



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA DE INFORMÁTICA

**TESIS PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
EN INFORMÁTICA**

TEMA:

**SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES, DEL CRECIMIENTO
VEHICULAR, EN PROYECCIÓN A DOS DÉCADAS EN LA
CIUDAD DE CALCETA**

AUTOR:

JHON ALEJANDRO INTRIAGO CHICHANDA

TUTOR:

ING. JAVIER HERNÁN LÓPEZ ZAMBRANO, MGTR.

CALCETA, NOVIEMBRE 2016

DERECHOS DE AUTORÍA

Jhon Alejandro Intriago Chichanda, declara bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su reglamento.

.....
JHON A. INTRIAGO CHICHANDA

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

Javier Hernán López Zambrano certifica haber tutelado la tesis SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES, DEL CRECIMIENTO VEHICULAR, EN PROYECCIÓN A DOS DÉCADAS EN LA CIUDAD DE CALCETA, que ha sido desarrollada por Jhon Alejandro Intriago Chichanda, previa la obtención del título de Ingeniero en Informática, de acuerdo al REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

.....
ING. JAVIER HERNÁN LÓPEZ ZAMBRANO, MGTR.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaran que han APROBADO la tesis SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES, DEL CRECIMIENTO VEHICULAR, EN PROYECCIÓN A DOS DÉCADAS EN LA CIUDAD DE CALCETA, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por Jhon Alejandro Intriago Chichanda, previa la obtención del título de Ingeniero en Informática, de acuerdo al REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

.....

ING. MARLON R. NAVIA MENDOZA, MS

MIEMBRO

.....

ING. ORLANDO AYALA PULLAS, MGSC

MIEMBRO

.....

ING. DANIEL A. MERA MARTÍNEZ, MGS

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la ESPAM MFL por permitirme ser parte de ella, a mis padres por el apoyo constante a lo largo de mi formación profesional, a los ingenieros Gustavo Molina y Javier López por sus enseñanzas dentro y fuera del aula de clases, a mis docentes especialmente a la ingeniera Jessica Morales por sus conocimientos y consejos, y a mi querida novia por su amor, apoyo y comprensión.

.....
JHON A. INTRIAGO CHICHANDA

DEDICATORIA

A mis amados padres por luchar para darme una vida llena de oportunidades,

A mi novia por su apoyo incondicional y

A los investigadores por vocación, que han sido un incentivo para llevar a cabo esta investigación.

.....
JHON A. INTRIAGO CHICHANDA

CONTENIDO GENERAL

CARÁTULA	i
DERECHOS DE AUTORÍA	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS.....	x
RESUMEN	xii
PALABRAS CLAVE.....	xii
ABSTRACT	xiii
KEY WORDS	xiii
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.4. HIPÓTESIS	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES.....	5
2.1.1 MODELO BASADO EN AGENTES O SISTEMAS MULTI-AGENTES5	
2.1.1.1 CLASIFICACIÓN	6
2.1.2 ELEMENTOS DE UN MODELO DE SIMULACIÓN	7
2.2. DEMOGRAFÍA	8
2.2.1 MODELOS DE POBLACIONES	8
2.2.1.1 MODELO MALTHUSIANO O EXPONENCIAL	8
2.2.2 REGRESIÓN	8
2.2.2.1 REGRESIÓN LINEAL.....	9
2.2.2.2 REGRESIÓN EXPONENCIAL.....	9
2.2.2.3 REGRESIÓN POLINOMIAL O POLINÓMICA.....	10
2.2.2.4 TENDENCIA DE LOS DATOS.....	10

2.3.	POBLACIÓN URBANA Y RURAL	11
2.3.1	PORCENTAJE URBANO EN ECUADOR.....	11
2.4.	DESCRIPCIÓN Y DATOS DE LA ZONA DE ESTUDIO	12
2.4.1	CANTÓN BOLÍVAR	12
2.4.1.1	LIMITES.....	13
2.4.2	CALCETA	13
2.4.2.1	MAPA DE SEMAFORIZACIÓN	14
2.4.2.2	POBLACIÓN DE CALCETA	15
2.4.2.3	PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL... 15	
2.5.	CAPACIDAD VIAL.....	15
2.5.1.	CONGESTIÓN VEHICULAR	16
2.6.	NETLOGO.....	16
2.6.1.	VENTAJAS	16
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO		17
3.1.	DEFINICIÓN DEL SISTEMA	17
3.1.1	LISTA DE LAS CALLES E INTERSECCIONES A SIMULAR	17
3.2.	FORMULACIÓN DEL MODELO.....	18
3.3.	COLECCIÓN DE DATOS	20
3.4.	IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO EN LA COMPUTADORA	21
3.5.	VALIDACIÓN.....	21
3.6.	EXPERIMENTACIÓN.....	22
3.7.	INTERPRETACIÓN.....	22
3.8.	DOCUMENTACIÓN	22
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		23
4.1.	DEFINICIÓN DEL SISTEMA	23
4.2.	FORMULACIÓN DEL MODELO.....	25
4.3.	COLECCIÓN DE DATOS	28
4.4.	IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO EN LA COMPUTADORA	29
4.5.	VALIDACIÓN.....	33
4.5.1	HIPÓTESIS SOBRE LA MEDIA.....	34
4.5.2	MODELO LINEAL	35
4.5.3	MODELO POLINÓMICO.....	36
4.5.4	MODELO EXPONENCIAL	36

4.6.	EXPERIMENTACIÓN.....	37
4.6.1	AVENIDA ESTUDIANTIL Y LA VÍA EL LIMÓN.....	37
4.6.1.1	MODELO LINEAL.....	37
4.6.1.2	MODELO POLINÓMICO.....	37
4.6.1.3	MODELO EXPONENCIAL.....	37
4.6.2	EJE VIAL CHONE.....	38
4.6.2.1	MODELO LINEAL.....	38
4.6.2.2	MODELO POLINÓMICO.....	39
4.6.2.3	MODELO EXPONENCIAL.....	39
4.6.3	CALLE SALINAS Y GRANDA CENTENO.....	40
4.6.3.1	MODELO LINEAL.....	40
4.6.3.2	MODELO POLINÓMICO.....	40
4.6.3.3	MODELO EXPONENCIAL.....	40
4.6.4	CALLE 10 DE AGOSTO E/S DE QUIROGA.....	41
4.6.4.1	MODELO LINEAL.....	41
4.6.4.2	MODELO POLINÓMICO.....	42
4.6.4.3	MODELO EXPONENCIAL.....	42
4.7.	INTERPRETACIÓN.....	43
4.7.1	AVENIDA ESTUDIANTIL Y LA VÍA EL LIMÓN.....	43
4.7.2	EJE VIAL CHONE.....	44
4.7.3	CALLE SALINAS Y GRANDA CENTENO.....	44
4.7.4	CALLE 10 DE AGOSTO E/S DE QUIROGA.....	45
4.8.	DOCUMENTACIÓN.....	45
4.8.1	AVENIDA ESTUDIANTIL Y LA VÍA EL LIMÓN.....	46
4.8.2	EJE VIAL CHONE.....	46
4.8.3	CALLE SALINAS Y GRANDA CENTENO.....	46
4.9.	DISCUSIÓN.....	47
	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
5.1.	CONCLUSIONES.....	48
5.2.	RECOMENDACIONES.....	49
	BIBLIOGRAFÍA.....	50

CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 2. 1. Porcentaje estimado de la población urbana en Ecuador, 1950-2015	11
Cuadro 3. 1. Lista de intersecciones y calle a simular	18
Cuadro 4. 1. Agentes del modelo de simulación	25
Cuadro 4. 2. Población y vehículos matriculados en Manabí	26
Cuadro 4. 3. Valores iniciales del agente calle	28
Cuadro 4. 4. Representación de los agentes en NetLogo	30
Cuadro 4. 5. Datos para calcular los Vehículos por hogar	34
Cuadro 4. 6. Prueba estadística de medias.....	34
Cuadro 4. 7. Vehículos en el modelo lineal	35
Cuadro 4. 8. Vehículos en el modelo polinómico.....	36
Cuadro 4. 9. Vehículos en el modelo exponencial.....	36
Figura 2. 1. Agentes inteligentes	6
Figura 2. 2. Regresión lineal.....	9
Figura 2. 3. Regresión exponencial	10
Figura 2. 4. Regresión polinomial	10
Figura 2. 5. Población urbana y rural del mundo, 1950-2050	11
Figura 2. 6. Proporción urbana y rural de Ecuador.....	12
Figura 2. 7. Planimetría de la ciudad Calceta	12
Figura 2. 8. Vías de acceso-transporte frecuente.....	14
Figura 2. 9. Mapa de semaforización	14
Figura 3. 1. Lista de intersecciones y calle a simular	18
Figura 3. 2. Interfaz de app: Intersección, comportamiento de colas y probabilidades de giro	20
Figura 4. 1. Esquema: Avenida Estudiantil (Vía Tosagua) – vía El Limón.....	23
Figura 4. 2. Esquema: Eje vial Chone	24
Figura 4. 3. Esquema: Calle Salinas - calle Granda Centeno (vía Junín).....	24
Figura 4. 4. Esquema: Calle 10 de agosto (vía Quiroga).....	25
Figura 4. 5. Interfaz de la simulación en NetLogo	29
Figura 4. 6. Avenida Estudiantil y la vía El Limón.....	30
Figura 4. 7. Eje vial Chone	31

Figura 4. 8. Calle Salinas y Granda Centeno	31
Figura 4. 9. Calle 10 de agosto E/S de Quiroga	32
Figura 4. 10. Estadísticas generales de Calceta en gráfico y monitores	32
Figura 4. 11. Comportamiento vehicular por zona de estudio	33
Figura 4. 12. Vehículos en cola cuando el semáforo está en rojo	33
Figura 4. 13. Av. Estudiantil y la vía El Limón, 2036 con modelo lineal	37
Figura 4. 14. Av. Estudiantil y la vía El Limón, 2036 con modelo polinómico ..	37
Figura 4. 15. Av. Estudiantil y la vía El Limón, 2036 con modelo exponencial	38
Figura 4. 16. Eje vial Chone, 2036 con modelo lineal.....	38
Figura 4. 17. Eje vial Chone, 2036 con modelo polinómico	39
Figura 4. 18. Eje vial Chone, 2036 con modelo exponencial	39
Figura 4. 19. Calle Salinas y Granda Centeno, 2036 con modelo lineal.....	40
Figura 4. 20. Calle Salinas y Granda Centeno, 2036 con modelo polinómico .	40
Figura 4. 21. Calle Salinas y Granda Centeno, 2036 con modelo exponencial	41
Figura 4. 22. Calle 10 de Agosto E/S de Quiroga, 2036 con modelo lineal	41
Figura 4. 23. Calle 10 de Agosto E/S de Quiroga, 2036 con modelo polinómico	42
Figura 4. 24. Calle 10 de Agosto E/S de Quiroga, 2036 con modelo exponencial	42
Gráfico 4. 1. Comportamiento de la población urbana de Calceta	26
Gráfico 4. 2. Crecimiento vehicular urbano de Calceta en relación a la población	27
Gráfico 4. 3. Crecimiento vehicular urbano de Calceta en relación al tiempo .	28
Gráfico 4. 4. Validación, gráfica comparativa de los modelos	34
Gráfico 4. 5. Comportamiento de vehículos en cola no ubicados, Av. Estudiantil y vía El Limón.....	43
Gráfico 4. 6. Comportamiento de vehículos en cola no ubicados, eje vial Chone	44
Gráfico 4. 7. Comportamiento de vehículos en cola no ubicados, Salinas y Granda Centeno.....	45
Gráfico 4. 8. Comportamiento de vehículos en cola no ubicados, C. 10 de Agosto E/S de Quiroga.....	45

RESUMEN

El propósito de la investigación fue estimar el crecimiento vehicular mediante una simulación basada en agentes, en proyección a dos décadas en la ciudad de Calceta, para identificar los posibles problemas de tráfico en las zonas escogidas correspondientes a las cuatro entradas y salidas principales de esta ciudad. Se pudo conseguir con la metodología de la simulación, que inició con la definición del sistema, en la cual se aplicó la investigación documental y de campo; posteriormente se formuló un modelo identificando los agentes con sus características y reglas; se recolectaron datos mediante observación en una aplicación móvil, para determinar el comportamiento del agente “vehículo” y desarrollar tres modelos de regresión: lineal, polinómico y exponencial, que fueron implementados en la computadora utilizando la herramienta de simulación NEtLogo versión 5.3; luego, se validaron las proyecciones de cada modelo con datos reales de los años 2011 y 2012 para proceder a la experimentación, donde se simuló cada una de las zonas de estudio con cada modelo, para dar un criterio en base a su interpretación. Los resultados obtenidos demuestran que si Calceta mantiene la misma estructura vial y el crecimiento vehicular se comporta de manera lineal no habrá problemas de congestión; sin embargo, en el peor de los casos, si se comporta exponencialmente (más representativo según prueba de medias), se acepta la hipótesis de investigación, pues tres de las cuatro zonas de estudio en Calceta sufrirán de congestión vehicular luego de dos décadas, debido al crecimiento de la población urbana.

PALABRAS CLAVE

Simulación, MSBA, Regresión, Crecimiento vehicular.

ABSTRACT

The purpose of the research was to estimate vehicle growth through a simulation based on agents, screening two decades in the city of Calceta, to identify possible problems of traffic in the selected areas corresponding to the four main entrances and outputs of this city. It could get with the methodology of the simulation, which began with the definition of the system, in which applied the documentary research and research on the field; it was subsequently formulated a model identifying agents with their characteristics and rules; were collected data by means of observation in a mobile application, to determine the behavior of the agent "vehicle" and develop three models of regression: linear, polynomial, and exponential, that were implemented in the computer using the version 5.3 NEtLogo simulation tool; then, projections of each model with facts of the years 2011 and 2012 were validated for experimentation, where each of the study areas were simulated with each model, to give a criterion based on its interpretation. The results obtained show that if Calceta keeps the same road structure and traffic growth behaves linearly there will be problems of congestion; However, in the worst cases, if it behaves exponentially (most representative according to mean test), the research hypothesis, is accepted as three of the four areas of study will suffer from vehicle congestion after two decades, due to the growth of the urban population.

KEY WORDS

Simulation, MSBA, Regression, Vehicle growth.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los informes de United Nations (2015) manifiestan que en la actualidad, más de la mitad de la población mundial vive en zonas urbanas (54%), frente a un 30% en 1950; así mismo, demuestran que el crecimiento poblacional urbano en Ecuador ha venido incrementando. De acuerdo al censo de población y vivienda del año 2010 realizado por el INEC (2015), aproximadamente un 63% de habitantes del Ecuador vive en zonas urbanas.

El crecimiento vehicular es directamente proporcional al crecimiento poblacional, especialmente en la zona urbana; por lo tanto, a mayor población, mayor número de vehículos. Esta mayoría de carros per cápita en el área urbana la demuestra el INEC (2012b) según los resultados de la ENIGHUR (Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares Urbanos y Rurales) aplicada en los años 2011 y 2012, donde el 20,9% de los hogares cuenta con uno o más vehículos (25,2% en el área urbana y 12% en el área rural).

Esta situación es una oportunidad de desarrollo, principalmente económico, aunque también puede resultar un problema serio si el país o las ciudades no están preparados con una infraestructura vial que se desarrolle proporcionalmente. Murillo *et al.* (2013) resaltan como consecuencia de esta situación, la congestión de tránsito, contaminación ambiental, costos de operación de vehículos y tiempos de los usuarios, entre otros.

Calceta es una ciudad universitaria, con una población urbana que ha venido creciendo; según reflejan los censos del INEC, en 1990 residían 12,122 personas, en el 2001 eran 14,296 y en el último censo que fue en el 2010, la población era 17,632.

Si bien es cierto, Calceta ha mejorado sus vías, pavimentándolas, añadiéndoles señalización e iluminación; sin embargo, ha mantenido desde hace varios años su misma estructura vial, a pesar de su crecimiento poblacional. Este factor no ha afectado aún, pero es probable que las calles de la ciudad no abastezcan la

demanda de tránsito vehicular (carros) en el futuro, debido también, a que según la Municipalidad del Cantón Bolívar (2011) Calceta está ubicada en la parte central de la provincia y sirve de tránsito para llegar a otras ciudades.

A pesar de la relevancia del tema, existe incertidumbre acerca del crecimiento del número de carros en Calceta y si el sistema vial es suficiente para abastecerlo, en los próximos años. Es por esto que surge la necesidad de plantear la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo aportar a la ciudad de Calceta con un modelo, acerca del crecimiento del número de carros y los efectos en el tráfico después de dos décadas?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Existen situaciones de la realidad que no pueden ser estudiadas directamente o que resultan muy costosas. Vitoriano (2013) manifiesta que la simulación es una buena alternativa, puesto que en muchas ocasiones el modelo y su resolución resultan más sencillos.

La razón por la cual utilizar un Modelo de Simulación Basado en Agentes (MSBA) es que permite demostrar la factibilidad de determinadas acciones antes de ejecutarlas en la realidad, y así, evitar costos innecesarios. Orsi (2011) menciona que la simulación economiza dinero, tiempo y esfuerzo; con mínimo riesgo ya que se trabaja sobre un software y no con pruebas sobre la realidad física.

