



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

UTN Instituto de
IBARRA - ECUADOR Posgrado

INSTITUTO DE POSTGRADO

MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

**“MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE CONTROL DE TRÁFICO VEHICULAR
EN HORAS PICO PARA EL CENTRO DE LA CIUDAD DE IBARRA, A
TRAVÉS DE UNA RED AD - HOC VANET “**

**Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Magíster en
Telecomunicaciones.**

DIRECTOR:

MsC. Edgar Alberto Maya Olalla

AUTOR:

Ing. José Roberto Marcillo del Castillo


IBARRA - ECUADOR

2020

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de Tutor del Trabajo de Grado, presentado por el maestrante José Roberto Marcillo del Castillo, para optar por el Grado de Magister en Telecomunicaciones, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación (pública o privada) y evaluación por parte del Jurado Examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 20 días del mes de noviembre de 2020.



MsC. Edgar Maya O.
CC.1002702197



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
INSTITUTO DE POSTGRADO



APROBACIÓN DEL JURADO

El presente trabajo de grado titulado "Modelación y simulación de control de tráfico vehicular en horas pico para el centro de la ciudad de Ibarra, a través de una red ad-hoc VANET", constituye requisito previo para la obtención del título de Magister en Telecomunicaciones del Instituto de Postgrado de la Universidad Técnica del Norte.

Autor: Ing. José Roberto Marciño del Castillo

Trabajo de grado, aprobado en nombre de la Universidad Técnica del Norte, por el siguiente jurado: MSc. Marcelo Jurado, MSc. Edgar Maya, MSc. Diana Martínez, a los 12 días del mes de diciembre de 2020.



MSc. Marcelo Jurado
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



MSc. Edgar Maya
TUTOR



MSc. Diana Martínez
ASESORA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
INSTITUTO DE POSTGRADO
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA



AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.

En cumplimiento al Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
Cédula de ciudadanía:	1708200157
Apellidos y nombres:	Marcillo del Castillo José Roberto
Dirección:	Huertos Familiares – Ibarra
E mail:	jrmarcillo@utn.edu.ec
Teléfono:	0996183775
DATOS DE LA OBRA	
Título:	“Modelación y simulación de control de tráfico vehicular en horas pico para el centro de la ciudad de Ibarra, a través de una red ad - hoc VANET”
Autor:	Marcillo del Castillo José Roberto
Fecha:	20/11/2020
SÓLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
Programa:	Pregrado () Posgrado (X)
Título por el que opta:	Magister en Telecomunicaciones
Tutor:	Ing. Edgar Maya O. MsC.

2. CONSTANCIA.

El autor José Roberto Marcillo del Castillo manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es titular de los derechos patrimoniales, por lo que se asume la responsabilidad sobre el contenido de ésta y saldrá en defensa de la Universidad, en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 12 días del mes de diciembre de 2020.

EL AUTOR



José Roberto Marcillo del Castillo
CC 1708200157

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a Dios Todopoderoso por darme la vida, salud, y fortaleza para no rendirme, y comprobar que nunca es tarde para obtener mayor conocimiento. Que el esfuerzo y sacrificio diarios siempre tendrán una gran bendición y recompensa.

A mi hijo Kevin Roberto por ser un gran ser humano que ha estado junto a mí en todo el desarrollo de este proyecto. A mi querida Jei Jei (Janne Jara), mujer maravillosa que con su energía positiva y persistencia me alentó día a día para culminar este trabajo de investigación.

A mis padres fallecidos, mi familia, compañeros y amigos que de una u otra forma pusieron su grano de mostaza, que hoy con mucha gratitud cosecho su fruto.

José Roberto.

RECONOCIMIENTO

A la Universidad Técnica del Norte y el Instituto de Postgrado, por abrirme sus brazos y brindarme la oportunidad de instruirme y cultivar conocimiento en una carrera de maestría de un gran nivel.

Al Ing. Edgar Maya O. MsC., por la tutoría en este trabajo de grado, su gran apoyo y orientación, pero sobremanera por su amistad invaluable.

A la Ing. Diana Martínez MsC., por la asesoría realizada, sus observaciones, su saber académico y profesional enriquecieron mi trabajo de grado.

Al Coordinador mi estimado Marcelo Jurado, los docentes, y mis compañeros (la mayoría fueron mis alumnos de pregrado), por la amistad y su valiosa ayuda desde el inicio de este Programa de Maestría. Formamos un excelente grupo humano que nos permitió crecer y culminar con éxito lo propuesto.

En definitiva, un Dios les pague a todos y cada uno de ustedes, por ser parte de este logro académico alcanzado.!!

INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I: EL PROBLEMA.....	16
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	19
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.6. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	20
1.7. HIPÓTESIS.....	20
1.8. PREGUNTAS DIRECTRICES:.....	20
1.9. VARIABLES E INDICADORES.....	20
CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL.....	23
2.1. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	23
2.1.2. FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	23
2.1.3. ESQUEMA DEL MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
2.2. SEGURIDAD VIAL EN IBARRA.....	24
2.3. REVISIÓN DE TRABAJOS AFINES.....	32
2.4. REDES AD - HOC VANET.....	39
2.4.1. JERARQUÍA.....	39
2.4.2. ARQUITECTURA.....	41
2.4.3. ESTÁNDARES.....	42
2.5. DESCRIPCIÓN DE SIMULADORES UTILIZADOS.....	50
2.5.1. SUMO.....	50
2.5.2. OMNeT++.....	52
2.5.3. VEINS.....	53
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	55
3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	55
3.2. ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	55
3.2.1. INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL.....	55
3.2.2. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	55

3.2.3.	INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.....	56
3.2.4.	INVESTIGACIÓN CORRELACIONAL	56
3.3.	PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN	56
3.3.1.	DEDUCTIVO.....	56
3.3.2.	INDUCTIVO	56
3.3.3.	ANALÍTICO – SINTÉTICO.....	56
3.4.	CONSIDERACIONES ÉTICAS.....	57
3.5.	MODELACIÓN Y SIMULACIÓN VEHICULAR	57
3.5.1.	DESCRIPCIÓN	57
3.5.2.	HARDWARE UTILIZADO	57
3.5.3.	SOFTWARE UTILIZADO.....	57
3.6.	EXPERIMENTO DE CONTROL DE TRÁFICO VEHICULAR	58
3.6.1.	SIMULACIÓN DE MOVILIDAD.....	60
3.6.2.	RED DE COMUNICACIÓN	67
3.6.3.	ESCENARIO UNO – MOVILIDAD SIN VANET	70
3.6.4.	ESCENARIO DOS – MOVILIDAD CON VANET	71
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		75
4.1.	PRUEBAS Y RESULTADOS.....	75
4.1.1.	ESCENARIO UNO.....	76
4.1.2.	ESCENARIO DOS.....	83
4.2.	ANÁLISIS COMPARATIVO.....	92
4.2.1.	RENDIMIENTO	93
4.2.2.	ANÁLISIS GENERAL	94
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		97
5.1.	CONCLUSIONES	97
5.2.	RECOMENDACIONES	99
GLOSARIO.....		101
REFERENCIAS.....		103
ANEXOS.....		106
ANEXO A: INSTALACIÓN DE SIMULADORES.....		106
ANEXO B: DISTANCIA Y TIEMPOS DE SIMULACIÓN VEHICULAR.		113

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables e indicadores.....	21
Tabla 2. Variable dependiente	22
Tabla 3. Población por Cantones de Imbabura.....	27
Tabla 4. Proyección de cantidad de vehículos de Ibarra	28
Tabla 5. Lugares que presentan congestión vehicular	28
Tabla 6. Análisis de Artículos afines.....	36
Tabla 7. Campos de aplicación y ejemplos de uso en una VANET	41
Tabla 8, Tipos de modulación OFDM y Codificación (R).....	45
Tabla 9. Parámetros de sincronización	46
Tabla 10. Parámetros EDCA - Categorías de Acceso	49
Tabla 11. Asignación de banda y atribución de frecuencias	50
Tabla 12. Comparación de Veins con otros simuladores de VANET	54
Tabla 13. Distribución vehicular por rutas	64
Tabla 14. Ubicación de RSU's	68
Tabla 15. Parámetros de simulación VANET (IEEE 802.11 p).....	75
Tabla 16. Vehículos con trayectorias cambiadas por la VANET - Nodo 20.....	85
Tabla 17. Análisis comparativo de datos de la Ruta 3.....	92
Tabla 18. Tiempos y Distancias - Escenarios 1 y 2.....	113

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de correlación de variables	21
Figura 2. Modelo Sistémico de Seguridad	25
Figura 3. Mapa geográfico del Cantón Ibarra	26
Figura 4. Estadísticas de tránsito en Ecuador, 2018	30
Figura 5. Accidentes de tránsito por hora - primer semestre.....	31
Figura 6. Causas de incidentes de tránsito - primer semestre.....	31
Figura 7. Ruta Quito - Ibarra con Google maps (a); y con SUMO (b).....	33
Figura 8. Mapa de Intensidad del tráfico vehicular en el centro de Quito	34
Figura 9. Mapa de vías estatales de Imbabura.....	34
Figura 10. Jerarquía de redes inalámbricas Ad – Hoc	40
Figura 11. Comunicaciones Vehículo a objeto V2X.....	40
Figura 12. Tecnología V2X.....	41
Figura 13. Estándar IEEE 802.11p - Arquitectura OSI	43
Figura 14. Pila de Protocolos – WAVE.....	43
Figura 15. Canal Común – intervalos.....	44
Figura 16. IEEE 802.11- Subcapas.....	45
Figura 17. Banda de frecuencia reservada para 802.11p.....	46
Figura 18. IEEE 802.11p – Trama PPDU	47
Figura 19. Proceso de Estandización V2X	50
Figura 20. Interfaz y herramientas de SUMO	51
Figura 21. Arquitectura Lógica - simulación OMNeT++	53
Figura 22. Pantalla principal de OMNeT++.....	53
Figura 23. Simuladores de VANET´s híbridos e integrados	54
Figura 24. Modelo VEINS con SUMO Y OMNET++	54
Figura 25. Diagrama de simulación de control de tráfico vehicular - Centro de Ibarra	58
Figura 26. Área geográfica escogida del Centro de Ibarra.....	59
Figura 27. Intensidad de tráfico vehicular - Centro de Ibarra	60
Figura 28. Generación de archivo ibarra.net.xml a partir de archivo ibarra.osm.....	61
Figura 29. Archivos .osm y .xm generados en OSM_Ramdom Trip.....	61
Figura 30. Interfaz SUMO GUI.....	62
Figura 31. Archivos .osm y .xml generados en SUMO.....	62
Figura 32. Área del Centro de la ciudad de Ibarra, en SUMO	63
Figura 33. Atributos y rutas asignadas a los vehículos.	63

Figura 34. Creación de rutas para el área de análisis.	65
Figura 35. Ruta 0 (sumo), autos rojos	65
Figura 36. Ruta 1 (sumo), autos azules	65
Figura 37. Ruta 2 (sumo), autos verdes.....	66
Figura 38. Ruta 3 (sumo), autos lilas.....	66
Figura 39. Ruta 4 (sumo), autos cian.....	67
Figura 40. Identificación de rutas y vehículos.....	67
Figura 41. Área georreferenciada con la cobertura de las RSU's	69
Figura 42. Software GatcomSUMO	70
Figura 43. Coordenadas x e y en OMNeT++	70
Figura 44. Pantalla SUMO - configuración de vehículos.....	71
Figura 45. Comunicación de las OBU's y las RSU's.....	72
Figura 46. Parámetros del Estándar IEEE 802.11p	73
Figura 47. Accidentes programados en VEINS	74
Figura 48. Ruta 0 (Escenario Uno) programada.....	77
Figura 49. Ruta 1 (Escenario Uno) programada.....	77
Figura 50. Ruta 2 (Escenario Uno) programada.....	78
Figura 51. Ruta 3 (Escenario Uno) programada.....	78
Figura 52. Ruta 4 (Escenario Uno) programada.....	78
Figura 53. Rutas 5 y 6 (Escenario Uno)	79
Figura 54. Rutas 7 y 8 (Escenario Uno)	80
Figura 55. Rutas 9 y 10 (Escenario Uno)	80
Figura 56. Rutas 11 y 12 (Escenario Uno)	81
Figura 57. Rutas 13 y 14 (Escenario Uno)	81
Figura 58. Especificación: Parámetros de red y de vehículos asociados en SUMO	82
Figura 59. Pantalla de Red de Comunicación VANET	84
Figura 60. Ruta 0 (sumo) programada sin variación con la VANET.....	86
Figura 61. Ruta 1 (sumo) programada con variación con la VANET.....	86
Figura 62. Ruta 2 (sumo) programada sin variación con la VANET.....	87
Figura 63. Ruta 3 (sumo) programada con variación VANET	88
Figura 64. Ruta 4 (sumo) programada sin variación con la VANET.....	88
Figura 65. Ruta 5 (sumo) programada con variación con la VANET.....	89
Figura 66. Ruta 6 (sumo) programada con variación con la VANET.....	89
Figura 67. Ruta 7 (sumo) programada sin variación con la VANET.....	90

Figura 68. Ruta 8 (sumo) programada con variación con la VANET	91
Figura 69. Ruta 9 (sumo) programada sin variación con la VANET	91
Figura 70. Análisis comparativo de distancias - Escenarios Uno y Dos	93
Figura 71. Análisis Tiempos con y sin VANET.....	94
Figura 72. Análisis tiempo - distancia con VANET.....	95
Figura 73. Descarga de simulador de red OMNeT++	106
Figura 74. Carpeta omnetpp-5.6.2.....	106
Figura 75. Archivo configure.user.....	107
Figura 76. Inicialización de simulador OMNeT.....	107
Figura 77. Instalación completada del simulador.....	108
Figura 78. Ambiente omnetpp-5.6.2 workspace	108
Figura 79. Simulador OMNet++5 instalado.....	108
Figura 80. Instalación de INET Framework.....	109
Figura 81. Creación de carpeta INET.....	109
Figura 82. Creación de un proyecto con INET.....	110
Figura 83. Construcción de Proyecto con INET	110
Figura 84. Instalación de VEINS.....	111
Figura 85. Modelo VEINS instalado.....	111
Figura 86. Instalación de SUMO bajo OMNeT++	111
Figura 87. Archivos de SUMO con extensión .py.....	112
Figura 88. Simulador SUMO 1.6.0 instalado	112

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
INSTITUTO DE POSGRADO
PROGRAMA DE MAESTRÍA

**“MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE CONTROL DE TRÁFICO VEHICULAR
EN HORAS PICO PARA EL CENTRO DE LA CIUDAD DE IBARRA, A
TRAVÉS DE UNA RED AD - HOC VANET “**

Autor: Ing. Roberto Marcillo del Castillo, Mgs.
Tutor: Ing. Edgar Maya Olalla, MsC.
Año: 2020

RESUMEN

En el Ecuador, los últimos diez años a raíz del alto ingreso de recursos económicos por los elevados precios del barril del petróleo, determinó que la población ecuatoriana pueda adquirir una mayor cantidad de vehículos particulares de toda gama, como una posible solución al transporte público que no es el adecuado. Cada vez se cuenta con más automotores, pero este fenómeno deriva en un gran problema de congestión y caos vehicular. Movilizarse con facilidad en horas pico resulta casi imposible, por la mayor afluencia de vehículos, convirtiendo este tiempo en un verdadero estrés para el ciudadano conductor. La presente investigación propone utilizar una red ad – hoc vehicular VANET que maneja el estándar IEEE 802.11p establecido para comunicaciones inalámbricas vehiculares con sus definiciones y parámetros normados, que pueda controlar el tráfico vehicular en horas pico en el centro de la ciudad de Ibarra. Para este propósito primero se simuló el tráfico vehicular en base a las rutas programadas de vehículos en el software SUMO, luego se implementó la red de comunicación en el simulador de red OMNeT++ a través de VEINS. Se desarrolló una investigación de tipo experimental, basada en la metodología científica. Se establecieron dos Escenarios de movilidad con y sin VANET, de esta manera, en base a las pruebas realizadas y análisis de resultados, demostrar que el uso de una red ad – hoc VANET es un mecanismo idóneo tecnológico para solucionar problemas de tráfico y movilidad vehicular en un área urbana. Al tener la solución VANET en el Escenario 2, se verificó con la simulación de movilidad vehicular en el centro de la ciudad de Ibarra, un 62% de los vehículos obtuvieron una mejora en tiempo, en distancia o en ambos parámetros. La red vehicular permite controlar y balancear el tráfico vehicular en el área de cobertura, enfocada a tener eficiencia y seguridad, y dar una sensación de confianza al conductor al tenerle comunicado sobre posibles eventualidades como accidentes de tránsito y congestión vehicular.

Palabras clave: <RED VEHICULAR AD - HOC VANET>, <IEEE 802.11p>, <SUMO>. <OMNeT++>, <VEINS>.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
INSTITUTO DE POSGRADO
PROGRAMA DE MAESTRÍA

**“MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE CONTROL DE TRÁFICO VEHICULAR
EN HORAS PICO PARA EL CENTRO DE LA CIUDAD DE IBARRA, A
TRAVÉS DE UNA RED AD - HOC VANET “**

Autor: Ing. Roberto Marcillo del Castillo, Mgs.
Tutor: Ing. Edgar Maya Olalla, MsC.
Año: 2020

ABSTRACT

In Ecuador, the last ten years as a result of the high income of economic resources due to the high prices of a barrel of oil, determined that the Ecuadorian population can acquire a greater number of private vehicles of all ranges, as a possible solution to public transport that not suitable. More and more cars are available, but this phenomenon leads to a major problem of congestion and vehicular chaos. Moving easily during peak hours is almost impossible, due to the greater influx of vehicles, making this time a real stress for the driving citizen. This research proposes to use an ad-hoc VANET vehicular network that handles the IEEE 802.11p standard established for vehicular wireless communications with its definitions and regulated parameters, which can control vehicular traffic at peak hours in the center of the city of Ibarra. For this purpose, first the vehicular traffic was simulated based on the programmed vehicle routes in the SUMO software, then the communication network was implemented in the OMNeT ++ network simulator through VEINS. An experimental investigation was developed, based on scientific methodology. Two mobility scenarios with and without VANET were established, in this way, based on the tests carried out and analysis of the results, to demonstrate that the use of an ad-hoc VANET network is an ideal technological mechanism to solve traffic problems and vehicular mobility. in an urban area. By having the VANET solution in Scenario 2, it was verified with the vehicle mobility simulation in the center of the city of Ibarra, 62% of the vehicles obtained an improvement in time, in distance or in both parameters. The vehicular network allows controlling and balancing vehicular traffic in the coverage area, focused on efficiency and safety, and giving a feeling of confidence to the driver by having him informed about possible eventualities such as traffic accidents and vehicular congestion.

Keywords: <VEHICULAR AD - HOC NETWORK VANET>, <IEEE 802.11p>, <SUMO>. <OMNeT++>, <VEINS>.

CAPITULO I: EL PROBLEMA

TEMA

“MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE CONTROL DE TRÁFICO VEHICULAR EN HORAS PICO PARA EL CENTRO DE LA CIUDAD DE IBARRA, A TRAVÉS DE UNA RED AD - HOC VANET “

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El avance tecnológico con respecto a las comunicaciones inalámbricas en la segunda década del siglo XXI ha permitido una serie de aplicaciones en redes virtuales orientadas a dar soluciones a problemáticas del día a día. La tecnología móvil de la red 4G / LTE permite el procesamiento a alta velocidad de datos de baja latencia de estaciones base de radio móviles, lo que hace posible, aplicaciones vehiculares como sistemas de transporte inteligente. La conectividad es la exigencia de las sociedades de consumo, basada en una investigación creciente para dar mayores aplicaciones e interacciones entre las personas con su entorno.

La movilidad vehicular es uno de medios de locomoción del ser humano. Miles de autos de todo tipo y uso circulan a diario por calles, avenidas y carreteras generando alto volumen de tráfico, que en horas pico puede resultar caótico. En situaciones de emergencia, por ejemplo, se presenta la necesidad de controlar el tráfico vehicular, a fin de que los organismos de socorro y sus unidades móviles den respuesta efectiva en forma inmediata y prioritaria a eventos o siniestros que se presenten.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El uso de programas computacionales que permitan ofrecer una solución a la colectividad ciudadana sobre temas de movilidad y conectividad a través de redes vehiculares ad – hoc VANET¹, y de esta manera puedan ser una propuesta interesante para realizar un control

¹ Ad-hoc: Vocablo latino que significa “para este propósito”. Tipo de red inalámbrica no centralizada, independiente de infraestructura previa, posibilita flexibilidad y autonomía debido al principio de autoconfiguración.

de tráfico vehicular en horas pico en el centro de la ciudad de Ibarra, debido a la congestión que se genera en las calles y avenidas, por el elevado parque automotor.

1.3.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El excesivo número de vehículos de todo tipo sean de uso público y/o particular determinan congestionamiento a ciertas horas durante el día en el centro de la ciudad de Ibarra, que afectan al tráfico vehicular y su movilidad.

1.4.JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En el Ecuador, los últimos diez años, debido al alto precio del barril de petróleo y los altos ingresos de los recursos económicos, se determina que los ecuatorianos pueden comprar más tipos de autos privados, lo que puede ser una posible solución al inadecuado transporte público. Cada vez se cuenta con más automotores, pero este fenómeno deriva en un gran problema de congestión y caos vehicular, especialmente en la zona patrimonial, centro histórico, casco comercial donde se concentran las principales instituciones gubernamentales y municipales, escuelas, colegios, bancos, negocios, etc. Movilizarse con facilidad en horas pico resulta casi imposible, por la mayor afluencia de vehículos, convirtiendo este tiempo en un verdadero estrés y suplicio para el ciudadano conductor de la urbe ibarreña.

Frente a contingencias de todo tipo que se dan a diario en las vías y calles, especialmente accidentes de tránsito, siniestros de incendios, inundaciones por el clima invernal, sismos con afectación de infraestructuras civiles, los organismos de socorro presentan serias dificultades en la pronta y rápida atención de estos eventos, especialmente en horas que son de alta movilidad y concentración vehicular. Más de un estudio sobre el sistema de tránsito y transporte en el cantón Ibarra se elaboró en el interior de la municipalidad de Ibarra años atrás. La principal autoridad de la Empresa de Movilidad del Norte - MOVILDELNOR a su debida oportunidad reconoció que existe un problema de tránsito, y manifestó que se buscan alternativas para solucionar el congestionamiento, especialmente en el centro de la Ciudad Blanca². En estos días nuevamente se analiza la

² <https://www.elnorte.ec/ibarra/congestion-vial-es-la-calle-sin-salida-de-ibarra-DCEN65577>

situación del tránsito en Ibarra por parte de ex – autoridad de movilidad y de funcionario del Municipio de Ibarra, y se busca dar soluciones a la congestión vehicular.³

Por esta razón, es necesario e imperioso presentar soluciones innovadoras aprovechando las nuevas tecnologías de comunicación inalámbrica, que puedan resolver esta problemática que se tiene a diario en los centros urbanos.

El Plan Nacional de Desarrollo, denominado para este período de gobierno “Plan Nacional para el Buen Vivir 2017-2021, Planificamos para toda una vida”, establece en el Eje 2: Economía al servicio de la sociedad, Objetivo 5: Impulsar la Productividad y Competitividad para el Crecimiento Económico Sustentable de Manera Redistributiva y Solidaria, ***Política 5.2: “Promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, en articulación con las necesidades sociales, para impulsar el cambio de la matriz productiva.”***⁴

El programa de Maestría en Telecomunicaciones de la Universidad de Tecnología del Norte (UTN) propone integrar el conocimiento de la ciencia, la tecnología y las humanidades para ajustarse al modelo educativo de desarrollo humano de la casona universitaria, que incorpora un Modelo Integrador pedagógico, y al final, este modelo académico se orienta a un currículo integrado por resultados de aprendizaje, que se apalanca en forma didáctica en el entendimiento de la enseñanza, el aprendizaje basado en problemas, los modelos de investigación y los proyectos emprendedores.⁵

Bajo el contexto anterior, y con el advenimiento tecnológico de las redes inalámbricas de cuarta y quinta generación de telefonía móvil 4G/5G, éstas pueden aportar a dar soluciones que permitan una mejor movilidad y control del tráfico vehicular en horas pico. Una de estas soluciones puede ser la utilización de las redes ad – hoc de comunicación vehicular VANET’s, estándar IEEE 802.11p., que proporcionan la oportunidad para que se desarrollen aplicaciones que permitan mejorar las condiciones de transporte y tráfico de vehículos a través de un sistema colaborativo basado en la comunicación V2X⁶. Según funciones, las aplicaciones de vehículos se dividen en tres

³ <https://lahora.com.ec/noticia/1101858494/analizan-la-situacion-del-trnsito-en-ibarra>

⁴ Plan Nacional del Buen Vivir 2017 - 2021

⁵ <http://www.utn.edu.ec/web/uniportal/wp-content/uploads/2014/12/modelo-educativo-UTN.pdf>

⁶ V2X: Está relacionada con la comunicación vehículo con cualquier objeto, y engloba: la comunicación vehículo a vehículo (V2V), y la comunicación vehículo a infraestructura (V2I), etc.

categorías: seguridad vial, eficiencia vial y servicios comerciales y de información. (Kosch, 2009).

