráfica 20 Comparación de cantidad de autos totales promedio entre el escenario 0 y el escenario 7



Gráfica 21 Comparación de tiempos promedio entre el escenario 0 y el escenario 7

Ahora comparando los resultados del escenario 0 con los del escenario 7 refleja que casi todos los resultados disminuyen en al menos un 12% en la cantidad de autos promedio que se encontraron en cola, exceptuando la dirección Norte-Sur. También refleja una disminución del 47,91% en el tiempo promedio que los autos se encuentran en el sistema y un 70,82% de disminución del tiempo promedio que los autos se encuentran en embotellamiento.

Revisando todos los resultados de los escenarios que corresponden a la hipótesis 3 se reflejan resultados variados en la cantidad total promedio de autos que estuvieron en cola. En el caso del escenario 4 y 5 estos resultados disminuyen con respecto al escenario 0 y con respecto al escenario 1, sin embargo en los resultados observados en los escenarios 6 y 7, la cantidad total promedio de autos en cola aumentan grandemente para algunas direcciones y disminuye en otras con respecto al escenario 0 y el escenario base para cada uno. Pero la constante en las salidas de estos cuatro escenarios es la disminución de los tiempos que los autos se encuentran en cola con respecto al

escenario base de cada uno de ellos y al escenario 0. Esto se puede explicar de la siguiente manera: si todos los autos que circulan dentro del sistema cumplen las normas de tránsito, el flujo vehicular será más dinámico, aunque en algunos escenarios se demuestran que el promedio de autos totales en cola son mayores; los tiempos promedio en sistema y tiempos promedio en cola, son menores.

www.bdigital.ula.ve

Capítulo V

5 Conclusiones y recomendaciones

De esta investigación se pueden sacar algunas conclusiones referentes al uso de sistemas multiagentes en el modelado de tránsito vehicular y también con respecto a los resultados obtenidos.

Primero abordaremos las conclusiones sobre el grado de dificultad del uso de SMA en tránsito vehicular:

- El uso de sistemas multiagentes hace que la representación de tránsito vehicular, los autos que interactúan en el sistema y sus características se faciliten.
- El hecho de estudiar el entorno, conocer sus características y transformar las medidas a las medidas que usa la plataforma de desarrollo SMA NetLogo hace que sea más sencillo representar las calles, avenidas, intersecciones y semáforos de forma gráfica aunque debido a las limitaciones de la plataforma no se puede hacer una representación más detallada del entorno. Ver tabla 4.
- Representar los autos de forma gráfica y asignarles características dentro de la plataforma NetLogo resultó sencillo, ya que se pueden agregar características tales como tamaño, color, forma, límites de velocidad, comportamiento y otro

conjunto de variables que ayudan a medir el tiempo en sistema y el tiempo en embotellamiento.

- Hacer la representación del flujo vehicular dentro de la plataforma NetLogo tiene un grado más elevado de complejidad; al modificar el tamaño de las tortugas o vehículos gráficamente para el sistema estas ocupan un espacio visual del entorno, pero su parche medible o parche de ubicación es uno solo, esto quiere decir que aunque visualmente un vehículo con forma “particular” ocupe visualmente 4 parches, el parche de ubicación es uno solo de los cuatro que ocupa y por lo general este parche de ubicación se encuentra en el penúltimo parche que va desde la cabecera hasta la cola del vehículo. En tal sentido se puede decir en forma concluyente que la descripción anterior y la forma en la que se codificó el movimiento de las tortugas, hizo que se crearan algunas restricciones extras dentro del modelo, ya que no solamente es verificar que la cantidad de parches que el vehículo va a avanzar, estén desocupados, sino también, darle un grado de holgura de al menos dos parches, para que visualmente no se superpongan.
- Representar el flujo vehicular en las intersecciones “A” y “B”, también presentó un grado alto de complejidad, ya que se crearon varios procedimientos para el sistema de cruce de una intersección.
- Hacer el movimiento de los buses en la parada resultó sumamente difícil, por la limitación del parche de ubicación de la tortuga, no solamente el bus que estaba en espera para ocupar la posición de un puesto de la parada debía revisar un solo parche sino todos los parches del puesto de parada a ocupar. Igual que al salir de la parada la plataforma presentó problemas de forma visual ya que las tortugas con forma “bus” que contaban con las condiciones para salir de la misma lo hacían cuando cierta cantidad de parches estaban desocupados, pero hubo casos donde la dinámica del flujo vehicular hacía que estos se vieran gráficamente superpuestos sobre otros vehículos.

5.1 Conclusiones en base a las hipótesis:

Para el caso de la hipótesis 1:

- Aumentar el número de puestos de parada para los buses a 2 por tipo de ruta o lo que es lo mismo, incrementar en 8 puestos totales en la parada, hace que disminuyan la cantidad total de autos que se encuentren con un embotellamiento pero aumenta el tiempo que estos permanecen tanto en el sistema como en un embotellamientos. Ver tabla 20.
- Disminuir el número de puestos de parada para los buses a 1 por ruta o un total de 4 puestos de parada hace que se reduzca la cantidad total de autos en cola en comparación con aumentar el número de puesto y en comparación con el escenario 0, sin embargo hay un aumento considerable con respecto al tiempo promedio total de los autos dentro del sistema y en el tiempo promedio total de los autos en cola. Ver tabla 20.

Como conclusión, estos dos escenarios comprueban que la dinámica que se maneja en la parada hace que el tránsito vehicular en la calle de la parada y en las zonas adyacentes fluya de forma irregular generando tiempos grandes de embotellamientos.

Para el caso de la hipótesis 2:

- Reducir el tiempo de estadía de los buses en la posición de parada y establecer una sola parada para todos los tipos de ruta, aligera el tránsito vehicular en la zona de estudio. Ver tabla 23.
- Eliminar la parada de su ubicación actual reduce los porcentajes de las salidas de los resultados del escenario 0, así como también los del escenario 2. Lo que nos explica que al restringir el paso de buses por la zona de estudio, los vehículos que por ahí circulan lo hacen de una manera más fluida. Ver tabla 23

La conclusión de estos resultados de los escenarios evaluados en la plataforma de simulación multiagente es que efectivamente cambiar la política de tiempos de parada o mover la parada de la zona de estudio, podría aligerar el flujo vehicular que por ahí transita.