Este trabajo de investigación aporta al Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV) de la zona 4, porque se brinda una herramienta, para que el personal competente la utilice en la resolución de los problemas identificados por el SENPLADES (2013), específicamente en el eje de Seguridad Ciudadana, para reducir los accidentes de tránsito y en el eje de Transporte, para optimizar el sistema de transporte terrestre en la ciudad de Calceta.

Márquez (2016) manifiesta que no todos los planificadores urbanos están de acuerdo sobre cuál es el mejor diseño para las calles del futuro, pero lo que sí está claro es que las ciudades que desean planear para el futuro deben dar prioridad a la accesibilidad del tránsito.

Con este trabajo se responde a las expectativas y necesidades de la sociedad, a la planificación nacional, y al régimen de desarrollo, a la prospectiva de desarrollo científico, humanístico y tecnológico mundial, y a la diversidad cultural, según lo indica el Art. 107 de la LOES (2010).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Estimar el crecimiento vehicular mediante una simulación basada en agentes, en proyección a dos décadas en la ciudad de Calceta.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Desarrollar un modelo de simulación que reproduzca los principales aspectos del tránsito en Calceta.
- ✓ Validar el modelo a partir de patrones demográficos de tránsito observados.
- ✓ Detectar futuros problemas en el tránsito vehicular basados en el modelo.
- ✓ Proponer cambios al sistema para mejorar su eficiencia.

1.4. HIPÓTESIS

Si Calceta mantiene su misma estructura vial sufrirá de congestión vehicular luego de dos décadas, debido al crecimiento de la población urbana.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES

La simulación basada en agentes permite obtener un panorama y una aproximación ante eventos o situaciones que podrían suceder en un futuro. Si bien la simulación no puede ofrecer con certeza lo que va a ocurrir, si se pueden generar teorías o hipótesis más cercanas, dependiendo del comportamiento de los agentes estudiados (Pavón *et al.*, 2008 citado por Ovalle, 2014).

Los análisis de Pavón *et al.* (2012) indican que este tipo de simulación requieren la elaboración de un modelo que represente la realidad seleccionada, para esto se debe identificar cuáles son los agentes, sus atributos, sus comportamientos y las interacciones entre agentes y con su entorno. Al respecto se puede concluir que el modelo representa el sistema en sí, mientras que la simulación representa el funcionamiento del sistema en el tiempo.

Consiste en usar reglas de comportamiento para modificar el modelo a través del tiempo, para esto se prueba con distintos valores de las entradas del modelo procurando ser lo más cercano a la realidad, para obtener una simulación más confiable.

La simulación puede ser utilizada para mostrar los efectos reales de las eventuales condiciones y cursos de acción alternativos. También cuando el sistema real es inaccesible, peligroso, costoso de estudiar, se está diseñando, pero todavía no construido, o simplemente no puede existir.

2.1.1 MODELO BASADO EN AGENTES O SISTEMAS MULTI-AGENTES

Un modelo basado en agentes es un programa informático en el que hay unos entes conocidos como agentes, a los que se dota de reglas de comportamiento, y se les permite interactuar entre ellos. Se usan principalmente en la predicción, verificación de hipótesis o teorías, entrenamiento y análisis (Domínguez, 2012). En este sentido, Russell y Norving (2013) lo describen como un sistema funcional

abstracto, que actúa en un entorno puramente computacional. Los agentes interactúan en base a su conocimiento y entorno según sus reglas de comportamiento. La figura 2.1 muestra los factores que intervienen en la toma de decisiones de un agente inteligente.

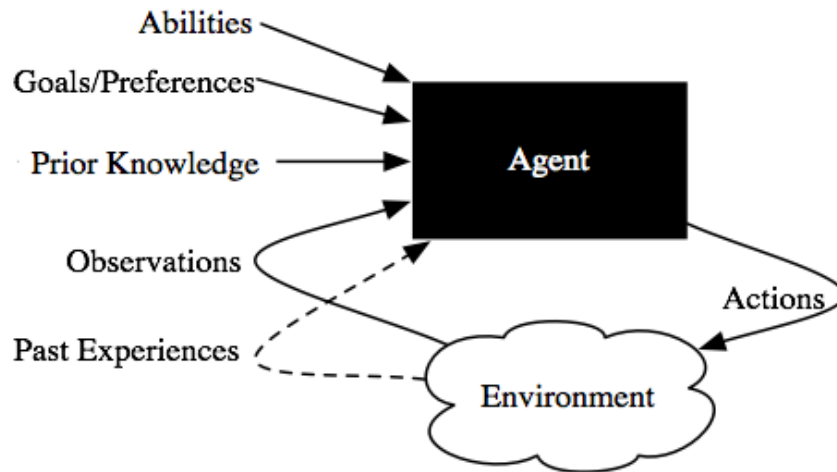


Figura 2. 1. Agentes inteligentes
Fuente: (Berkebile, 2013)

2.1.1.1 CLASIFICACIÓN

Holgado (2012) distingue tres modelos de simulación en función de su nivel, e indica que esta clasificación se entiende mejor usando como ejemplo la maniobra de cambio de carril:

- ✓ **Modelos macroscópicos.** Álvarez *et al.* (2015) señalan que en este modelo el tráfico vehicular se modela de forma colectiva, no se incluyen comportamientos ni características individuales. Las cantidades dinámicas de este tipo de modelo son la densidad vehicular, el flujo y la velocidad.

Holgado (2012) indica que en este caso el cambio de carril no podría representarse.

- ✓ **Modelos microscópicos.** El tráfico es modelado como un conjunto de entidades que fluyen, asignando comportamientos y características individuales, como posición, velocidad y aceleración. Al profundizar en este sentido, Cabrera (2012) señala que estos modelos tienen un carácter

aleatorio por lo que deben analizarse repetidamente hasta encontrar respuestas con un grado determinado de confiabilidad.

La diferencia con el modelo anterior la resalta Holgado (2012), quien refiere que para el cambio de carril un vehículo debe tener en cuenta la situación del vehículo que actualmente le precede y la situación en el carril destino, tanto los que preceden como los que anteceden.

- ✓ **Modelos mesoscópicos.** Al realizar el cambio de carril los vehículos tienen en cuenta la densidad de ocupación del carril de destino a la hora de hacer el cambio y no consideran a los otros vehículos de forma individual (Holgado, 2012).

2.1.2 ELEMENTOS DE UN MODELO DE SIMULACIÓN

García *et al.* (2012), presentan los elementos de un modelo de simulación de eventos discretos:

- ✓ **Estado del sistema:** Conjunto de variables que permitan describir el estado de los diferentes elementos del sistema.
- ✓ **Reloj de la simulación:** Es un contador que registra el instante en el que se encuentra la simulación.
- ✓ **Lista de eventos:** Donde se almacenan los eventos que deben tener lugar y cuándo deben ocurrir.
- ✓ **Procedimiento de inicialización:** Un programa para que el estado del modelo de simulación sea el deseado.
- ✓ **Procedimiento de actualización del reloj:** Para gobernar cómo avanza el reloj de la simulación.
- ✓ **Procedimiento para la generación de eventos:** A partir de la ejecución de eventos previos y del cambio de estado de los elementos del sistema.
- ✓ **Procedimientos para la generación de valores de variables aleatorias.**
- ✓ **Generador de informes:** Que por defecto ofrece información sobre el comportamiento del sistema (contadores, niveles de ocupación, etc.)
- ✓ **Programa principal,** que gobierna la ejecución de todo el modelo e invoca, cuando corresponde, a cada uno de los elementos interiores.

2.2. DEMOGRAFÍA

La palabra demografía viene de las palabras griegas demos, que significa "el pueblo" y graph que se asocia con los actos de la escritura, la descripción o medición. Es considerada como un subconjunto de una población que comparte un factor común como la edad, ingresos o nivel de educación (Rouse, 2015). Por otra parte, Demographic Partitions (2014) la define como la ciencia que estudia la población incluyendo todos sus factores y números.

La RAE (2015) define a la demografía de la siguiente manera "Estudio estadístico de una colectividad humana, referido a un determinado momento o a su evolución"

La comprensión de las tendencias y características de los diversos datos demográficos puede aportar a muchas áreas, incluyendo la inteligencia de negocios, gestión de relaciones con clientes, la comercialización, la contratación, el desarrollo de políticas, la economía, la psicología y la salud (Rouse, 2015).

2.2.1 MODELOS DE POBLACIONES

2.2.1.1 MODELO MALTHUSIANO O EXPONENCIAL

El modelo exponencial permite cuantificar los cambios de manera sencilla y resulta muy útil en la práctica. La ley exponencial supone que la tasa de mortalidad es constante, útil en períodos de tiempo muy cortos. Sin embargo, la simplicidad de esta ley, la facilidad de sus cálculos y su importancia histórica hacen que sea comentada en primer lugar (Merino *et al.*, 2001).

2.2.2 REGRESIÓN

Los modelos o métodos de regresión son una función matemática que intenta modelar probabilísticamente a una variable de estudio en relación a uno o más predictores de interés (Ariza, 2013).

Esta técnica permite encontrar una ecuación que aproxime una variable como función de otras, mediante la cual se puede predecir el valor de "Y" para un valor

de “X” que no esté en la muestra. La variable que se escribe como función de las otras se llama resultado, y las otras son los predictores (Acuña, 2013).

2.2.2.1 REGRESIÓN LINEAL

Sirve para pronósticos de series de tiempo y de relaciones causales. Incluso, Cárdenas (2015) la considera como una de las más populares en minería de datos y en cualquier disciplina científica. Morales y Salazar (2010) indican que dadas dos variables (Y: dependiente; X: independiente) se trata de encontrar una función simple de X que permita aproximar Y mediante: $\hat{Y} = a + bX$, donde “a” es una constante de la ordenada en el origen y “b” es la pendiente de la recta.

Frías *et al.* (2012) manifiestan que el método de mínimos cuadrados es uno de los más comunes, que permite obtener la mejor recta de ajuste en la regresión lineal y consiste en ajustar los parámetros del modelo de manera que la suma de los cuadrados de los errores sea mínima. La figura 2.2 muestra la recta de esta regresión indicando los valores observados, valores pronosticados y el error residual.

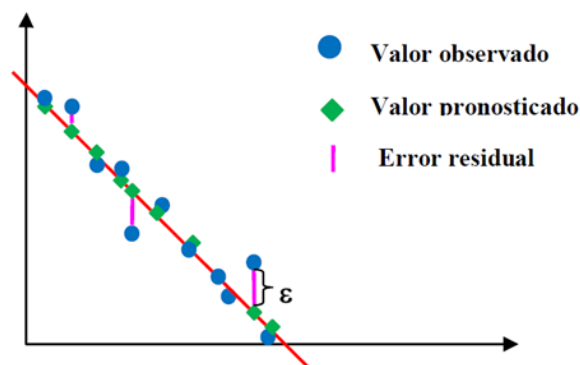


Figura 2. 2. Regresión lineal
Fuente: (Ariza, 2013)

2.2.2.2 REGRESIÓN EXPONENCIAL

A diferencia de la anterior, es un método numérico para regresiones no lineales. En determinados experimentos la dependencia entre las variables X e Y es de forma exponencial, en cuyo caso interesa ajustar a la nube de puntos una función del tipo: $Y = ae^{bX}$. A modo de ejemplo, en la figura 2.3 se muestra la gráfica de una regresión exponencial.

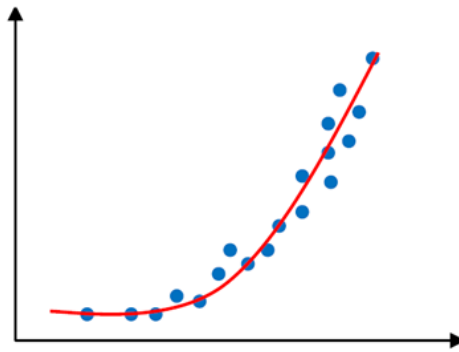


Figura 2. 3. Regresión exponencial
Fuente: (Ariza, 2013)

2.2.2.3 REGRESIÓN POLINOMIAL O POLINÓMICA

Consiste en otra alternativa, para ajustar polinomios a los datos (Rodríguez, s.f.). Fallas (2012) indica que la ecuación polinomial se designa según grado de su polinomio y además sostiene que al aumentar el grado del polinomio la función tiende ajustarse mejor a los datos; sin embargo en algunas ciencias es difícil explicar el significado de cada exponente y por esta razón es poco usual utilizar polinomios con un grado superior a tres.

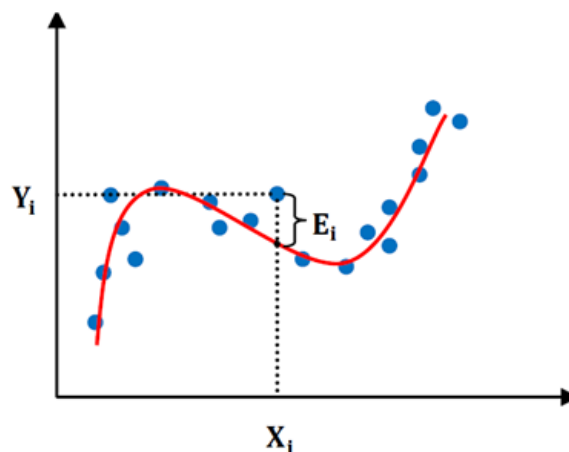


Figura 2. 4. Regresión polinomial
Fuente: (Ariza, 2013)

2.2.2.4 TENDENCIA DE LOS DATOS

Muestran gráficamente las tendencias de los datos y analizar los problemas de predicción. Este análisis también se denomina análisis de regresión, mediante el cual puede representarse una línea de tendencia en un gráfico más allá de los datos reales para predecir los valores futuros (Microsoft, 2016).

2.3. POBLACIÓN URBANA Y RURAL

El incremento de la población urbana, tiene cifras significativas como se observa en un estudio realizado por United Nations (2014), donde analiza datos históricos de países de África, Asia, Europa, Latinoamérica y el Caribe, Norteamérica y Oceanía (Figura 2.5).

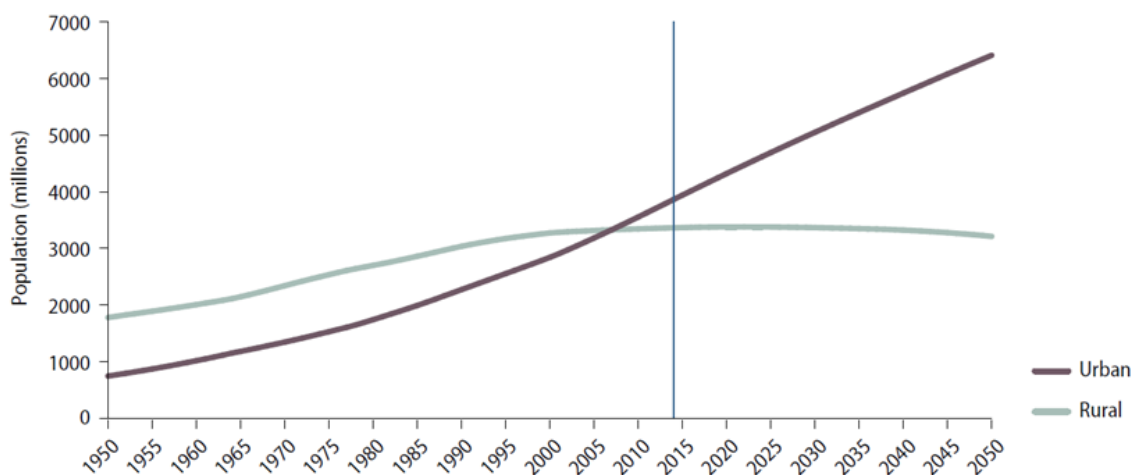


Figura 2. 5. Población urbana y rural del mundo, 1950-2050

Fuente: (United Nations, 2014)

2.3.1 PORCENTAJE URBANO EN ECUADOR

United Nations (2015) en su reporte, reúne los datos de los censos del 1950, 1962, 1974, 1982, 1990, 2001 y 2010 del Ecuador para estimar el porcentaje de la población que reside en la zona urbana del país. Estos datos se muestran en el cuadro 2.1.

Cuadro 2. 1. Porcentaje estimado de la población urbana en Ecuador, 1950-2015

1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015
28.3	31.0	33.9	36.6	39.3	42.4	47.0	51.2	55.1	57.8	60.3	61.7	62.7	63.7

En la figura 2.6 se plasma la proporción urbana y rural de Ecuador, desde 1950 hasta 2050, según las revisiones históricas y las proyecciones de United Nations (2014).