La presente investigación propone utilizar una red ad – hoc vehicular VANET que pueda controlar el tráfico vehicular en horas pico en el centro de la ciudad de Ibarra, de esta manera, permitir un flujo distribuido y ordenado de vehículos a estas horas del día, que son: 07H00 en la mañana, 12H30 medio día, y 17H00 en la tarde⁷.

A través de programas informáticos como el *Objective Modular Network Tester* (OMNET++) es un simulador modular de eventos discretos de red orientada a objetos, generalmente utilizado para modelar el tráfico de redes de telecomunicaciones; y tiene un alto grado de portabilidad y continuidad. El software flexible de simulación de tráfico de ruta abierta, a saber, el software de simulación de movilidad urbana - *Simulation of Urban Mobility* (SUMO), está diseñado para permitir la gestión de grandes redes de carreteras, por lo que puede proporcionar soluciones.

1.5.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Controlar el tráfico vehicular en horas pico para el centro de la ciudad de Ibarra, a través de una red ad – hoc VANET que utiliza software de modelación y simulación vehicular.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el estándar IEEE 802.11p de comunicaciones para redes vehiculares ad – hoc VANET´s, y determinar las definiciones y los parámetros que norman esta tecnología que se aplicarán en el diseño del proyecto propuesto.
- Modelar a través de software de simulación una red vehicular ad – hoc VANET para el centro de la ciudad de Ibarra, con los datos proporcionados por el organismo que tiene competencia y jurisdicción de la movilidad vehicular cantonal en la provincia de Imbabura.

⁷ <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/congestion-vehicular-ciudades-del-ecuador.html>

- Evaluar el modelo de simulación obtenido en base a los escenarios analizados, y determinar si la tecnología VANET presenta una solución beneficiosa para el control de tráfico vehicular en horas pico, en la zona centro de la ciudad de Ibarra.

1.6.PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo incide una red vehicular ad – hoc VANET en el control del tráfico vehicular en hora pico en el centro de la ciudad de Ibarra?

1.7.HIPÓTESIS

La implementación de una red vehicular ad – hoc VANET permite controlar el tráfico vehicular en horas pico en el centro de la ciudad de Ibarra.

1.8.PREGUNTAS DIRECTRICES:

- ¿Qué factores determinan la prestancia de una red ad – hoc VANET en el control de tráfico vehicular?
- ¿Los programas de modelación y simulación apalancan las necesidades para control de tráfico vehicular?
- ¿Hay trabajos o investigaciones relacionadas con el control de tráfico vehicular en situaciones de emergencia?
- ¿Cuál es el nivel de conocimiento de esta tecnología de redes Ad – hoc vehiculares VANET's?

1.9.VARIABLES E INDICADORES

Independiente: Modelo y Simulador de control de tráfico vehicular

Dependiente: Rendimiento

Tabla 1. Variables e indicadores

CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICA Ó INSTRUMENTO
Se tiene al momento actual, el control de tráfico vehicular a través de semaforización, pero el uso de sistemas de transporte inteligente a través de redes de última generación ad – hoc Vanet puede mejorar el tráfico vehicular en horas pico.	Modelación	Nivel de modelación de la red ad – hoc Vanet	¿Qué nivel nos da el modelado de una red ad -hoc Vanet?	Análisis de archivos
	Simulación	Adaptabilidad de los simuladores al entorno: si / no	¿Los simuladores vehiculares se adaptan a las necesidades del entorno?	Análisis de archivos
	Recursos (Software)	Gestión eficiente de recursos: bajo, medio, alto	¿Cuál es el nivel de eficiencia en el manejo de recursos?	Análisis de archivos
	Costo - beneficio	Costo de implantación de solución propuesta: bajo, medio, alto	¿El costo de implantación de la solución es recuperable en el tiempo?	Análisis de archivos

Fuente: Roberto Marcillo

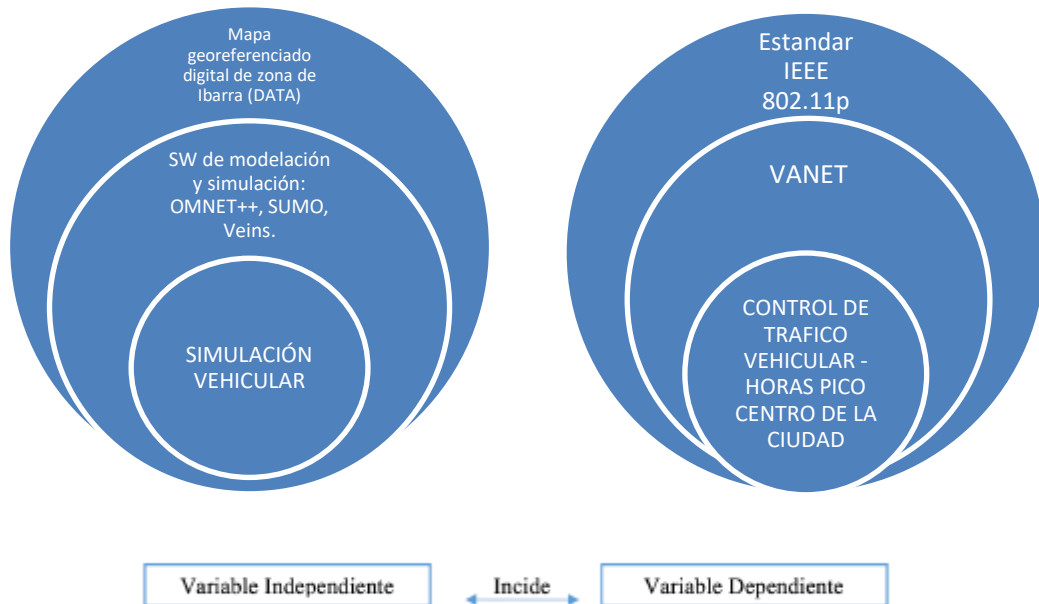


Figura 1. Diagrama de correlación de variables

Fuente: Roberto Marcillo

Dependiente: Rendimiento

Tabla 2. Variable dependiente

CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICA Ó INSTRUMENTO
Es la relación entre el producto o el resultado obtenido y los medios o recursos utilizados	Software	Compatibilidad, actualizaciones, estabilidad, confiabilidad.	¿Con el uso de simuladores vehiculares se puede mejorar el control de tráfico vehicular?	Análisis de archivos

Fuente: Roberto Marcillo

CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL

2.1.MARCO TEÓRICO

2.1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En los 5 últimos años se han realizado varios trabajos de investigación acerca de las redes ad – hoc vehiculares VANET´s., los mismos que enfocan algunos aspectos importantes que pueden orientar y apalancar esta investigación.

Estos trabajos se relacionan con: Sistemas de transporte inteligente y reconocimiento de señales de tráfico; Optimización de transmisión de paquetes de datos; Análisis de comunicación entre vehículos con diferentes tecnologías, Modelos y prototipos de prevención de accidentes, entre otros.

Todos estos escenarios permiten fortalecer el conocimiento y enrumbar la temática propuesta, a fin de que, de una manera integral poder realizar el análisis y diseño de una red ad – hoc vehicular VANET para control de tráfico vehicular en horas pico, aplicado al centro de la ciudad de Ibarra.

2.1.2. FUNDAMENTACIÓN LEGAL

Se indican las siguientes fuentes oficiales como respaldo del uso de información externa:

- DECRETO 1014, 10 de abril del 2008, Presidencia del Eco. Rafael Correa Delgado, que promueve el uso de Software Libre en las instituciones públicas del Ecuador.
- Plan de Desarrollo Informático UTN 2013 – 2017.
- Información oficial del organismo competente sobre tráfico vehicular en la ciudad de Ibarra.

2.1.3. ESQUEMA DEL MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

El tema propuesto cubre las siguientes áreas a desarrollar:

- Mapa geo referenciado digital de zona de Ibarra (DATA).
- SW de modelación y simulación: OMNET++, SUMO.
- Simulación vehicular VEINS.

2.2.SEGURIDAD VIAL EN IBARRA

Se parte de que una de las responsabilidades inevitables del gobierno ecuatoriano es mejorar la eficiencia de las instituciones públicas, especialmente las relacionadas directamente con la protección de la sociedad de diversas amenazas y peligros internos y externos. Por lo general, esta premisa básica no se puede cumplir a nivel de gobierno, y cada día hay una mayor sensación de inseguridad, caos vial y diversos daños a la integridad humana.

Por lo que, en julio 2019, se expide el PLAN NACIONAL DE SEGURIDAD INTEGRAL 2019 – 2030. (Min Defensa, 2019), que viene a ser una actualización de planes anteriores. En él se menciona que la seguridad integral es un compromiso colectivo e indica algunos lineamientos, que se correlacionan en un Modelo Sistémico de Seguridad. Así tenemos:

“La seguridad –como procedimiento estratégico– demanda medidas a corto, mediano y largo plazos, que permitan fortalecer el accionar coordinado de los ministerios de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana, de Defensa Nacional y del Interior, así como del Centro de Inteligencia Estratégica y del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias.

Nuestro Plan de Seguridad Integral se sustenta en normativas internacionales, regionales y locales, así como en mandatos y preceptos que constan en la Constitución de la República, en el Plan Nacional de Desarrollo y en la Ley de Seguridad Pública y del Estado, entre otros instrumentos.

El plan abarca el período 2019-2030, tiempo en el cual se desarrollarán las bases de una cultura prospectiva y preventiva en materia de seguridad. Obviamente, para precautelar la sana convivencia se requiere del más amplio y auténtico compromiso ciudadano, bajo el convencimiento que somos un país de paz, que desea vivir sin violencia”.

El Estado Ecuatoriano, de acuerdo con lo que establece el Art. 1 de la Constitución y para sus propios y soberanos intereses, admite que la seguridad constituye la esencia y el deber ser del Estado, la cual implica tres áreas específicas:

- *La defensa frente agresión de amenazas tradicionales externas al Estado – representadas principalmente por otros Estados– y nuevas amenazas intraestatales, que es materia de la seguridad nacional.*
- *La seguridad pública que es responsabilidad del Gobierno y que abarca la seguridad ciudadana y el orden público, áreas que a pesar de ser específicas interactúan integralmente a través de coordinaciones, planificación y ejecución de acciones en todos los niveles del Estado; pues, actualmente no existe una frontera claramente definida entre los diversos asuntos –externo, interno, regional, global–, siendo esta relación y sus efectos cada vez más significativos.*
- *Y la seguridad de las personas frente a los riesgos naturales y antrópicos”.* (Min Defensa, 2019)

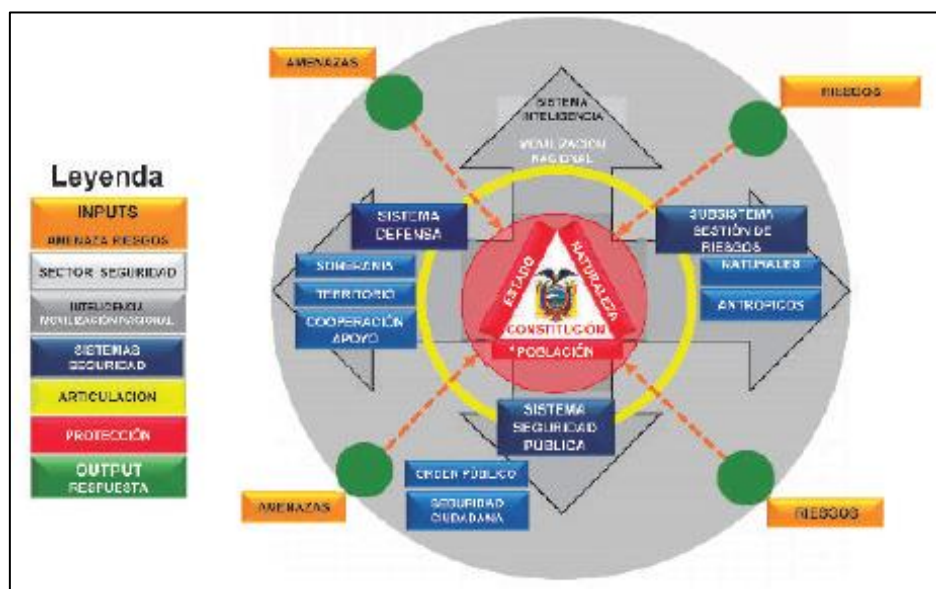


Figura 2. Modelo Sistémico de Seguridad

Fuente: (Min Defensa, 2019)

Otro instrumento legal que apalanca el tema de seguridad vial, lo tenemos en la LEY ORGÁNICA DE TRANSPORTE TERRESTRE, TRÁNSITO Y SEGURIDAD VIAL, con última modificación realizada en agosto 2018 (Asamblea Nacional, 2018), que establece en sus primeros articulados lo siguiente:

“Art. 1.- La presente Ley tiene por objeto la organización, planificación, fomento, regulación, modernización y control del Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, con el fin de proteger a las personas y bienes que se trasladan de un lugar a otro por la red vial del territorio ecuatoriano, y a las personas y lugares expuestos a las

contingencias de dicho desplazamiento, contribuyendo al desarrollo socioeconómico del país en aras de lograr el bienestar general de los ciudadanos. **Art. 2.-** La presente Ley se fundamenta en los siguientes principios generales: el derecho a la vida, al libre tránsito y la movilidad, la formalización del sector lucha contra la corrupción, mejorar la calidad de vida del ciudadano, preservación del ambiente, desconcentración y descentralización interculturalidad e inclusión a personas con discapacidad. En cuanto al transporte terrestre, tránsito y seguridad vial, se fundamenta en: la equidad y solidaridad social, derecho a la movilidad de personas y bienes, respeto y obediencia a las normas y regulaciones de circulación, atención al colectivo de personas vulnerables, recuperación del espacio público en beneficio de los peatones y transportes no motorizados y la concepción de áreas urbanas o ciudades amigables”. (Asamblea Nacional, 2018)

Dentro de la geografía nacional, el cantón Ibarra, capital de la provincia de Imbabura, se encuentra ubicada en la Región Uno del Ecuador, que comprende también a las provincias de Carchi, Esmeraldas y Sucumbíos. Los límites del Cantón son: al norte la provincia del Carchi, al noroeste la provincia de Esmeraldas, al oeste se tiene los cantones Urcuquí, Antonio Ante y Otavalo, y al este el cantón Pimampiro y al sur está la provincia de Pichincha. La localización geo referenciada del Cantón Ibarra en coordenadas UMT son: de 10'041.000 norte, 820.000 oeste tomando como punto de referencia el centro de la ciudad de Ibarra. **Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Ibarra 2015 PD - OT.** (GAD IBARRA, 2015)

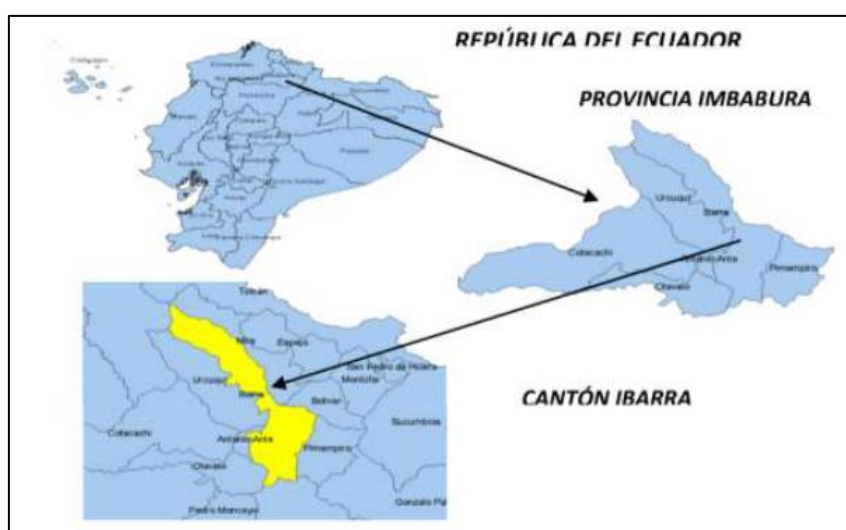


Figura 3. Mapa geográfico del Cantón Ibarra

Fuente: (GAD IBARRA, 2015)

Se señala en el plano que la red viaria del casco urbano de Ibarra describe su composición. Sigue el acoplamiento del tablero ortogonal y las condiciones del relieve urbano. Cuenta con 4 tipos de vías, que son: 26,57 kilómetros de vías principales, 29,52 kilómetros para colectoras, 371,26 kilómetros locales y 20,05 kilómetros peatonales.

Ibarra es la capital de la provincia de Imbabura, en comparación con los otros cinco estados, Ibarra tiene la mayor densidad de población, especialmente Otavalo y Urcuquí. La densidad de población se sigue de cerca, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Población por Cantones de Imbabura

Provincia	Cantón	Total (Hab.)	Total Área (Km2)	Densidad Poblacional	Porcentaje
IMBABURA	Ibarra	181175	1092,96	165,77	40%
	Antonio Ante	43518	51,53	844,52	10%
	Cotacachi	40036	1434,26	27,91	9%
	Otavalo	104874	283,77	369,57	23%
	Pimampiro	12970	113,7	114,07	3%
	San Miguel de Urcuquí	71083	472,57	150,42	16%
Total		453656	3448,79	1672,26	100%

Fuente: (GAD IBARRA, 2015)

Esto significa que Ibarra necesita atender y mejorar mayores demandas en las siguientes áreas: sistema de transporte masivo, infraestructura vial urbana y rural y movimiento de personas. Además, se necesitan proyectos de desarrollo urbano sostenible, priorizando y enfocándose en la inclusión y atención a los sectores más vulnerables de las ciudades y estados.

En la actualidad, se considera que la movilidad sustentable es la satisfacción con el tiempo de viaje requerido y los gastos razonables, que pueden minimizar el impacto negativo en el medio ambiente y mejorar la calidad de vida de las personas. En lo que respecta a nuestro país, este tipo de movilidad requiere un mayor y efectivo flujo interno y externo de bienes y personas. La gestión de viajes analiza y considera primero las condiciones actuales del transporte de pasajeros y carga en función de las necesidades y los destinos finales, así como una serie de herramientas diseñadas para ayudar y promover el cambio.

Actitudes y comportamientos de los componentes de la movilidad, que conducen a un transporte sostenible en el tiempo. (Moller, 2006)

Si se considera que el Ecuador es una zona con una alta concentración de amenazas ambientales geográficas para el medio ambiente (fallas geológicas en los Andes, erupciones volcánicas, actividades, invierno severo causado por el fenómeno de El Niño, etc.), la población es constantemente vulnerable. Por lo tanto, ante tales incidentes, los productos básicos La circulación y el movimiento de personas están restringidos.

Por otro lado, el tráfico en la ciudad de Ibarra está formado por automotores como: vehículos, autobuses y camiones, camiones, motos, etc. El total estimado para 2014 es de 69,124 vehículos, respaldado por la tasa de crecimiento anual del 11% determinada por la Agencia Nacional de Tránsito. Con base en esta previsión para 2020, se estima que habrá 129.291 coches.

Tabla 4. Proyección de cantidad de vehículos de Ibarra

Año	Número de vehículos
2013	62274
2014	69124
2015	76728
2016	85168
2017	94536
2018	104935
2019	116478
2020	129291

Fuente: (GAD IBARRA, 2015)

En el documento PD - OT Municipal se establecen lugares de congestión, causas, horas pico de días entre semana y fin de semana. Esta información es importante para establecer parámetros de tiempo, en el desarrollo del modelo de simulación de control de tráfico vehicular en el centro de la ciudad de Ibarra, que se lo hará en el Capítulo III.

Tabla 5. Lugares que presentan congestión vehicular

LUGARES DE CONGESTIÓN	HORAS	CAUSA	DIAS	
			ENTRE SEMANA	FIN DE SEMANA
AV. CRISTÓBAL DE TROYA Y AV. CARCHI (SECTOR PUENTE "LOS MOLINOS")	6:40 a 7:30	Ingreso y salida de personas, bienes y servicios de la ciudad.	X	X

AV. EUGENIO ESPEJO Y CALLE OBISPO MOSQUERA (SECTOR MERCADO AMAZONAS)	12:00 a 13:00	Vehículos mal estacionados	X	X
AV. FRAY VACAS GALINDO Y CALLE DARÍO EGAS (SECTOR MERCADO LA PLAYA)	10:00 a 12:30	Doble columna	X	
CALLE SÁNCHEZ Y CIFUENTES Y JUAN DE VELASCO (SECTOR OBELISCO)	18:00 a 19:00	Doble columna	X	X
CALLE ALBERTO HARO Y LUIS FELIPE BORJA (SECTOR AJAVÍ CHIQUITO)	17:30 a 19:00	Vehículos mal estacionados y congestión.		X
AV. CRISTÓBAL DE TROYA Y FRAY VACAS GALINDO (SECTOR PARQUE DE LA MUJER)	6:00 a 7:00	Semáforo no funciona	X	X
AV. MARIANO ACOSTA Y CALLE PADRE JACINTO PANKERY (SECTOR LA PLAZA SHOPPING CENTER)	17:00 a 18:00	Salida de personas, bienes y servicios de la ciudad hacia el sur	X	X
INGRESO ANTIGUO AUTÓDROMO (SECTOR LAGUNA DE YAHUARCOCHA)	17:30 a 19:00	Salida de personas, bienes y servicios de la ciudad hacia el norte		X
AV. TEODORO GÓMEZ Y CALLE SIMÓN BOLÍVAR (SECTOR INICIO AV. ATAHUALPA)	17:30 a 19:00	Entrada a las instituciones	X	

Fuente: (López, 2019)

Es necesario señalar que una parte importante del transporte de Ibarra es el transporte personal liviano, como bicicletas, esta es una forma alternativa de viajar, pero no existe un método cuantitativo específico. Además, se menciona que el tráfico urbano es variable, porque depende del área geográfica de la ciudad, y tiene una fluctuación diaria de cientos a decenas de miles de vehículos. (GAD IBARRA, 2015)

Los altos ingresos que tuvo el país a inicios de la década pasada en el Gobierno de Rafael Correa por el elevado costo del barril del petróleo, determinó un notable el crecimiento del parque automotor en el país, y por consiguiente en la ciudad de Ibarra, debido a la gran facilidad de las concesionarias para que los ciudadanos adquieran nuevos automotores. Este incremento vehicular ha provocado que haya mayor congestión vehicular en horas específicas que se denominan pico, y que determina que el transporte

vehicular y la movilidad de las personas en la ciudad, debe ser tratado y mejorado, a través de una planificación territorial estratégica.

Dentro del análisis de los siniestros que se tienen en la ciudad de Ibarra, y que es común a nivel nacional, en el documento PD- OT establece que la mayor causa de un siniestro de tránsito es el exceso de velocidad, debiendo señalarse que el límite de velocidad en los sectores urbanos del cantón en los cuales la totalidad de vías son de competencia municipal es máximo de 50 km/h y el rango moderado es de 50 a 60 km/h. Otras razones incluyen: la falta de experiencia y la imprudencia del conductor (falta de atención, distancia de seguridad insuficiente con el vehículo de adelante, el conductor usa un teléfono móvil mientras conduce, se baja del vehículo y / o recoge pasajeros en lugares prohibidos).

Las estadísticas nacionales de accidentes de tráfico muestran que las principales causas de accidentes en 2018 fueron: negligencia del conductor, exceso de velocidad y distancia de seguridad insuficiente con los vehículos adyacentes. Además, que los principales afectados por los siniestros de tránsito fueron: los conductores, los pasajeros y los peatones. Esto se indica en la Figura 4 sobre las estadísticas de tránsito en Ecuador.



Figura 4. Estadísticas de tránsito en Ecuador, 2018

Fuente: (González, 2020)

De acuerdo con los datos proporcionados por la Empresa de Movilidad MOVILDELNOR en su página web⁸, podemos ver en las Figuras 5 y 6 las estadísticas de accidentes de tránsito por hora y sus causales. Las horas de ocurrencia mayor son a las 07H00, 13H00

⁸ https://www.movidelnor.gob.ec/umep/uniportal/images/Estadisticas/Jun2020/Jun2020_Ibarra.pdf

y 20H00. Esta información circunscribe este tiempo a las horas pico donde hay flujo vehicular mayor, especialmente en la mañana y tarde.