Para el caso de la hipótesis 3:

- Hacer que todos los autos tengan un comportamiento pasivo sin modificar las dinámicas de la parada hace que todas las salidas del sistema se reduzcan. Análogamente, una aproximación simulada para representar el respeto a las normas de tránsito facilita el flujo vehicular diseñado en este modelo. Ver tablas 25 y 29.
- Reducir el número de conductores agresivos y modificar la dinámica de tiempos en la parada o cambiar su ubicación dentro de la plataforma no refleja un cambio significativo en la cantidad total promedio de autos que se encuentran en cola y tampoco en el tiempo total promedio que los vehículos están en el sistema, pero pasa lo contrario con el tiempo promedio en cola de los vehículos ya que reduce grandemente su porcentaje. Ver tablas 32 y 35.

Algunas recomendaciones son las siguientes:

- El presente trabajo puede ser considerado como un primer avance para el desarrollo de estudios de tránsito vehicular y manejo de transporte público dentro del casco urbano de la ciudad.
- Puede considerarse el uso de otra plataforma de desarrollo SMA que permita mayor facilidad en cuanto a la movilidad de los vehículos.
- Fomentar el uso de plataformas SMA de forma práctica dentro de la carrera para así tener conocimiento básico que pueda servir y ahorrar tiempo al momento de desarrollar el trabajo final de investigación.

- Para estudios que impliquen áreas más grandes, es recomendable establecer escalas más pequeñas de un metro por parche, para facilitar la visualización de cualquier entorno.
- Para los que están empezando a trabajar con la plataforma NetLogo revisar la página del profesor Fernando Sancho, que cuenta con una amplia gama de modelos base y tutoriales sobre la plataforma de desarrollo SMA (Sancho, s.f.).

www.bdigital.ula.ve

6 Bibliografía

- Aguilar, J., Rios Bolivar, A., Hidrobo, F., & Cerrada, M. (2013). *Sistemas Multiagentes y sus Aplicaciones en Automatización Industrial (2da Ed)*. . Obtenido de Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Mérida Venezuela.
- Al-Dmour, N. A. (2011). TarffSim: Multiagent Traffic Simulatio. *European Journal of Scientific Research*, 56(4):570-575.
- Amandi, A. (2001). *Desarrollo de Sistemas Multi-Agentes*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92521304> consultado en febrero 2016
- Arroyo, M., & Hassan, S. (s.f.). Simulación de procesos sociales basada en agentes software. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.
- Bellifemine, F., Caire, G., & Trucco, T. (2007). *Jade*. Obtenido de <http://jade.tilab.com/doc/index.html>. Visitado en agosto 2015
- Berryman, M. J., & Angus, S. D. (2009). Tutorials on Agent-based modelling with NetLogo and Netwrok Analysis with Pajek. *World Scientific Review*.
- Botti, J., & Julian, V. (2000). Agentes inteligentes: el siguiente paso en la inteligencia. *Novatica*, 25(145):95-99.
- Botti, V., & Giret, A. (2004). *‘Aplicaciones Industriales de los Sistemas Multiagente’*. Obtenido de <http://www.upv.es/sma/teoria/aplicaciones/industria.pdf> Consultado en noviembre 2015
- Bravo, C., Aguilar, J., & Rivas , F. (s.f.). *Diseño de una arquitectura de automatización industrial basada en sistemas multiagentes*. Obtenido de Revista ciencia e ingeniería. Vol 25 N° 2 2004.: www.ing.ula.ve/~aguilar/publicaciones/objetos/revistas/DAAI.pdf Consultado en agosto 2016
- Brazier, F., Dunin, B., Jennings, N., & Treur, J. (1997). Desire: Modelling multi-agent systems in a compositional formal framework. *Journal of Cooperative Information Systems*, 6(1):67-94.
- Bull, A., & Diez, J. (2001). Medidas para el control de la congestión vial urbana actuando sobre la demanda. *inédito*. Santiago de Chile, Chile.

- Burmeister, B. (1996). Models and methodologies for agent-oriented analysis and design. *Technical report*, D-96-06, DFKI.
- Calderón, A. (2014). *Desarrollar un modelo de administración de tránsito basado en agentes que interactúen en una intercepción de calles, dentro de una ciudad virtual*. Venezuela: UCAB.
- Camacho, J. (2008). *Estudio del uso de sistemas multiagentes para el modelado del tráfico de autos. Proyecto de Grado EISULA*. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, Escuela de Ingeniería de Sistemas.
- DRAE. (2001). Diccionario de la Real Academia Española.
- Garcia, A., & Teruel, D. (2003). '*Agentes Inteligentes y Sistemas Multiagente*'. Obtenido de <http://www.isys.dia.fi.upm.es/doctorado0405/metoTools.pdf> Consultado en noviembre 2015
- Gazis, D. (1974). '*Traffic Science*', chapter *Flow Theories*. John Wiley and Sons.
- Grignard, A., Taillandier, P., Gaudou, B., Vo, D. A., Huynh, N. Q., & Drogoul, A. (2013). GAMA 1.6: Advancing the Art of Complex Agent-Based Modeling and Simulation. In '*The 16th International Conference on Principles and Practices in Multi-Agent Systems (PRIMA*)', (págs. Volume 8291, pp. 242-258). Dunedin, New Zealand.
- Hoeger, H. (1997). *Pasos de un estudio de Simulación*.
- Hughes, J. (2008). '*AIMSUN2 Simulation of a congested Auckland freeway*'. Obtenido de <http://www.aimsun.com/site/content/view/52/35/> Consultado en diciembre 2015
- Huhns, M., & Singh, M. P. (1998). *Readings in Agents*. San Mateo, CA, USA: Morgan Kaufmann.
- Iglesias, F. (1998). Definición de una metodología para el desarrollo de sistema multiagentes. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España: PhD Thesis Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos.
- INTT. (s.f.). *Instituto Nacional de Tránsito Terrestre. Glosario de Terminos: Educación y Seguridad Vial*. Obtenido de www.intt.gov.ve consultado en octubre 2016
- Julián, V. (2002). *RT-MESSAGE: Desarrollo de Sistemas Multiagente de Tiempo Real (Tesis Doctoral)*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia Departamento de Sistemas Informáticos y Computación. Valencia, España.: www.dsic.upv.es/users/ia/sma/thesis/pdf/TesisVicenteJ.pdf. Consultado: 18 de marzo de 2016