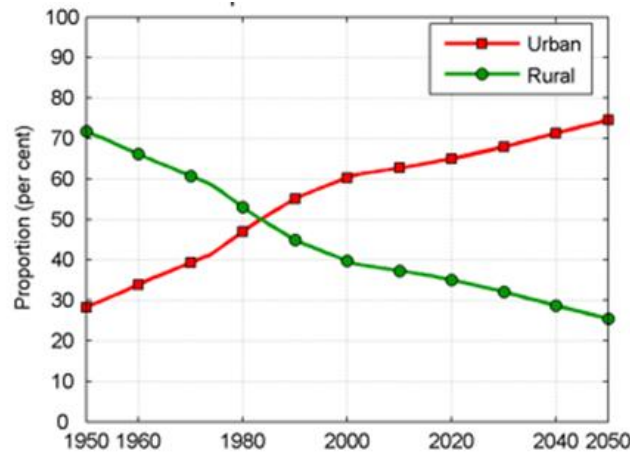


Figura 2. 6. Proporción urbana y rural de Ecuador
Fuente: (United Nations, 2014)

2.4. DESCRIPCIÓN Y DATOS DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.4.1 CANTÓN BOLÍVAR

Pertenece a la provincia de Manabí, país Ecuador. Este cantón tiene una superficie territorial de 537.8 Km², y está dividida en una parroquia urbana: Calceta (cabecera cantonal) y dos rurales: Quiroga y Membrillo (Municipalidad del Cantón Bolívar, 2015). En la figura 2.7 se muestra la planimetría de la ciudad Calceta, donde se pueden observar sus vías y ríos.

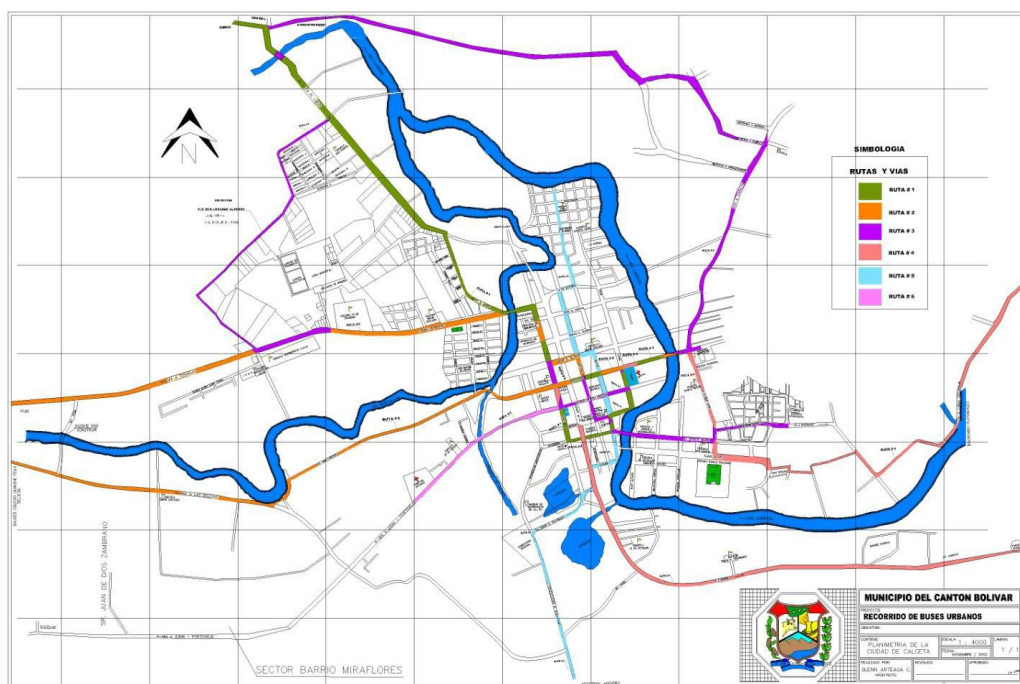


Figura 2. 7. Planimetría de la ciudad Calceta
Fuente: (Municipalidad del Cantón Bolívar, 2011)

2.4.1.1 LIMITES

- ✓ **Norte:** Cantón Chone
- ✓ **Sur:** Cantón Portoviejo y Junín
- ✓ **Este:** Cantón Pichincha (vía Quiroga)
- ✓ **Oeste:** Cantón Tosagua

Los ejes viales secundarios son:

- ✓ La vía que conduce al sitio Las Delicias denominado la vía San Lorenzo;
- ✓ La vía que conduce a Mocochal;
- ✓ La vía que conduce al sitio El Limón y
- ✓ La vía que conduce a Platanales.

2.4.2 CALCETA

Calceta está ubicada en la parte central de la provincia, convirtiéndose en una ciudad de paso para quienes se trasladan desde Chone hacia Junín y Portoviejo o viceversa (norte-sur), para llegar al Cantón Tosagua (este a oeste). También se convierte en el centro de acopio de productos agrícolas de alrededor de 22 parroquias y recintos (Municipalidad del Cantón Bolívar, 2011).

En la figura 2.8 se muestra un mapa con las vías de acceso principales y secundarias de la ciudad de Calceta.

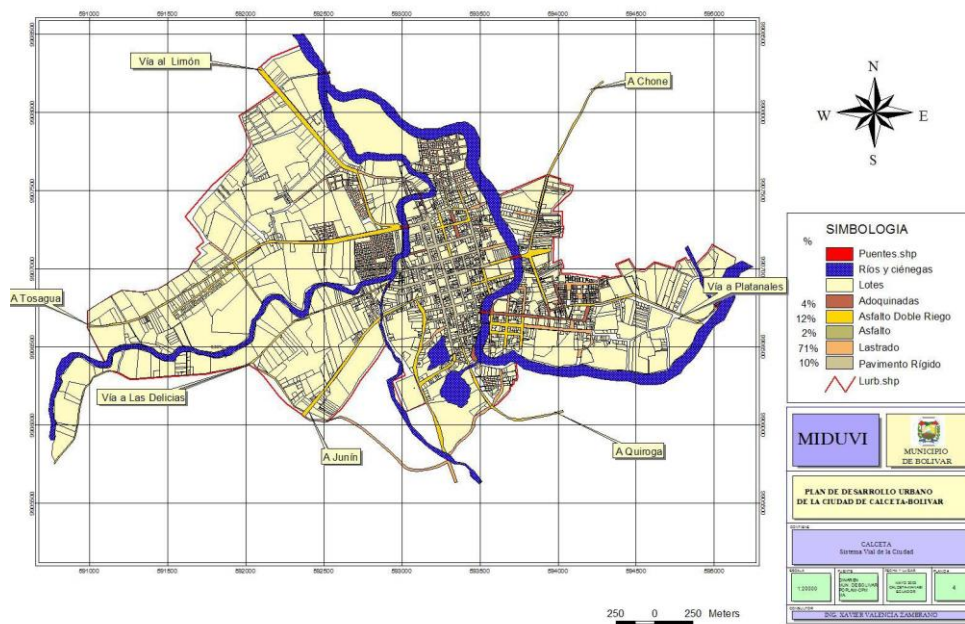


Figura 2. 8. Vías de acceso-transporte frecuente
Fuente: (Municipalidad del Cantón Bolívar, 2011)

2.4.2.1 MAPA DE SEMAFORIZACIÓN

Los semáforos son dispositivos que controlan una intersección. Los de tiempos fijos o predeterminados, regulan la circulación haciendo detener y proseguir el tránsito de acuerdo a una programación de tiempo determinado o a una serie de programaciones establecidas; se adaptan mejor a las intersecciones en donde los patrones del tránsito son relativamente estables y constantes, sin causar demoras o congestión no razonables (Franco, 2008). La figura 2.9 posee un mapa con la semaforización de Calcuta.



Figura 2. 9. Mapa de semaforización
Fuente: (Municipalidad del Cantón Bolívar, 2011)

2.4.2.2 POBLACIÓN DE CALCETA

Los datos del último censo de población y vivienda indican que en el 2010 Calceta tenía una población de 33,415 habitantes, de la cual el 52.77% correspondía a la zona urbana (INEC, 2015).

2.4.2.3 PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Los GADs son encargados de formular y desarrollar el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT), es por ello que este nivel de planificación se encuentra en proceso de construcción, a más que se debe recalcar que los PDOTs tienen como horizonte del plan 20 años. Tiene como finalidad lograr que la población que habita en esta circunscripción mejore sus condiciones de vida y alcance el Buen Vivir con condiciones de equidad, seguridad y sostenibilidad ambiental.

Se puede contribuir al PDOT a través del ordenamiento territorial para alcanzar el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población, alcanzar el Buen Vivir (el Plan Nacional del Buen Vivir da las directrices más amplias a través de los objetivos nacionales) (Aguirre, 2014). Las fases de la ordenación territorial son:

- ✓ **Diagnóstico Territorial:** "...o análisis e interpretación del sistema territorial a la luz de la evolución histórica y de las tendencias evolutivas sin intervención."
- ✓ **Planificación Territorial:** "...o definición del sistema territorial futuro y de las medidas (de regulación, de intervención y de gestión) para avanzar hacia él.
- ✓ **Gestión Territorial:** "...o conjunto de diligencias para aplicar las medidas capaces de conducir el sistema territorial en la dirección marcada por la imagen objetivo."

2.5. CAPACIDAD VIAL

Es la tasa máxima de tránsito o flujo que puede soportar una vía, es decir es el número máximo de vehículos que pueden pasar por un punto de una vía en un intervalo de tiempo dado (Ayala, 2012).

2.5.1. CONGESTIÓN VEHICULAR

La congestión se ocasiona por el exceso de carros sobre la vía; también por el desorden, que se debe tanto a las deficiencias de la infraestructura como a la incapacidad de las autoridades para organizar y mantener la fluidez del sistema (Acevedo, 2003).

2.6. NETLOGO

Netlogo es un entorno de programación que permite la simulación de fenómenos naturales y sociales, es particularmente útil para modelar sistemas complejos que evolucionan en el tiempo. Los implementadores de modelos pueden dar instrucciones a cientos o miles de agentes para que todos ellos operen de manera independiente, entre sí y con el entorno (Poza, *s.f.*).

2.6.1. VENTAJAS

Rousse *et al.* (2011) han reunido las principales características que impulsa la elección de NetLogo sobre otras librerías multiagente. Estas ventajas se muestran a continuación:

- Al operar sobre la máquina virtual Java es independiente de la plataforma.
- La visualización de los modelos está incluida por defecto.
- Posee herramientas para la construcción sencilla de una interfaz gráfica de modelos bidimensionales y tridimensionales. Además, funciones para exportar los modelos e integrarlos en páginas web.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

Para este estudio de simulación vehicular se seleccionaron zonas urbanas específicas de la ciudad de Calceta, situada en el cantón Bolívar, de la provincia Manabí. Las coordenadas de la ciudad son: latitud: -0.841025 longitud: -80.1667.

Se utilizó la metodología de la simulación, complementada de la investigación documental y la técnica de la observación. Esta metodología ha tenido varios enfoques y adaptaciones; sin embargo, para este trabajo se utilizaron las propuestas por Coss (2003):

- ✓ Definición del sistema
- ✓ Formulación del modelo
- ✓ Colección de datos
- ✓ Implementación del modelo en la computadora
- ✓ Validación
- ✓ Experimentación
- ✓ Interpretación
- ✓ Documentación

3.1. DEFINICIÓN DEL SISTEMA

Se inició con el levantamiento de información demográfica, posteriormente se revisaron documentos publicados por la municipalidad de Bolívar de los años 2011 y 2015, de donde se extrajeron mapas de semaforización y vías de acceso tanto primarias como secundarias. También se hicieron varias visitas in situ a las calles de la ciudad, para recolectar sus nombres y los tipos de vías.

3.1.1 LISTA DE LAS CALLES E INTERSECCIONES A SIMULAR

Se construyó una matriz que detalla el alcance de la simulación, dividida en cuatro secciones que representan los ejes viales principales de la ciudad (Cuadro 3.1).

Cuadro 3. 1. Lista de intersecciones y calle a simular

N	Intersección y/o calle	Semaforización	Propenso a parqueo	Circulan buses	N° Esquinas
1	Av. Estudiantil (Vía Tosagua) – vía El Limón	SÍ	NO	SÍ	3
2	Eje vial Chone	SÍ	SÍ	SÍ	4
3	Calle Salinas - Calle Granda Centeno (vía Junín)	SI	SÍ	SÍ	4
4	Calle 10 de agosto (vía Quiroga)	NO	NO	SÍ	-

Claramente se puede distinguir que las rutas o ejes viales principales de Calceta son tres intersecciones y una calle. Para mostrar gráficamente la anterior matriz, se obtuvo el mapa vial de Calceta, de acuerdo al documento de planificación territorial del cantón Bolívar (Figura 3.1).

**Figura 3. 1.** Lista de intersecciones y calle a simular

3.2. FORMULACIÓN DEL MODELO

El modelo representa el crecimiento vehicular de la ciudad Calceta en relación al tiempo, y muestra los posibles efectos en los cuatro sectores seleccionados en proyección a dos décadas (hasta el 2036). Para esto se identificaron los agentes involucrados en el modelo, especificando sus características y comportamiento, para posteriormente implementar el modelo de simulación en NetLogo.

Es imprescindible partir de un modelo matemático demográfico y puesto que los datos disponibles acerca de los vehículos dependen de la población, fue

necesario estimar el crecimiento de la población urbana (habitantes). Esto se realizó mediante la función exponencial que se muestra en la fórmula [3.7] donde $P(t)$ denota la población en un momento del tiempo t . P_0 es la población inicial y k es la constante del crecimiento.

$$\frac{dP}{dt} = kP \quad [3.1]$$

$$\frac{dP}{P} = kdt \quad [3.2]$$

Integración:

$$\int \frac{dP}{P} = \int kdt \quad [3.3]$$

$$\ln|P| = kt + P_0 \quad [3.4]$$

$$P = e^{kt+P_0} \quad [3.5]$$

$$P = e^{kt} e^{P_0} \quad [3.6]$$

$$P(t) = P_0 e^{kt} \quad [3.7]$$

El cálculo de k se realiza despejando la fórmula [3.7], sabiendo que t es igual a la diferencia del año que se modela y el inicial; es decir, si se toma como referencia inicial la población de 1990 y se está modelando el año 2010; t sería igual a 20.

$$k = \frac{\ln(P_t/P_0)}{t} \quad [3.8]$$

En lo que respecta a vehículos, no existen suficientes datos publicados que permitan hacer una regresión directamente, por lo tanto, se optó por relacionar vehículos/población donde se utilizó la regla de tres para magnitudes directamente proporcionales que se muestra en la fórmula [3.9] donde V_M y V_C (incógnita) representan la cantidad vehicular y P_M y P_C la población, de Manabí y Calceta respetivamente.

$$V_C = P_C V_M / P_M \quad [3.9]$$

Igualmente, para estimar el crecimiento vehicular de las colas generadas por semáforos, se utilizó la regla de tres de la fórmula [3.10], que equivale al producto

de los vehículos en cola (contados mediante observación, considerando el peor de los casos) y los vehículos de la zona urbana de Calceta del próximo año, dividido para el número de vehículos de la zona urbana de Calceta en el año actual (al que pertenece el conteo de vehículos en cola; es decir, inicia con el 2016 y se calcula a partir del 2017).

$$V_{Cola} = V_{Cont_cola(t)} V_{C(t+1)} / V_{C(t)} \quad [3.10]$$

3.3. COLECCIÓN DE DATOS

Se realizó un estudio in situ para obtener datos mediante observación. Estos datos fueron ingresados manualmente a una aplicación móvil Android (desarrollada por el autor del presente trabajo de investigación) facilitando el tratamiento de la información recolectada. La interfaz de esta herramienta se muestra en la figura 3.2.

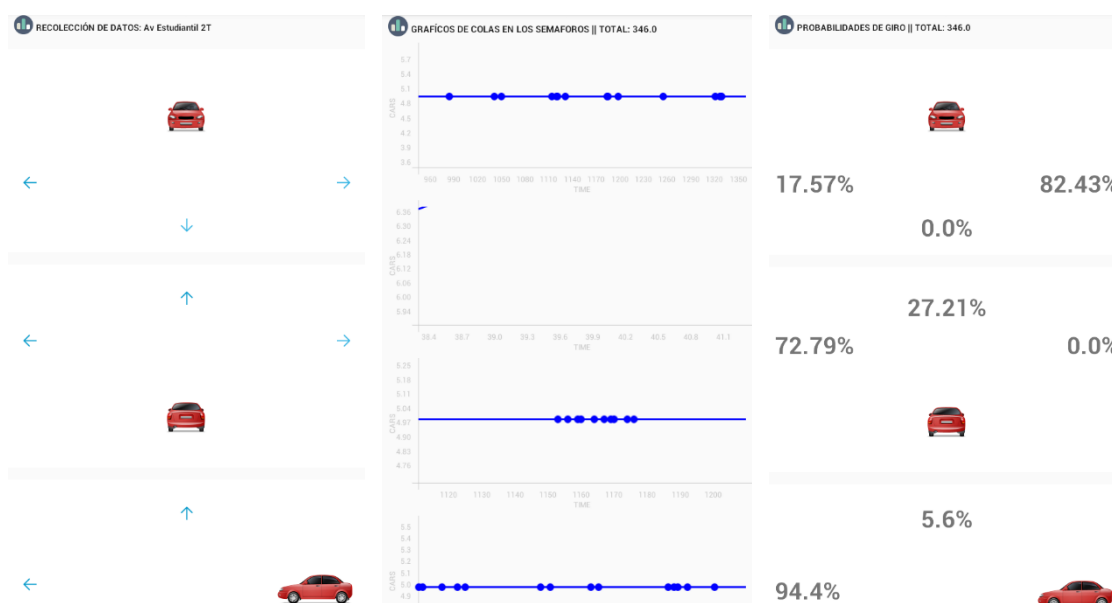


Figura 3. 2. Interfaz de app: Intersección, comportamiento de colas y probabilidades de giro

Se recogieron tres muestras por cada zona de estudio en las horas pico de la ciudad que son de 6:30 – 7:30, de 12:30 – 13:30, y de 17:30 – 18:30, indicando la calle y su dirección. Estos datos fueron procesados y convertidos en información donde se especifica la cola vehicular y la probabilidad de giro en cada calle.