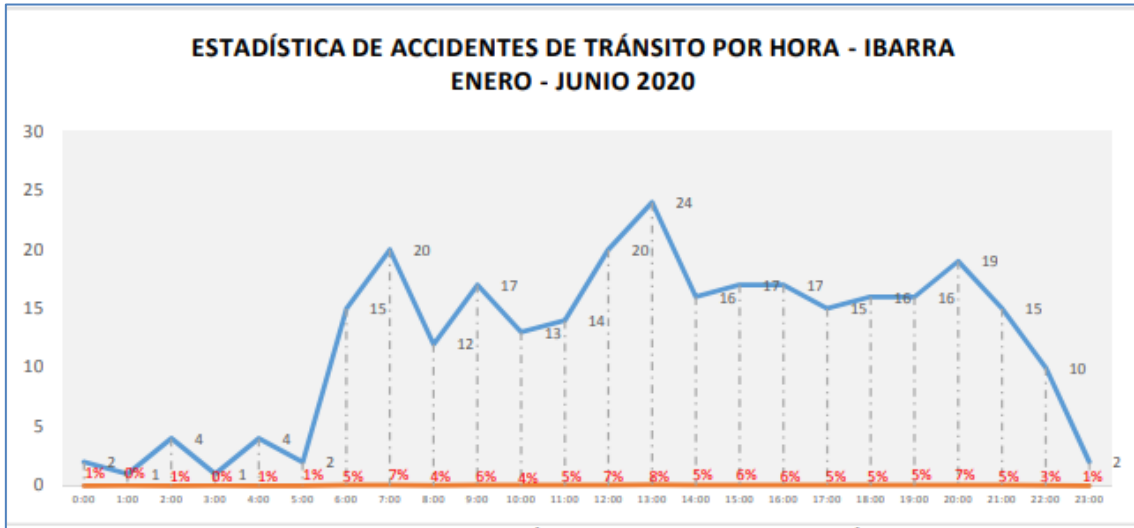


Figura 5. Accidentes de tránsito por hora - primer semestre
Fuente: (Movildelnor, 2020)

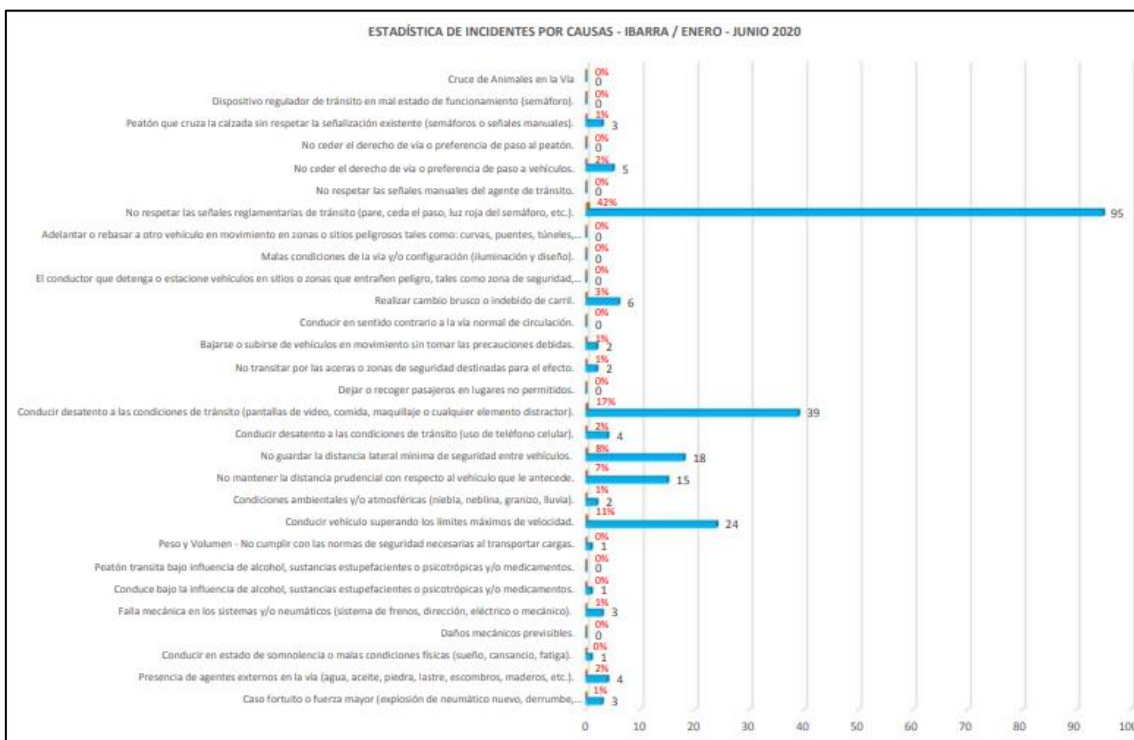


Figura 6. Causas de incidentes de tránsito - primer semestre
Fuente: (Movildelnor, 2020)

Todo ello demuestra que la tecnología de comunicación inalámbrica actual permite el desarrollo de sistemas de transporte inteligente (STI) y puede combinarse con estos

requisitos para aumentar la movilidad de las personas y seguridad vial en las urbes metropolitanas. En las grandes ciudades, es imperativo promover el tráfico de vehículos, especialmente a medida que crece la población y aumenta el número de vehículos en circulación. Estos sistemas proporcionan a los usuarios del sistema información previa sobre el tráfico, así como información en tiempo real.

El Internet y la conectividad son factores clave en el funcionamiento de los Sistemas Inteligentes de Transporte (STI), pues de lo contrario no será posible recopilar, almacenar, interpretar y enviar toda la información necesaria para el normal funcionamiento del sistema. Al mismo tiempo, debe haber una infraestructura sólida para permitir el acceso a todos los datos. Para ello, cuenta con sistemas de comunicación de vehículo a vehículo (V2V), de vehículo a infraestructura (V2I) y ejemplos adicionales, a saber, sistemas de asistencia a la operación e información de usuario del transporte público.⁹

2.3.REVISIÓN DE TRABAJOS AFINES

En base de los escenarios señalados anteriormente, a continuación, se describen algunas investigaciones realizadas afines al tema propuesto. Así, se pueden mencionar los siguientes proyectos de investigación (tesis) y artículos científicos tanto a nivel nacional e internacional.

Es necesario indicar que estos aportes de solución para el caso del Ecuador se mantienen en ambiente de simulación o estudios, y cuya implementación se lo hará a medida que la tecnología de Quinta Generación (5G) empiece a operar en el país. Se espera que a partir del 2021 se instalen las primeras *Radio Base Station* (RBS) móviles de esta generación, y puedan dar soporte a todas las aplicaciones *Internet of Things* (IoT) que se puedan desarrollar. Para el tema vehicular, se darán comunicaciones inalámbricas de vehículo a cualquier objeto V2X a lo largo de todas las vías y carreteras de circulación.

Hay algunos trabajos a nivel nacional sobre simulación y análisis de tráfico vehicular con SW de simulación de movilidad urbana (SUMO); otro sobre simulación de una red ad-hoc vehicular VANET como apoyo a la movilidad vehicular; y un tercero sobre mejora

⁹ https://www.gmv.com/blog_gmv/language/es/sistemas-de-transporte-inteligente-its-y-su-protagonismo-en-las-smartcities/

al transporte, movilidad y desarrollo urbano. Estos tres trabajos orientan de alguna manera el desarrollo del presente tema de investigación.

En el artículo científico de (Mena, Urquiza, Calderón, & Zambrano, 2018) se describe un proceso para utilizar el simulador urbano de movilidad (SUMO), en las vías de acceso a la ciudad de Quito, y crear entornos de simulación realista, a partir del uso de información de mapas reales y geo referenciados.

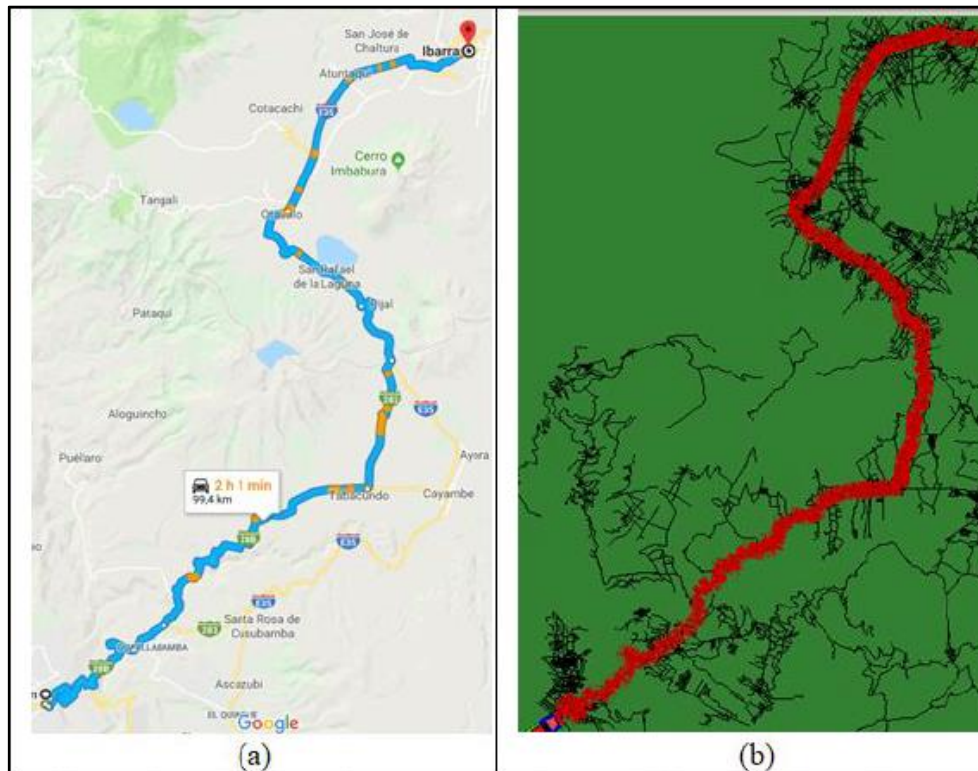


Figura 7. Ruta Quito - Ibarra con Google maps (a); y con SUMO (b)
Fuente: (Mena, Urquiza, Calderón, & Zambrano, 2018)

En el proyecto de titulación (Caiza, 2017) trata del uso del Modelo VEINS para el diseño de una red Ad - Hoc VANET que permita solucionar problemas de tráfico y congestión vehicular en la ciudad de Quito.

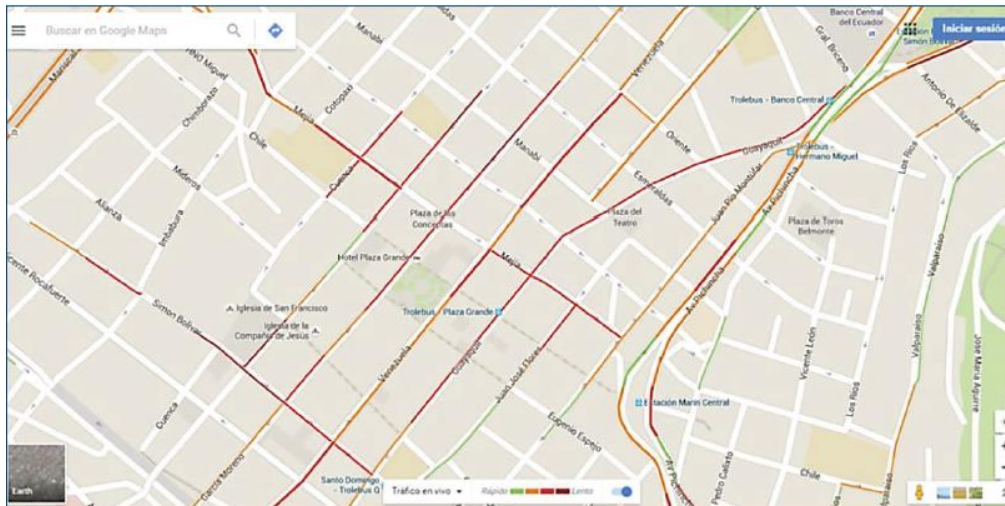


Figura 8. Mapa de Intensidad del tráfico vehicular en el centro de Quito
Fuente: (Caiza, 2017)

Un trabajo interesante que se ha revisado es de (López, 2019), en el que se establece lineamientos y estrategias integrales apropiados para mejorar el sistema de movilidad y transporte, como base para la implementación de un plan de movilidad del cantón Ibarra. Para el caso de la presente investigación, se propone una modelación y simulación para el control de tráfico vehicular en arterias importantes de la capital ibarreña.

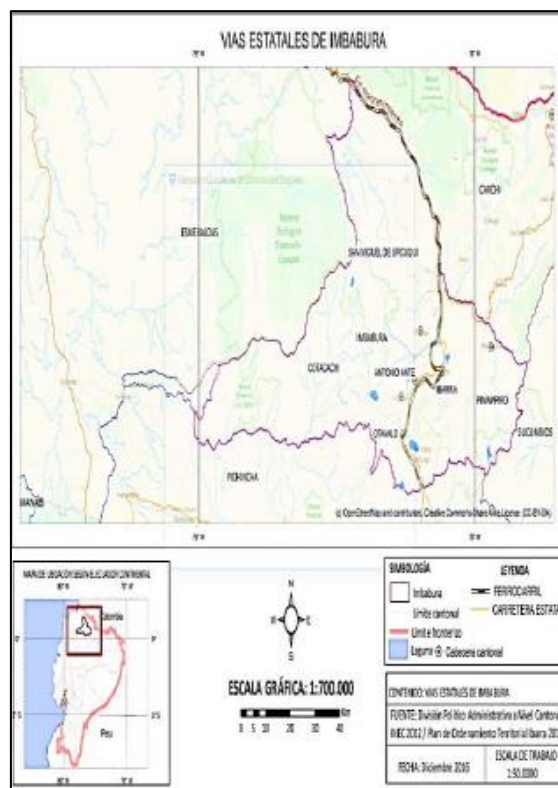


Figura 9. Mapa de vías estatales de Imbabura
Fuente: (López, 2019)

Por otra parte, también se han revisado algunos artículos científicos en inglés realizados en otros países, que han permitido y han sido ayuda para conceptualizar y entender a los sistemas de transporte inteligente, las comunicaciones inalámbricas con el estándar 802.11 p, los modelos de localización y ruteo vehicular a través del uso de las VANET's, etc. Se lista a continuación algunos de ellos.

- A cooperative and reliable RSU-assisted IEEE 802.11p-based multi-channel mac protocol for VANET's. (Vandung, Khanh, & Oo., 2018)
- Nearest-first: Efficient relaying scheme in heterogeneous V2V communication environments. (Byungjun, Seongwon, & Hoyoung, 2019)
- Vehicle Accident Risk Prediction Based on AdaBoost-SO in VANETs. (Haitao, Hongsu, & Dapeng, 2019)
- Realistic model of mobility based on location and route for VANET. (Shovita, Rajeev, & Aditi, 2019)
- Time Barrier-Based Emergency Message Dissemination in Vehicular Ad-hoc Networks. (Samad, Waqar, & Rahman, 2019)
- Emergency Message Dissemination Schemes Based on Congestion Avoidance in VANET and Vehicular FoG Computing. (Ullah, Yaqoob, & Imran, 2018)

Estos trabajos de investigación han sido revisados y analizados su problemática, las soluciones propuestas, y cómo estos contribuyen a este proyecto de investigación.

En la siguiente tabla 6, se resumen los principales tópicos relacionados con la implementación de las redes vehicular ad – hoc VANET, y su importancia y soporte para los sistemas de transporte Inteligente (STI) que se verá a detalle en el numeral 2.4.

Tabla 6. Análisis de Artículos afines

No.	TEMA	PROBLEMÁTICA / Ó MEJORA	SOLUCIÓN	CÓMO APALANCA A ESTE TEMA
1	<p>Modelo realista de movilidad basado en ubicación y ruta para VANET. (Shovita, Rajeev, & Aditi, 2019)</p>	<p>Por lo tanto, se resuelve el problema de enrutamiento que se encuentra en el modelo de movilidad realista existente.</p>	<p>Propone dos modelos de movilidad realistas denominados modelo de movilidad realista basado en la ubicación y modelo de movilidad realista basado en la ruta. En el modelo de movilidad realista basado en la ubicación, la velocidad y la velocidad se actualizan y el modelo de movilidad realista basado en la ruta implica cuántas rutas están disponibles. Para la implementación de nuestros modelos, utilizamos software de código abierto denominado simulador de red NS-3 y simulador de tráfico MOVE con SUMO.</p>	<p>Estos dos modelos de movilidad realista dan una mejor idea, para determinar cuáles son los escenarios para evaluar en este proyecto. Utiliza SW de simulación vehicular.</p>
2	<p>Un protocolo MAC multicanal basado en RSU-asistido IEEE 802.11p cooperativo y confiable para VANET'S. (Vandung, Khanh, & Oo., 2018)</p>	<p>Las redes ad-hoc de vehículos (VANET), que admiten varias aplicaciones importantes para sistemas de transporte inteligentes (ITS), consisten en comunicaciones de vehículo a vehículo y de vehículo a infraestructura basadas en vehículos y unidades de carretera (RSU). El control de acceso medio (MAC) desempeña un papel fundamental en la prestación de servicios de transmisión eficientes para VANET. A diferencia de otros tipos de redes, los VANET sufren cambios rápidos en la topología, lo que resulta en desconexiones frecuentes de la red causadas por la alta movilidad de los nodos</p>	<p>Este estudio propone un protocolo MAC multicanal basado en IEEE 802.11p cooperativo y confiable asistido por RSU para VANET, llamado RAM. En la propuesta se utiliza una RSU para calcular el intervalo optimizado y realizar un seguimiento de la transmisión del paquete de seguridad. También presenta un esquema cooperativo para la retransmisión de paquetes de seguridad que no se transmitieron debido a nodos ocultos.</p>	<p>Este protocolo de control de acceso al medio (MAC) puede ser utilidad para optimización de transmisión de paquetes de datos.</p>

3	<p>Nearest-first: esquema de transmisión eficiente en entornos de comunicación V2V heterogéneos. (Byungjun, Seongwon, & Hoyoung, 2019)</p>	<p>Hoy en día, existen dos tipos de tecnología de comunicación vehicular, a saber, de vehículo a vehículo basado en la evolución a largo plazo (LTE-V2V) y comunicaciones dedicadas de corto alcance (DSRC). Aun cuando se han realizado muchos estudios sobre comunicación vehicular, nunca se ha estudiado la situación en la que coexisten grupos separados de vehículos que utilizan diferentes tecnologías de comunicación. En la situación de coexistencia, se plantea el problema de incapacidad de comunicación entre los vehículos que utilizan diferentes tecnologías de comunicación.</p>	<p>Se propone un sistema de retransmisión, llamado Nearest-first, donde se consideran equipos de usuario híbridos (UE), que están equipados con módulos DSRC y LTE-V2V. Se realizan simulaciones en diversas situaciones incorporando modelos de movilidad realistas y topologías de carreteras. Se demuestra que el Nearest-first supera a los esquemas de retransmisión existentes con una ganancia de rendimiento de hasta el 91% en términos de distancias de comunicación efectivas. © 2013 IEEE.</p>	<p>Esta propuesta permite analizar cómo es la comunicación entre dos vehículos que tienen diferente tipo de tecnologías de comunicación.</p>
4	<p>Predicción de riesgo de accidentes de vehículos basada en AdaBoost-SO en VANET. (Haitao, Hongsu, & Dapeng, 2019)</p>	<p>Con la rápida expansión del tráfico por carretera y la escala de los vehículos, los ciudadanos deben enfrentar los graves riesgos de seguridad de la vida causados por los accidentes de vehículos mientras disfrutan de una vida cada vez más conveniente. Afortunadamente, las redes ad hoc vehiculares nos han brindado información importante sobre big data de vehículos, lo que nos hace tener nuevos métodos para analizar los accidentes de tránsito de vehículos.</p>	<p>En este artículo, se aborda el problema de predecir el riesgo de accidentes de vehículos y proponemos la tricotomía AdaBoost con algoritmo SMOTE y codificación One-Hot (AdaBoost-SO) para lograr un modelo de predicción de riesgo de accidentes de vehículos. En este documento, la predicción del riesgo de accidentes se basa principalmente en el uso de minería de datos grandes y el análisis de datos de accidentes de la vida real.</p>	<p>Esta propuesta da idea clara de predicción de accidentes vehiculares que pueden darse en situaciones de emergencia.</p>

5	<p>Difusión de mensajes de emergencia basados en la barrera del tiempo en redes vehiculares ad-hoc. (Samad, Waqar, & Rahman, 2019)</p>	<p>Con el avance de la tecnología y el inicio de vehículos inteligentes y ciudades inteligentes, cada vehículo puede comunicarse con los otros vehículos, ya sea directamente o mediante redes ad-hoc. Por lo tanto, dichas plataformas se pueden utilizar para difundir información de tiempo crítico. Sin embargo, en una situación ad-hoc, la cobertura de información se puede restringir en situaciones en las que no hay un vehículo de retransmisión disponible. Además, la información crítica debe entregarse dentro de un período específico de tiempo; por lo tanto, la difusión oportuna de mensajes es extremadamente importante. Por lo tanto, las técnicas basadas en esquemas de difusión pueden causar congestión ya que todos los destinatarios retransmiten el mensaje y los vehículos reciben múltiples copias de los mismos mensajes.</p>	<p>En este documento, propone una técnica de difusión de datos que utiliza un mecanismo de barrera de tiempo para reducir la sobrecarga de mensajes que pueden saturar la red. La solución propuesta se basa en el concepto de un súper nodo para difundir los mensajes a tiempo. Además, para evitar la transmisión innecesaria que también puede causar el problema de la tormenta de transmisión, la técnica de barrera de tiempo está adaptada para manejar este problema.</p>	<p>Un artículo importante que apalanca el análisis sobre la difusión eficiente de mensajes de emergencia.</p>
6	<p>Esquemas de difusión de mensajes de emergencia basados en la prevención de la congestión en VANET y en la computación FoG vehicular. (Ullah, Yaqoob, & Imran, 2018)</p>	<p>Con el rápido crecimiento de los vehículos conectados, la red ad hoc vehicular asistida por FoG (VANET) es un campo de investigación emergente y novedoso. Para compartir información, se intercambian una serie de mensajes en varias aplicaciones, incluido el monitoreo del tráfico y el monitoreo del clima en vivo y los aspectos sociales específicos del área. Es bastante difícil donde la velocidad, la dirección y la densidad de los vecinos en movimiento de los</p>	<p>Este documento presenta esquemas de difusión de mensajes de emergencia que se basan en el escenario para evitar la congestión en VANET y la computación FoG vehicular. Del mismo modo, se explora la arquitectura VANET asistida por FoG que puede gestionar de manera eficiente los escenarios de congestión de mensajes.</p>	<p>Similar al artículo anterior, es una mejora de difusión de mensajes para evitar la congestión de la VANET, pero asistida por la computación en la niebla (FoG).</p>

		vehículos no son consistentes. En este escenario, evitar la congestión también es bastante difícil para evitar la pérdida de comunicación durante las horas ocupadas o en casos de emergencia.	
--	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Fuente: Roberto Marcillo

2.4. REDES AD - HOC VANET

2.4.1. JERARQUÍA

En general, la simulación de redes de datos ha tenido un gran auge, situación especial de las VANET's que necesitan de un simulador de red y uno de movilidad que trabajen con el mismo lenguaje de programación y en tiempo real en el mejor escenario posible.

Como se muestra en la Figura 10, las redes ad – hoc vehicular VANET¹⁰ son parte del subgrupo de redes móviles MANET's, y éstas pertenecen al grupo mayor de redes inalámbricas ad – hoc WANET's.

¹⁰ Ad-hoc: Vocablo que significa "para este propósito" por necesidad. Es un tipo de red inalámbrica no centralizada, independiente de infraestructura previa, posibilita flexibilidad y autonomía debido al principio de autoconfiguración (Mercado, Berrios, & Chan Ye, 2003)

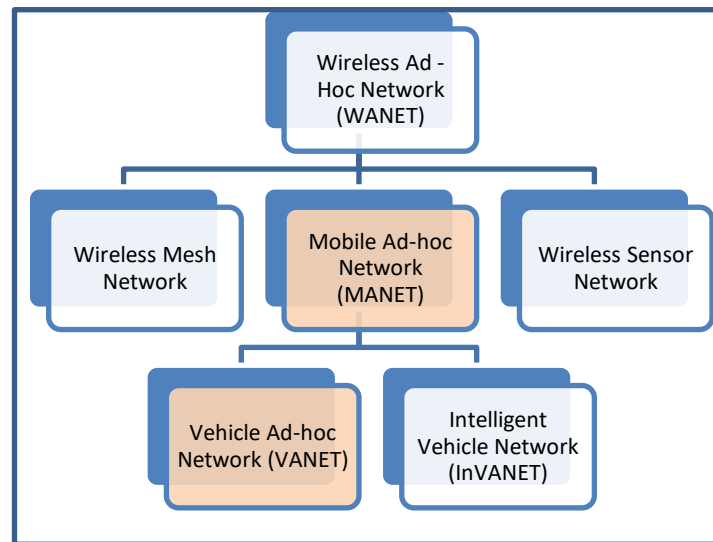


Figura 10. Jerarquía de redes inalámbricas Ad – Hoc
Fuente: (Cerezo, 2012)

Una red ad-hoc vehicular VANET puede manejar cuatro tipos de comunicación: vehículo a vehículo (V2V); Vehículo a peatón (V2P), vehículo a infraestructura (V2I), y vehículo a red (V2N), como se visualiza en la Figura 11.