- Julian, V., & Botti, V. (2003). *Estudio de métodos de desarrollo de sistemas multiagente Inteligencia Artificial*. Obtenido de Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial, vol. 7, núm. 18, 2003, pp. 65-80 Asociación Española para la Inteligencia Artificial Valencia, España: <http://www.redalyc.org/pdf/925/92501806.pdf>. Consultado en marzo 2016
- Kaelbling, L. (1991). A situated-automata approach to the design of embedded agents. *ACM SIGART Bulletin*, 2(4):85-88.
- Lind, J. (1999). *MASSIVE: Software Engineering for Multi-agent Systems*. Alemania: PhD Thesis, DKFI.
- Lobo, C. (2003). '*Sistema Multiagente para Coordinar Unidades de Producción*'. Obtenido de <http://politeca.ing.ula.ve/Contenido/Digiteca/ProyectosTesisGrado/Pregrado/UniversidaddelosAndes/IngenieriaSistemas/DepartamentoComputacion/2003> Consultado en marzo 2016
- Maes, P. (1991). The agent network architecture. *ACM SIGART Bulletin*, 2(4):115-120.
- Maes, P. (1994). Modeling Adaptive: Autonomous Agents. *Artificial Life*, 1:135-162.
- Marchetti, T., & García, A. (2003). *Metodologías de plataformas para el desarrollo de Sistemas Multiagente*. Obtenido de [http://cs.uns.edu.ar/~ajg/papers/2003\(Cacic\)MarchettiGarcia.pdf](http://cs.uns.edu.ar/~ajg/papers/2003(Cacic)MarchettiGarcia.pdf) Visitado en octubre 2015
- Marchetti, T., & Garcia, A. (2004). *Metodologías de desarrollo de Sistemas Multiagentes: un análisis comparativo*. Obtenido de [http://cs.uns.edu.ar/~ajg/papers/2004/\(Cacic\)MarchettiGarcia.pdf](http://cs.uns.edu.ar/~ajg/papers/2004/(Cacic)MarchettiGarcia.pdf) Consultado en agosto 2015
- Meigan, D., Simonin, O., & Koukam, A. (2006). *MultiAgent Approach for Simulation and Evaluation of Urban Networks*. Japón.
- Miguel Quesada, F. J. (2011). *Simulació Social: Una Introducció*. Obtenido de Laboratori de Simulació de Dinàmiques Socio-Històriques: <http://sct.uab.cat/llds/node/198> Consultado en agosto 2016
- Molina, J. M. (2010). *Modelado y Simulación mediante Sistemas Multiagente de la Evacuación de Personas de Edificaciones de Varios Pisos en Presencia de Obstáculos*. Mérida, Venezuela: EISULA, Universidad de los Andes.
- Moreno, J., Velásquez, J., & Ovalle, D. (2007). *Una Aproximación Metodológica para la Construcción de Modelos de Simulación Basados en el Paradigma Multi-Agente*.

Revista Avances en Sistemas e Informática, Vol.4 No. 2, Septiembre de 2007, Medellín-Colombia.

NetLogo. (s.f.). *Manual de NetLogo*. Obtenido de <http://ccl.northwestern.edu/netlogo> consultado en julio 2016

Ramos, E., & Fernandez, S. (2005). '*Explorando la Biocomplejidad en un Curso Subgraduado Multidisciplinario*'. Obtenido de <http://mate.uprh.edu/~urmaa/reports/RaMos2005.pdf> Consultado en agosto 2015

Reglamento de la Ley de Tránsito Terrestre, Gaceta Oficial Extraordinaria 5420 de fecha del 26 de junio de 1998. (s.f.).

Rodríguez, S. (2002). '*Modelación de flujo de tránsito de autos utilizando autómatas celulares*'.

Russell, S., & Norvig, P. (2004). *Inteligencia Artificial. Un Enfoque Moderno Segunda Edición*. Obtenido de www.academia.edu/.../Inteligenciaartificialunenfoquemoderno2daed_140306060918_p... consultado en septiembre 2016

Sancho, F. (s.f.). *Video Curso de NetLogo*. Obtenido de NetLogo: Una Herramienta de Modelado: <http://www.cs.us.es/~fsancho/NLC/> Visitado en junio 2016

Schreiber, A. (2000). *Engineering of Knowledge and Management: The COMMONKADS Methodology*. Cambridge, MA, USA: MIT Press.

Thomson, I., & Bull, A. (2002). '*La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales*'. *Revista de la CEPAL*, Nº 76, pág. 111.

Tlig, M., & Bhouri, N. (2011). A Multi-Agent System for Urban Traffic and Buses Regularity Control. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 20 (2011):896–905.

Tolosa, G., & Bordignon, F. (1999). Revisión: tecnología de agentes de software. *Ciencias de la Información*, 28(3):302-309.

Wikipedia. (s.f.). 2016. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Kil%C3%B3metro_por_hora consultado en septiembre 2016

Wilensky, U. (1999). *Netlogo user manual version 4.0.4*. Obtenido de <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/> Consultado en julio 2016

Wood, M. (2000). *Multiagent Systems Engineering: A Methodology for Analysis and Design of Multiagent Systems*. PhD thesis, Air Force Institute of Technology. MS Thesis.

Wooldridge, M., & Jennings, N. (1995). Intelligent agents: Theory and practice. *Knowledge Engineering Review*, 10(2):115-152 Disponible en <http://www.cs.ox.ac.uk/people/michael.wooldridge/pubs/ker95.pdf> Consultado marzo 2016.