3.4. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO EN LA COMPUTADORA

La plataforma de desarrollo seleccionada fue NetLogo versión 5.3, donde se realizó una simulación en 2D con los datos procesados y según el modelo previamente realizado.

Para que el diseño de la interfaz sea más parecido a la realidad, se colocó como fondo fotos de las zonas escogidas, extraídas del mapa de google y también se ubicaron figuras que representan la ubicación de los agentes. Se programó en NetLogo las funciones utilizadas en el modelo con los valores de tendencia correspondientes al conjunto de datos.

El código posee variables globales que permiten configurar fácilmente aspectos de la simulación, igualmente se han ubicado elementos como: combos de selección, botones, cajas de texto, monitores y gráficos.

3.5. VALIDACIÓN

Se compararon los resultados obtenidos de los tres modelos, con indicadores relacionados a vehículos/hogar y se aplicó la prueba estadística de medias referida por Azarang y Azarang (1996) con la fórmula [3.11], para demostrar si los modelos son realmente una representación de la realidad.

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}} \quad [3.11]$$

Además, debido a que la distribución y ubicación de los carros en cola tienen un carácter aleatorio, se decidió analizarlos repetidamente para obtener la variabilidad en las respuestas y de esta manera comprobar el grado de confiabilidad. Para esto se estimó el promedio de vehículos que circulan, identificando los que no fueron ubicados en las dimensiones de las calles.

3.6. EXPERIMENTACIÓN

La experimentación se ha dado en cada una de las zonas de estudio, y además de mostrar los datos, se ilustra gráficamente las calles con los vehículos simulados en NetLogo.

Para responder a la hipótesis planteada se experimentó con las cuatro zonas escogidas asumiendo que se mantiene la infraestructura vial en el año 2036; es decir, sin considerar acciones de restructuración, sino mantenimiento correctivo por deterioro. Esta observación se dio en los tres modelos de simulación con la finalidad de encontrar reincidencias que indiquen futuros problemas con suficiente probabilidad, igualmente para plantear escenarios y posibles soluciones.

3.7. INTERPRETACIÓN

En esta etapa se relacionaron los datos de cada modelo con la interfaz generada en la simulación del año 2036, agrupándola por zona de estudio. Se explicó el significado de los datos haciendo énfasis a los gráficos, puesto que fue importante percibir si las calles aún podían soportar más vehículos; o por lo menos una parte de los que no fueron ubicados.

3.8. DOCUMENTACIÓN

Una vez analizada la simulación e identificados los posibles problemas, se realizaron propuestas con distintas configuraciones en los agentes, para tratar de reducir los efectos negativos presentes en el tránsito vehicular.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DEFINICIÓN DEL SISTEMA

De acuerdo al levantamiento de información que se obtuvo al cumplir con la primera etapa de la metodología, se pudo desarrollar bosquejos de los sectores donde se llevó a cabo la simulación, utilizando esquemas del sistema real, como lo representaron Sánchez y Villa (2012).

En la figura 4.1 se sintetiza la intersección ubicada entre la Avenida Estudiantil (Vía Tosagua) y la vía El Limón. La intersección cuenta con tres semáforos y tres fuentes de tránsito vehicular.

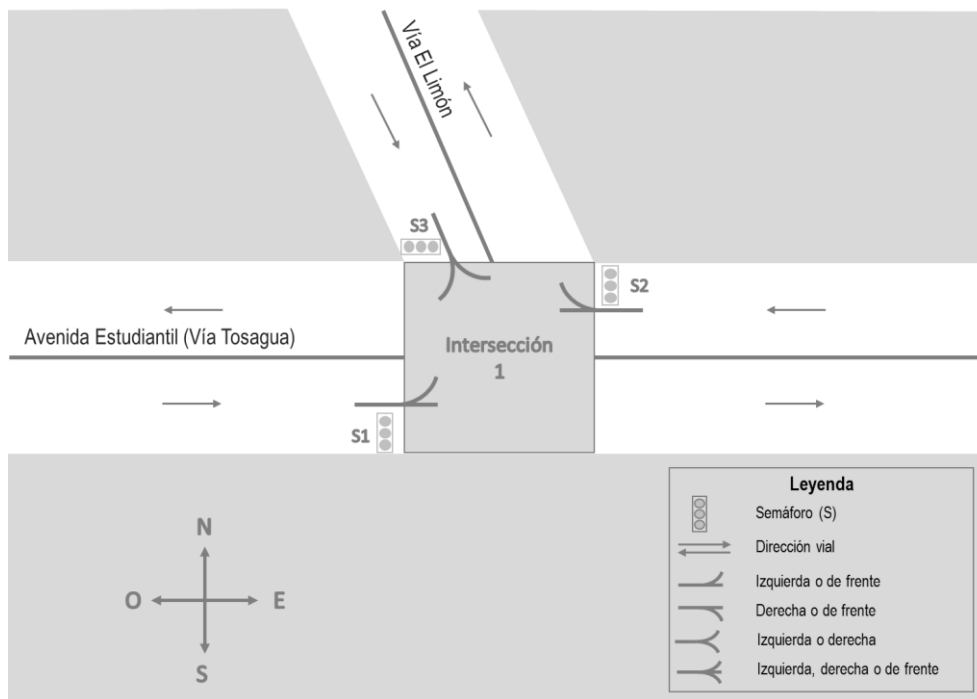


Figura 4. 1. Esquema: Avenida Estudiantil (Vía Tosagua) – vía El Limón

En la figura 4.2 se esquematiza la intersección ubicada entre la calle Ricaurte y la vía Chone, cuenta con tres semáforos y tres fuentes de tránsito vehicular.

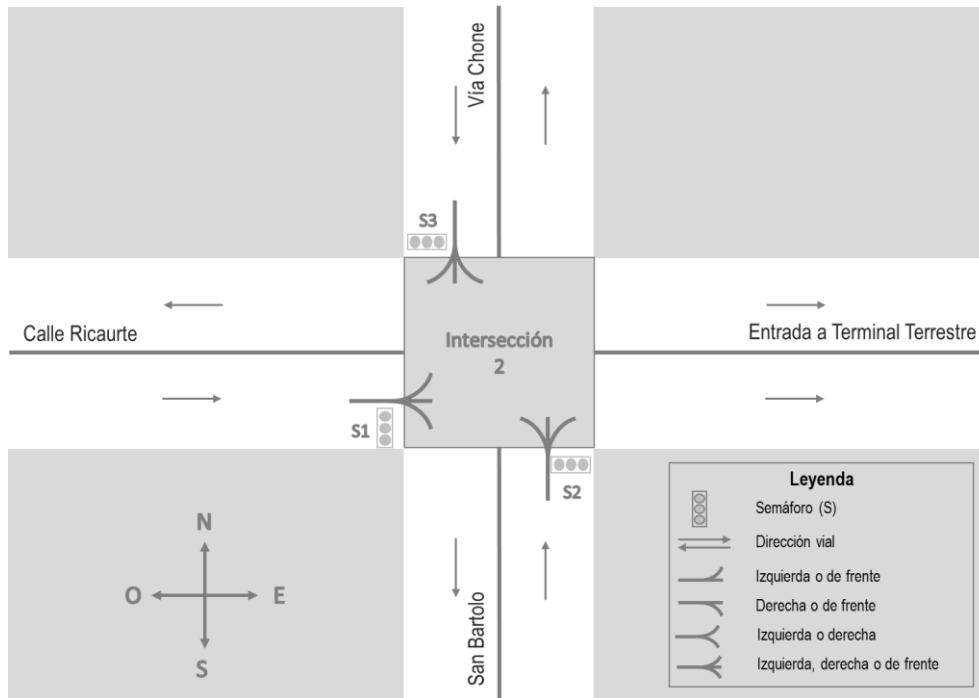


Figura 4. 2. Esquema: Eje vial Chone

En la figura 4.3 se esquematiza la intersección ubicada entre la calle Salinas y la calle Granda Centeno (vía Junín). La intersección cuenta con cuatro semáforos y cuatro fuentes de tránsito vehicular.

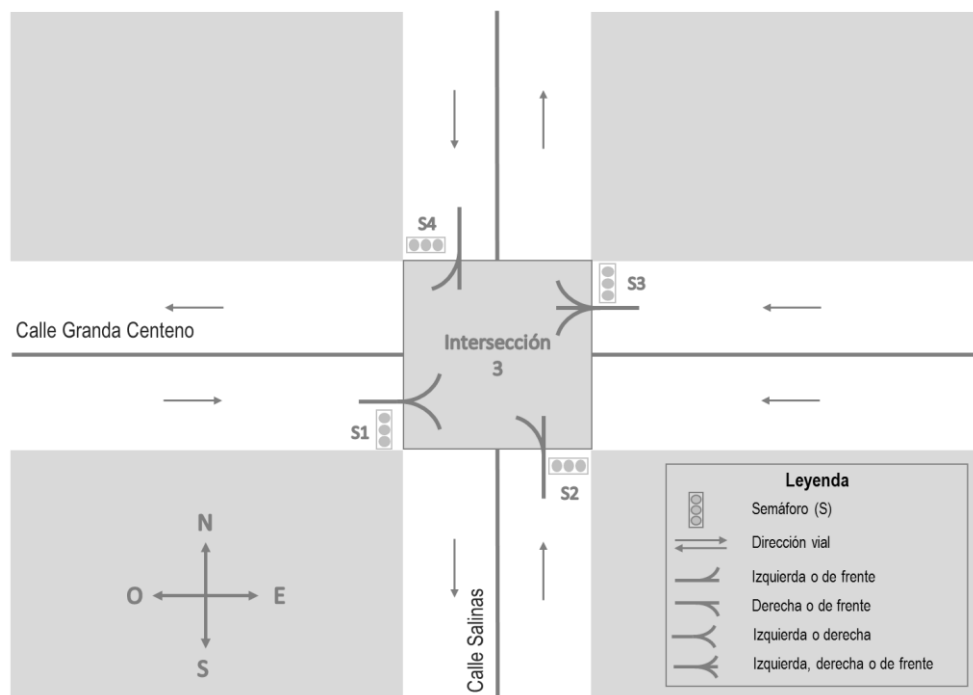


Figura 4. 3. Esquema: Calle Salinas - calle Granda Centeno (vía Junín)

En la figura 4.4 se esquematiza la calle 10 de agosto exclusivamente un tramo de la entrada/salida a Quiroga.

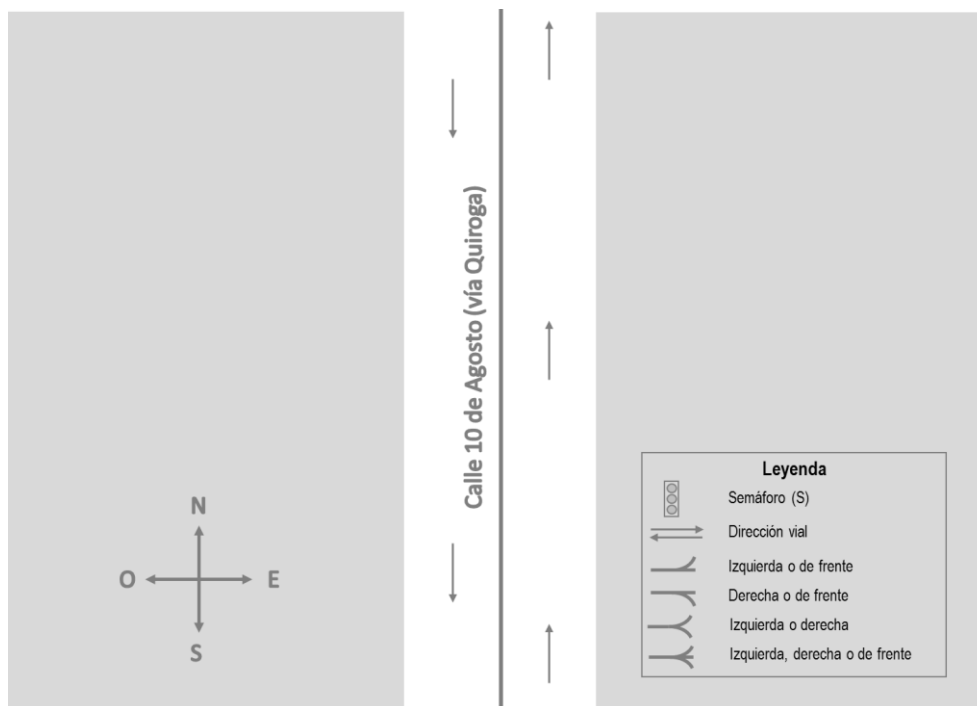


Figura 4. 4. Esquema: Calle 10 de agosto (vía Quiroga)

4.2. FORMULACIÓN DEL MODELO

Se identificaron los agentes, sus características o estados y reglas de comportamiento expuestas en el cuadro 4.1, basados en un análisis del mundo real.

Cuadro 4. 1. Agentes del modelo de simulación

Agente	Características/Estados	Reglas de comportamiento	Entorno
Calle	Dimensiones y tipo de vía: unilateral o doble vía.	Cuando el agente semáforo cambia a verde, visualmente se distribuye el 90% de los vehículos, los demás se mantienen.	Es el medio que recorren los vehículos.
Semáforo	Estado: Rojo, verde.	Del estado del semáforo y la probabilidad de giro, depende la distribución de los vehículos. Cuando está en verde, la cola se distribuye o evacúa; mientras, cuando está en rojo, se acumulan. No se considera tiempo, sólo los estados que son generados aleatoriamente.	Ubicado en las intersecciones.
Vehículo	Vehículos de cuatro llantas, con un tamaño promedio (igual para todos) de 2 x 5 metros de ancho y largo, respectivamente.	Toma decisión en base a la calle y a los semáforos.	Recorren las calles.

Con la población de 1990 igual a 12,122 habitantes y la del 2010 igual a 17,632 se obtuvo el gráfico 4.1 que muestra el crecimiento de la población urbana de Calceta (utilizando la fórmula [3.7]), donde indica que en el 2016 existen aproximadamente 19,730 personas en la zona urbana de Calceta y que este valor incrementa a 28,698 en el 2036.

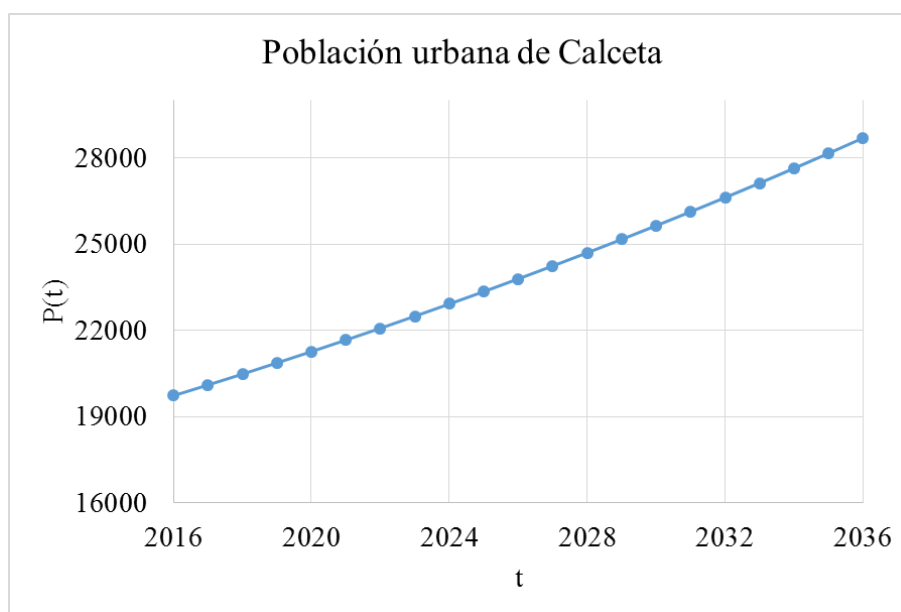


Gráfico 4. 1. Comportamiento de la población urbana de Calceta

Los datos que se tienen acerca de la cantidad de vehículos son los emitidos por el INEC en su apartado “Número de vehículos motorizados matriculados, por clase, según provincias”, de los cuales se consideraron todos los de Manabí desde 1998 al 2014 (excluyendo el 2003, no hay datos) menos las motocicletas. La población de Manabí de este rango de años se obtuvo mediante la fórmula [3.7] tomando los datos de los censos: 1990 y 2010 realizados por el INEC. Todos estos datos se muestran en el cuadro 4.2.