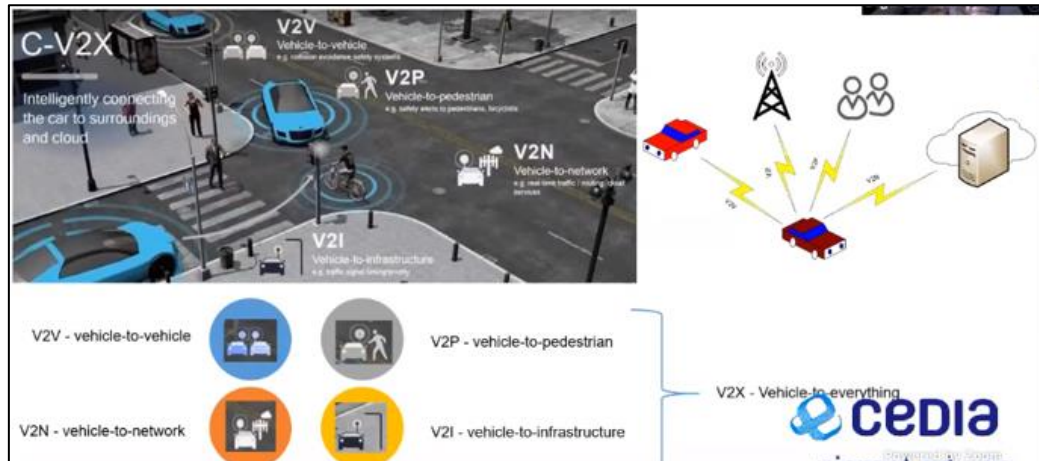


Figura 11. Comunicaciones Vehículo a objeto V2X
Fuente: (González, 2020)

Cada unidad del vehículo es un nodo móvil, incluida una unidad a bordo (OBU), que permite la comunicación y aplicación inalámbrica (AU) a través de sensores internos como ubicación geográfica GPS, velocidad, frenado, aceleración y fatiga. Los nodos estáticos (RSU) son estaciones fijas instaladas en ubicaciones específicas. Son infraestructura móvil (4G / 5G), que se utiliza para enviar y recibir información (datos) enrutada al vehículo, como se indica en la Figura 12 que trata de esta tecnología V2X.

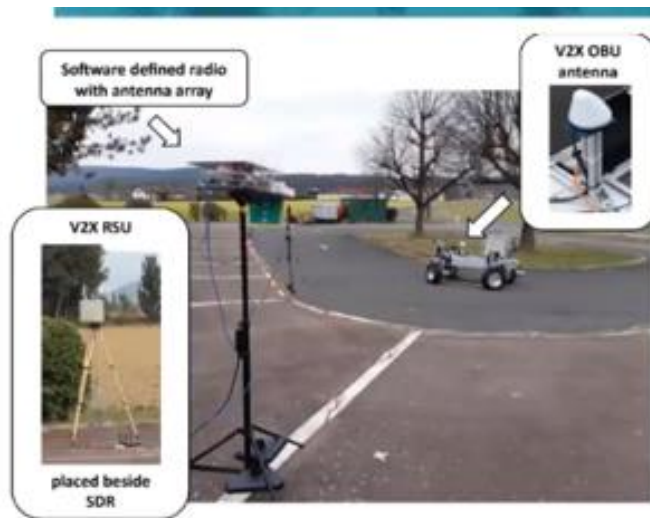


Figura 12. Tecnología V2X
 Fuente: (González, 2020)

2.4.2. ARQUITECTURA

Las redes ad-hoc vehiculares VANET´s tienen múltiples áreas de aplicación, tales como: seguridad vial en ciudades y carreteras; servicios públicos para responder a emergencias; conducción mejorada para la seguridad y eficiencia del tráfico; debido a que puede acceder a Internet en tiempo real; se usa en negocios, y en el campo del entretenimiento.

Tabla 7. Campos de aplicación y ejemplos de uso en una VANET

Parámetros	Propósito	Ejemplo
Seguridad Vial	Carreteras peligrosas	Advertencias de intersecciones
	Condiciones anormales de tráfico	Advertencia de zona de obras
	Peligro de colisión	Advertencia de ángulo muerto: cambio de carril, peatones que se cruzan
	Aviso de incidente	Alerta de colisión ya ocurrido. Aviso SOS
Servicio público	Respuesta de emergencia	Alerta de vehículo de emergencia, señal de anticipación
	Apoyo a las autoridades	Matrícula o licencia de conducir electrónica
Mejora de la conducción	Mejora de la conducción	Asistente de carretera o giro

	Eficiencia de tráfico	Notificación accidentes: guía de ruta y navegación; aparcamientos
Negocios y entretenimiento	Mantenimiento de vehículos	Diagnósticos remotos, avisos de seguridad
	Servicios móviles	Internet: notificaciones de puntos de interés
	Soluciones empresariales	Gestión de flotas; alquiler; seguimiento de la carga.

Fuente: (Cerezo, 2012)

La propuesta de este trabajo de investigación es la utilización de una red ad – hoc vehicular VANET para el control de tráfico vehicular en el centro de la ciudad Ibarra.

2.4.3. ESTÁNDARES

2.4.3.1. ESTÁNDAR IEEE 802.11p

El estándar se ejecuta en el espectro de 5,90 GHz y 6,20 GHz y es particularmente adecuado para comunicaciones de vehículos dedicadas de corto alcance (DSRC). La tecnología DSRC permite el intercambio de datos entre vehículos y con infraestructuras en la vía. Adicional, incluye WAVE (*wireless access in vehicular environments*), un sistema de comunicación inalámbrica vehicular. Esta mejora se utiliza ampliamente en la realización de Sistemas de Transporte Inteligentes (STI).

Para las comunicaciones inalámbricas, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) maneja la estandarización. Para los sistemas de transporte inteligente (STI), fue la agencia reguladora de comunicaciones más alta de los Estados Unidos en 1997. La Comisión Federal de Comunicaciones FCC (*Federal Communications Commission*) asignó la banda de frecuencia de 5,9 GHz y el ancho de banda de 75 MHz, es decir, un espectro de 5,850 a 5,925 GHz para los servicios de comunicación de corta distancia.

Luego, con el desarrollo de las comunicaciones móviles, se estableció un grupo de trabajo especial para estudiar la capa física y la subcapa MAC y su red de área local inalámbrica (WLAN) con el estándar IEEE 802.11. Para entornos de red o vehículos, la extensión de esta norma es el estándar IEEE 802.11p. Unos años más tarde, se estableció el grupo IEEE

1609 para estudiar en capas superiores, el acceso inalámbrico en las redes vehiculares WAVE. Se analiza su relación con la arquitectura OSI, en la Figura. 13.

Aplicación	Capa 7	IEEE 1609
Presentación	Capa 6	
Sesión	Capa 5	
Transporte	Capa 4	
Red	Capa 3	
Enlace	Capa 2	IEEE 802.11p
Física	Capa 1	

Figura 13. Estándar IEEE 802.11p - Arquitectura OSI
Fuente: (Cerezo, 2012)

En la Figura 14 se muestra esta tecnología inalámbrica y la pila de protocolos, así: la capa física (PHY), la Entidad de Gestión de Capa Física (PLME) y la capa de control de acceso al medio (MAC) que el estándar IEEE 802.11p las define. La entidad de gestión de capa MAC (MLME), está gestionada por el protocolo 1609.4 que admite la operación multicanal y la conmutación de canales, que pueden proporcionar administración y coordinación en el espectro de frecuencia asignado. Por otra parte, la subcapa de control de enlace lógico (LLC) se define por el protocolo IEEE 802.2, permite la administración, garantizar la integridad y confiabilidad de la transmisión de datos.

OSI Model	Data Plane	Management Plane
Layer 4	Resource Manager (IEEE 1609.1) UDP/TCP (IEEE 1609.3) WSMP (IEEE 1609.3)	WME (IEEE 1609.3) Security Services (IEEE 1609.2)
Layer 3	IPv6 (IEEE 1609.3)	
Layer 2	LLC (IEEE 1609.3)	
Layer 1	Multichannel Operation (IEEE 1609.4) WAVE MAC (802.11p) WAVE PHY (802.11p)	MLME Extension (IEEE 1609.4) MLME (802.11p) PLME (802.11p)

Figura 14. Pila de Protocolos – WAVE
Fuente: (Orozco & Llano, 2014)

La capa de red WAVE utiliza IPv6 y, para la capa de transporte, utiliza el protocolo UDP / TCP. Además, se puede observar que para el protocolo de mensajes cortos WAVE (WSMP), utiliza el protocolo IEEE 1609, del cual 1609.2 se encarga del intercambio seguro de datos, y 1609.3 se utiliza para servicios de red y enrutamiento, que brinda una opción para IPv6. Finalmente, en la parte superior de la pila de protocolos WAVE, este

1609.1 es responsable de administrar los recursos que interactúan con la OBU como nodo de vehículo. (IEEE, 2010)

El canal de control CCH (*Control Channel*) posibilita la sincronización de los dispositivos y está especificado de esta manera por el subestándar IEEE 1609.4. Se logra esta sincronización, a través de una fuente de tiempo común entre dispositivos, es una señal del sistema de posicionamiento global (GPS) asociada con su UTC (Tiempo Universal Coordinado). Cuando todos los dispositivos se han sincronizado, IEEE 1609.4 determina que el tiempo se divide en slots para el canal de control y los canales de servicio SCH (*Service Channels*), como se muestra en la Figura 15.

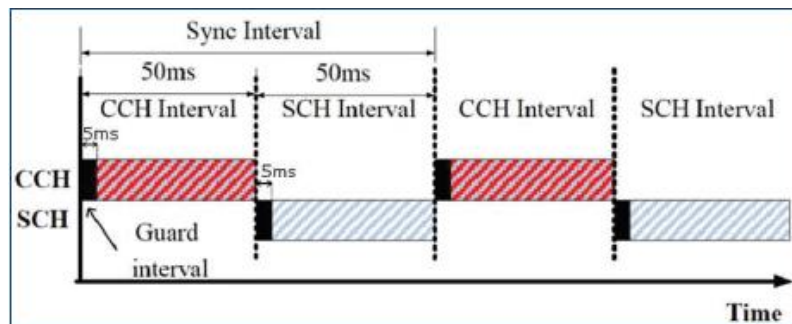


Figura 15. Canal Común – intervalos

Fuente: (Marousek, Khijniak, Zhang, & Xiang, 2008)

El estándar IEEE 802.11p y sus especificaciones se circunscriben en las dos capas inferiores: Física y Enlace del modelo de referencia OSI. En el siguiente numeral, se analizarán brevemente las principales características sobre la capa Física y la subcapa MAC.

2.4.3.1.1. CAPA FÍSICA

Como se indica en la Figura 16, la capa Física se divide en dos subcapas: subcapa de función de convergencia PLCP (*Physical Layer Convergence Protocol*), que muestra la velocidad de datos y la longitud del paquete de datos, además acondiciona la unidad de datos de protocolo MAC MPDU (*MAC Protocol Data Unit*) para conformar una unidad de datos para el protocolo de capa física PPDU (*Physical Layer Protocol Data Unit*). Y la subcapa que depende del medio físico PMD (*Physical Medium Dependent*) establece los métodos de transmisión y recepción utilizando medios de comunicación inalámbricos.

DLC	MSDU	Logic Link Control (LLC)
	MPDU	Medium Access Control (MAC)
PHY	PSDU	Physical Layer Convergence Protocol PLCP
	PPDU	Physical Medium Dependent PMD

Figura 16. IEEE 802.11- Subcapas
Fuente: (IEEE, 2012)

El DSRC en el estándar inalámbrico IEEE 802.11 se designa como IEEE 802.11p WAVE. La capa física asociada es una variante de IEEE 802.11a, por lo que utiliza diferentes tipos de modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Modulation*), como: Fase binaria- BPSK (*Binary Phase Shift Keying*); Fase en cuadratura QPSK (*Quadrature Phase-Shift Keying*); Amplitud en Cuadratura 16QAM (*16 Quadrature Amplitude Modulation*) y 64QAM (*64 Quadrature Amplitude Modulation*). Adicional, utiliza diferentes tasas de codificación convolucional (R), como se puede apreciar en la Tabla 8. Se dispone de 64 subportadoras, de las cuales 52 son para transmisión que incluyen 48 para datos y 4 como pilotos para rastrear el offset o desplazamiento de frecuencia¹¹ y el ruido de fase¹² (Miao L. , Djouani, Van Wyk, & Y., 2012)

Tabla 8, Tipos de modulación OFDM y Codificación (R).

MODULATION	CODING RATE (R)	CODED BITS PER SUBCARRIER (N _{BPCS})	CODED BITS PER OFDM SYMBOL (N _{CBPS})	DATA BITS PER OFDM SYMBOL (N _{DBPS})	DATA RATE (Mb/s) (10 Mhz channel spacing)
BPSK	1/2	1	48	24	3
BPSK	3/4	1	48	36	4.5
QPSK	1/2	2	96	48	6
QPSK	3/4	2	96	72	9
16 - QAM	1/2	4	192	96	12
16 - QAM	3/4	4	192	144	18
64 - QAM	2/3	6	288	192	24
64 - QAM	3/4	6	288	216	27

Fuente: (Miao L. , Djouani, Van Wyk, & Y., 2012)

¹¹ Desplazamiento de frecuencia (offset): Mínima variación de la frecuencia original para disminuir la interferencia entre transmisores que utilizan el mismo canal.

¹² Ruido de fase: Componentes adicionales que se agregan a la portadora principal utilizada, con frecuencias y amplitudes aleatorias que no permiten distinguir la información original y se aumentan en todo el proceso de amplificación del sistema.

Dado que IEEE 802.11p usa un canal de 10 MHz en lugar de los 20 MHz que usa IEEE 802.11a, la influencia de la propagación Doppler se puede reducir, por lo que, como se muestra en la Tabla 9, se duplican varios parámetros de sincronización, así se tiene en: el intervalo de la banda de guarda, la duración del símbolo OFDM y los componentes de la trama tales como el campo de preámbulo PLCP, y el campo de señal.

Tabla 9. Parámetros de sincronización

Parameter	Value (20 MHz channel spacing)	Value (10 MHz channel spacing)
$T_{PREAMBULE}$: PLCP preamble duration	$16\mu s (T_{SHORT} + T_{LONG})$	$32\mu s (T_{SHORT} + T_{LONG})$
T_{SIGNAL} : Duration of the SIGNAL BPSK - OFDM symbol	$4.0\mu s (T_{GI} + T_{FFT})$	$8.0\mu s (T_{GI} + T_{FFT})$
T_{GI} : GI duration	$0.8\mu s (T_{FFT}/4)$	$1.6\mu s (T_{FFT}/4)$
T_{GI2} : Training symbol GI duration	$1.6\mu s (T_{FFT}/2)$	$3.2\mu s (T_{FFT}/2)$
T_{SYM} : Symbol interval	$4\mu s (T_{GI} + T_{FFT})$	$8\mu s (T_{GI} + T_{FFT})$
T_{SHORT} : Short training sequence duration	$8\mu s (10 \times T_{FFT}/4)$	$16\mu s (10 \times T_{FFT}/4)$
T_{LONG} : Long training sequence duration	$8\mu s (T_{GI2} + 2 \times T_{FFT})$	$16\mu s (T_{GI2} + 2 \times T_{FFT})$

Fuente: (IEEE, 2012)

Como se aprecia en la Figura 17, WAVE gestiona 7 grupos de canales en la banda de frecuencia de 5.850 a 5.925 GHz. En el área de baja frecuencia, reserva 5 MHz para dar un margen de seguridad en la banda. Se priorizan los canales extremos 172 y 184 para aplicaciones importantes y de seguridad pública. El canal de control CCH 178 se asigna la frecuencia de 5.890 GHz, y a su lado están los canales de servicio SCH 174, 176, 180 y 182, utilizados para transmitir datos para el servicio y tienen baja prioridad, que sucede posterior de la negociación del canal de control. Para tener un mayor ancho de banda (AB), los canales 174 y 176 se combinan para producir el canal 175 de 20 MHz, y de la misma manera ocurre en los canales 180 y 182 que forman el canal 181 de 20 MHz. (Miao L. , Djouani, Van Wyk, & Y., 2012)

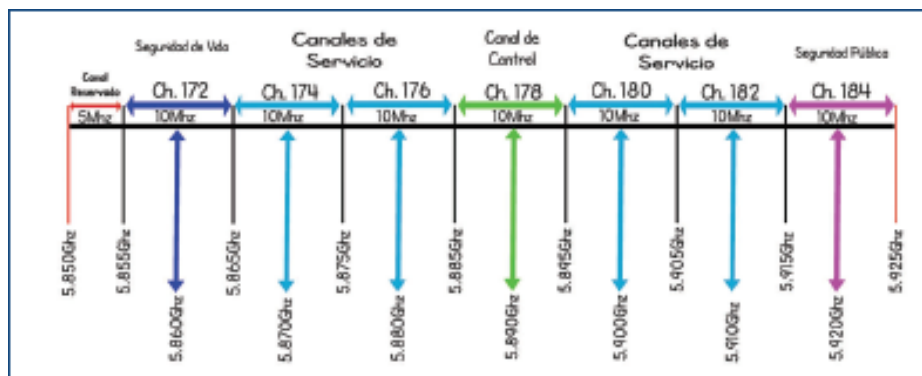


Figura 17. Banda de frecuencia reservada para 802.11p
Fuente: (Miao L. , Djouani, Van Wyk, & Y., 2012)

El consorcio de comunicaciones de seguridad vehicular VSCC (*Vehicle Safety Communication Consortium*) determina que el retardo máximo de WAVE es de 100 milisegundos, que es muy alto en comparación con el retardo de 36 milisegundos en WIFI (*Wireless Fidelity*). Una latencia (retardo) más alta provocará una degradación del rendimiento de la red; se supone que esto se tiene en cuenta porque en la comunicación V2V, los paquetes de datos se pierden debido a la alta densidad de nodos y al movimiento de vehículos. El intervalo de sincronización de canal incluye un tiempo de guarda de 5 ms, un intervalo de canal de control de 50 ms y un canal de servicio que toma el mismo período de tiempo, como se muestra en la Figura 17 (Marousek, Khijniak, Zhang, & Xiang, 2008).

El estándar IEEE 802.11p se utiliza con nodos que manejan tiempos de comunicación muy cortos y altas velocidades, por lo que maneja un conjunto de servicios básicos específicos de WAVE, llamado WBSS (*Wave Basic Service Set*). Para optimizar la asociación entre el vehículo y el conjunto de servicios, el proveedor correspondiente enviará periódicamente un mensaje WSA (*Wave Service Advertisement*) en el canal de control CCH. Este mensaje contiene la información básica que permita que el usuario se una al BSS (*Basic Service Set*). El mensaje de anuncio de WSA tiene: BSSID (Identificador de conjunto de servicios básicos), disponibilidad del servicio WBSS, información de sincronización, etc. WSA no realiza los procedimientos típicos de exploración, autenticación y asociación porque siempre están disponibles para mejorar la eficiencia y el rendimiento de la recepción y transmisión de datos (Marousek, Khijniak, Zhang, & Xiang, 2008).

La Figura 18 muestra la subcapa PLCP de la capa física en el estándar IEEE 802.11p. La subcapa establece el formato de la trama PPDU (*Physical Layer Protocol Data Unit*), que agrega preámbulo, encabezado (*header*), bits de cola (*tail*) y relleno (*padding*). En comparación con IEEE 802.11, los parámetros de tiempo se duplican y son cambios más obvios en el formato de trama indicado.

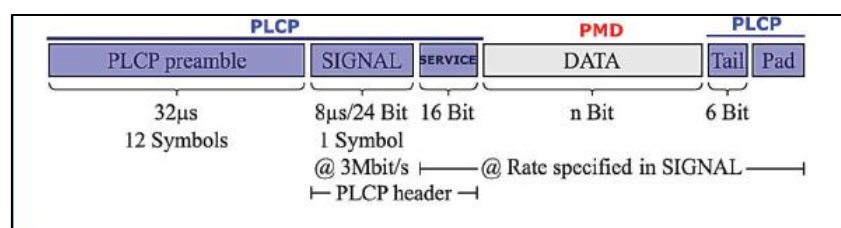


Figura 18. IEEE 802.11p – Trama PPDU
Fuente: (Eckhoff & Sommer, 2012)

En esta Figura 18, por otro lado, se muestran los bloques constitutivos de la trama PPDU. El campo de preámbulo PLCP gestiona 12 símbolos con una duración de 32 μ s. para la sincronización entre el transmisor y el receptor, y se utiliza para seleccionar la antena adecuada en tiempo y frecuencia. El encabezado PLCP incluye los siguientes campos: señal (señal) con un símbolo OFDM de 24 bits y 8 μ s de duración, y de servicio; los subcampos del bloque de señal son: la velocidad (tasa) utilizada, en Mbps (4 bits) Para la unidad (4 bits), el bit usado a futuro en cero (1 bit), el número de bits de longitud de la (12 bits), el bit de paridad para evitar la corrupción de datos, y el código convolucional que termina con un bit en cero (6 bits), (IEEE, 2012).

El encabezado PLCP que contiene el campo de servicio tiene 16 bits, numerados del 0 al 15. Los bits primeros del 0 al 6 se utilizan para sincronizar el decodificador en el receptor, y los bits restantes del 7 al 15 están reservados. El final de la trama PPDU tiene seis bits, que se enceran para hacer que el código convolucional regrese a cero, mejorando así la corrección de errores hacia delante FEC (*Forward Error Correction*). Finalmente, el campo de relleno dispone de un número variable de bits para ampliar la información no codificada.

2.4.3.1.2. Subcapa MAC

El estándar IEEE 802.11p tiene una variante de IEEE 802.11e en términos de subcapas de acceso a medios (MAC) y calidad de servicio (QoS). Este última maneja una función de coordinación híbrida HCF (*Hybrid Coordination Function*) y dos mecanismos con mejor acceso al medio, que utilizan EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*) definido en 2007, éste requiere comunicación en tiempo real y cumple con los requisitos de QoS. El grupo al que se le atribuye el QoS se denomina categoría de acceso (AC), en orden de prioridad, son: a) voz (VOI, voz), b) video (VI, video), c) mejor esfuerzo (BE, mejor esfuerzo) Yd) Antecedentes (BK, antecedentes), (Mayné, 2005), como se pueden visualizar en la Tabla 10.

Tabla 10. Parámetros EDCA - Categorías de Acceso

AC	CWmin	CWmax	AIFSN	TXOP Limit OFDM/CCK- OFDM PHY
AC_BK	aCWmin	aCWmax	9	0
AC_BE	aCWmin	aCWmax	6	0
AC_VI	$(aCWmin+1)/2-1$	aCWmin	3	0
AC_VO	$(aCWmin+1)/4-1$	$(aCWmin+1)/2-1$	2	0

Fuente: (IEEE, 2010)

Además, EDCA es una solución para que los nodos envíen múltiples paquetes de datos a la vez, ya que, no requiere poner en cola cada AC como en IEEE 802.11a, pero puede procesar una cola mediante la combinación AC y el tipo de canal; se consigue esto con una composición de ocho colas, cada una controlada por la función EDCAF (*Enhanced Distributed Channel Access Function*). Al llegar las tramas a la subcapa MAC, se clasificarán según su prioridad, y luego la diferencia de tráfico será determinada por los diferentes parámetros de acceso a medios de cada AC, (Eckhoff & Sommer, 2012) y (Mayné, 2005), según estos se tiene:

- El número de espacios arbitrarios entre tramas AIFSN (*Arbitration InterFrame Space Number*)
- La ventana de contención mínima y máxima $CWmin$ & $CWmax$ (*Contention Window*)
- La oportunidad de transmisión TXOP (*Transmission Opportunity*)

Es importante tener en cuenta que EDCA utiliza acceso múltiple de canal con función de detección de portadora y prevención de colisiones CSMA / CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*), y se basa en la transmisión, dependiendo del intervalo AIFS disponible para cada AC en un tiempo específico de Backoff., utilizado para retrasar el envío de datos cuando el canal está ocupado (Miao L. , Djouani, Van Wyk, & Y., 2012).

En la figura 19, se indica la evolución de la estandarización de la tecnología *Vehicle to Everything* (V2X) que lo instaure la FCC de los Estados Unidos en el año 1999 asignando la banda de 5.9 GHz para los Sistemas de Transporte Inteligente STI, con el estándar

DSRC (802.11p). En el 2008 la ETSI también acoge esta banda de 5.9 GHz. En el 2017 se dan las primeras especificaciones a comunicaciones 4G / LTE C-V2X. En el 2019 hay una variación con el estándar IEEE (802.11bd) para servicios V2X avanzados. Por último, para este 2020 se cuenta con las primeras especificaciones V2X para redes 5G, denominada 5G NR C-V2X.