Wooldridge, M., Jennings, N., & Kinny, D. (2000). 'The GAIA methodology for agent oriented analysis and design'. Jornada de Agentes y Sistemas multiagentes. Disponible en: www.cs.ox.ac.uk/people/michael.wooldridge/.../jaamas2000b.pdf. Consultado en octubre de 2016.

Wooldridge, N., Sycara, K., & Jennings, N. (1998). A Road Map of Agent Research and Development. *Kluwer Academic Publishers*, 7-38. Disponible en: www.ecs.soton.ac.uk/~nrj/downloadfiles/roadmap.pdf Consultado en agosto 2016.

Yang, Q., & Koutsopoulos, H. (1997). 'A microscopic traffic simulator for evaluation of dynamic traffic management systems'.

Zambrano, J. (2008). *Modelado y simulación a nivel mesoscópico mediante redes de Petri Híbridas del tráfico urbano en la ruta del Trolmérida*. Mérida, Venezuela: Trabajo de grado, Universidad de los Andes.

Apéndice A

Estudio del comportamiento de los conductores merideños

- **Modelo de la encuesta**

Buenos días / buenas tardes.

La presente encuesta forma parte de un estudio sobre el comportamiento de los conductores merideños, la misma pretende dar a conocer algunas características que determinan la conducta de los mismos al conducir. Le pedimos tan solo unos minutos de su tiempo.

1. **Sexo:** Masculino____ Femenino ____

2. **Edad:**

Menor de 20 ____ Entre 20 y 30 ____ Entre 31 y 40 ____ Entre 41 y 50 ____
Entre 50 y más ____

3. Grado de instrucción:

SIN ____ Primaria ____ Secundaria ____ Técnica ____ Universitaria ____

4. ¿Desde hace cuánto tiempo maneja Usted vehículos automotores?

1 año ____ 2 años ____ 3 años ____ 4 años ____ 5 años ____ 6 ó más ____

5. ¿Qué tipo de vehículo automotor conduce?

Particular ____ Taxi ____ Bus ____ Buseta ____ Camión ____

6. En el centro de la ciudad ¿Qué distancia mantiene con el vehículo que le antecede?

Menos de un metro ____ Un metro ____ Más de un metro ____

7. ¿Qué velocidad mantiene usted al conducir en una intersección despejada?

10 Km/h ____ 20 Km/h ____ 30 Km/h ____ 40 Km/h ____ Otra: ____

8. ¿Qué velocidad mantiene usted al conducir en una intersección congestionada?

10 Km/h ____ 20 Km/h ____ 30 Km/h ____ 40 Km/h ____ Otra: ____

9. ¿Cambia usted de carril frecuentemente?

Si ____ No ____ Frecuentemente ____

10. Si usted cambia de carril, ¿Con que frecuencia lo hace?

Siempre que puedo ____ Casi siempre ____ Frecuentemente ____ Ocasionalmente ____ Muy rara vez ____

11. ¿Por qué cambia de carril?

Cansancio ____ Fatiga ____ Apuro ____ Por placer ____ Aburrimiento ____
Para andar más rápido ____

12. ¿Cómo se describe usted?

Generalmente paciente ____ Más bien impaciente ____ Yo diría impulsivo ____
Quizás algo agresivo ____ Muy agresivo con el volante ____

13. Si usted se encuentra con un vehículo que va a una velocidad menor que la suya ¿Qué hace?

Disminuye la velocidad
y sigue detrás del vehículo ____ Adelanta al vehículo ____

14. Si usted adelanta los vehículos ¿Con que frecuencia lo hace?

Siempre que puedo ____ Casi siempre ____ Frecuentemente ____ Ocasionalmente ____ Muy rara vez ____

15. ¿Cómo conductor podría decirse que?

Respeto cuidadosamente las normas ____ Respeto a los otros conductores, aunque no mucho las normas ____ Respeto más mis impulsos o apuros ____ ~~No~~ respeto nada porque nadie me respeta a mí

16. ¿Ha tenido usted que robarse la luz roja del semáforo?

Nunca ____ Algunas veces ____ Frecuentemente ____ Siempre ____

17. Si usted se encuentra próximo a una intersección y el semáforo cambia de luz verde a luz amarilla. ¿Qué hace usted?

Sigue su curso
y aumenta la velocidad _____

Disminuye la velocidad
y se detiene _____

- **Resultados de la encuesta**

De la encuesta se obtuvieron los siguientes resultados:

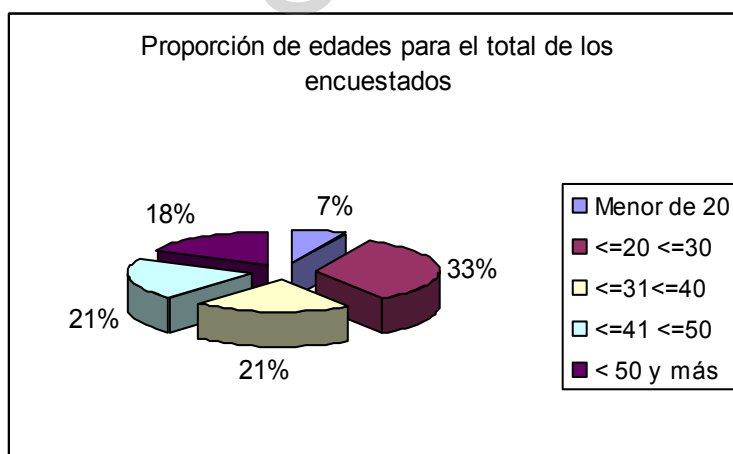


Gráfico N° 6. Proporción de edades para el total de encuestados.