Cuadro 4. 2. Población y vehículos matriculados en Manabí

Año	Población (Calculada con la función exponencial)	Vehículos menos motocicletas (Datos históricos)
1998	1155712	25142
1999	1172195	27477
2000	1188913	29054
2001	1205869	28905
2002	1223067	28010
2004	1258202	35772
2005	1276146	37436

2006	1294346	43461
2007	1312806	40580
2008	1331529	48832
2009	1350519	46556
2010	1369780	60491
2011	1389316	75270
2012	1409130	79921
2013	1429227	98112
2014	1449610	105659

Conociendo estos datos se representó el crecimiento vehicular de Calceta en relación a la población con la fórmula [3.9], en la cual se obtuvo el gráfico 4.2, para obtener modelos de regresión: polinómico en la fórmula [4.1], lineal en la fórmula [4.2] y exponencial en la fórmula [4.3], del análisis de los datos en Excel 2013.

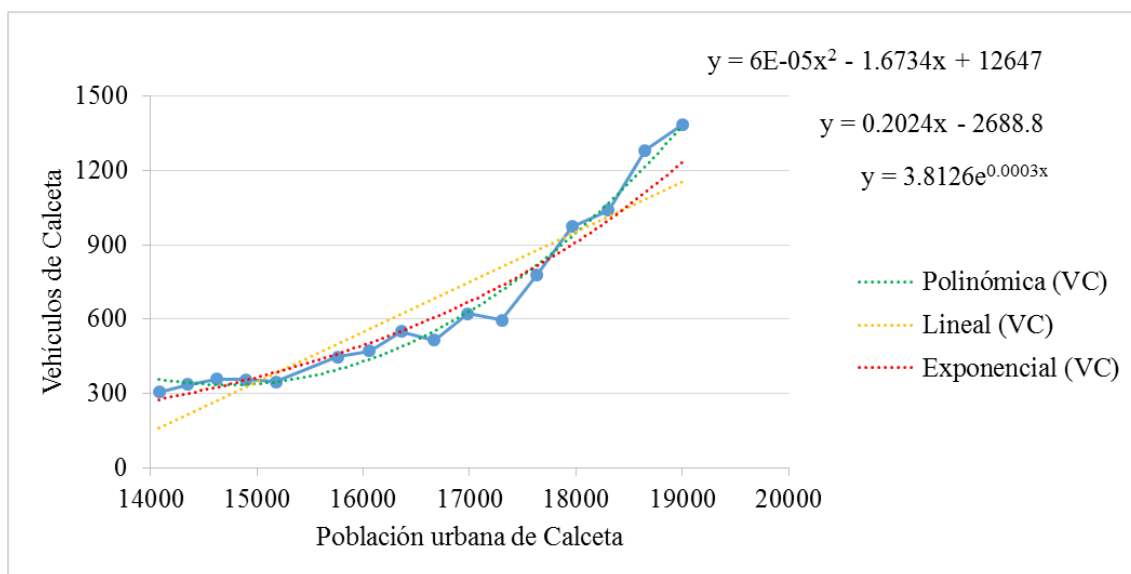


Gráfico 4. 2. Crecimiento vehicular urbano de Calceta en relación a la población

$$V_C = 0.00006 x^2 - 1.6734 x + 12647 \quad [4.1]$$

$$V_C = 0.2024 x - 2688.8 \quad [4.2]$$

$$V_C = 3.8126 e^{0.0003 x} \quad [4.3]$$

Dado que se ha encontrado la tendencia de los datos en diferentes modelos en función a la variable x (Población urbana de Calceta) se proyectó a dos décadas el crecimiento vehicular urbano de Calceta, como se expone en el gráfico 4.3, en

cual se puede observar que el modelo lineal tiene un crecimiento lento, el polinómico es moderado y el exponencial tiene un ratio de incremento elevado, considerándolo el mejor, promedio y peor de los casos, respectivamente.

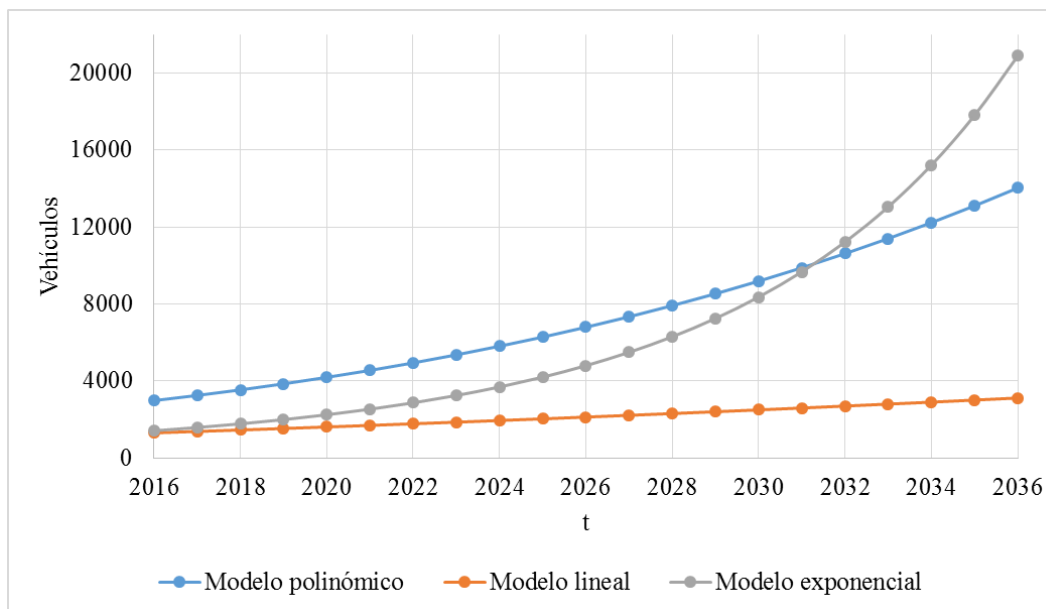


Gráfico 4. 3. Crecimiento vehicular urbano de Calceta en relación al tiempo

4.3. COLECCIÓN DE DATOS

Los resultados obtenidos de la observación sirvieron para calcular la probabilidad de giro y la cola de carros que se forma cuando el semáforo está en rojo, tal como se muestra en el cuadro 4.3, que muestra los valores iniciales del agente calle. Estos valores son útiles para la simulación puesto que representan el tráfico vehicular de las calles que conforman la intersección.

Cuadro 4. 3. Valores iniciales del agente calle

Calles	Puntos cardinales	Largo	Ancho	Cola	Probabilidad de giro			
					N	S	E	O
Av. Estudiantil	Oeste -> Este	110	10	7	5%	-	95%	-
	Oeste -> Oeste			-	-	-	-	
	Este -> Oeste	8	6	19.2%	-	-	80.8%	
	Este -> Este	-	-	-	-	-		
Vía El Limón	Sur -> Norte	60	10	-	-	-	-	-
	Norte -> Sur			4	-	-	97%	3%
C. Ricaurte	Oeste -> Este	110	10	6	42.9%	48.6%	8.5%	-
	Oeste -> Oeste			-	-	-	-	-
	Este -> Este	80	-	-	-	-	-	
San Bartolo/vía a Chone	Sur -> Norte	110	10	5	21.4%	-	-	78.6%
	Sur -> Sur			-	-	-	-	-

	Norte -> Norte			-	-	-	-	-
	Norte -> Sur			9	-	34%	3%	63%
C. Granda Centeno	Oeste -> Este	160	10	6	50.6%	49.4%	-	-
	Oeste -> Oeste			-	-	-	-	-
	Este -> Oeste	60	8	3	44.6%	2.4%	-	53%
C. Salinas	Sur -> Norte	70		6	80.4%	-	-	19.6%
	Sur -> Sur		10	-	-	-	-	-
	Norte -> Sur	95		5	-	64.2%	-	35.8%
	Norte -> Norte			-	-	-	-	-
Calle 10 de agosto (vía Quiroga)	Sur -> Norte	230	10	2	-	-	-	-
	Norte -> Sur			3	-	-	-	-

Dimensiones (largo y ancho) en pixeles (1px equivale a 1m)

4.4. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO EN LA COMPUTADORA

Los modelos matemáticos fueron programados en NetLogo. La simulación inicia en el año 2016 y avanza automáticamente mostrando en los campos de texto los datos generados y en su interfaz el tráfico que surge cada año, de manera incremental hasta llegar al 2036. La figura 4.5 muestra la interfaz de la simulación en NetLogo, que posteriormente es explicada en detalle.



Figura 4. 5. Interfaz de la simulación en NetLogo

El cuadro 4.4 contiene la simbología utilizada en la simulación de NetLogo, para representar los agentes calle, semáforo y vehículo.

Cuadro 4. 4. Representación de los agentes en NetLogo

Agente	Símbolo
Calle	
Semáforo	
Vehículo	

La interfaz desarrollada permite configurar el entorno de la simulación, ingresar el número inicial de carros en cola por cada calle, y elegir el modelo de simulación, sabiendo que se tienen tres que son: lineal, exponencial y polinómico.

Una vez ejecutada la simulación con la configuración establecida, el entorno gráfico modela el tráfico vehicular generado cada año en cuatro recuadros que enmarcan cada zona simulada con las dimensiones definidas en el cuadro 4.2. La figura 4.6. representa la intersección de la Avenida Estudiantil y la vía El Limón.



Figura 4. 6. Avenida Estudiantil y la vía El Limón

La figura 4.7 representa el Eje vial Chone con las dimensiones establecidas.

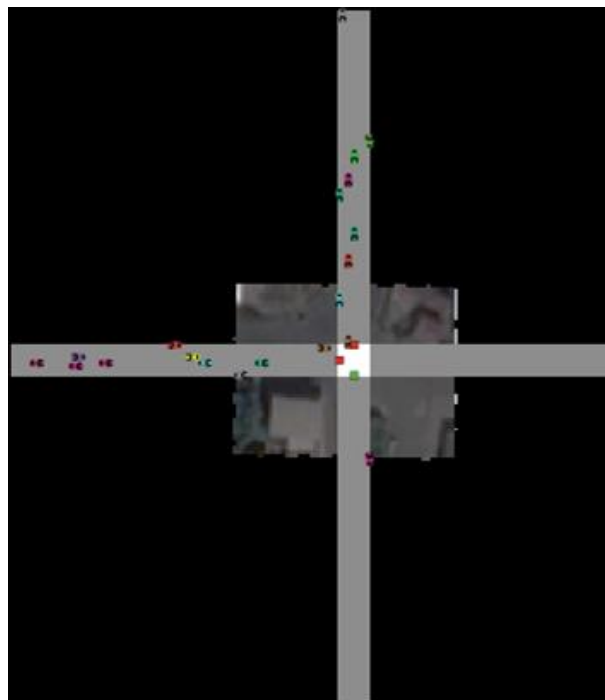


Figura 4. 7. Eje vial Chone

La figura 4.8 simboliza la intersección formada por la Calle Salinas y la calle Granda Centeno (vía Junín).



Figura 4. 8. Calle Salinas y Granda Centeno

La figura 4.9 esquematiza un tramo de la calle 10 de agosto que corresponde a la entrada/salida de la parroquia Quiroga.



Figura 4. 9. Calle 10 de agosto E/S de Quiroga

Como datos generales se puede visualizar un gráfico que muestra el comportamiento de la población urbana de Calceta y monitores que indican en cada año la población y la cantidad vehicular (Figura 4.10).

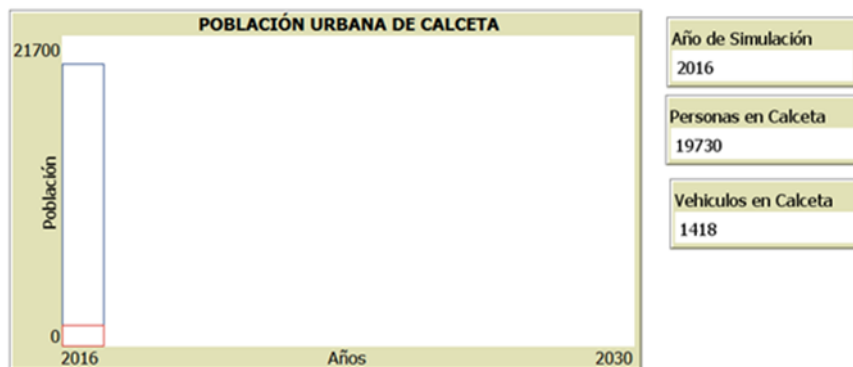


Figura 4. 10. Estadísticas generales de Calceta en gráfico y monitores

También se han implementado gráficos específicos que indican el comportamiento vehicular respecto al tiempo para cada zona simulada. La línea superior (roja) representa el total de vehículos y la otra línea (verde) representa los vehículos que no se lograron ubicar gráficamente en la simulación (Figura 4.11).

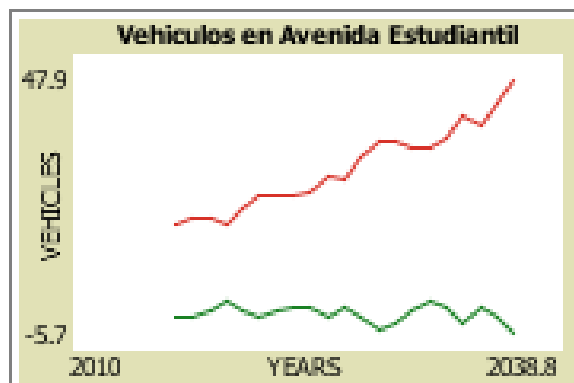


Figura 4. 11. Comportamiento vehicular por zona de estudio

Un aspecto muy importante es manipular los datos iniciales de los vehículos en cola de cada calle, por lo que se construyó una interfaz que permita realizarlo. La figura 4.12 a manera de ejemplo, muestra la interfaz correspondiente a la intersección integrada por la Avenida Estudiantil (Vía Tosagua) y la vía El Limón que además de mostrar el número de vehículos en cola por cada calle, indica los que no han sido ubicados dentro de las dimensiones establecidas.

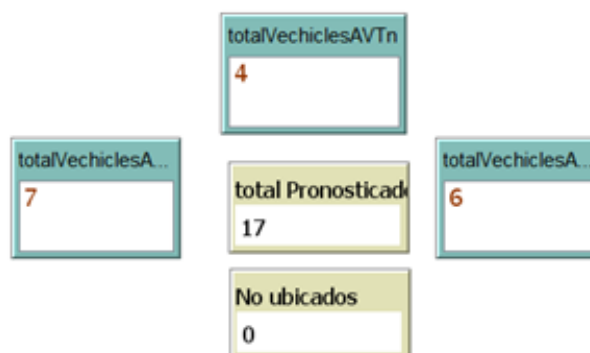


Figura 4. 12. Vehículos en cola cuando el semáforo está en rojo

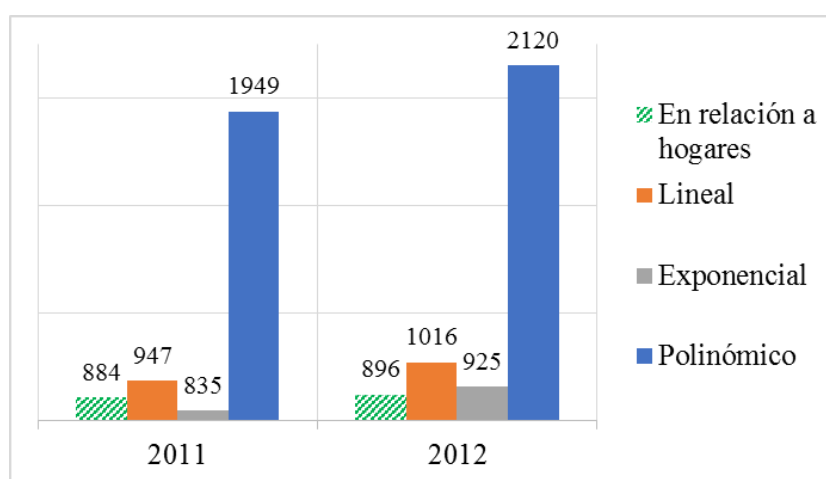
4.5. VALIDACIÓN

Se han utilizado los datos que se muestran en el cuadro 4.5, donde el número de personas por hogar y la proporción de los que tienen vehículos fueron extraídos de la ENIGHUR aplicada en el periodo 2011-2012 según el INEC (2012b), la cantidad de vehículos por hogar es un promedio de los datos publicados por el INEC (2012a) para ambos años, y por último la proporción que corresponde a los vehículos en este estudio, equivale al total de vehículos menos las motocicletas la cual fue calculada con el “Número de vehículos motorizados matriculados, por clase, según provincias”.

Cuadro 4. 5. Datos para calcular los Vehículos por hogar

Año	Personas por hogar	Hogares con vehículos (zona urbana)	Cantidad de vehículos/hogar	Proporción de carros/total vehículos
2011	3.8	25.20%	1.13	65.51%
2012			1.11	66.66%

A pesar que los antecedentes no son suficientes para garantizar que un modelo de simulación se ajusta mejor que otro, se puede observar en el gráfico 4.4 que los indicadores de los años 2011 y 2012, son similares a las proyecciones del modelo exponencial, seguido del lineal y un poco distinto al polinómico. Sin embargo, para corroborar estas hipótesis es preciso realizar una prueba de medias, considerando que se tienen dos muestras.