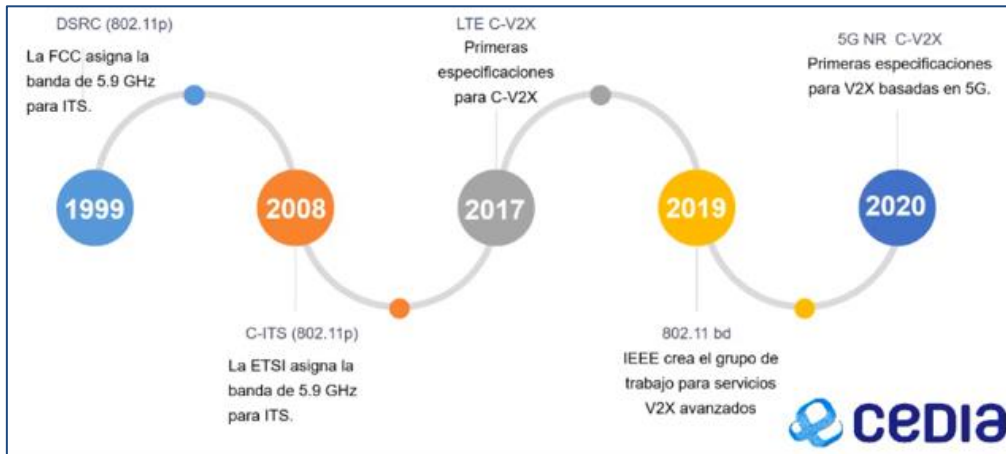


Figura 19. Proceso de Estandarización V2X
Fuente: (González, 2020)

En el Ecuador, la Agencia de Control y Regulación de Telecomunicaciones ARCOTEL es el organismo análogo a la FCC, por tanto, acoge este estándar IEEE 802.11p para redes vehiculares de comunicación inalámbrica. Esto está establecido en el Plan Nacional de Frecuencias y se lo puede ver en la Tabla 11.

Tabla 11. Asignación de banda y atribución de frecuencias

5570-6700 MHz				
REGIÓN 2		ECUADOR		
Banda	Atribución	Banda	Atribución	Norma técnica relacionada
5850 - 5925	FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio - Tierra) MÓVIL Aficionados Radiolocalización 5.150	5850 - 5925	FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio - Tierra) MÓVIL Aficionados Radiolocalización 5.150	

Fuente: (ARCOTEL, 2017)

2.5.DESCRIPCIÓN DE SIMULADORES UTILIZADOS

2.5.1. SUMO

El Simulador de Tráfico Urbano SUMO (*Urban Traffic Simulator*) es un paquete de software de simulación de tráfico de vehículos de código abierto, que incluye componentes de red y modulación bajo demanda, que se puede utilizar para describir el estado del modelo de transporte de vehículos, y el comportamiento que siguen los

vehículos en las calles y vías, esto con las acciones de: acelerar, desacelerar, adelantar a otros vehículos adyacentes, entre otros.

Además, al permitir la manipulación de parámetros relevantes, como la selección de rutas, algoritmos de posicionamiento de señales de tráfico, comunicación inalámbrica de vehículos, uso de varios tipos de vehículos, etc., estas simulaciones permiten gestionar el tráfico de vehículos de una forma más eficaz (Olivares Gallego, 2015). Vehículos interactuando en mapas reales geo-referenciados, etc. Por las características de estas indicaciones, el software SUMO ha sido utilizado en diferentes proyectos para probar la respuesta automática y estrategias de gestión del tráfico para observar el comportamiento del tráfico de uno o más vehículos al mismo tiempo (Mena, Urquiza, Calderón, & Zambrano, 2018).

Este software SUMO está desarrollado en el lenguaje de programación C ++, permite la creación e importación de mapas, y se basa en la identificación de nodos cuyos números representan el sistema de coordenadas de latitud y longitud WGS8410. Estos nodos se conectan mediante un esquema de aristas que representan las calles, que se utilizan para ubicar los puntos de inicio, intermedio y final de una trayectoria. Esto se debe a que el vehículo programado sigue una ruta regida por un modelo de automóvil seguidor (un robot móvil que sigue un camino establecido por una línea recta); además, se utilizan números de aristas secuenciales en el mapa para crear un camino (Caiza, 2017). Se lo visualiza en la Figura 20.



Figura 20. Interfaz y herramientas de SUMO
Fuente: (Caiza, 2017)

2.5.2. OMNeT++

OMNeT ++ es un simulador de eventos discretos basado en el lenguaje de programación C ++, utilizado para modelar redes de comunicación, multiprocesadores y otros sistemas distribuidos o paralelos. OMNeT ++ es de código abierto y se puede utilizar bajo la Licencia Pública General GNU, o bajo su propia licencia, lo que hace que el software sea de uso gratuito sin ningún lucro. La motivación para desarrollar OMNeT ++ es producir una poderosa herramienta de simulación de eventos discretos de código abierto que pueda ser utilizada por departamentos académicos de negocios, educación u orientados a la investigación en las instituciones para simular redes de computadoras y sistemas distribuidos. El software OMNeT ++ intenta llenar el vacío entre el software de simulación de código abierto orientado a la investigación y las costosas alternativas comerciales como OPNET (OPNET Technologies, Inc.) (Varga, 2001).

El modelo OMNeT ++ está compuesto por módulos que se comunican con los mensajes entregados. Los módulos activos se denominan módulos simples. Están escritos en C ++ y utilizan la clase de simulación biblioteca. Los módulos compuestos parten de la agrupación de modos simples. El número de niveles jerárquicos es ilimitado. Los conceptos de módulos simples y módulos compuestos son similares a los DEVS en el modelo atómico y el modelo acoplado (Zeigler 1990; Chow y Zeigler 1994). El mensaje se puede enviar a través de la conexión entre los módulos o directamente al módulo de destino.

Los módulos simples y los módulos compuestos son ejemplos de módulos de tipo. Al describir el modelo, el usuario define el tipo de módulo. Las instancias de estos tipos de módulos se utilizan como componentes de tipos de módulos más complejos. Finalmente, el usuario crea el sistema de módulos como una instancia del tipo de módulo definido previamente. Cuando se utilizan tipos de módulos como bloques de construcción, no hay diferencia entre un módulo simple o un módulo compuesto. Esta particularidad permite a los usuarios dividir de forma transparente un módulo simple en varios módulos simples en un módulo compuesto o, a la inversa, volver a implementar las funciones del módulo compuesto en un solo módulo sin afectar a los usuarios existentes. Se indica en la Figura 21, su arquitectura; y en la Figura 22 la pantalla principal de OMNeT++.

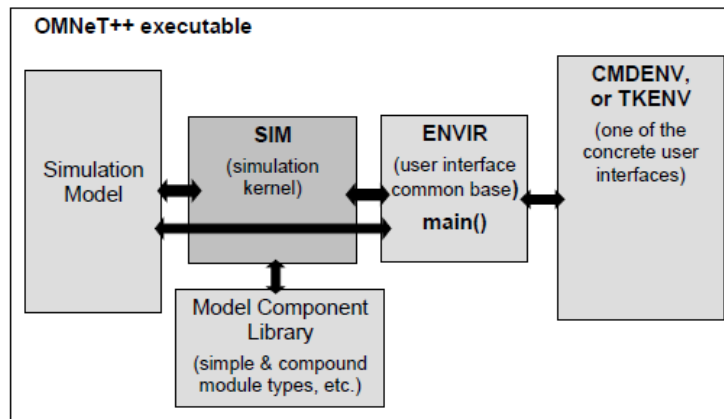


Figura 21. Arquitectura Lógica - simulación OMNeT++
Fuente: (Varga, 2001)

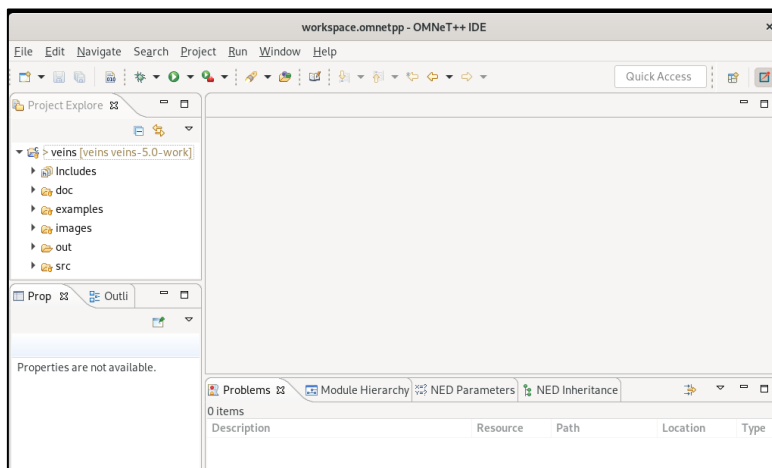


Figura 22. Pantalla principal de OMNeT++
Fuente: Roberto Marcillo

2.5.3. VEINS

Según trabajos mencionados anteriormente, el simulador de red vehicular es una solución para analizar y procesar el tráfico de vehículos en ambientes urbanos y rurales. Existen algunos simuladores de VANET, como: TraNS (Piórkowski et al., 2008), VEINS, GrooveNet (herramienta de simulación de red, 2020), MobiREAL (Higashino, 2020) pueden ser de tipo integrado (movilidad única y mecanismo de red), ó híbrido, que simplifica la interacción de mecanismos, como VEINS. En la Tabla 12, se comparan los simuladores.

Tabla 12. Comparación de Veins con otros simuladores de VANET

	Control de tiempo	Actualización	Software libre	Híbrido
Veins	SI	SI	SI	SI
TraNS	NO	NO	SI	SI
GrooveNet	NO	NO	SI	NO
MobiREAL	NO	NO	NO	SI

Fuente: (Caiza, 2017)

Se utilizará simulación VEINS (*Vehicles in Network Simulation*) que es un marco de código abierto para ejecutar simulaciones de redes vehiculares. Se basa en dos simuladores específicos: SUMO (*Simulation of Urban Mobility*), un simulador de tráfico vial; y OMNeT ++ (*Objective Modular Network Tester*) un simulador de red basado en eventos.¹³

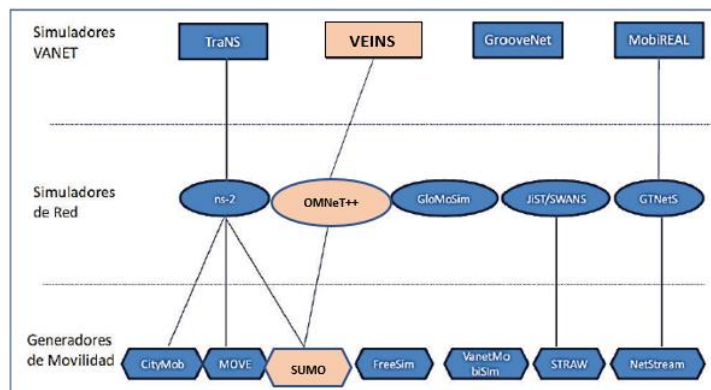


Figura 23. Simuladores de VANET´s híbridos e integrados
Fuente: (Cerezo, 2012)

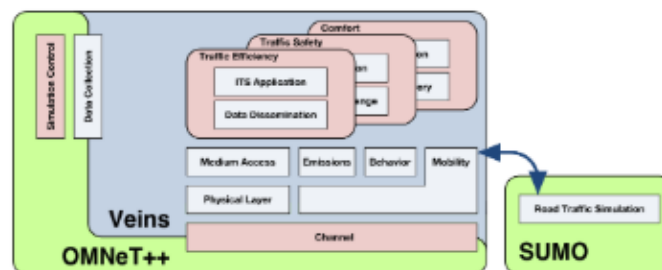


Figura 24. Modelo VEINS con SUMO Y OMNET++
Fuente: (Veins, 2020)

En el capítulo III se describirán a detalle estos tres simuladores vehiculares y de red, su instalación, ambientes principales, comandos de operación, y demás características.

¹³ <https://veins.car2x.org/>

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1.DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se realizará la investigación en el área urbana del centro histórico de la ciudad de Ibarra. El análisis se centrará sobre el tráfico vehicular en horas pico donde se produce congestión vehicular. Los datos provendrán de información que pueda suministrar el organismo competente de la movilidad vehicular en la ciudad de Ibarra, para este caso particular, MOVILDELNOR o el ECU 911.

3.2.ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es de tipo cuantitativa y cualitativa. Primero se va a realizar un análisis de los procesos que intervienen en la experimentación con redes ad-hoc vehiculares VANET's; posteriormente, se utilizarán parámetros definidos en el diseño de este tipo red para el caso de estudio propuesto, específico para a la medición del rendimiento de escenarios de tráfico en tiempo real sobre ambientes vehiculares virtuales.

En cuanto al tipo de investigación, se pueden asumir distintos criterios respecto a las fuentes de información. Así tenemos:

3.2.1. INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

Dado que utiliza principalmente artículos científicos, revistas especializadas y tesis afines a la propuesta, estos son de ayuda para la construcción del marco teórico desarrollado. Además, permite realizar un proceso de abstracción científica, generalizado basado en los fundamentos técnicos y tecnológicos que se plantean.

3.2.2. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Apoya a esta investigación, y evita emprender investigaciones ya existentes o similares, determinando el conocimiento y ubicación real sobre el tema de este proyecto y generar criterios de fundamentación científica, filosófica y legal. Además, permite la reutilización de experimentos que se han realizado en otros estudios si es necesario.

3.2.3. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

Se realizarán actividades intencionales en ambientes controlados (virtuales), con el fin de describir la causa – efecto que produce la investigación en particular.

3.2.4. INVESTIGACIÓN CORRELACIONAL

Para medir el grado de relación entre las variables que se manejan en esta investigación: Modelación y simulación de tráfico vehicular urbano, y el diseño de una red vehicular ad – hoc VANET.

3.3.PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN

3.3.1. DEDUCTIVO

“La deducción es un proceso que parte de un principio general ya conocido para inferir de él, consecuencias particulares” (Gutiérrez, 2006). Nos permitirá partir de modelos de simulación general OMNET ++ para redes de telecomunicaciones, y de SUMO un simulador para movilidad vehicular.

3.3.2. INDUCTIVO

“Este Método utiliza el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos particulares aceptados como válidos, para llegar a conclusiones cuya aplicación sea de carácter general.” (Bernal Torres, 2010). Permitirá hacer un análisis técnico; y para el diseño de la VANET se utilizarán datos estadísticos proporcionados por el organismo competente de la movilidad vehicular en la ciudad de Ibarra. Con los datos obtenidos, se pueden aplicar técnicas para inferir y determinar tendencias para los escenarios propuestos y condiciones conexas.

3.3.3. ANALÍTICO – SINTÉTICO

“El análisis consiste en descomponer en partes algo complejo, en desintegrar un hecho o una idea en sus partes, para mostrarlas, describirlas, numerarlas y para explicar las causas de los hechos o fenómenos que constituyen el todo” (Leiva Zea, 2010). Permitirá presentar requerimientos y parámetros utilizados para el diseño, que permitan el dimensionamiento de tráfico, los niveles de potencia a transmitir, niveles de interferencia,

dimensionamiento del canal, ubicación de las radios bases fijas y número de usuarios que soportará la red.

En definitiva, esta metodología de investigación permitirá alcanzar el objetivo general y los objetivos específicos planteados, y ofrecer una propuesta de solución a una problemática existente en la movilidad vehicular cuando se presentan situaciones de congestión.

3.4. CONSIDERACIONES ÉTICAS

Este trabajo de investigación será prudente, responsable, equitativo, autónomo y orientado a objetivos en beneficio de la ciudad de Ibarra. Toda la información obtenida será aprobada previamente por los participantes de la encuesta (autoridad competente, personal técnico, personal de apoyo).

De igual forma, si es necesario, cualquier apoyo o patrocinio externo tendrá sus propios compromisos bipartitos suscritos mediante cartas o actas de acuerdo.

3.5. MODELACIÓN Y SIMULACIÓN VEHICULAR

3.5.1. DESCRIPCIÓN

Como se había indicado en el Capítulo II, los simuladores de redes vehiculares son una solución para el análisis y tratamiento de tráfico vehicular en zonas urbanas y rurales. Si al excesivo número de vehículos en las urbes capitalinas, le acompañamos calles estrechas o con pocos carriles de circulación, la desatención de los conductores a las normas de tránsito, todo esto, provoca una congestión vehicular que debe ser tratada y controlada.

HARDWARE UTILIZADO

- Computador personal: AMD E2-1800 APU 1.7 [GHz] y RAM de 6 [GHz].

SOFTWARE UTILIZADO

- Sistema operativo: Windows 10 para AutoCAD y para la simulación.
- Modelo VEINS con los Programas: SUMO v0.25, OMNeT++ v. 5.6.2 (con los *frameworks* INET, MiXiM), Google Maps, OpenStreetMap, y AutoCAD 2D (2018).

3.5.1.1.INSTALACIÓN DE OMNeT++5

La instalación de OMNeT++ 5 se lo indica en el Anexo A – Instalación de simuladores.

3.5.1.2.INSTALACIÓN DE VEINS

La instalación de VEINS se lo indica en el Anexo A – Instalación de simuladores.

3.5.1.3.INSTALACIÓN DE SUMO 1.6.0

La instalación de SUMO 1.6.0 se lo indica en el Anexo A – Instalación de simuladores.

3.6.EXPERIMENTO DE CONTROL DE TRÁFICO VEHICULAR

Este experimento está orientado a establecer un área geográfica de análisis del centro de la ciudad de Ibarra, a través de información de la intensidad de tráfico vehicular que se tiene en la zona; utilizar el simulador de movilidad vehicular SUMO en esta área definida; e implementar la red de comunicación ad – hoc VANET. Luego, establecer los Escenarios de movilidad 1 sin VANET y 2 con VANET; realizar pruebas, obtener y analizar los resultados. Al final, determinar que la red ad - hoc VANET es una solución que permite el control de tráfico vehicular en horas pico en el centro de Ibarra. Lo indicado se esquematiza en la Figura 25.

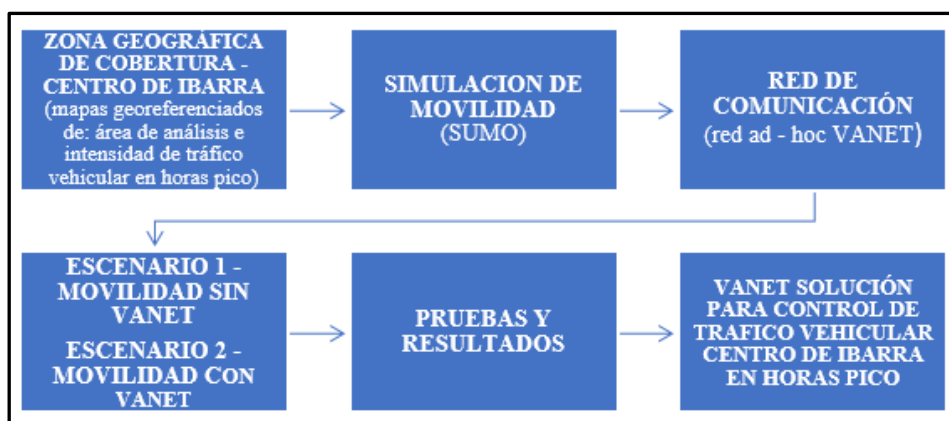


Figura 25. Diagrama de simulación de control de tráfico vehicular - Centro de Ibarra
Fuente: Roberto Marcillo

El control de tráfico vehicular para el Centro de la ciudad de Ibarra, a través de una red ad – hoc vehicular VANET necesita dos consideraciones principales: la movilidad vehicular que establece una intensidad de tráfico asociada a situaciones reales de la urbe

ibarreña; y una red de comunicación que permitan el flujo de datos a través de Unidades Fijas de Transmisión (RSU) y Unidades a bordo (OBU) instaladas en el área geográfica a ser analizada.

Para ello, se seleccionó para su análisis un área de cobertura de 2,2 km del centro de Ibarra. que es la zona donde se determina un nivel de movilidad vehicular con alto tráfico en horas pico. Esta área está delimitada por las calles Eusebio Borrero – Antonio José de Sucre – Av. Pérez Guerrero – Chica Narváez, como se puede visualizar en la Figura 26. Esta zona es útil y necesaria para manejar los simuladores de tráfico vehicular sin degradar el rendimiento, de esta manera la VANET que se propone, permite dar soluciones de movilidad, con el establecimiento de rutas alternas, a las utilizadas diariamente.

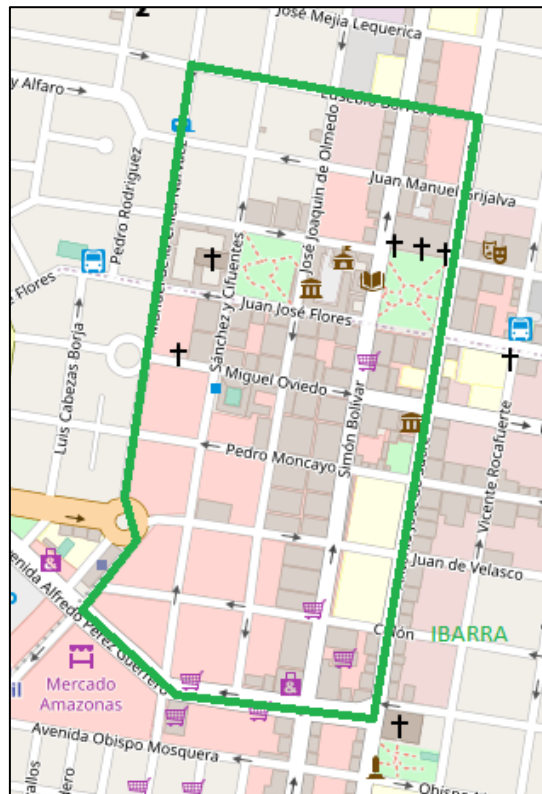


Figura 26. Área geográfica escogida del Centro de Ibarra
Fuente: Roberto Marcillo (OpenStreetMap)

Se utilizarán los siguientes programas de software: GOOGLE MAPS, OpenStreetMap, AUTOCAD 2D (2018), OMNeT++5, SUMO 1.6.0 (Framework INET, VEINS).

3.6.1. SIMULACIÓN DE MOVILIDAD

Una de las horas pico en el centro de Ibarra es a las 13H00, en la que hay salida de estudiantes de escuelas y colegios a sus casas; además, empleados del sector público y privado. Puede verse la intensidad del tráfico en ese momento utilizando una aplicación Google Maps¹⁴, que utiliza un mapa digital geo referenciado que tiene un código de intensidad de calor relacionado con los cambios en el tráfico de vehículos, que verían de color verde que es rápido a color vino que es lento, tal como se indica en la Figura 27.

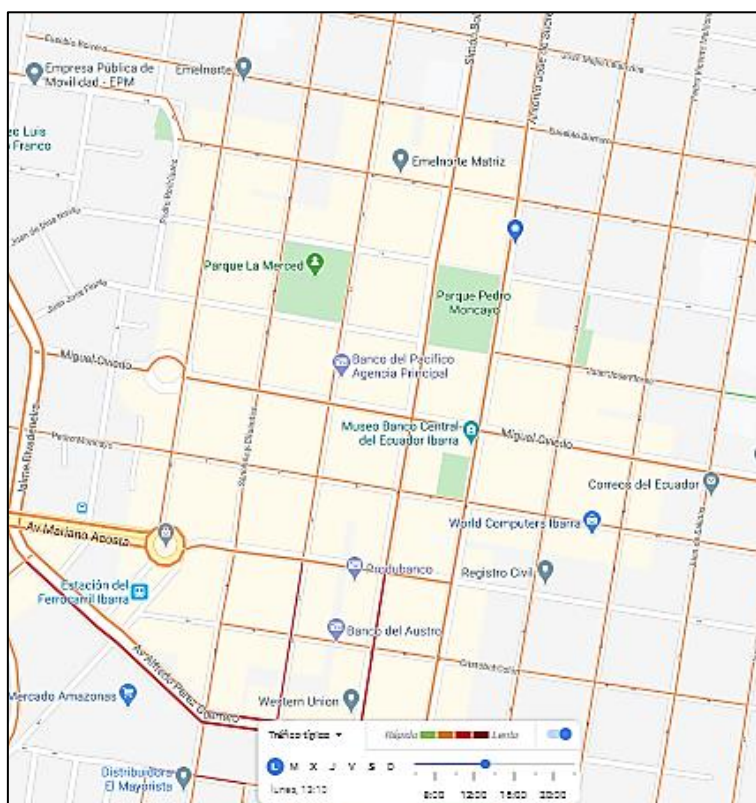


Figura 27. Intensidad de tráfico vehicular - Centro de Ibarra
Fuente: Roberto Marcillo

Una de las funciones de SUMO es la capacidad de importar mapas geo referenciados preestablecidos para evitar generarlos en este simulador. A través del software de acceso libre y sin licencia OpenStreetMap se puede determinar el área o cuadrante a analizar, en este caso, es el centro de la ciudad de Ibarra. Se utiliza la opción "Exportar" para generar el archivo `ibarra.osm`, que se puede almacenar en la carpeta SUMO, y que a través de una línea de comandos en el path `C:\Windows\System32\cmd.exe`, transformarlo en una base de datos `ibarra.net.xml`, tal como se indica en la Figura 28.