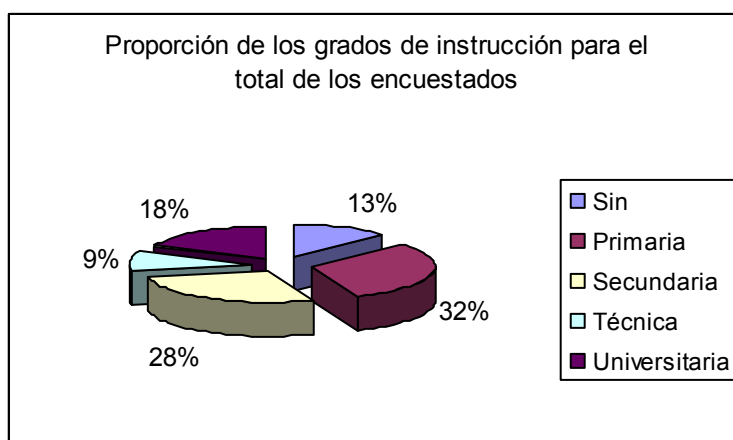


Gráfico N° 7. Proporción de los grados de instrucción de los encuestados.

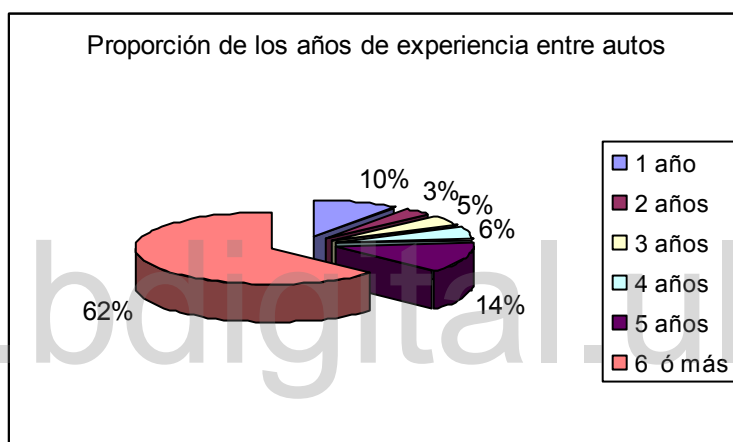


Gráfico N° 8. Proporción de años de experiencia de los encuestados.

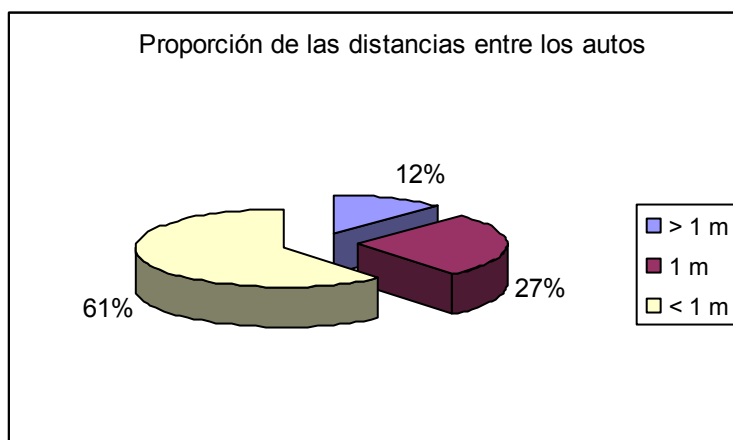


Gráfico N° 9. Proporción de las distancias entre autos.

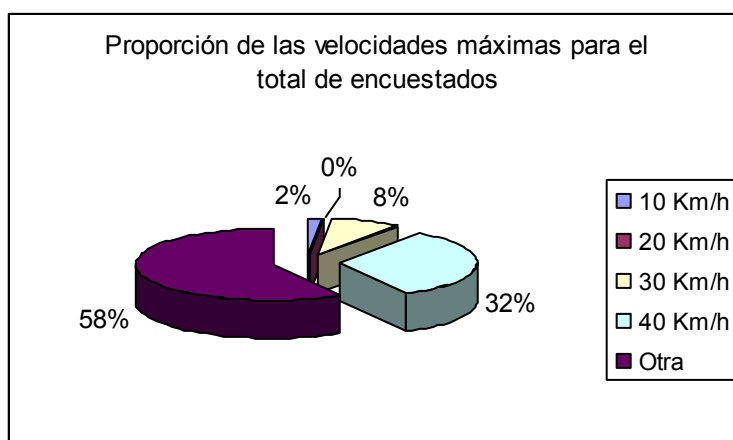


Gráfico N° 10. Proporción de velocidades máximas.

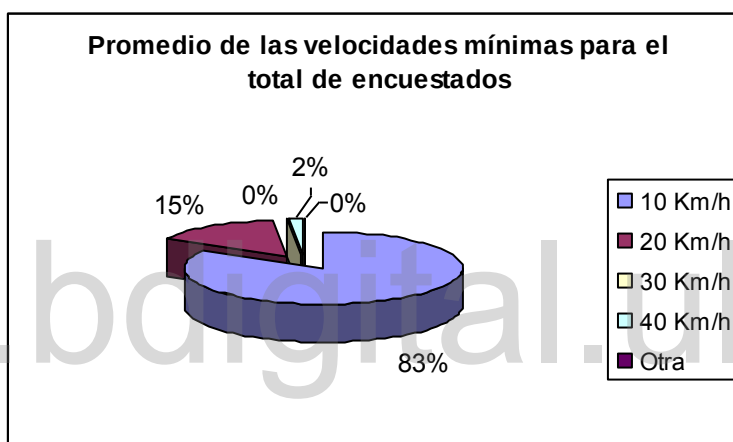


Gráfico N° 11. Proporción de velocidades mínimas.

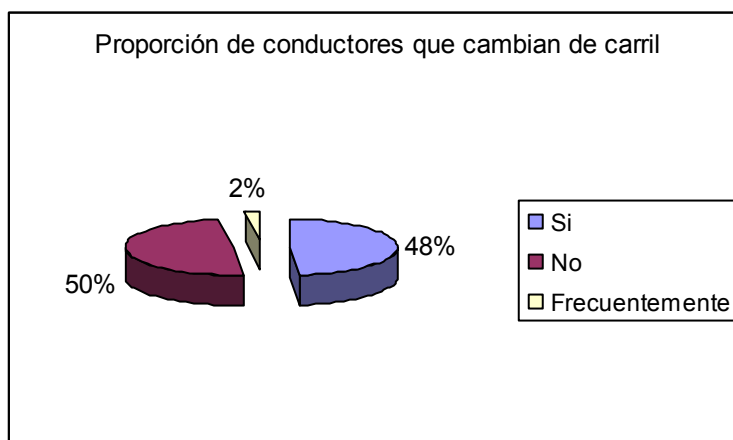


Gráfico N° 12. Proporción de cambios de carril.