**Gráfico 4. 4.** Validación, gráfica comparativa de los modelos

4.5.1 HIPÓTESIS SOBRE LA MEDIA

La H_0 expresa que la $\mu(\text{real}) = \mu(\text{modelo})$ y la H_1 expresa que la $\mu(\text{real}) \neq \mu(\text{modelo})$, para cada uno de los tres casos. La media de los datos en relación a hogares es igual a 890 y la varianza equivale a 72. El cuadro 4.6 contiene la media, varianza y el resultado de la fórmula [3.11] con dos muestras para los modelos.

Cuadro 4. 6. Prueba estadística de medias

Modelos	Media aritmética (μ)	Varianza (Desviación estándar)	t
Lineal	981.50	2380.50	2.61
Exponencial	880.00	4050.00	-0.22
Polinómico	2034.50	14620.50	13.35

El estadístico t_c con 2 grados de libertad y con un nivel de rechazo del 5% es 2.92, según la distribución t de Student. Cuando t es menor que t_c se acepta la H_0 . Por lo tanto, los resultados del modelo lineal y exponencial son estadísticamente iguales, en cuanto a la media, a los reales; mientras el modelo polinómico es rechazado, según estos datos. Con esta prueba se puede concluir que el modelo más representativo es el exponencial.

Una vez conocido el comportamiento de cada modelo comparado con la realidad (desde otra perspectiva), se han realizado tres corridas en tres años por cada modelo y zona de estudio, para validar la variación de los resultados de cada corrida con una misma configuración. Los datos ubicados corresponden al total de vehículos y a los que no fueron ubicados en la simulación.

4.5.2 MODELO LINEAL

Luego de realizar tres iteraciones (corridas), se puede observar en el cuadro 4.7 que los datos obtenidos del modelo no son tan distantes; es decir, mantienen integridad puesto que son los correspondientes al modelo lineal.

Cuadro 4. 7. Vehículos en el modelo lineal

Intersección/Calle	Año	Total de vehículos	No ubicados			Promedio
			C1	C2	C3	
Avenida Estudiantil (Vía Tosagua) y la vía El Limón	2018	19	2	1	2	2
	2026	27	0	1	1	1
	2032	35	1	2	1	1
	2036	40	0	0	0	0
Eje vial Chone (Calle Ricaurte y Vía a Chone/San Bartolo)	2018	26	6	4	5	5
	2026	38	8	7	6	7
	2032	47	11	9	13	11
	2036	55	13	15	12	13
Calle Salinas y Granda Centeno (vía Junín)	2018	22	5	4	5	5
	2026	33	6	7	7	7
	2032	41	7	8	7	7
	2036	48	6	6	8	7
Calle 10 de agosto E/S de Quiroga	2018	6	1	1	1	1
	2026	8	2	2	2	2
	2032	10	1	1	1	1
	2036	11	2	2	2	2

4.5.3 MODELO POLINÓMICO

El cuadro 4.8 contiene los valores generados por el modelo polinómico, mismo que demuestra coherencia en cada iteración.

Cuadro 4. 8. Vehículos en el modelo polinómico

Intersección/Calle	Año	Total de vehículos	No ubicados			Promedio
			C1	C2	C3	
Avenida Estudiantil (Vía Tosagua) y la vía El Limón	2018	20	4	3	4	4
	2026	39	2	1	1	1
	2032	60	0	0	0	0
	2036	80	5	6	9	7
Eje vial Chone (Calle Ricaurte y Vía a Chone/San Bartolo)	2018	27	7	7	6	7
	2026	53	11	13	13	12
	2032	82	24	26	24	25
	2036	109	39	33	28	33
Calle Salinas y Granda Centeno (vía Junín)	2018	24	8	7	8	8
	2026	46	9	8	8	8
	2032	71	9	11	11	10
	2036	95	20	21	24	22
Calle 10 de agosto E/S de Quiroga	2018	6	1	1	1	1
	2026	11	1	1	1	1
	2032	18	2	3	3	3
	2036	24	4	4	6	5

4.5.4 MODELO EXPONENCIAL

En el cuadro 4.9 se muestran los datos resultantes del modelo exponencial.

Cuadro 4. 9. Vehículos en el modelo exponencial

Intersección/Calle	Año	Total de vehículos	No ubicados			Promedio
			C1	C2	C3	
Avenida Estudiantil (Vía Tosagua) y la vía El Limón	2018	21	4	3	5	4
	2026	57	6	8	7	7
	2032	134	33	34	36	34
	2036	249	92	88	92	91
Eje vial Chone (Calle Ricaurte y Vía a Chone/San Bartolo)	2018	29	6	7	7	7
	2026	78	25	22	25	24
	2032	183	82	81	77	80
	2036	340	187	187	178	184
Calle Salinas y Granda Centeno (vía Junín)	2018	25	8	7	9	8
	2026	68	17	19	18	18
	2032	159	58	59	61	59
	2036	295	138	134	138	137
Calle 10 de agosto E/S de Quiroga	2018	6	1	1	1	1
	2026	17	4	4	4	4
	2032	40	9	13	12	11
	2036	74	19	25	20	21

4.6. EXPERIMENTACIÓN

4.6.1 AVENIDA ESTUDIANTIL Y LA VÍA EL LIMÓN

4.6.1.1 MODELO LINEAL

En este modelo esta intersección tuvo un total de 40 vehículos, de los cuales todos fueron ubicados de forma distribuida en las calles que la conforman, según las dimensiones establecidas. La figura 4.13 muestra cómo se vería esta intersección después de dos décadas.

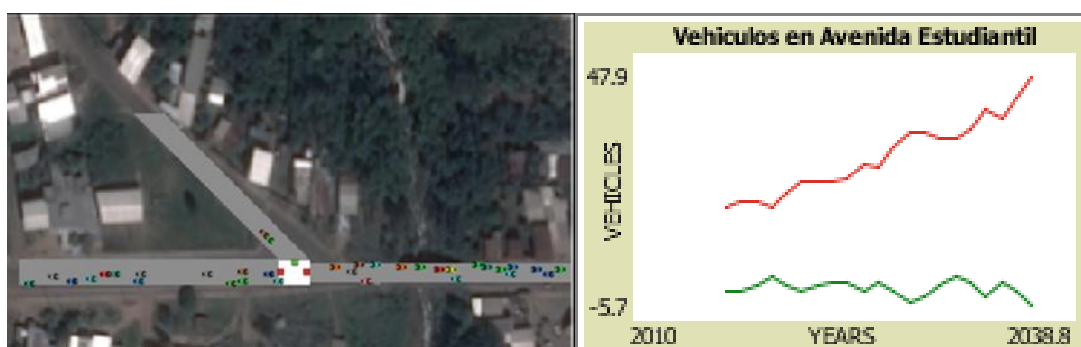


Figura 4. 13. Av. Estudiantil y la vía El Limón, 2036 con modelo lineal

4.6.1.2 MODELO POLINÓMICO

De los 80 vehículos estimados por el modelo, alrededor de 7 no pudieron ser ubicados dentro de esta intersección. La figura 4.14 esquematiza el tránsito vehicular luego de dos décadas, según el modelo polinómico.

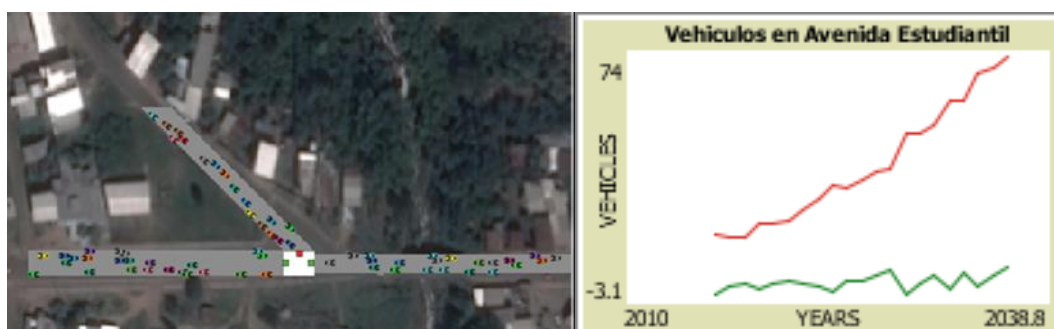


Figura 4. 14. Av. Estudiantil y la vía El Limón, 2036 con modelo polinómico

4.6.1.3 MODELO EXPONENCIAL

Este modelo estimó un total de 249 vehículos de los cuales aproximadamente 91 no fueron ubicados dentro de las dimensiones correspondientes. Según el

modelo exponencial en el 2036 esta intersección se vería como muestra la figura 4.15.

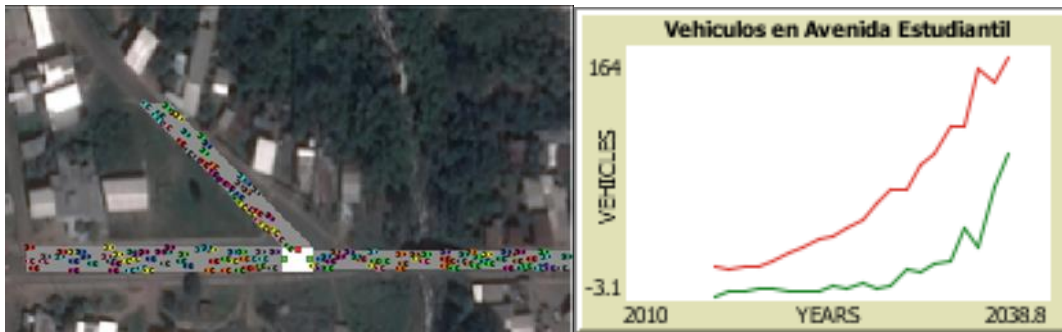


Figura 4. 15. Av. Estudiantil y la vía El Limón, 2036 con modelo exponencial

4.6.2 EJE VIAL CHONE

4.6.2.1 MODELO LINEAL

El modelo lineal supone un total de 55 vehículos, de los cuales aproximadamente 13 no fueron ubicados dentro de las dimensiones configuradas. La figura 4.16 muestra cómo se vería el tránsito vehicular después de dos décadas, según el modelo lineal.

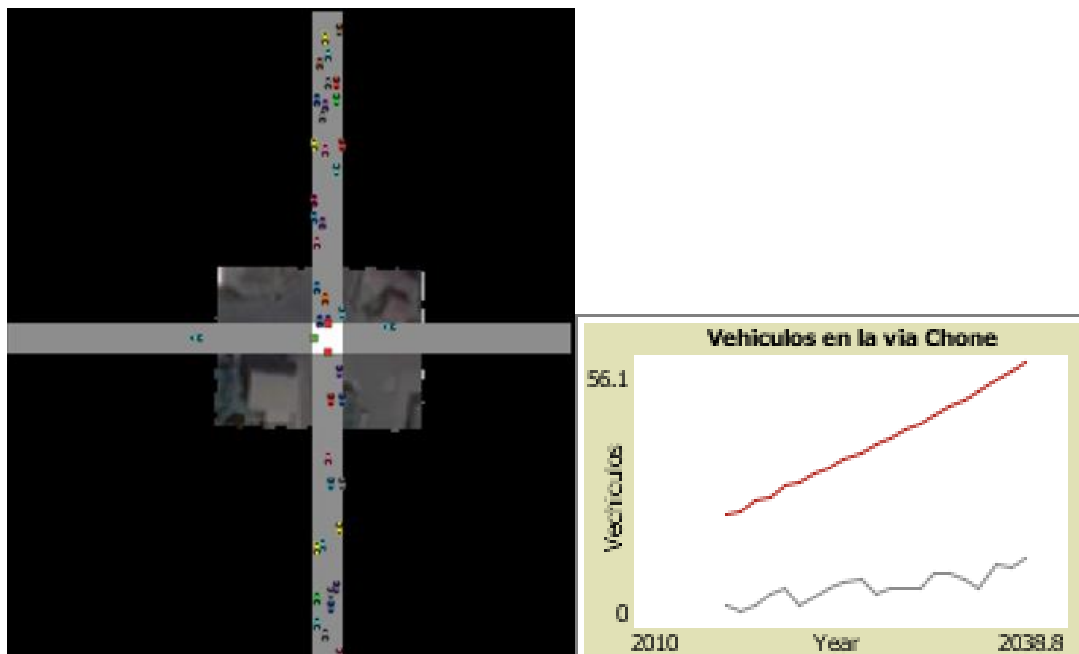


Figura 4. 16. Eje vial Chone, 2036 con modelo lineal

4.6.2.2 MODELO POLINÓMICO

Este modelo indicó un total de 109 vehículos, donde alrededor de 33 de ellos no fueron ubicados. En la figura 4.17 se puede observar cómo se vería esta intersección en el 2036 con este modelo.

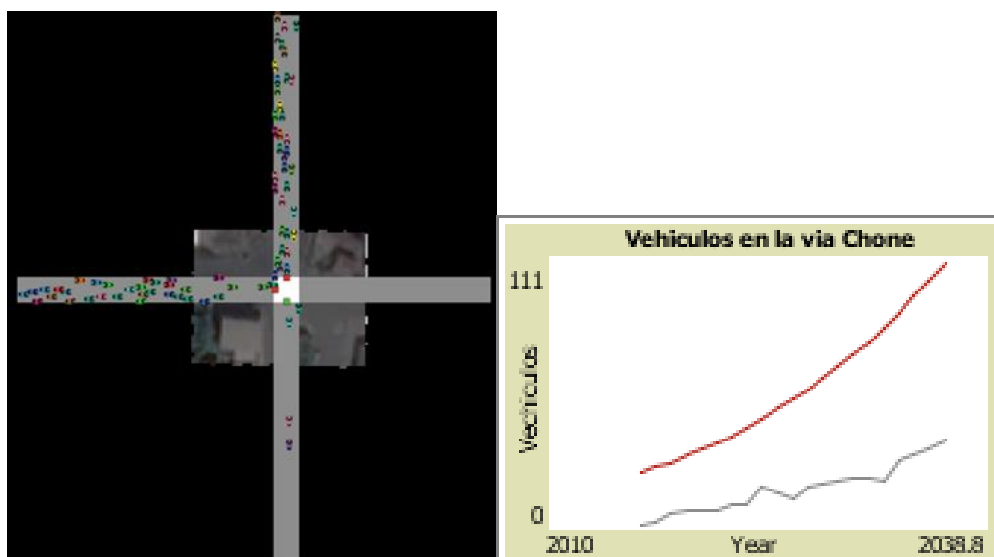


Figura 4. 17. Eje vial Chone, 2036 con modelo polinómico

4.6.2.3 MODELO EXPONENCIAL

Estimó 340 vehículos, donde aproximadamente 184 no fueron ubicados dentro de los parámetros definidos para las calles. La figura 4.18 representa esta intersección luego de dos décadas, en el caso de comportarse de forma exponencial.

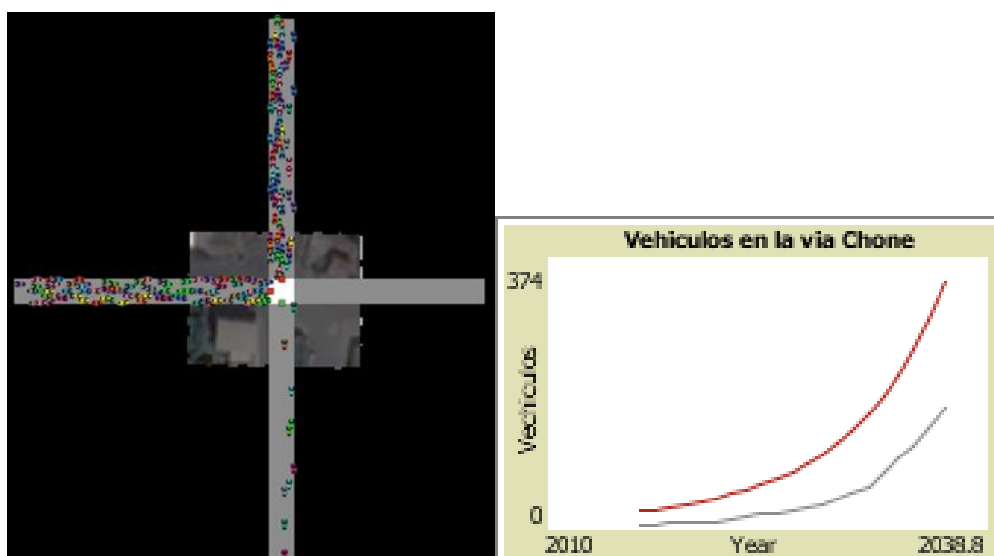


Figura 4. 18. Eje vial Chone, 2036 con modelo exponencial

4.6.3 CALLE SALINAS Y GRANDA CENTENO

4.6.3.1 MODELO LINEAL

Se estimaron 48 vehículos de los cuales aproximadamente 7 no se ubicaron en el área simulada. La figura 4.19 muestra el tránsito vehicular después de dos décadas con el modelo lineal.