¹⁴ <https://www.google.com/maps/@0.3514799,-78.1183424,17z/data=!5m1!1e1?hl=es>

```

C:\Windows\System32\cmd.exe
Microsoft Windows [Versión 10.0.18363.959]
(c) 2019 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\Roberto\Desktop\Sumo_demo\OSM_RandomTrip>netconvert --osm-files ibarra.osm -o ibarra.net.xml
Warning: Discarding unknown compound 'railway.disused' in type 'railway.disused|usage.tourism' (first occurrence for edge
'200563640').
Warning: Discarding unknown compound 'usage.tourism' in type 'railway.disused|usage.tourism' (first occurrence for edge
'200563640').
Warning: Discarding unusable type 'railway.disused|usage.tourism' (first occurrence for edge '200563640').
Warning: Discarding unusable type 'railway.station' (first occurrence for edge '493361328').
Warning: The traffic light '2138309049' does not control any links; it will not be build.
Warning: Could not build program '0' for traffic light '2138309049'
Warning: The traffic light '2138309054' does not control any links; it will not be build.
Warning: Could not build program '0' for traffic light '2138309054'
Warning: The traffic light '662693841' does not control any links; it will not be build.
Warning: Could not build program '0' for traffic light '662693841'
Warning: The traffic light '662693847' does not control any links; it will not be build.
Warning: Could not build program '0' for traffic light '662693847'
Warning: Speed of straight connection '51962530#1_0->51962538#1_0' reduced by 6.25 due to turning radius of 10.62 (length
h=3.93, angle=37.95).
Warning: Speed of straight connection '51962500#5_0->51962524#0_0' reduced by 9.51 due to turning radius of 3.49 (length
h=1.07, angle=37.75).
Success.

```

Figura 28. Generación de archivo *ibarra.net.xml* a partir de archivo *ibarra.osm*

Fuente: Roberto Marcillo

Hasta el momento, se han creado dos archivos *ibarra.osm* e *ibarra.net*. Luego para establecer viajes y rutas en la red vehicular, se usa un script de Python. Se ubica el archivo en la carpeta *tools* de Sumo, se copia y pega en la carpeta *OSM_RandomTrips* donde se encuentran los otros archivos con extensión *.osm* y *.xml*.

Con la siguiente línea de código se crean los archivos *ibarra.rou* e *ibarra.rou.alt* que se usan para el script de rutas aleatorias donde se genera el tráfico vehicular. El archivo *trips.trips* contiene los viajes generados con un inicio y destino final. El archivo *ibarra.rou* indica el camino a seguir, es decir la ruta. Todos estos archivos son extensión *.xml*, como se puede visualizar en la Figura 29.

```

C:\Users\Roberto\Desktop\Sumo_demo\OSM_RandomTrip>py C:\Users\Roberto\Desktop\Sumo_demo\OSM_RandomTrip\randomTrips.py -n
ibarra.net.xml -r ibarra.rou.xml -e 100 -l
calling C:\Program Files (x86)\Eclipse\Sumo\bin\duarouter -n ibarra.net.xml -r trips.trips.xml --ignore-errors --begin
0 --end 100.0 --no-step-log --no-warnings -o ibarra.rou.xml
Success.

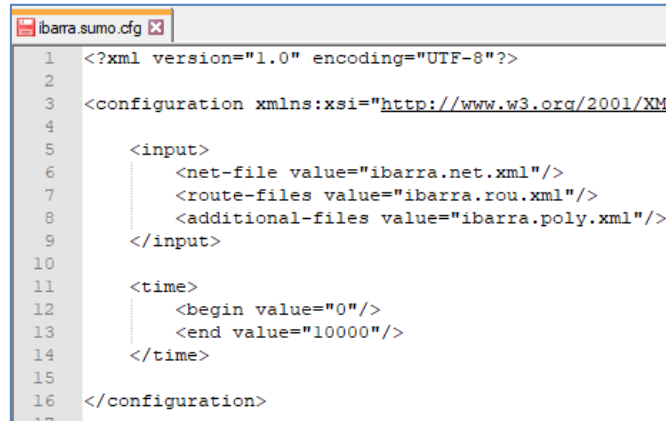
```

Nombre	Fecha de modificación	Tipo
ibarra.net	8/8/2020 15:43	Documento XML
ibarra.osm	8/8/2020 15:31	Archivo OSM
ibarra.rou.alt	8/8/2020 16:10	Documento XML
ibarra.rou	8/8/2020 16:10	Documento XML
randomTrips	28/4/2020 7:29	Python File
trips.trips	8/8/2020 16:10	Documento XML

Figura 29. Archivos *.osm* y *.xml* generados en *OSM_Random Trip*

Fuente: Roberto Marcillo

Al integrar los tres archivos *ibarra.net.xml* (mapa del centro de Ibarra), *ibarra.rou.xml* (rutas) e *ibarra.poly.xml* (los elementos referenciales del entorno); tenemos el archivo ejecutable *ibarra.sumo.cfg* para el interfaz de usuario **SUMO GUI**, como se puede ver en la Figura 30.



```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2
3 <configuration xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:schemaLocation="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
4
5   <input>
6     <net-file value="ibarra.net.xml"/>
7     <route-files value="ibarra.rou.xml"/>
8     <additional-files value="ibarra.poly.xml"/>
9   </input>
10
11   <time>
12     <begin value="0"/>
13     <end value="10000"/>
14   </time>
15
16 </configuration>
17
```

Figura 30. Interfaz SUMO GUI
Fuente: Roberto Marcillo

En la Figura 31 se indican todos los archivos que fueron generados a partir del *ibarra.osm*, y los posteriores archivos .xml, que permiten tener en SUMO, el área geográfica delimitada para el análisis del tráfico vehicular en el centro de la ciudad de Ibarra. El archivo ejecutable es *ibarra.sumo*.

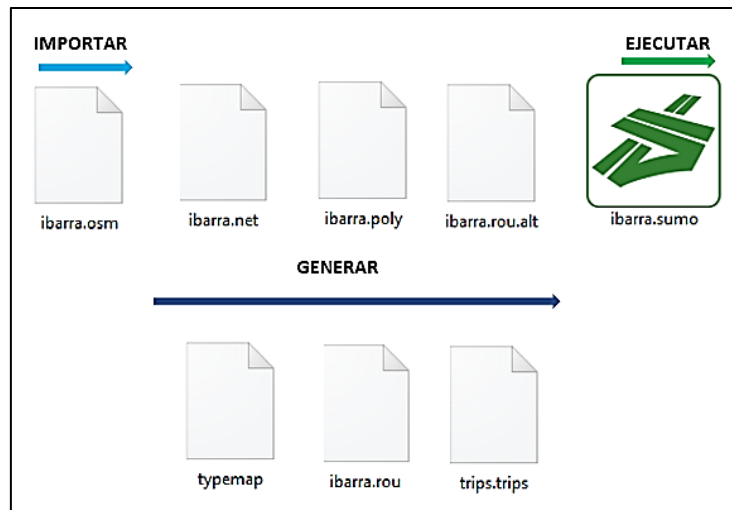


Figura 31. Archivos .osm y .xml generados en SUMO
Fuente: Roberto Marcillo

Con esto ya se dispone del Área delimitada del Centro de la ciudad de Ibarra, en el simulador SUMO, como se puede apreciar en la Figura 32.

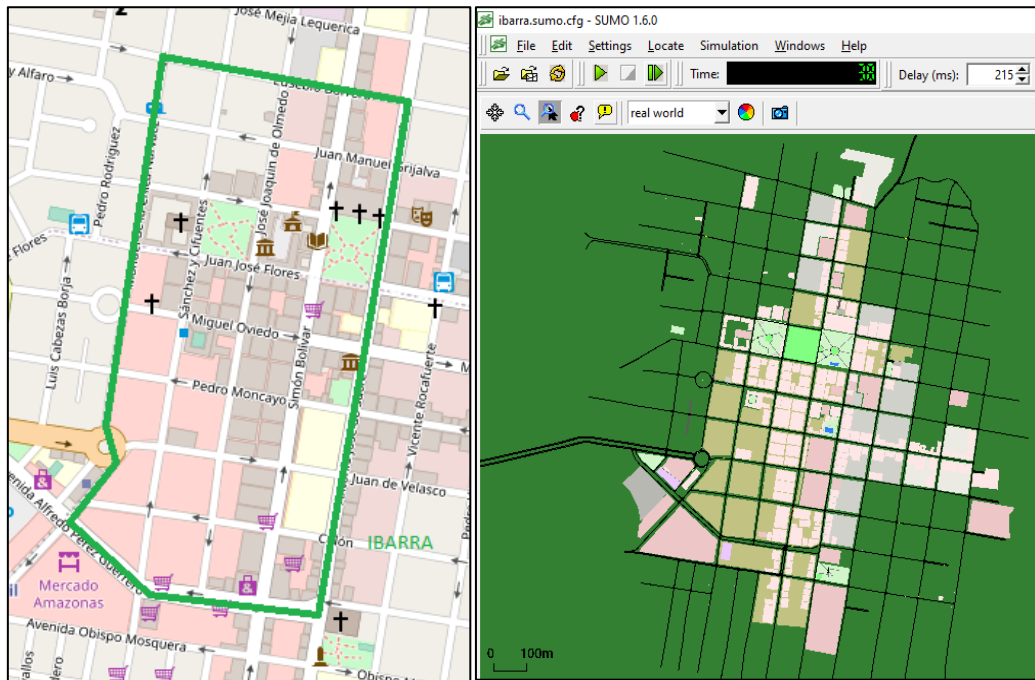


Figura 32. Área del Centro de la ciudad de Ibarra, en SUMO
Fuente: Roberto Marcillo

En el archivo `ibarra.rou.xml` se tiene el comando `vtype` en la línea de código 32, aquí se especifica los atributos de un vehículo: tipo, aceleración, desaceleración, longitud del automotor, más velocidad permitida. En las líneas de código de la 32 a la 37 se establecen las rutas donde se tiene mayor tráfico y que en horas pico se pueden generar congestión. A partir de la línea de código 39, se identifica los vehículos asignados a cada ruta específica, y que tienen un color característico para diferenciarlos. Se detallan en la Figura 33.

```

29
30
31 <routes xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/routes_file.xsd">
32   <vtype id="passenger/sedan" guiShape="passenger/sedan" accel="2.0" decel="4.0" sigma="0.5" length="3" maxSpeed="50"/>
33   <route id="route0" edges="53960640#0 51962380#0 51962380#1 51962380#2 51962380#3 51962380#4 51962380#5 51962380#6 51962380#7 51962380#8"/>
34   <route id="route1" edges="51961869#1 51961869#2 51961869#3 51961869#4 51961869#5 51961869#6 51961869#7 51961869#8 51961869#9"/>
35   <route id="route2" edges="51962506#1 51962506#2 51962506#3 51962506#4 51962506#5 51962506#6 51962506#7 51962506#8 51962506#9 51962506#10 53960640#2"/>
36   <route id="route3" edges="51962504#5 559240866#0 559240866#1 559240866#2 51962362#0 51961869#6 51961869#7 51961869#8 51961869#9 53960640#0"/>
37   <route id="route4" edges="51962504#7 39495334#3 39495334#4 39495334#5 39495334#0 39495334#1 52013531#0 51962391#4 51962391#5 51962391#6 51962391#7 51962391#8 51962391#9 51962391#10 51962391#11 51962391#12 51962391#13 51962391#14 51962391#15 51962391#16 51962391#17 51962391#18 51962391#19 51962391#20 51962391#21 51962391#22 51962391#23 51962391#24 51962391#25 51962391#26 51962391#27 51962391#28 51962391#29 51962391#30 51962391#31 51962391#32 51962391#33 51962391#34 51962391#35 51962391#36 51962391#37 51962391#38 51962391#39 51962391#40 51962391#41 51962391#42 51962391#43 51962391#44 51962391#45 51962391#46 51962391#47 51962391#48 51962391#49 51962391#50 51962391#51 51962391#52 51962391#53 51962391#54 51962391#55 51962391#56 51962391#57 51962391#58 51962391#59 51962391#60 51962391#61 51962391#62 51962391#63 51962391#64 51962391#65 51962391#66 51962391#67 51962391#68 51962391#69 51962391#70 51962391#71 51962391#72 51962391#73 51962391#74 51962391#75 51962391#76 51962391#77 51962391#78 51962391#79 51962391#80 51962391#81 51962391#82 51962391#83 51962391#84 51962391#85 51962391#86 51962391#87 51962391#88 51962391#89 51962391#90 51962391#91 51962391#92 51962391#93 51962391#94 51962391#95 51962391#96 51962391#97 51962391#98 51962391#99"/>
38
39   <vehicle id="0" type="passenger/sedan" route="route0" depart="0" color="1,0,0"/>
40   <vehicle id="2" type="passenger/sedan" route="route0" depart="0" color="1,0,0"/>
41   <vehicle id="6" type="passenger/sedan" route="route0" depart="0" color="1,0,0"/>





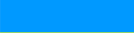

```

Figura 33. Atributos y rutas asignadas a los vehículos.
Fuente: Roberto Marcillo

Para el análisis de esta investigación, se ha considerado tomar 100 vehículos como muestra y establecer unas rutas específicas y aleatorias para que el simulador pueda funcionar bajo las condiciones reales de tráfico vehicular, y esté ajustado a lo mostrado en el mapa de intensidad de tráfico del Centro de la ciudad de Ibarra, de la Figura 27. Habrán algunos vehículos más adecuados para la simulación en cada ruta. Una forma de asignación e identificación no repetitiva de vehículos (ID 0 a 99) es utilizar un triángulo

mágico con 15 rutas, de las cuales 9 están programadas para uso normal, y la mayoría de ellas son conducidas por vehículos en la calle principal; las rutas restantes se utilizan con baja tasa. Además, por defecto, las últimas 6 rutas aleatorias se generan en el archivo `ibarra.rou`. Esta distribución se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Distribución vehicular por rutas

Ruta	Color	Identificador (ID) por vehiculo														Porcentaje
0		0	2	6	12	20	30	40	50	60	70	80	88	94	98	14%
1		1	3	7	13	21	31	41	51	61	71	81	89	95	99	14%
2			4	8	14	22	32	42	52	62	72	82	90	96	12%	
3			5	9	15	23	33	43	53	63	73	83	91	97	12%	
4				10	16	24	34	44	54	64	74	84	92	10%		
5				11	17	25	35	45	55	65	75	85	93	10%		
6					18	26	36	46	56	66	76	86	8%			
7					19	27	37	47	57	67	77	87	8%			
8						28	38	48	58	68	78	6%				
aleatoria						29	39	49	59	69	79	6%				

Fuente: Roberto Marcillo

Se debe indicar que el simulador de tráfico vehicular permite generar una ruta con una secuencia de bordes definidos que determinan el camino a seguir por los vehículos asociados y con el primero de ellos que sirve como guía. Para lograr este objetivo, se edita la trayectoria de cada vehículo programado y se le asignan algunos atributos como: tipo de vehículo, aceleración, desaceleración, longitud del vehículo, distancia a vehículos cercanos y la velocidad máxima permitida en el área urbana. La siguiente línea de comando está escrita en el editor del archivo `ibarra.rou`.

```
<vType id="passenger/sedan" guiShape="passenger/sedan" accel="2.0" decel="4.0" sigma="0.5" length="2.5" minGap="3.0" maxSpeed="50"/>
```

Como se puede apreciar en la Tabla 13, el 14% del total de vehículos seguirán la ruta 0, y así sucesivamente se generarán las 14 rutas restantes con sus vehículos respectivos. Estas rutas se obtienen mediante la edición de líneas de código con sus atributos en el archivo `ibarra.rou`, como se muestra en la Figura 34.



Figura 39. Ruta 4 (sumo), autos cian
Fuente: Roberto Marcillo

Se han utilizado las líneas de código escritas en el archivo ibarra.rou, para crear 14 rutas y 100 vehículos relacionados. Se corre la aplicación SUMO y se configuran los parámetros de visualización según la intensidad del tráfico de vehículos y el nivel de reconocimiento individual de cada uno. El modelo de enrutamiento generará algunos eventos, como: a) esperar a que un vehículo genere una cola; b) un vehículo de baja velocidad por frenado continuo y arranque normal; c) un cuello de botella de congestión de tráfico en varias áreas con mucho tráfico. En la Figura 40a se observa la ruta creada con vehículos codificados por colores, la Figura 40b muestra la etiqueta de identificación con cada número de vehículo.



a) Rutas creadas con colores **b) Etiquetas de los vehículos**
Figura 40. Identificación de rutas y vehículos
Fuente: Roberto Marcillo

3.6.2. RED DE COMUNICACIÓN

La red ad – hoc VANET considera la comunicación V2I (*Vehicle to Infrastructure*), es decir, la transmisión de datos entre los vehículos y los nodos fijos. Por lo tanto, para implementar una red vehicular simple, se considera instalar una unidad a bordo OBU

(*On-Board Unit*) en el vehículo, y tener la misma área de cobertura que el resto de los vehículos; y unidad de lado de carretera / vía RSU (*Road Side Unit*).

La simulación propuesta se puede utilizar para 100 vehículos, por lo que es necesario colocar OBU's en el mismo número, y una cantidad específica de RSU's en ubicaciones estratégicas para comunicarse en áreas lejanas, y ampliar la cobertura de red ad – hoc VANET implementada. Esta red puede detectar cuando el vehículo ingresa al área de simulación y enviar información sobre su trayectoria y otros parámetros técnicos, como: ruta, velocidad, aceleración, distancia a otros vehículos adyacentes, condiciones de tráfico actuales, etc.

Para adecuar la simulación del vehículo a la situación real, se han instalado 6 RSU's en la zona de análisis del centro de la ciudad de Ibarra. Cuatro de ellas fueron instaladas por el GAD Municipal de Ibarra; y las otras dos están ubicadas en edificios para brindar una mejor y mayor cobertura. En la Tabla 14 se indica la información de las 6 RSU's, que son considerados como puntos de acceso (AP) WI-FI, cada una con su número, dirección, coordenadas geográficas de referencia de latitud y longitud, coordenadas (x,y) en los simuladores SUMO y OMNeT++ respectivamente.

Tabla 14. Ubicación de RSU's

# RSU	DIRECCIÓN	COORD. GEOGRAFICAS		SUMO x,y	OMNeT
		LATITUD	LONGITUD		
0	Calle Velasco y Calle Sánchez	0°20'54.1"N	78°07'13.8"W	1271.54 , 1490.93	1291
1	Parque la Merced	0°21'05.6"N	78°07'10.5"W	1348.60 , 1842.45	1381
2	Plaza Calderón	0°21'03.0"N	78°06'55.8"W	1710.42 , 1751.42	1776
3	Parque Pedro Moncayo	0°21'04.3"N	78°07'04.2"W	1547.18 , 1804.95	1577
4	Calle Oviedo y Calle Bolívar	0°20'59.5"N	78°07'06.8"W	1448.04 , 1653.67	1470
5	Calle Colón y Calle Bolívar	0°20'49.8"N	78°07'08.6"W	1412.72 , 1364.06	1444

Fuente: Roberto Marcillo

Con el soporte del programa AUTOCAD, en el mapa geo referenciado, se pueden visualizar 6 RSU's en el simulador VEINS con un rango de referencia (distancia experimental) de 300 m de radio. El propósito es evitar la redundancia de transmisión de los datos generados por el dispositivo, no aumentar el tiempo de espera del paquete de datos enviado en la red de comunicación y optimizar la RSU's evitando solapamientos. Mejorando así la fiabilidad y prestancia de la VANET involucrada. La Figura 41 muestra

el área de análisis geo referenciada del centro de la ciudad de Ibarra, así como la ubicación y cobertura de las 6 RSU's.

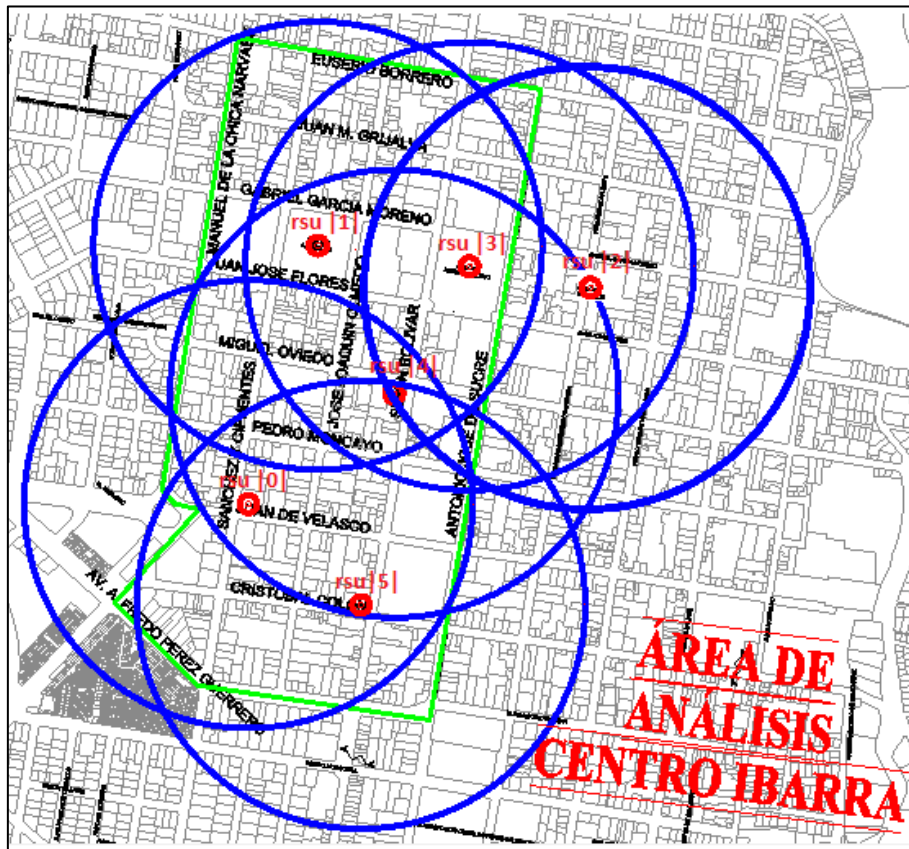


Figura 41. Área geo referenciada con la cobertura de las RSU's
Fuente: Roberto Marcillo

Debe indicarse que las 6 RSU's seleccionadas se añaden a los simuladores tanto SUMO como a OMNeT++ con sus respectivas coordenadas geo referenciadas, para esto se deben transformar las coordenadas geográficas en nuevas coordenadas (x,y) , por ser éste el formato específico que maneja cada simulador. Tales coordenadas señaladas en la Tabla 14, se obtuvieron mediante el software GatcomSUMO, escrito en lenguaje java, que se instaló en el disco local C.

```
C:\Windows\System32\cmd.exe - java -jar "GatcomSUMO.jar"
Microsoft Windows [Versión 10.0.18363.1016]
(c) 2019 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.
C:\Users\Roberto\Downloads\Proyecto NetBeans\dist>java -jar "GatcomSUMO.jar"
```

Se indica en la Figura 42, la pantalla de GatcomSUMO en la que se carga el archivo ibarra.osm para poder obtener las coordenadas x e y de SUMO y OMNeT++.

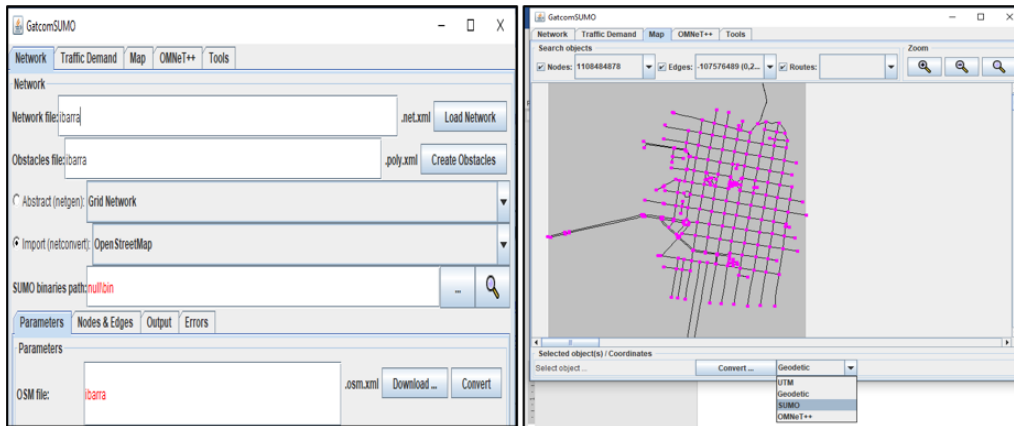


Figura 42. Software GatcomSUMO
Fuente: Roberto Marcillo

Para el caso del simulador OMNeT++ se varían los archivos *RSUExampleScenario.ned* y *omnetpp.ini* que se encuentran en la carpeta Project de VEINS, y se edita en el primer archivo el número de RSU's que son 6. Esto se muestra en la Figura 43, en el segundo archivo en la sección *#RSU SETTINGS#* se ingresan las coordenadas x,y de la Tabla 14.