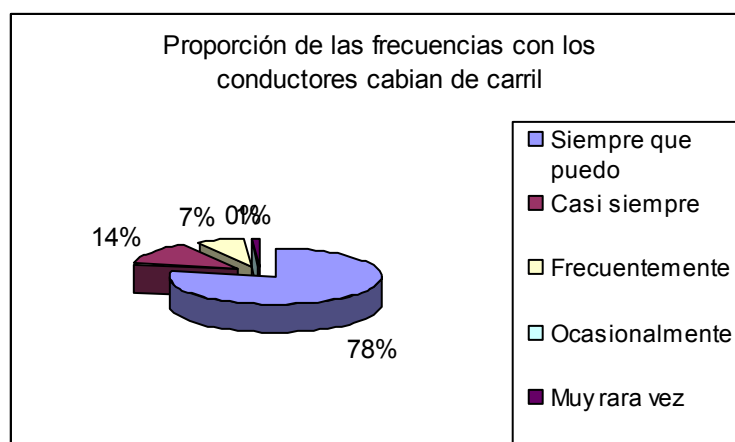


Gráfico N° 13. Proporción de las frecuencias para los cambios de carril.

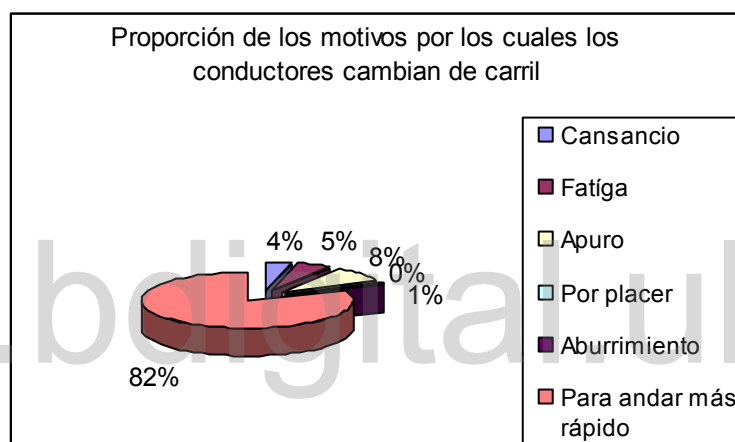


Gráfico N° 14. Proporción de los motivos por los cuales ocurren los cambios de carril.

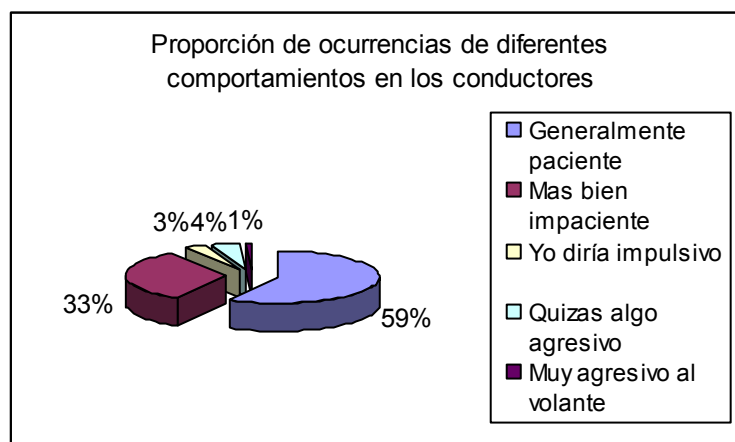


Gráfico N° 15. Proporción de ocurrencias de diferentes comportamientos.

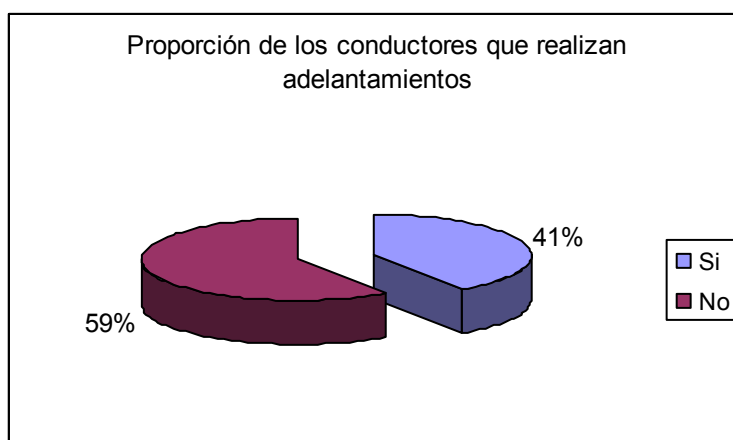


Gráfico N° 16. Proporción de conductores que realizan adelantamientos.

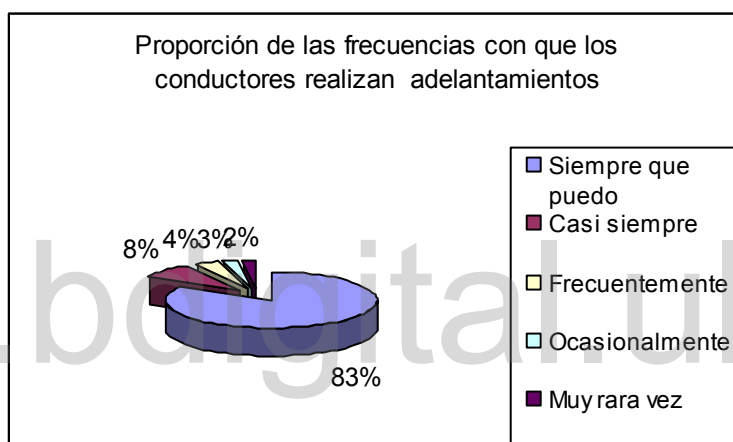


Gráfico N° 17. Proporción de frecuencias para los adelantamientos.