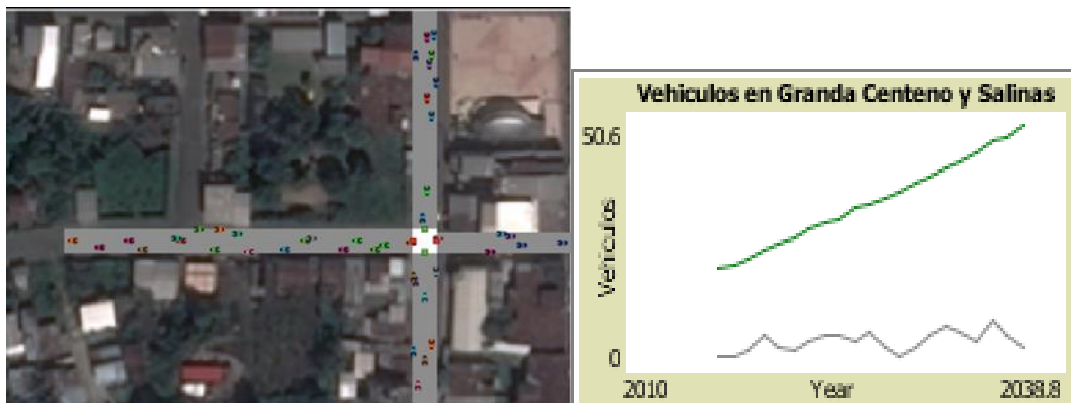


Figura 4. 19. Calle Salinas y Granda Centeno, 2036 con modelo lineal

4.6.3.2 MODELO POLINÓMICO

En este modelo aproximadamente 22 vehículos no fueron ubicados de un total de 95. La figura 4.20 muestra esta intersección luego de dos décadas con el modelo polinómico.

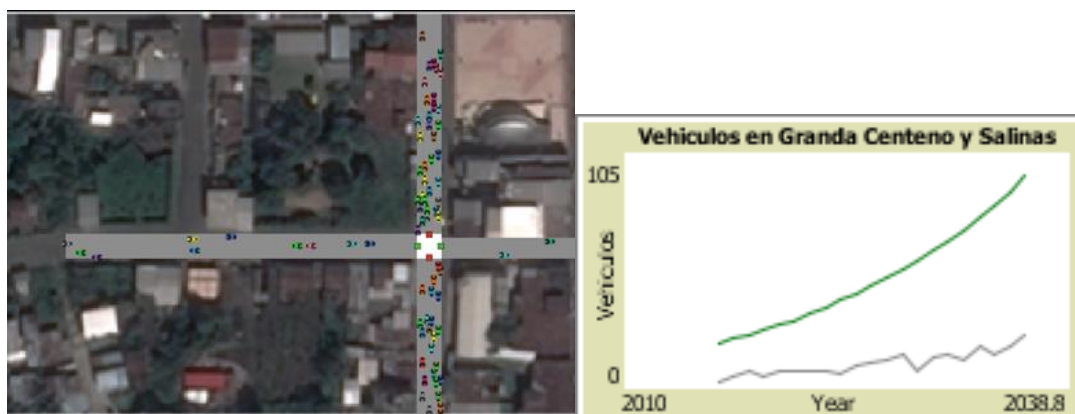


Figura 4. 20. Calle Salinas y Granda Centeno, 2036 con modelo polinómico

4.6.3.3 MODELO EXPONENCIAL

Se estimó un total de 295 vehículos de los cuales aproximadamente 137 no fueron ubicados en el área correspondiente a la simulación. La figura 4.21

muestra cómo se vería esta intersección después de dos décadas con el modelo exponencial.

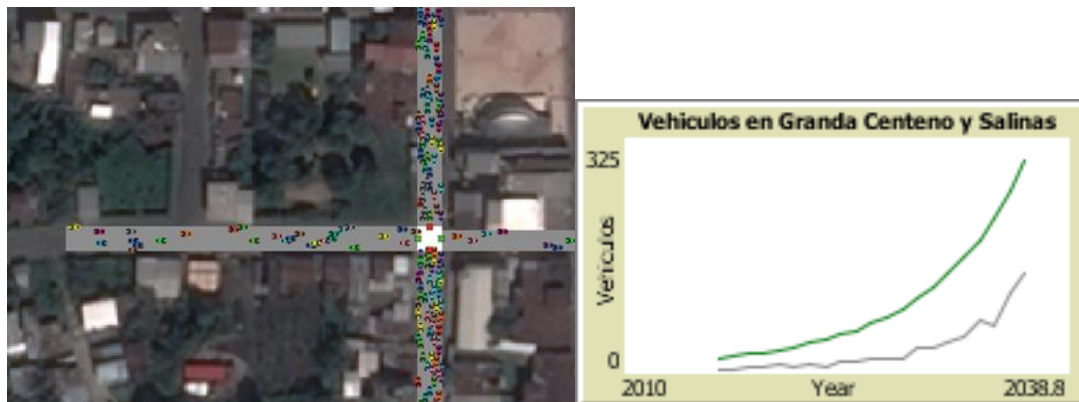


Figura 4. 21. Calle Salinas y Granda Centeno, 2036 con modelo exponencial

4.6.4 CALLE 10 DE AGOSTO E/S DE QUIROGA

4.6.4.1 MODELO LINEAL

En esta calle el modelo lineal estimó un total de 11 vehículos de los cuales aproximadamente 2 no fueron ubicados en el área que corresponde a las dimensiones simuladas. La figura 4.22 muestra el tránsito vehicular de esta intersección después de dos décadas con el modelo lineal.

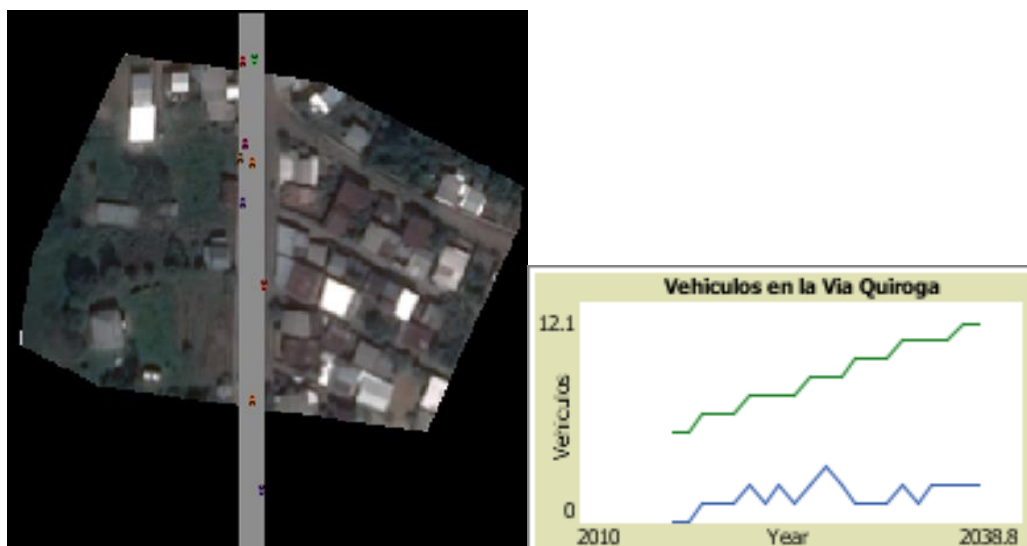


Figura 4. 22. Calle 10 de Agosto E/S de Quiroga, 2036 con modelo lineal

4.6.4.2 MODELO POLINÓMICO

Se estimaron 24 vehículos, aproximadamente 5 de ellos no fueron ubicados. La figura 4.23 muestra cómo se verían las vías de esta intersección después de dos décadas con el modelo polinómico.

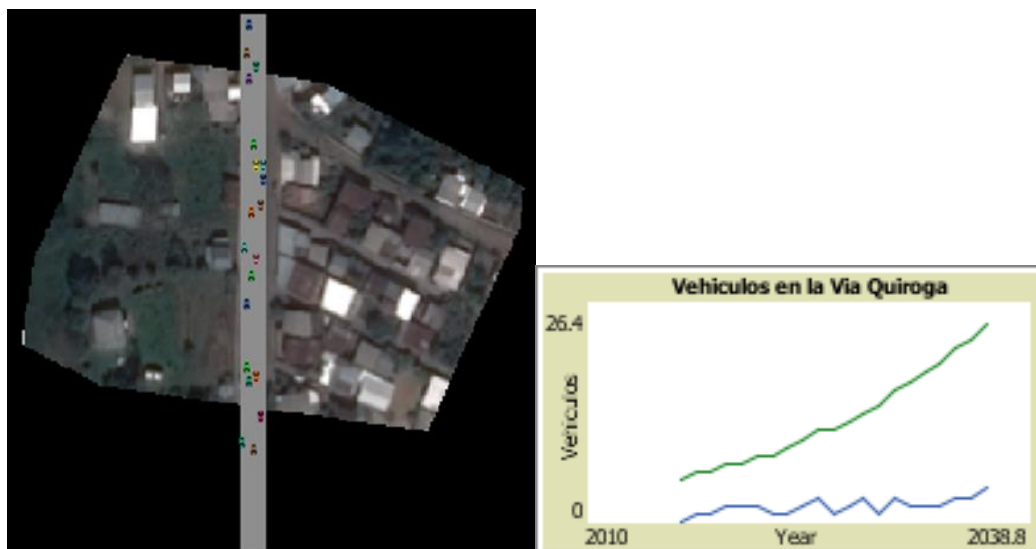


Figura 4. 23. Calle 10 de Agosto E/S de Quiroga, 2036 con modelo polinómico

4.6.4.3 MODELO EXPONENCIAL

Este modelo consideró 74 vehículos para este tramo de la calle, donde aproximadamente 21 no fueron ubicados dentro de estos límites. La figura 4.24 muestra esta intersección después de dos décadas en caso de tener un comportamiento exponencial.

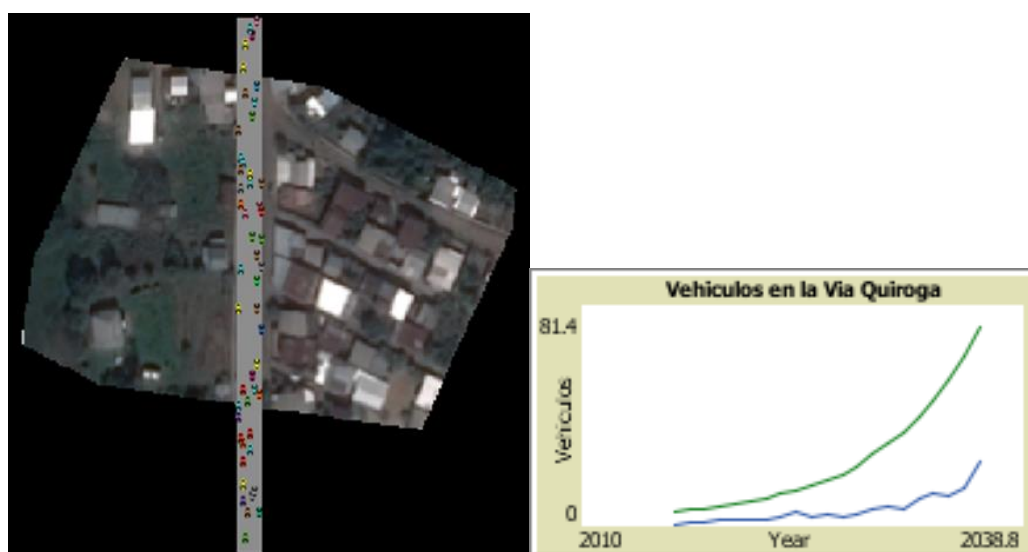


Figura 4. 24. Calle 10 de Agosto E/S de Quiroga, 2036 con modelo exponencial

4.7. INTERPRETACIÓN

Se ha realizado un análisis por cada zona de estudio, cabe recalcar que los vehículos no ubicados representan la cola vehicular que se concentra en las vías y no se muestran gráficamente. La cola vehicular por lo general aumenta cuando el semáforo está en rojo.

Que haya un número elevado de vehículos sin ubicar no precisamente significa que haya congestión, porque antes de determinar esto, se debe analizar gráficamente la simulación. Por otra parte, dado que no se ha simulado toda la calle, existe espacio que puede soportar estos vehículos.

Los datos indican que si el crecimiento vehicular se comporta de forma lineal no habrá problemas de congestionamiento en ninguna de las zonas escogidas y en el peor de los casos, las vías de acceso principales congestionarían a partir del año 2026 aproximadamente.

4.7.1 AVENIDA ESTUDIANTIL Y LA VÍA EL LIMÓN

Gráficamente se pudo observar que esta intersección no tendrá problemas de tráfico si el crecimiento vehicular se comporta de forma lineal o polinómica; a pesar que los datos indican que en este último modelo hay vehículos sin ubicar, se puede apreciar que si hay espacio disponible en los tramos seleccionados de las vías. El gráfico 4.5 representa el comportamiento de los vehículos en cola que no han sido ubicados en los tramos considerados para la simulación.

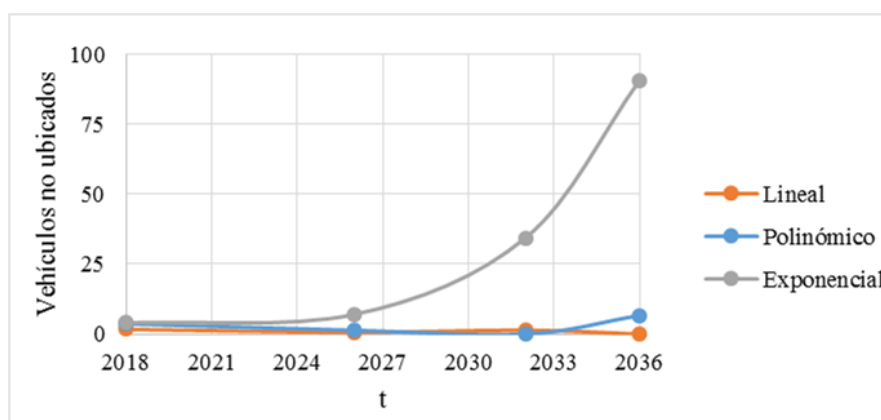


Gráfico 4. 5. Comportamiento de vehículos en cola no ubicados, Av. Estudiantil y vía El Limón

Se trata de un congestionamiento leve, que radica principalmente en la calle de la Av. Estudiantil con dirección de Este a Oeste, debido a que es la más frecuentada y además, tiene dos carriles y un puente estrecho.

4.7.2 EJE VIAL CHONE

El modelo lineal indica que no existirá problema en el tráfico de esta intersección, pero el polinómico y el exponencial demuestran lo contrario. Según el modelo polinómico existirá congestión vehicular, pero para el modelo exponencial las calles colapsarán con el número de vehículos en circulación. El comportamiento de los vehículos en cola que no han sido ubicados se representa en el gráfico 4.6, según cada modelo

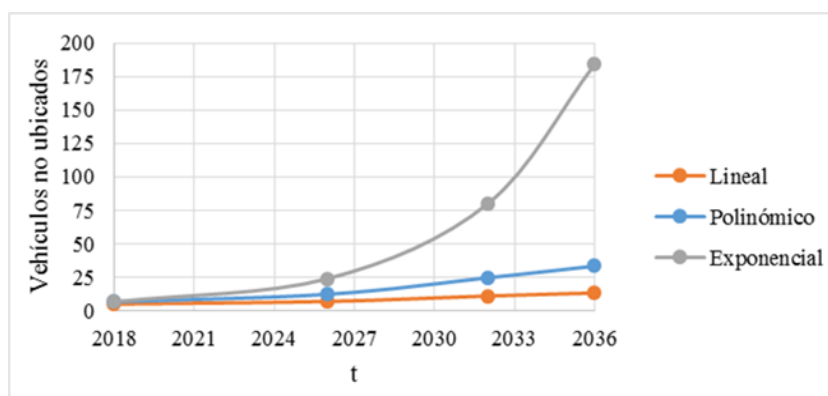


Gráfico 4. 6. Comportamiento de vehículos en cola no ubicados, eje vial Chone

Este problema puede deberse a la configuración de los semáforos, puesto que muchas veces hay desperdicio de tiempo en el verde para las vías poco frecuentadas y tiempo insuficiente para las que realmente lo necesitan.

4.7.3 CALLE SALINAS Y GRANDA CENTENO

Si Calceta mantiene la estructura vial y se comporta como indica el modelo exponencial probablemente esta intersección colapsará sus vías y habrá fuertes dificultades para el tráfico, que trae consigo contaminación principalmente por el ruido. Esta congestión es corroborada por el modelo polinómico que indica que esta intersección excederá el número de vehículos que puede soportar con la estructura actual. El gráfico 4.7 representa el crecimiento del número de vehículos que congestionan las calles de esta intersección, donde se puede

observar que en el peor de los casos (crecimiento exponencial), los problemas se presentarán a partir del 2023.

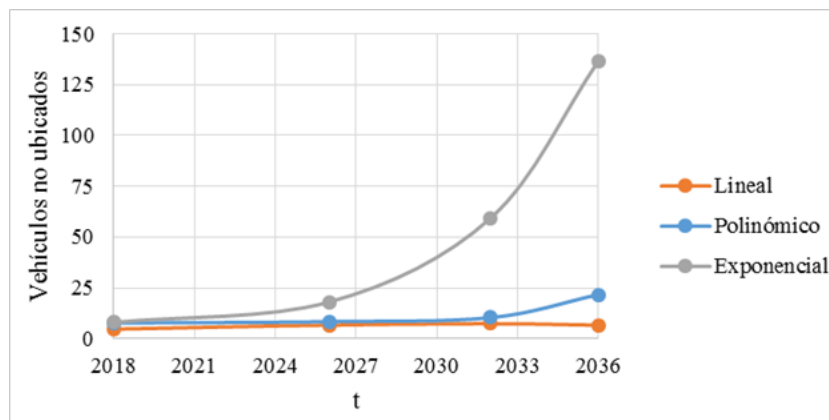


Gráfico 4. 7. Comportamiento de vehículos en cola no ubicados, Salinas y Granda Centeno

Esta intersección es bastante frecuentada y apenas tiene dos carriles, algo insuficiente para la cantidad vehicular que se espera en el 2036.