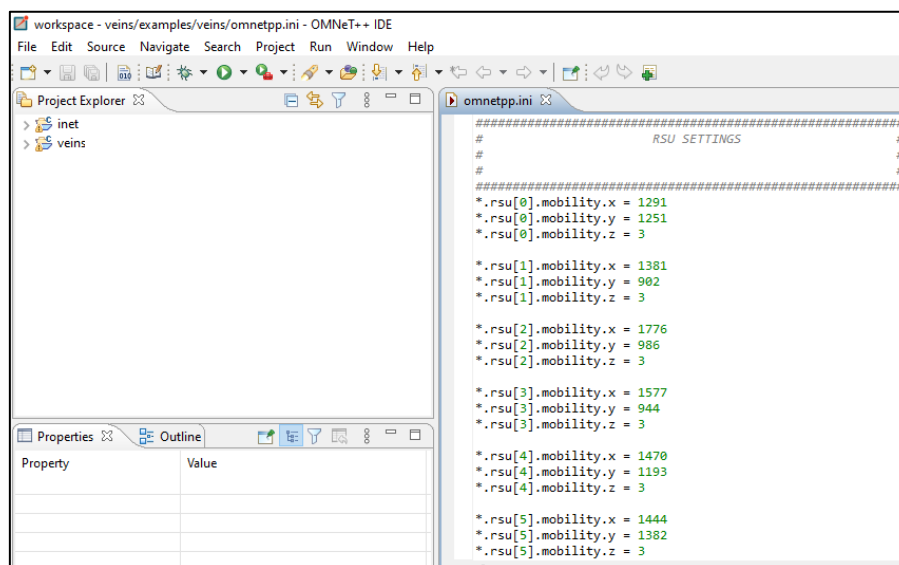


Figura 43. Coordenadas x e y en OMNeT++
Referencia: Roberto Marcillo

3.6.3. ESCENARIO UNO – MOVILIDAD SIN VANET

En el caso del Escenario Uno, solo se utiliza el simulador SUMO, y se reescriben las condiciones normales de tráfico vehicular en el centro de Ibarra, utilizando los archivos generados en SUMO que se muestran en la Figura 45. La Tabla 13 muestra los grupos de vehículos asociados con cada ruta creada. Para correr el programa SUMO, en una ventana

se direcciona a la carpeta que contiene el **proyecto (home / sumowork / ibarra)** y se corre el siguiente comando:

```
$ sumo-gui -c ibarra.sumo.cfg
```

Para obtener un entorno amigable, se escoge la opción de mapa real world en la pantalla SUMO generada. El tiempo de simulación predeterminado es de 100 milisegundos, por lo que se setea un retardo (*delay*) de 50 milisegundos o más, para visualizar el tráfico a una velocidad moderada. Además, en las opciones de configuración de la pantalla del vehículo, *View settings – Vehicles – (Show vehicle name or Draw with constant size when zoomed out)*, se selecciona la opción para ver el nombre del vehículo y / o la opción de crearlos con atributos específicos. En la Figura 44, puede ver el contenido de las instrucciones.

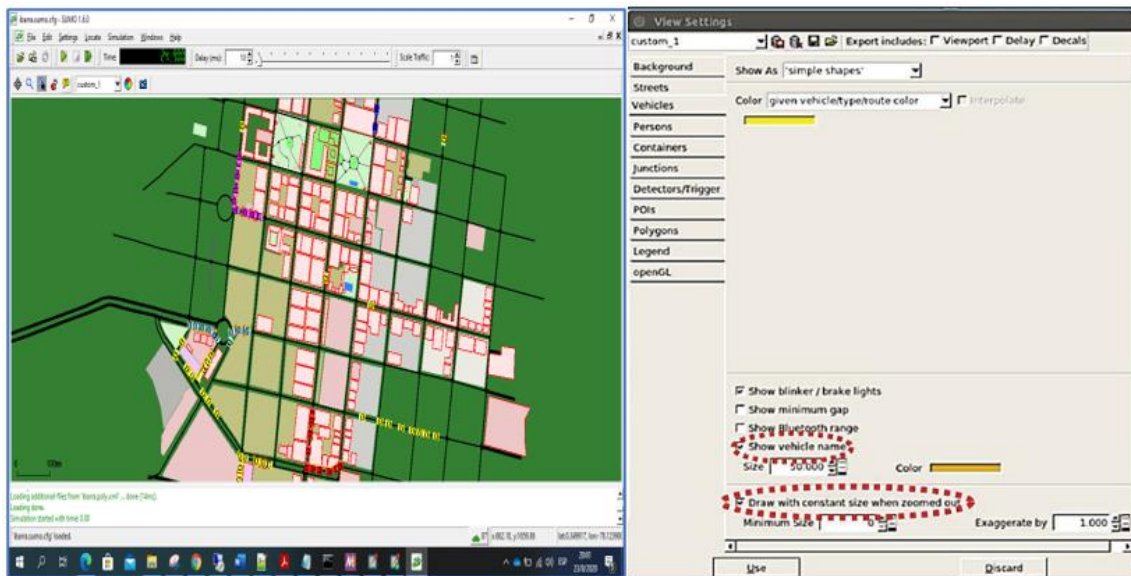


Figura 44. Pantalla SUMO - configuración de vehículos
Fuente: Roberto Marcillo

3.6.4. ESCENARIO DOS – MOVILIDAD CON VANET

Se parte de esta premisa, es decir, este Escenario Dos tiene la misma movilidad vehicular que la establecida en el Escenario Uno, más la implementación de la red ad – hoc VANET, que incluye las 6 RSU´s y una OBU por cada vehículo asociado a las diferentes rutas creadas. Cuando se ejecuta el simulador OMNeT ++, se mostrará una ventana y podrá seleccionar o generar diferentes entornos de trabajo para utilizar el simulador VEINS. Es necesario considerar habilitar el **proceso launchd.py** en la ventana del terminal en segundo plano, que active el puerto 9999 para vincular la comunicación de SUMO desde OMNeT ++. Para hacer esto, se debe ir a la carpeta que contiene el proyecto en

/home/.../omnetpp-5.0/veins y ejecutar el siguiente comando, que incluye la ruta (path) del archivo *sumo-launchd.py*:

Para correr VEINS, se activa OMNeT ++, se habilita el puerto 9999, se ubica la carpeta VEINS en el proyecto, luego compila y ejecuta el programa.

```
/c:/OMNET++/Qtenv (release) - Default #0 - omnetpp.ini - C:/veins-master/sumo-launchd.py -vv -c 'C:/Program Files (x86)/eclipse/Sumo/bin/sumo-gui.exe'  
Logging to C:/Users/Roberto/AppData/Local/Temp/sumo-launchd.log  
Listening on port 9999
```

Después, se muestra una pantalla con controles de red, y cuando la simulación se inicie más tarde, habrá una pantalla auxiliar con SUMO. Los archivos modificados en VEINS están vinculados a archivos SUMO, el archivo *ibarra.launchd.py* y los cambios necesarios para agregar dispositivos fijos RSU. La interfaz de comunicación de datos tiene una ventana que permite la visualización de eventos, el censo de todos los registros históricos de la red vehicular, y poder filtrar contenidos a elección. En forma inicial, dará un informe y mostrará la ubicación de 6 dispositivos RSU y de los vehículos registrados al ingresar al área de análisis, y se establecerá la comunicación entre OBU's y equipos RSU's. En la Figura 45 se muestra lo indicado, y se inicializa los módulos del Escenario Dos.

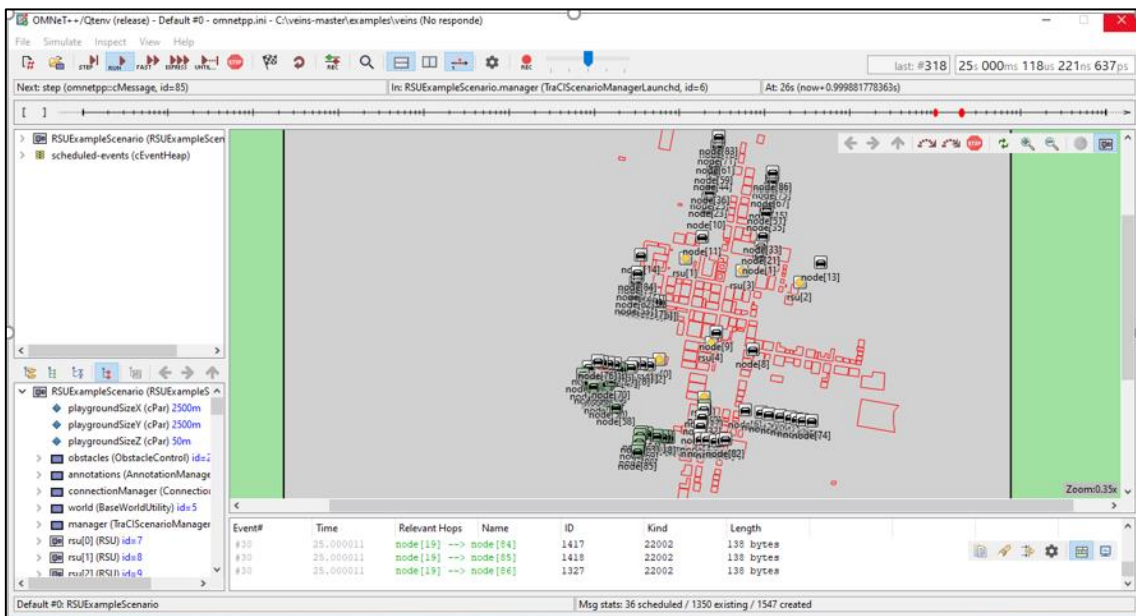


Figura 45. Comunicación de las OBU's y las RSU's
Fuente: Roberto Marcillo

En el simulador vehicular SUMO, se tiene módulo de control de tráfico TRACI (*Traffic Control Interface*), que maneja información de los nodos, aristas y rutas programadas en el mapa de movilidad vehicular, y envía reportes continuos de las condiciones de la red ad-hoc VANET cuando el vehículo ingresa a la zona de cobertura, y se inicializan los módulos que se establecieron para las 6 RSU's. El estándar IEEE 802.11p es responsable de establecer la frecuencia portadora de transmisión de 5,9 GHz y utiliza IEEE 1609.4 para gestionar los canales de comunicación. En el entorno *omnetpp.ini*, pueden verse estos parámetros, como se muestra en la Figura 46.

```

omnetpp.ini
=====
#          11p specific parameters          #
#                                           #
#          NIC-Settings                     #
=====
*.connectionManager.pMax = 20mW
*.connectionManager.sat = -89dBm
*.connectionManager.alpha = 2.0
*.connectionManager.carrierFrequency = 5.890e9 Hz
*.connectionManager.sendDirect = true
*.connectionManager.maxInterfDist = 2600m
*.connectionManager.drawMaxIntfDist = false

*.**.nic.mac1609_4.useServiceChannel = false

*.**.nic.mac1609_4.txPower = 20mW
*.**.nic.mac1609_4.bitrate = 18Mbps
*.**.nic.phy80211p.minPowerLevel = -89dBm

*.**.nic.phy80211p.useNoiseFloor = true
*.**.nic.phy80211p.noiseFloor = -110dBm

```

Figura 46. Parámetros del Estándar IEEE 802.11p
Fuente: Roberto Marcillo

Siempre que haya cambios en la red VANET, el módulo TRACI proporcionará información detallada, que puede incluir: el número de vehículos que inician y finalizan el viaje, los nodos que aún están en la red, los vehículos estacionados y los vehículos que llegan al destino final. También es posible modificar la ruta de cada vehículo perteneciente a la red, y los nodos informan estos cambios cada cierto tiempo.

Si un nodo genera una alarma, se marca en rojo, y la capa física es responsable de transmitir el mensaje de alarma a los nodos cercanos a través de *AirFrame11p*¹⁵. Este proceso se representa en la interfaz gráfica OMNeT ++.

La singularidad del simulador VEINS es que puede generar accidentes de tránsito programados en el Escenario Dos, como mecanismo adicional para el estudio de redes ad – hoc VANET’s. Para ello, se accede al archivo *omnetpp.ini* de VEINS, se varía las opciones de accidentes y se lo configura en el apartado "Mobility", que tiene los siguientes parámetros: número de accidentes previstos, hora de inicio y duración del accidente. Por ejemplo, se puede poner los valores posibles en las siguientes líneas de código:

```
*.node[*0].veinsmobility.accidentCount = 1  
*.node[*0].veinsmobility.accidentStart = 60s  
*.node[*0].veinsmobility.accidentDuration = 45s
```

Estos accidentes planificados (*scheduled accident*) se generan a partir del tiempo establecido en la red, con el objetivo de simular cualquier tipo de accidente o siniestro vehicular, y marca su nodo en rojo cuando ocurre el evento. La pantalla de visualización contiene la siguiente información: la señal de alarma y su número de evento correspondiente, la hora de ocurrencia y el informe del nodo con velocidad cero. En la Fig. 47, se explica lo anterior.



Figura 47. Accidentes programados en VEINS
Fuente: (Caiza, 2017)

En el Capítulo IV se presentarán las pruebas, y los resultados de las simulaciones de los Escenarios 1 (sólo SUMO) y el Escenario 2 (con la red ad – hoc VANET), a fin de visualizar las variaciones y modificaciones que se tienen en las rutas generadas, que permitan determinar y justificar el beneficio que se tiene el usar una red ad - hoc VANET.

¹⁵ AirFrame: representan las características físicas del marco (frecuencia, potencia, etc.). AirFrame11p encapsula los marcos 802.11p en el simulador OMNeT++.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.PRUEBAS Y RESULTADOS

Como se indicó numeral 3.6 del Capítulo III, se selecciona para el análisis un área de cobertura de 2.2 Km. en el Centro de la Ciudad de Ibarra, que es la zona donde se determina un nivel de movilidad vehicular con alto tráfico en horas pico. Esta área está delimitada por las calles Eusebio Borrero – Antonio José de Sucre – Av. Pérez Guerrero – Chica Narváez.

En este capítulo se recogen y se analizan los datos obtenidos de las simulaciones mencionadas para el Escenario Uno sin VANET que se detalló en el numeral 3.6.3; y para el Escenario Dos con VANET analizado en el numeral 3.6.4. De esta manera, justificar la utilización de una red ah – hoc VANET para control y mejora del tráfico vehicular en el centro de la ciudad de Ibarra.

Se propone la movilidad vehicular para 100 vehículos más la implementación de una red ah – hoc VANET utilizando el estándar IEEE 802.11p, que incluye 6 RSU´s y una OBU por cada unidad vehicular programada en el simulador vehicular SUMO. Es necesario configurar varios parámetros en el simulador, como los del protocolo de comunicación, cuyos valores han sido ajustados a especificaciones teóricas, como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15. Parámetros de simulación VANET (IEEE 802.11 p)

PARÁMETROS	IEEE 802.11p
Frecuencia	5.9 GHz
Potencia del Transmisor	25dBm (RSU / OBU)
Sensibilidad	-108 dBm (umbral de - 83 dBm)
Tiempo de Simulación	350 s
Velocidad	13.89 m/s (50 Km/h)
Ancho de Banda	10 MHz
Tipo de Antena	Isotrópica /Omnidireccional
Tamaño del paquete	1200 bit
Actualización del intervalo de movilidad	0.1 s
Frecuencia Beacon	1, 4, 8, 10 y 20 Hz
Número de Vehículos	100

Fuente: Roberto Marcillo

Como se mencionó en el Capítulo II, la frecuencia central de IEEE 802.11p es 5.9 GHz y el ancho de banda máximo es 27 MHz. Este es un parámetro importante de la red vehicular que simula la interfaz de la red de comunicación inalámbrica, simulación VANET. En la Tabla 15 se indica un ancho de banda de 10 MHz. Este ancho de banda se utiliza para reducir el efecto Doppler que tiene un impacto significativo en la red vehicular por el cambio de frecuencia causado debido al movimiento relativo entre los vehículos y la velocidad de propagación de la señal. Dado que la multiplexación por división de frecuencia ortogonal OFDM es muy sensible al cambio de frecuencia de la portadora, este cambio de frecuencia produce defectos obvios en la capa física (Viscaino, 2018).

La potencia de transmisión de la OBU instalado en el vehículo y de la estación base RSU es de 25 dBm, y la sensibilidad se establece en -108 dBm (umbral -83 dBm), lo que permite filtrar paquetes de datos con una alta tasa de error. El tamaño del paquete de datos transmitido en la simulación -desde la infraestructura RSU hasta la OBU instalada en cada automóvil- tiene 1200 bits, lo que significa que se puede acceder a servicios web con contenido multimedia cuando se utiliza simulaciones con tecnología 802.11p y LTE (Mir & Fethi, 2014). Por otro lado, cuando el número de paquetes de datos en transmisión aumenta o disminuye, la frecuencia de beacon debe cambiarse para analizar el comportamiento de la comunicación V2I. A continuación, se detallan las pruebas realizadas en el Escenario Uno sin VANET, y el Escenario Dos con VANET.

4.1.1. ESCENARIO UNO

En este caso, solo se utiliza el simulador de tráfico de vehículos SUMO. Como se mencionó anteriormente, las primeras cinco rutas programadas se basan en las direcciones del tráfico vehicular normal y diario del Centro de Ibarra. Las calles principales tomadas en forma longitudinal para este análisis son: Antonio José de Sucre, Simón Bolívar, José Joaquín de Olmedo, Sánchez y Cifuentes; y son consecuentes con la intensidad de tráfico vehicular mostrada en la Figura 27, del numeral 3.6.1. En las Figuras de la 48 a la 52 se pueden visualizar el sentido de la ruta establecida en el diseño. Se hace una comparativa georreferenciada de la planimetría en AUTOCAD y lo obtenido en el simulador SUMO, de esta manera que haya concordancia de las rutas creadas, vehículos asociados y su identificación con colores específicos.

Es importante señalar, que el simulador SUMO no permite visualizar en su pantalla principal, los nombres de las calles del área de análisis, por eso, en las gráficas siguientes, se muestran las diferentes Rutas en AUTOCAD y las pantallas respectivas que se visualizan en el simulador vehicular.



Figura 48. Ruta 0 (Escenario Uno) programada
Fuente: Roberto Marcillo



Figura 49. Ruta 1 (Escenario Uno) programada
Fuente: Roberto Marcillo



Figura 50. Ruta 2 (Escenario Uno) programada
Fuente: Roberto Marcillo

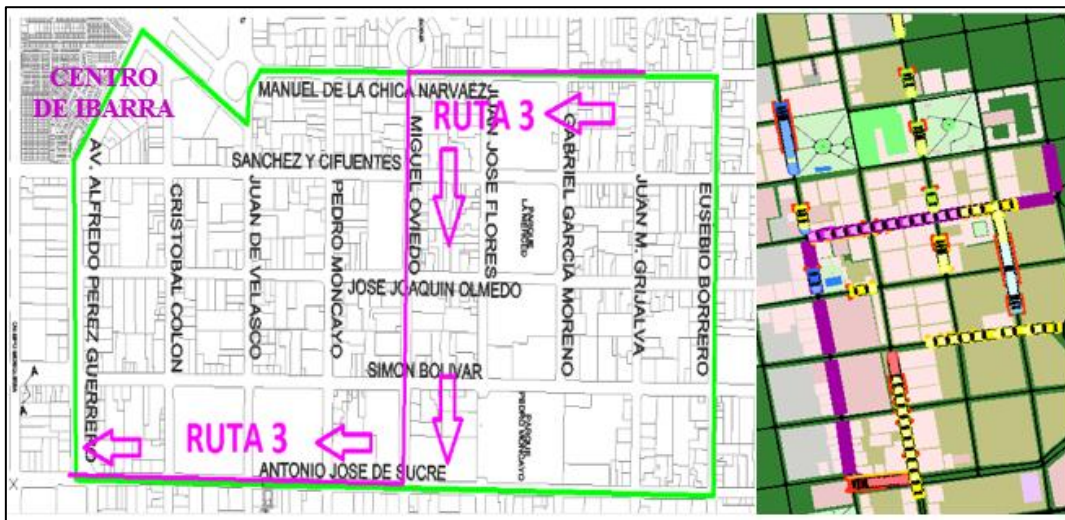


Figura 51. Ruta 3 (Escenario Uno) programada
Fuente: Roberto Marcillo



Figura 52. Ruta 4 (Escenario Uno) programada
Fuente: Roberto Marcillo

Como se había señalado en la Tabla 13, las 10 rutas restantes tienen un número cada vez menor de vehículos, y se les asignó el color amarillo. Igual que en las rutas anteriores, para tener el trazado de ruta asociada a un vehículo específico, en la pantalla de SUMO, se ubica el puntero sobre el vehículo y con el ratón se da clic derecho, y se escoge mostrar ruta. Las Figuras 53 a la 57 muestran las rutas de la 5 a la 14, con sus trayectorias identificadas con color amarillo, y los vehículos respectivos asociados de acuerdo con la distribución realizada en la Tabla 13.



Figura 53. Rutas 5 y 6 (Escenario Uno)
Fuente: Roberto Marcillo



Figura 54. Rutas 7 y 8 (Escenario Uno)
Fuente: Roberto Marcillo



Figura 55. Rutas 9 y 10 (Escenario Uno)
Fuente: Roberto Marcillo



Figura 56. Rutas 11 y 12 (Escenario Uno)
Fuente: Roberto Marcillo



Figura 57. Rutas 13 y 14 (Escenario Uno)
Fuente: Roberto Marcillo

Se puede obtener información sobre la red ad – hoc vehicular VANET y sus parámetros específicos. El simulador SUMO proporciona algunos datos de movilidad en tiempo real, tales como: el número de vehículos programados en el simulador, los vehículos que se pueden insertar posteriormente, los vehículos activos que llegan al final de la ruta y el destino creado, y las colisiones durante el tiempo de simulación, el número de nodos y aristas o líneas que tiene el mapa. Para los vehículos se cuenta con la siguiente información: velocidad, aceleración, distancia a los vehículos vecinos, odómetro, nivel de emisiones de CO₂ generadas, ruido ambiental generado y la velocidad máxima que se puede alcanzar. Todos estos datos se pueden ver en la Figura 58.

network: Parameter			vehicle:13 Parameter		
Name	Value	Dynamic	Name	Value	Dynamic
loaded vehicles [#]	100	🔍	lane [id]	51961869#5_0	✔️
insertion-backlogged vehicles [#]	3	🔍	position [m]	35.35	🔍
departed vehicles [#]	97	🔍	lateral offset [m]	0.00	🔍
running vehicles [#]	97	🔍	speed [m/s]	11.33	🔍
arrived vehicles [#]	0	🔍	lateral speed [m/s]	0.00	🔍
discarded vehicles [#]	0	🔍	acceleration [m/s^2]	-2.29	🔍
collisions [#]	0	🔍	angle [degree]	189.91	🔍
teleports [#]	0	🔍	slope [degree]	0.00	🔍
halting [#]	21	🔍	speed factor	0.94	❌
avg. speed [m/s]	4.44	🔍	time gap on lane [s]	1.83	🔍
avg. relative speed	0.31	🔍	waiting time [s]	0.00	🔍
end time [s]	1000	❌	waiting time (accumulated, 100.00s) [s]	0.00	🔍
begin time [s]	0	❌	time loss [s]	7.11	🔍
step duration [ms]	26	🔍	impatience	0.00	🔍
FPS	25.00	🔍	last lane change [s]	0.00	🔍
simulation duration [ms]	3	🔍	desired depart [s]	0.00	❌
idle duration [ms]	23	🔍	depart delay [s]	8.80	❌
duration factor	33.33	🔍	odometer [m]	444.42	🔍
updates per second	32333.33	🔍	remaining [#]	0	❌
avg. updates per second	22711.04	🔍	stop info		✔️
nodes [#]	253	❌	line		❌
edges [#]	384	❌	CO2 [mg/s]	0.00	🔍
total edge length [km]	33.56	❌	CO [mg/s]	0.00	🔍
total lane length [km]	36.26	❌	HC [mg/s]	0.00	🔍
network version	1.60	❌	NOx [mg/s]	0.00	🔍
			PMx [mg/s]	0.00	🔍
			fuel [ml/s]	0.00	🔍
			electricity [Wh/s]	0.00	🔍
			noise (Harmonoise) [dB]	59.23	🔍
			devices		❌
			persons	0	🔍
			containers	0	🔍
			lcState right	unknown	✔️
			lcState left	unknown	✔️

Figura 58. Especificación: Parámetros de red y de vehículos asociados en SUMO
Fuente: Roberto Marcillo

4.1.2. ESCENARIO DOS

Una de las ventajas de la red ad – hoc VANET es la gestión de su red de comunicaciones, que permite que los vehículos conectados a su área de cobertura reciban información (datos), alertando así a uno de los vehículos en caso de accidente o siniestro. Los vehículos o nodos afectados tienen un distintivo de color rojo, y los vehículos vecinos también sonarán una alerta y proporcionarán información sobre su ubicación, dirección y velocidad. Aquí, el trabajo de las RSU's es muy importante, ya que les permite comunicarse con todas las OBU's de los vehículos.

El módulo TRACI que permite el control del tráfico vehicular en SUMO actualiza a la VANET, a través de una base de datos que almacena información sobre la ruta descrita, la cual se mapea continuamente, lo que permite rastrear cuando un nodo o vehículo cambia de trayectoria cuando se produce algún contingente o se mantiene en la ruta previamente establecida.