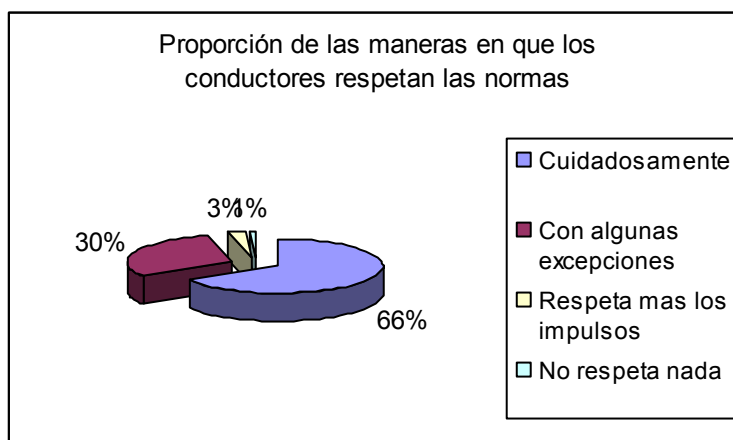


Gráfico N° 18. Proporción de las maneras en que se respetan las normas de tránsito.

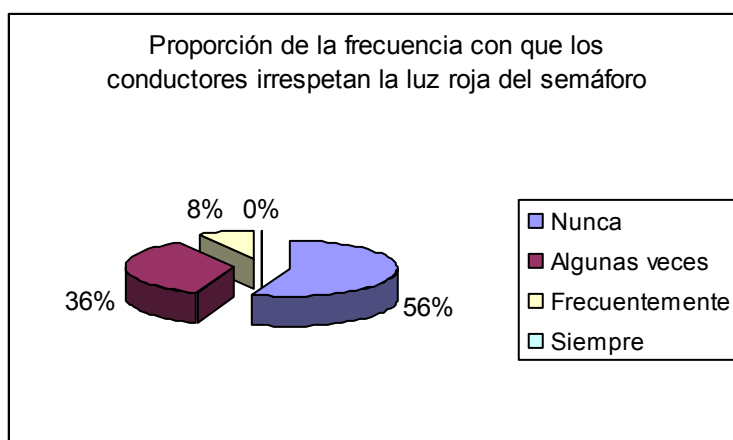


Gráfico N° 19. Proporción de la frecuencia con que se irrespetan la luz roja del semáforo.

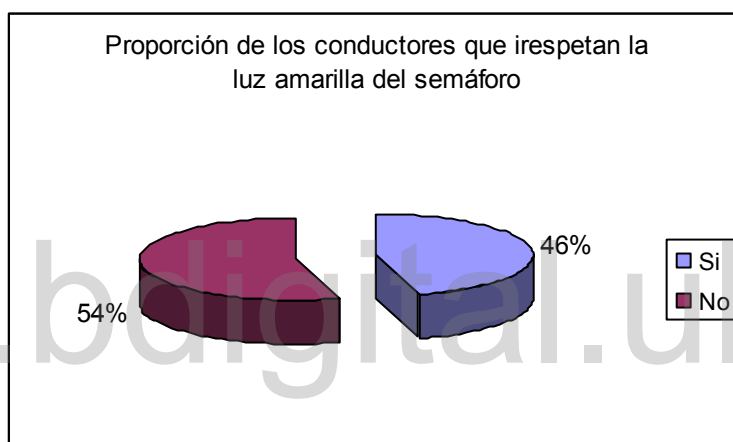


Gráfico N° 20. Proporción de conductores que irrespetan la luz amarilla del semáforo.

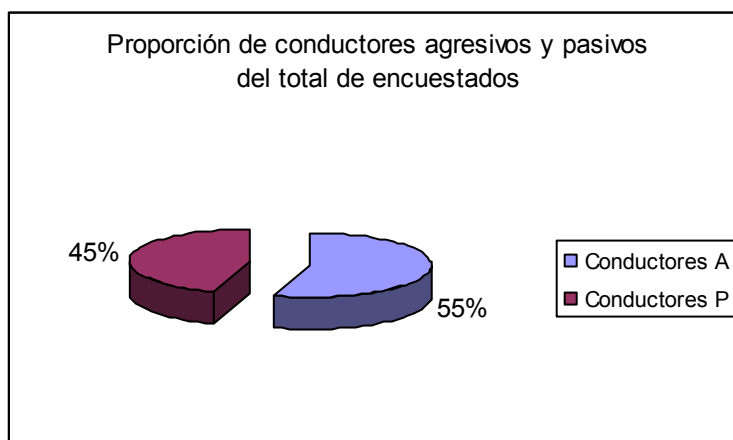


Gráfico N° 21. Proporción de conductores agresivos y pasivos.

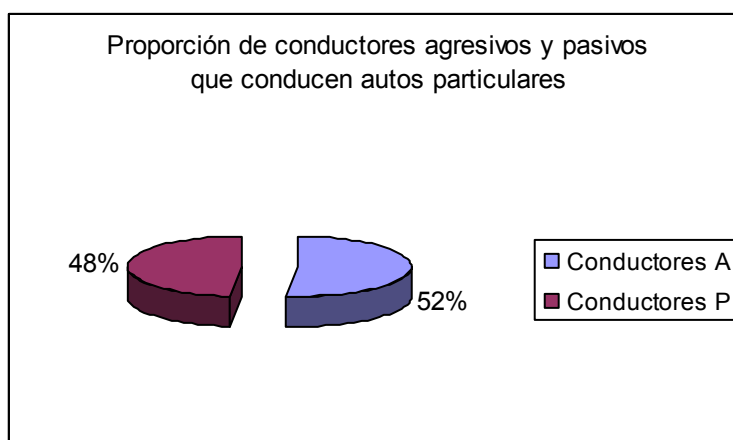


Gráfico N° 22. Proporción de conductores agresivos y pasivos que conducen autos particulares.