4.7.4 CALLE 10 DE AGOSTO E/S DE QUIROGA

Probablemente esta vía no tenga problemas de tráfico en el 2036, pues ni con el modelo exponencial colapsa. El número de vehículos no ubicados que muestra el gráfico 4.8 puede ser distribuido a lo largo de la vía sin mayor problema.

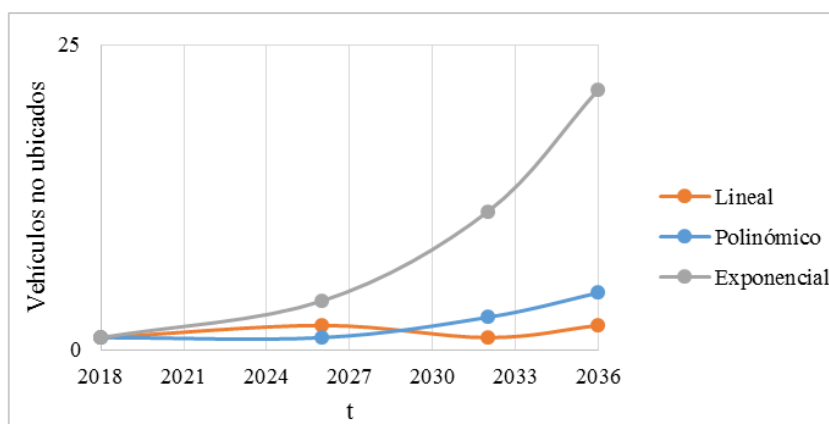


Gráfico 4. 8. Comportamiento de vehículos en cola no ubicados, C. 10 de Agosto E/S de Quiroga

4.8. DOCUMENTACIÓN

La simulación ha sido utilizada como una herramienta para identificar los posibles inconvenientes presentados en el tráfico vehicular. A continuación se presenta un plan para la toma de decisiones en base a los resultados de la simulación,

enfocados en el peor de los casos, puesto que del modelo exponencial se tuvo mayor aceptación de la hipótesis. Estas propuestas se enfocan específicamente a cada zona de estudio que ha presentado problemas.

4.8.1 AVENIDA ESTUDIANTIL Y LA VÍA EL LIMÓN

Dado que los problemas presentados en el tráfico de esta intersección no son extremos, la propuesta se enfoca en igualar el ancho del puente (ubicado en la Av. Estudiantil este) con el resto de la calle o en su defecto, añadir un nuevo puente. De esta manera se reducirá la acumulación de vehículos que se presenta en la simulación.

4.8.2 EJE VIAL CHONE

La configuración de los semáforos de esta intersección es distinta a la de los demás; sin embargo, se presentará congestión en el tráfico, principalmente en la calle Ricaurte y la vía a Chone, porque claramente son más frecuentadas que las otras que conforman esta intersección, y la espera del semáforo se hace muy larga para el número de vehículos que están en espera.

Para disminuir el porcentaje de vehículos no evacuados cuando el estado del semáforo es verde, se propone cambiar la configuración de los tiempos, de tal manera que sea más equitativa la evacuación de vehículos en esta intersección. A mayor número de vehículos, mayor tiempo del semáforo en verde.

4.8.3 CALLE SALINAS Y GRANDA CENTENO

Esta intersección es la más cercana al centro de la ciudad, donde se encuentran ubicados los comercios, es transitada por varias cooperativas de buses, interprovinciales, intercantonales, urbanos, entre otros. Ampliar el ancho de la calle sería una propuesta muy difícil de aplicar por las construcciones cercanas; por lo tanto, la propuesta para reducir la congestión presentada en esta intersección, es cambiar la ruta de los buses y vehículos de carga pesada por rutas secundarias que les permitan ingresar y salir de la ciudad, y que esta intersección quede exclusivamente para vehículos livianos.

4.9. DISCUSIÓN

La compleja ejecución de censos poblacionales ha promovido el perfeccionamiento de las proyecciones poblacionales y debido a su gran utilidad han conformado un instrumento de vital importancia para las políticas y programas de los gobiernos, a la vez que permiten anticipar las demandas sociales básicas (INEC, 2012c).

En lo que respecta al modelo de población exponencial, García (2011) manifiesta que aunque funciona razonablemente bien, hay que considerar que si $P(t)$ crece demasiado habrá otros factores como la falta de espacio o alimentos que frenará el crecimiento. Es por esto que el período proyectado no debe ser tan extenso, puesto que el ratio de crecimiento puede variar. Por otra parte, Tsoularis (2001) menciona que existen modelos más sofisticados que consideran como parámetros las tasas de mortalidad, fecundidad y migración; sin embargo, el modelo utilizado supone estas tasas según el comportamiento de los datos históricos.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ✓ Una simulación es una herramienta útil para la toma de decisiones, pero los resultados estimados no son exactos, son aproximaciones. Dependiendo del tipo de simulación, la cantidad y calidad de los datos históricos se pueden simular cierto número de años. En este caso se ha simulado el crecimiento vehicular en la zona urbana de Calceta en proyección a dos décadas, porque es probable que a partir de ahí el comportamiento varíe; es decir, que los datos históricos no sirvan para predecir un futuro donde posiblemente intervengan nuevos agentes y/o el entorno sea distinto.
- ✓ La validación es una parte indispensable de la simulación, de la cual depende la confianza de sus resultados. Es importante determinar si el modelo desarrollado describe la realidad.
- ✓ El modelo exponencial es el más representativo según la prueba estadística de medias; por lo tanto, si el crecimiento vehicular se comporta de esta manera, se acepta la hipótesis de investigación, pues en tres de las cuatro zonas de estudio habrá problemas de congestión vehicular, evidenciándose a partir del 2026.
- ✓ Los cambios propuestos son el resultado de un análisis de las problemáticas identificadas en la simulación y de la realidad que se percibe directamente.

5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Considerar los principales factores a simular sin entrar a mayor detalle, puesto que eso podría dificultar el modelo. Además, si se utiliza cualquiera de los modelos planteados en esta investigación, no proyectar un lapso mayor a 20 años, porque entre más tiempo, mayor es la incertidumbre; es decir, los resultados tendrían menor nivel de confianza.
- ✓ Para hacer una regresión lineal, se recomienda utilizar al menos cinco datos históricos de fuentes confiables. Los resultados proyectados deben ser validados, para garantizar que el modelo está construido correctamente; para la cual, se puede realizar comparaciones con datos históricos, hacer pruebas estadísticas, entre otras.
- ✓ Es importante recomendar al GAD Municipal del Cantón Bolívar que los resultados de esta investigación sean considerados para que tomen medidas preventivas, a fin de evitar la congestión vehicular identificada para el 2036.
- ✓ Que se tomen en cuenta este tipo de investigaciones para mejorar la calidad de vida de la población en el futuro.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, J. 2003. Módulo de Transporte Urbano. (En línea). CO. Consultado, 05 de nov. 2015. Formato PDF. Disponible en http://cite.flacsoandes.edu.ec/media/2016/02/Acevedo-J_2003_Curso-de-gestion-urbana.-Modulo-de-transporte-urbano.pdf
- Acuña, L. 2013. Análisis de regresión para la población de Costa Rica. Revista digital Matemática, Educación e Internet. Vol. 13, Núm. 1. p 1 – 7.
- Aguirre, A. 2014. Alternativa metodológica para la formulación de planes de desarrollo y ordenamiento territorial cantonal. Tesis. Master en Ordenación Territorial. Universidad de Cuenca. Cuenca, EC. p 60, 62, 92.
- Álvarez, L; Fernández, F; García, N; Martínez, A. y Vázquez, M. 2015. Simulación numérica del tráfico vehicular y sus consecuencias en contaminación atmosférica. Grupo de Simulación y Control Tráfico vehicular y polución. (En línea). MX. Consultado, 10 de nov. 2015. Formato PDF. Disponible en <https://gscpage.files.wordpress.com/2015/07/garcia-chan.pdf>
- Ariza, A. 2013. Métodos utilizados para el pronóstico de demanda de energía eléctrica en sistemas de distribución. Tesis. Ing. Electricista. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, CO. p 38.
- Ayala, A. 2012. Simulación de Trafico en el Tramo de la Av. Interoceánica Comprendido entre la Calle González Suarez y Francisco Pizarro. Tesis. Magíster en Matemáticas Aplicadas. Universidad San Francisco de Quito. Quito, EC. p 11.
- Azarang, M. y García, E. 1996. Simulación y análisis de modelos estocásticos. 1 ed. México. McGRAW-HILL.
- Berkebile, D. 2013. Marketing Demographics: covering the basics. (En línea). Consultado, 10 de nov. 2015. Formato HTML. Disponible en <http://www.getbrandwise.com/branding-blog/bid/115113/Marketing-Demographics-covering-the-basics>
- Cabrera, F. 2012. Micro simulación de vehículos y peatones. Perú. Revista Civilízate. Núm. 1. p 32-34.
- Cárdenas, M. 2015. Regresión Lineal. Minería de datos con python. CIEMAT. (En línea). Consultado, 21 de oct. 2016. Formato PDF. Disponible en http://wwwae.ciemat.es/~cardenas/docs/curso_MD/regresionlineal.pdf
- Coss, R. 2003. Simulación un enfoque práctico. México. Editorial LIMUSA.
- Demographic Partitions. 2014. The Science of Population. (En línea). Consultado, 04 de dic. 2015. Formato HTML. Disponible en <http://demographicpartitions.org/science-population-determines-population-change/>

- Domínguez, H. 2012. Simulación de modelos demográficos basados en agentes. Tesis. Máster en Investigación en Informática. UCM. Madrid, ES. p 5, 20.
- Fallas, J. 2012. Regresión lineal simple y múltiple. UNA. (En línea). CR. Consultado, 22 de oct. 2016. Formato DOC. Disponible en http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/regresion_lineal_y_multiple_13_set_2012.docx
- Franco, L. 2008. Aplicación de Simulación en el Control de Tráfico, una Propuesta para Ciudad del Este. FPUNE Scientific. Núm. 4. Pág. 75-82.
- Frías, M; Fernández, J. y Sordo, C. 2012. Estadística, Bloque Temático 1. Tema 2. Modelos de regresión. UC. (En línea). ES. Consultado, 22 de oct. 2016. Formato PDF. Disponible en http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/estadistica/materiales-de-clase-1/tema_02.pdf
- García, A; Ortega, M. e Izquierdo, D. 2012. Elementos de simulación. Un enfoque práctico con Witness. (En línea). ES. Consultado, 15 de dic. 2015. Formato PDF. Disponible en http://www.iol.etsii.upm.es/arch/elementos_simulacion.pdf
- García, P. 2011. Un aspecto de la Dinámica de Poblaciones: Relación Depredador-Presa. Tesis, Lic. en Matemática. Universidad Abierta Interamericana.
- Holgado, E. 2012. Estudio de regulación del tránsito de vehículos y peatones en los alrededores de la avenida Portugal de Salamanca. Tesis. Ing. En Organización Industrial. UPC. ES. p 76.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2012a. Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU) Información ambiental en hogares, diciembre 2012. Temática: Transporte (En línea). EC. Consultado, 29 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Presentaciones/AmbienteHogares.pdf>
- _____. 2012b. Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los hogares urbanos y rurales 2011- 2012. (En línea). EC. Consultado, 29 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/Encuesta_Nac_Ingresos_Gastos_Hogares_Urb_Rur_ENIGHU/ENIGHU-2011-2012/Metologia_ENIGHUR_2011-2012_rev.pdf
- _____. 2012c. Proyecciones de la Población de la República del Ecuador 2010-2050. (En línea). EC. Consultado, 10 de ago. 2016. Formato PDF. Disponible en http://www.inec.gob.ec/proyecciones_poblacionales/metodologia.pdf
- _____. 2015. VII Censo de Población y VI de Vivienda–2010. (En línea). EC. Consultado, 29 de jun. 2016. Formato HTML. Disponible en <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/>

- Márquez, N. 2016. Una guía universal para el diseño de las calles del futuro. (En línea). EC. Consultado, 28 de jun. 2016. Formato HTML. Disponible en <http://www.tuataratech.com/2016/04/una-guia-universal-para-el-diseno-de.html>
- Merino, A; Hernández, J; Albarrán, I. y Ramírez, C. 2001. "Proyección y estudio de una población. El papel de la mortalidad". (En línea). ES. Consultado, 22 de oct. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://eprints.sim.ucm.es/6765/1/0203.pdf>
- Microsoft. 2016. Líneas de tendencia en gráficos - Soporte técnico de Office. (En línea). ES. Consultado, 12 de oct. 2016. Formato HTML. Disponible en: <https://support.office.com/es-es/article/L%C3%ADneas-de-tendencia-en-gr%C3%A1ficos-f6ffa76c-80e1-4fab-9aa0-ddc7840a7cc3>
- Morales, J. y Salazar, J. 2010. Recuperación del sobrepago pagado por la acción en una oferta pública de adquisición de acciones en un plazo de 36 meses. Tesina. Lic. Administración. Universidad Austral de Chile. Valdivia, CH. p 7.
- Municipalidad del Cantón Bolívar. 2011. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2011.
- _____. 2015. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2014-2026.
- Murillo, J; Rojas, J. y Rodríguez, S. 2013. Evaluación de posibles medidas para reducir las emisiones de fuentes móviles en Costa Rica, 2010-2015. Tecnología en Marcha. Vol. 27, Núm. 1. p 3 – 12.
- Orsi, G. 2011. Beneficios de la Modelización y Simulación de Procesos. Argentina. Industria & Empresas. (En línea). AR. Consultado, 28 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en http://www.consultoralogistica.com/fs_files/user_img/Publicaciones/Publicacion%20-%20Beneficios%20de%20la%20modelizacion%20y%20simulacion%20de%20procesos.pdf
- Ovalle, D. 2014. Estado situacional de los modelos basados en agentes y su impacto en la investigación organizacional. Tesis. Ad. De empresas. Universidad del Rosario. Bogotá, CO. p 27.
- Pavón, J; López, A; Galan, J. 2012. Modelado basado en agentes para el estudio de sistemas complejos. Novática. Núm. 218. p 13-18.
- Poza, D. s.f. Manual de Netlogo en español. (En línea). ES. Consultado, 22 de oct. 2016. Formato HTML. Disponible en <https://sites.google.com/site/manualnetlogo/>
- SENPLADES (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo). 2013. PNBV (Plan Nacional del Buen Vivir), MATRIZ DE TENSIONES Y PROBLEMAS DE LA ZONA 4 (PNBV 2013-2017).
- Tsoularis, A. 2001. Analysis of Logistic Growth Models. Res. Lett. Inf. Math. Sci. Vol. 2. p 23 - 46.

- RAE (Real Academia Española). 2015. Diccionario de la Lengua Española. (En línea). ES. Consultado, 01 de feb. 2016. Formato HTML. Disponible en <http://dle.rae.es>
- Rodríguez, M. s.f. Métodos numéricos. UAEM. (En línea). MX. Consultado, 21 de oct. 2016. Formato PDF. Disponible en <https://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/33527/secme-18917.pdf?sequence=1>. Disponible en
- Rouse, M. 2015. Definition demographic. (En línea). Consultado, 21 de jun. 2016. Formato HTML. Disponible en <http://whatis.techtarget.com/definition/demographic>
- Rousse, R; Villegas, J. y Lárez, C. 2011. Uso de NetLogo como un entorno multiagente para el desarrollo de modelos de polielectrolitos. Revista Ciencia e Ingeniería. Edición Especial: "Jornada de Modelado y Simulación". p 127 - 134.
- Russell, S; Norving, P. 2013. Inteligencia Artificial. Un Enfoque Moderno. 3 ed. España. Pearson Educación.
- Sánchez, P. y Villa, F. 2012. Modelado y simulación del problema de movilidad vehicular en un sistema de intersecciones semafóricas. Lámpsakos. Núm. 8. p 15-22.
- Tsoularis, A. 2001. Analysis of Logistic Growth Models. Res. Lett. Inf. Math. Sci. 2:23-46.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division 2014. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, custom data acquired via website. (En línea). Consultado, 29 de jun. 2016. Formato HTML. Disponible en <http://esa.un.org/unpd/wup/>
- _____. 2015. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, (ST/ESA/SER.A/366). (En línea). Consultado, 29 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf>
- Vitoriano, B. 2013. Modelos y métodos de simulación estocástica. Aplicación en la valoración de opciones financieras. (En línea). ES. Consultado, 28 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en <https://www.dc.uba.ar/materias/escuela-complutense/2013/finanzas.pdf>

TEXTOS LEGALES CITADOS

LOES (Ley Orgánica de Educación Superior). 2010. Año II. N° 298.