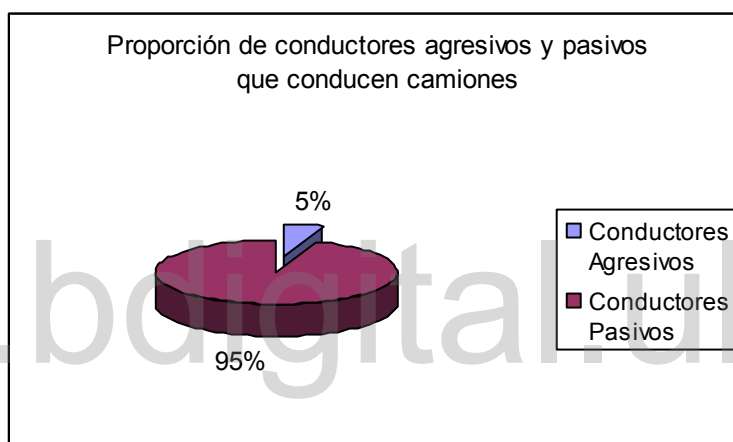


Gráfico N° 23. Proporción de conductores agresivos y pasivos que conducen camiones.

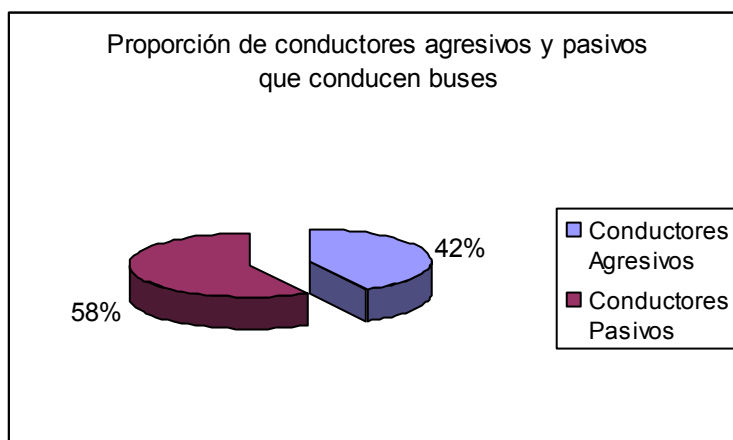


Gráfico N° 24. Proporción de conductores agresivos y pasivos que conducen buses.

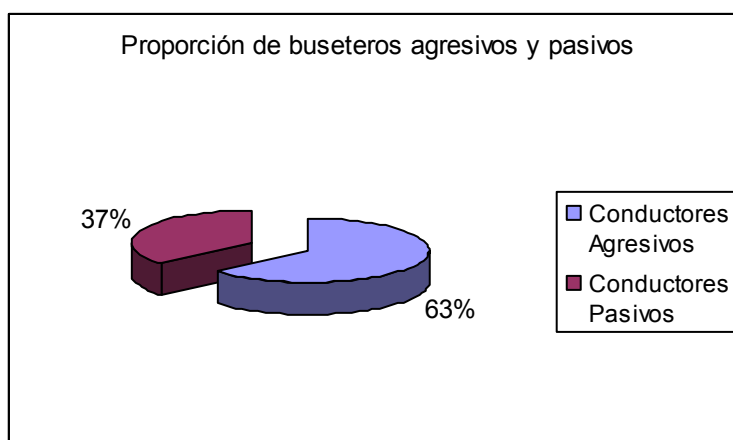


Gráfico N° 25. Proporción de conductores agresivos y pasivos que conducen busetas.

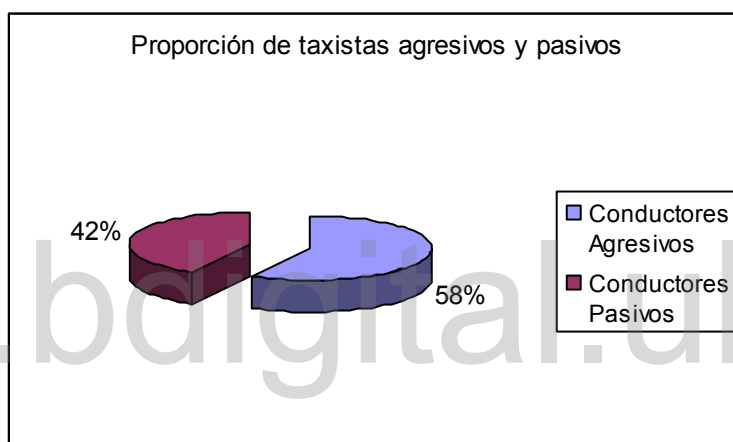


Gráfico N° 26. Proporción de conductores agresivos y pasivos que conducen taxis.

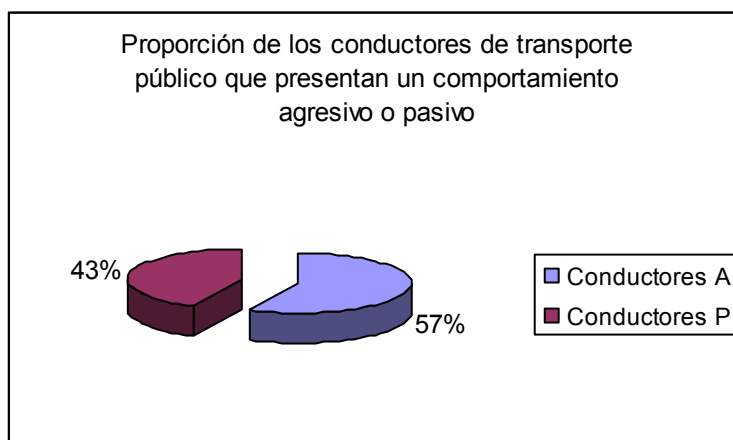


Gráfico N° 27. Proporción de conductores agresivos y pasivos del transporte público.

www.bdigital.ula.ve