De acuerdo con las instrucciones de la Sección 6.3.4, el Escenario Dos utiliza simulación con una red ad - hoc ya implementada y ejecutada en el simulador de red OMNeT ++. La red de comunicación desplegada para el área de cobertura propuesta puede resolver situaciones de emergencias o accidentes de vehículos, dando como resultado las siguientes mejoras: mayor maniobrabilidad del vehículo, menor tiempo para evitar la congestión, y comunicación inalámbrica entre vehículos con las unidades fijas de transmisión y recepción de datos, que puedan evitar accidentes.

Al ejecutar la simulación, se puede observar los eventos que ocurren en la comunicación entre los módulos de la capa física y la subcapa MAC. Allí se encuentra el módulo de control de tráfico TRACI perteneciente a SUMO, que utiliza la información generada de los 100 vehículos y las 15 rutas programadas en el mapa de movilidad para informar continuamente las condiciones de la red. Cuando el vehículo ingresa al área de análisis, VANET inicializará los módulos IEEE 802.11p y IEEE 1609.4 El primer módulo establece una frecuencia portadora de 5.9 GHz y el segundo módulo administra el canal de comunicación entre las RSU's y las OBU's.

De esta manera, la capa física se encarga de enviar mensajes a los nodos cercanos mediante un `AirFrame11p`, evento indicado en la interfaz gráfica y en la ventana de datos de red de OMNeT++. Con esto, es posible visualizar el origen y destino de los vehículos asociados a sus rutas, así como, la información de la transmisión de la red de comunicación, tal como se muestra en la Figura 59.

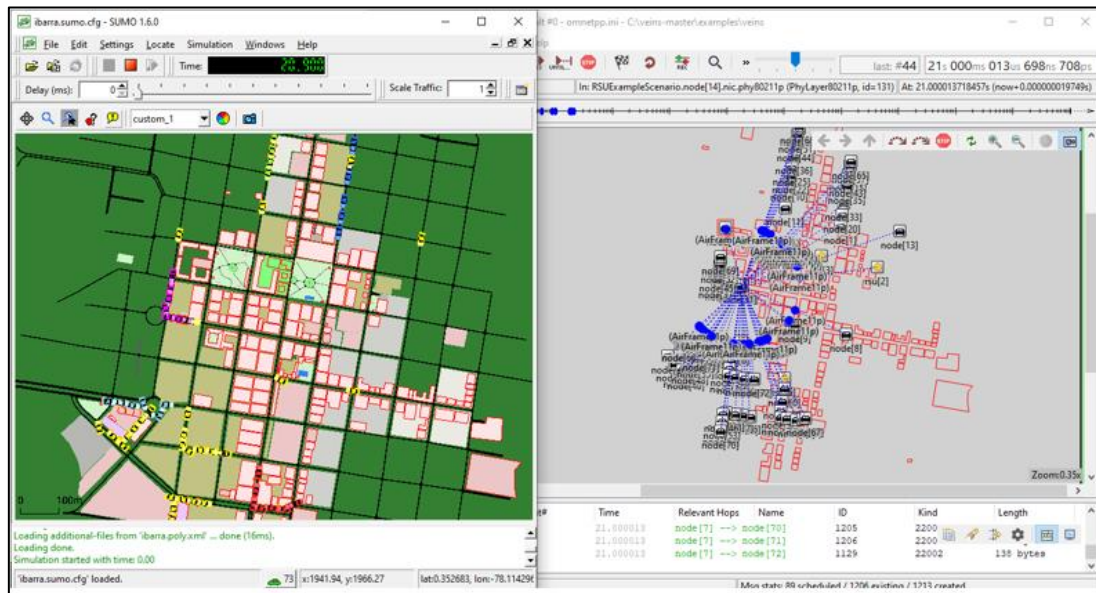


Figura 59. Pantalla de Red de Comunicación VANET
Fuente: Roberto Marcillo

De las 15 rutas establecidas, con la presencia de la VANET, algunas de ellas con sus carros asociados tendrán variación en su trayecto, porque el objetivo es que el tráfico vehicular fluya más rápido, y cuando haya eventos de congestión, y/o accidentes vehiculares, los vehículos sean alertados y puedan tomar otra trayectoria alternativa, que le permita llegar a su destino final.

A continuación, se programa un accidente con el Nodo (vehículo) 20, a fin de comprobar si el uso de la VANET permite que los vehículos de las diferentes al ser alertados por este siniestro, modifican sus trayectorias. Como se indicó en el numeral 3.6.4, se accede al archivo `omnetpp.ini` de Veins se varía las opciones de accidentes, y se configura la sección `Mobility` y se ponen valores de los siguientes parámetros:

```

*.node[*20].veinsmobility.accidentCount = 1
*.node[*20].veinsmobility.accidentStart = 30s
*.node[*20].veinsmobility.accidentDuration = 85s

```

La Tabla 16 se genera con la condición de accidente programado en el Nodo 20 en calle Antonio José de Sucre, consolida las 15 rutas con los 100 vehículos involucrados, y permite ver los cambios que hubo de trayectorias, y cuáles rutas fueron afectadas durante la simulación vehicular. Los colores de las celdas son los mismos que se escogieron para la distribución vehicular en la Tabla 13. Las celdas sin color indican que los vehículos asociados han cambiado su trayectoria de la ruta original programada en SUMO,

Tabla 16. Vehículos con trayectorias cambiadas por la VANET - Nodo 20

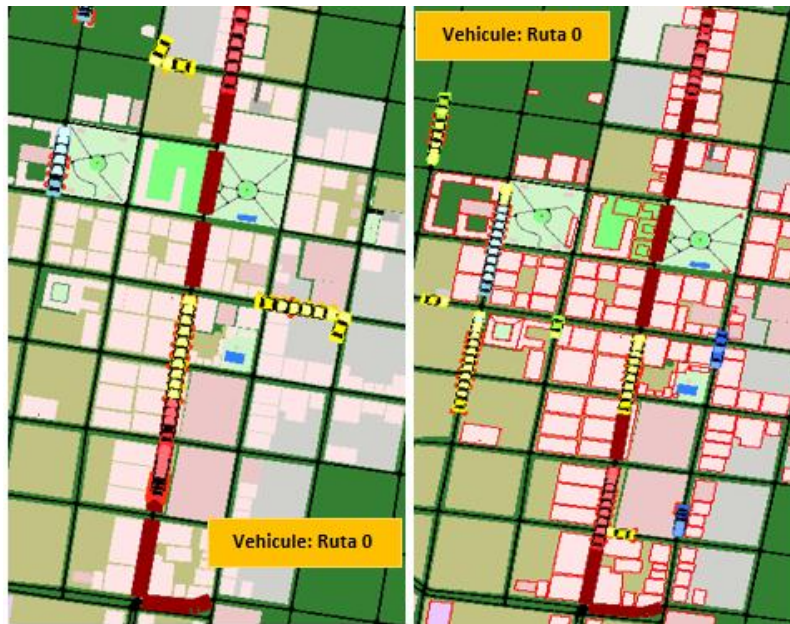
# Veh	Ruta 0	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Ruta 4	Ruta 5	Ruta 6	Ruta 7	Ruta 8	Ruta 9	Ruta 10	Ruta 11	Ruta 12	Ruta 13	Ruta 14
0	0	1	4	5	10	11	18	19	28	29	39	49	59	69	79
1	2	3	8	9	16	17	26	27	38						
2	6	7	14	15	24	25	36	37	48						
3	12	13	22	23	34	35	46	47	58						
4	20	21	32	33	44	45	56	57	68						
5	30	31	42	43	54	55	66	67	78						
6	40	41	52	53	64	65	76	77							
7	50	51	62	63	74	75	86	87							
8	60	61	72	73	84	85									
9	70	71	82	83	92	93									
10	80	81	90	91											
11	88	89	96	97											
12	94	95													
13	98	99													

Fuente: Roberto Marcillo

A continuación, se describen los gráficos de las 15 rutas, que permiten visualizar la comparación de las rutas programadas y aleatorias, y cómo ellas modifican o no sus trayectorias cuando se cuenta con la red ad – hoc vehicular VANET como una solución para mejorar el tráfico vehicular. Hay rutas en las que los vehículos no variarán sus trayectos, y otras que obligarán a sus vehículos cambiar las trayectorias debido a contingentes que se pueden presentar en las calles del centro de la ciudad de Ibarra, y que oportunamente las RSU’s dan información a las OBU’s que están dentro de su cobertura, a través de una comunicación inalámbrica en la banda de los 5.9 MHz.

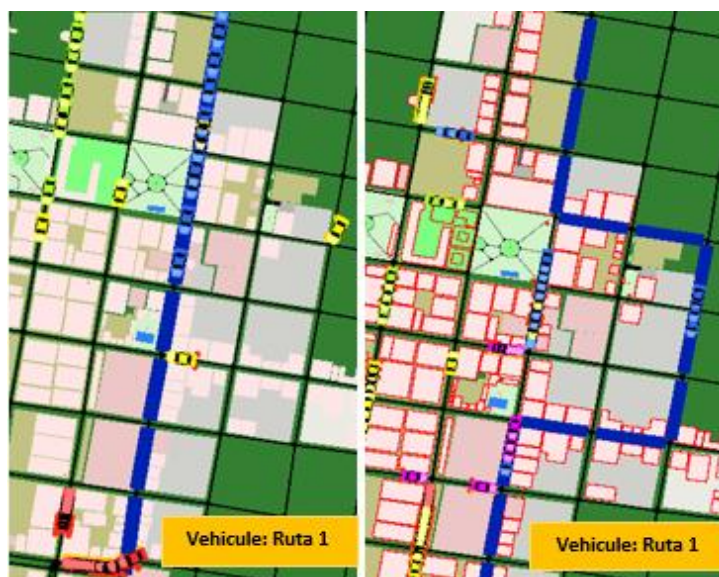
Bajo la consideración del accidente del Nodo 20, las rutas 0, 2, 4, 7, 9 a 14 no cambian el trayecto de sus vehículos al implementar la VANET, como se muestra en la Tabla 15.

En la Figura 60 se puede observar la Ruta 0 que va por la Calle Antonio José de Sucre permanece invariable, esto porque es la calle de flujo vehicular moderado.



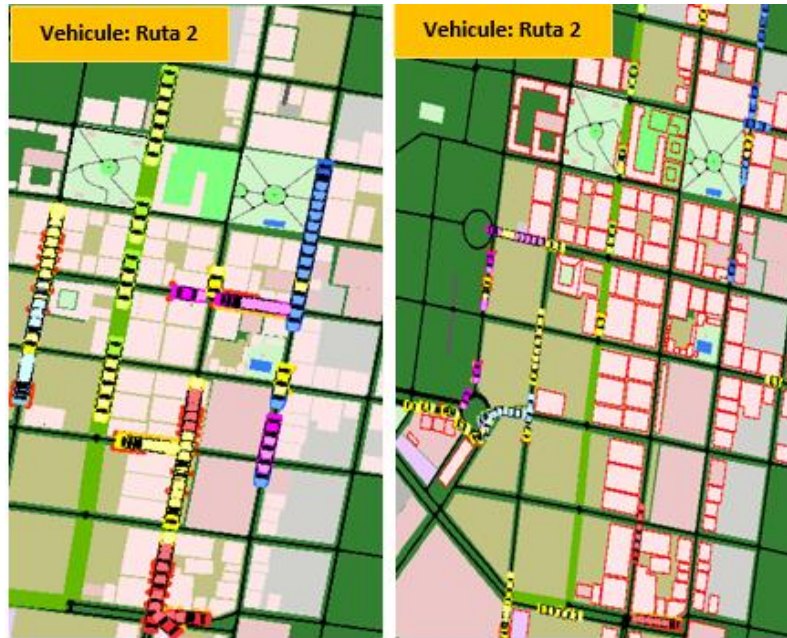
a) Ruta 0 programada b) Solución VANET
Figura 60. Ruta 0 (sumo) programada sin variación con la VANET
 Fuente: Roberto Marcillo

La Figura 61 presenta modificaciones de trayectoria de la Ruta 1, los 9 vehículos iniciales mantienen la trayectoria inicial que comienza en la calle Eusebio Borrero, los últimos 5 vehículos suben por la Calle Sucre, pero viran a la izquierda por la calle García Moreno hasta la calle Maldonado, toman a la derecha por la calle Pedro Moncayo hasta coger nuevamente la calle Sucre, y retoman la ruta programada. Esta ruta presenta variaciones de trayecto, porque el accidente programado se dió con un vehículo azul de la Ruta 1 que transitaba en la Calle Sucre por el parque Pedro Moncayo.



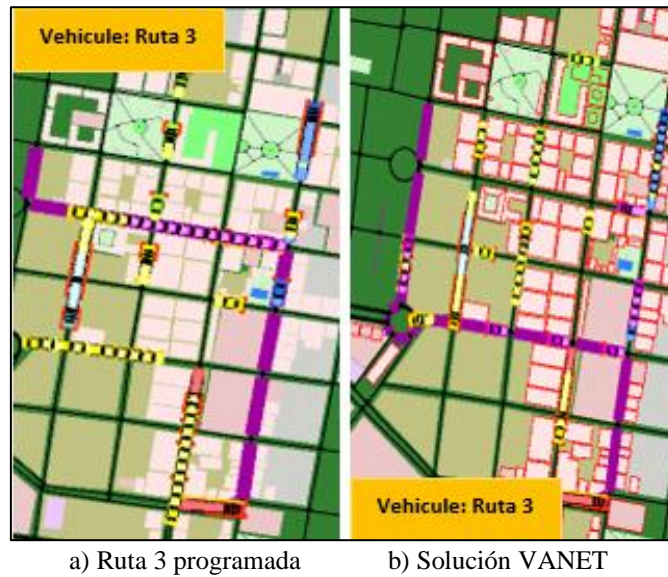
a) Ruta 1 programada b) Solución VANET
Figura 61. Ruta 1 (sumo) programada con variación con la VANET
 Fuente: Roberto Marcillo

La Figura 62 muestra la Ruta 2 sin variación de trayectoria de los vehículos asociados en la calle José Joaquín de Olmedo. En el análisis de tiempos que se realice posteriormente, se podrá ver la diferencia de los Escenarios 1 y 2.



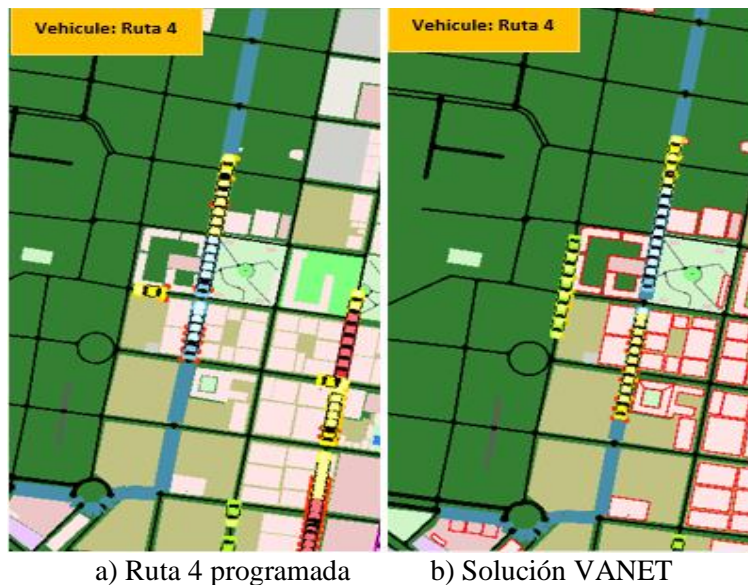
a) Ruta 2 programada b) Solución VANET
Figura 62. Ruta 2 (sumo) programada sin variación con la VANET
Fuente: Roberto Marcillo

La Figura 63 indica la Ruta 3, su trayectoria inicial es: calles Chica Narváez – Miguel Oviedo – Antonio José de Sucre. 6 vehículos (5, 9, 15, 23, 33, 91) no cambian la ruta original programada en SUMO. Los restantes 6 vehículos (43,53, 63, 73, 83, 97) que toman una nueva trayectoria con la solución VANET, así: calle Chica Narváez – Av. Mariano Acosta – Juan de Velasco – Antonio José de Sucre.



a) Ruta 3 programada b) Solución VANET
Figura 63. Ruta 3 (sumo) programada con variación VANET
 Fuente: Roberto Marcillo

En la Figura 64, se aprecia la Ruta 4 sin variación de trayectoria de los vehículos asociados en la calle Sánchez y Cifuentes. En el análisis posterior de tiempos realizados se podrá visualizar el desempeño de la VANET.



a) Ruta 4 programada b) Solución VANET
Figura 64. Ruta 4 (sumo) programada sin variación con la VANET
 Fuente: Roberto Marcillo

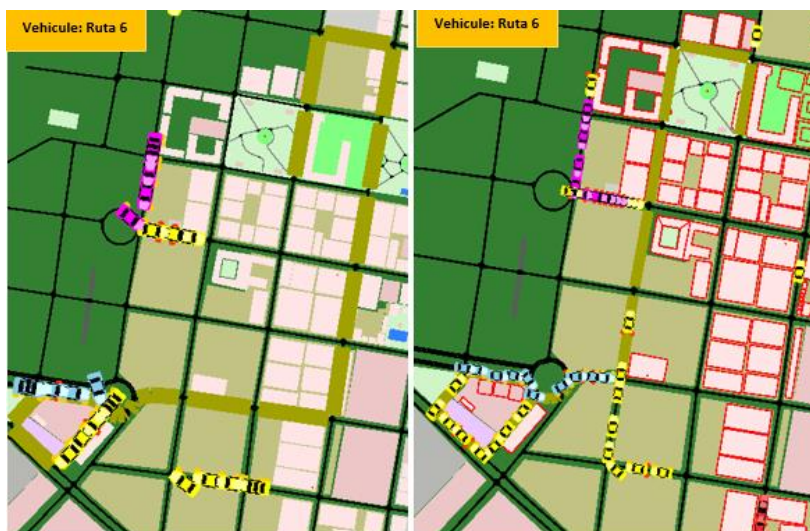
En la Figura 65, hay 5 vehículos siguen la ruta establecida en SUMO que toma las calles Sánchez y Cifuentes – Av. Pérez Guerrero - Simón Bolívar – Miguel Oviedo – Vicente Rocafuerte- Emilio Grijalva – Antonio Sucre - García Moreno. Con la solución VANET, los restantes 5 vehículos asociados a esta ruta (55, 65,75, 85, 93) toman la otra trayectoria con las calles: Sánchez y Cifuentes – Miguel Oviedo – Vicente Rocafuerte – Emilio

Grijalva – Antonio Sucre – García Moreno. Este cambio es previsto porque los vehículos reciben alerta del accidente vehicular suscitado.



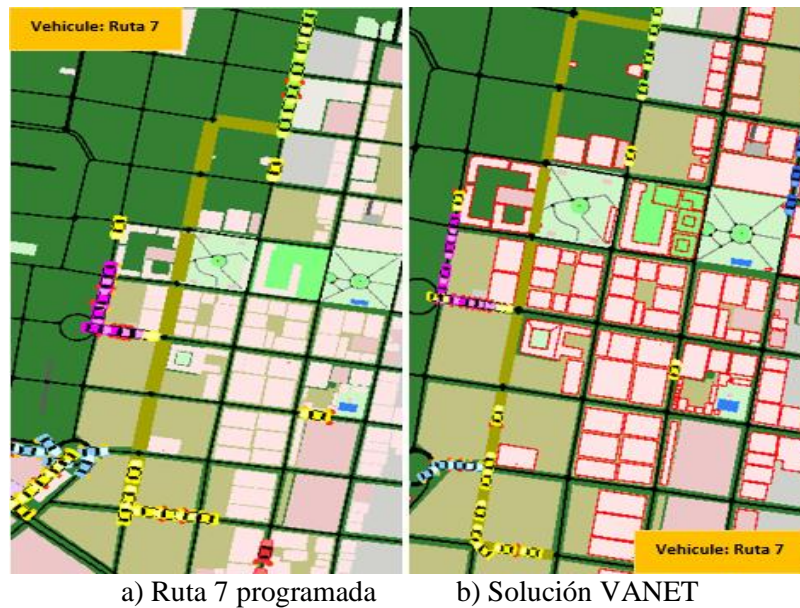
a) Ruta 5 programada b) Solución VANET
Figura 65. Ruta 5 (sumo) programada con variación con la VANET
 Fuente: Roberto Marcillo

La Figura 66 indica la Ruta 6 generada en SUMO cuya trayectoria es: Av. Eugenio Espejo – Av. Pérez Guerrero – Av. Mariano Acosta – Juan de Velasco – Sánchez y Cifuentes – García Moreno – José Joaquín Olmedo. En este caso con la VANET, todos los ochos vehículos asociados toman otra trayectoria que es: Av. Eugenio Espejo – Av. Pérez Guerrero – AV. Mariano Acosta – Juan de Velasco – Simón Bolívar – Emilio Grijalva – José Joaquín Olmedo. Este cambio es previsto porque los vehículos reciben alerta del accidente vehicular suscitado, además, porque el inicio de esta ruta coincide con el trayecto de la ruta 4, lo que genera tiempo mayor de movilidad.



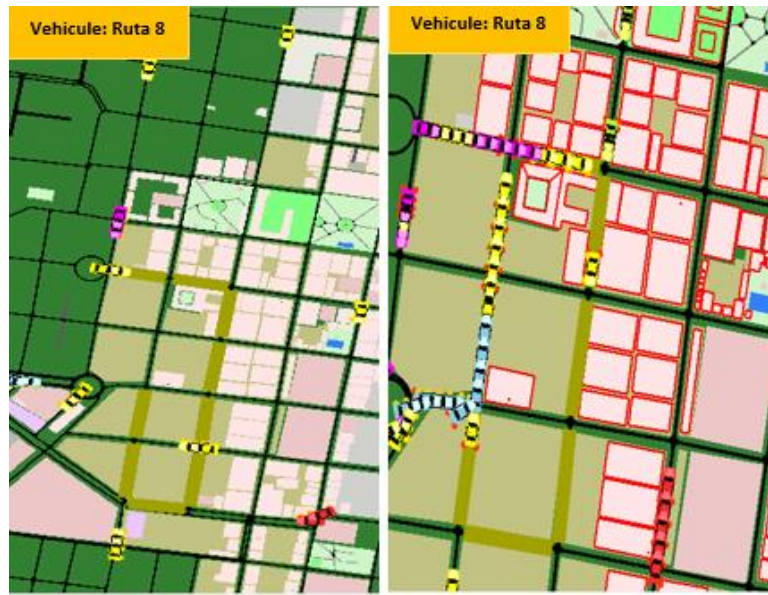
a) Ruta 6 programada b) Solución VANET
Figura 66. Ruta 6 (sumo) programada con variación con la VANET
 Fuente: Roberto Marcillo

La Figura 67 muestra la Ruta 7 generada en SUMO. Con la VANET se tiene la misma trayectoria recorrida por los 6 vehículos que van por las calles: Cristóbal Colón – Sánchez y Cifuentes – Antonio Borrero. La evaluación del tiempo y la distancia se lo tratará en el análisis comparativo de los dos escenarios. De hecho, se verifica la prestancia de la VANET para reorientar el tráfico vehicular.



a) Ruta 7 programada b) Solución VANET
Figura 67. Ruta 7 (sumo) programada sin variación con la VANET
Fuente: Roberto Marcillo

En la Figura 68 se muestra la Ruta 8 generada en SUMO cuya trayectoria es: Calles Miguel Oviedo – José Joaquín Olmedo – Av. Pérez Guerrero – Sánchez y Cifuentes. Ya con la solución la VANET, todos los seis vehículos asociados toman otra trayectoria alterna que es: Calles Miguel Oviedo – José Joaquín Olmedo – Cristóbal Colón – Sánchez y Cifuentes. Este cambio se prevé porque los vehículos reciben alerta del accidente vehicular suscitado por parte de la RSU más próxima, y optan por modificar su trayectoria.



a) Ruta 8 programada b) Solución VANET

Figura 68. Ruta 8 (sumo) programada con variación con la VANET
Fuente: Roberto Marcillo

Como se indicó en la Tabla 15, las Rutas 9 a 15 que están asociados a un solo vehículo por cada ruta, mantienen sus trayectorias respectivas. Esto es consecuente, porque el tiempo de movilidad de los vehículos precedentes y su ubicación inicial dan un margen de flujo vehicular que permite conservar las trayectorias de las rutas indicadas.

La Figura 69, muestra la Ruta 9 y evidencia la misma trayectoria recorrida: Calles Vicente Rocafuerte – Pedro Moncayo – Simón Bolívar – Juan José Flores – Chica Narváez – Miguel Oviedo, tanto en lo programado en SUMO, y lo desarrollado con la solución VANET.



a) Ruta 9 programada b) Solución VANET

Figura 69. Ruta 9 (sumo) programada sin variación con la VANET
Fuente: Roberto Marcillo

4.2. ANÁLISIS COMPARATIVO

Para el análisis, se ha tomado la Ruta 3 que se indicó en la Figura 70 porque hay variación de trayectoria con la VANET. Seis vehículos (5, 9, 15, 23, 33, 91) que representan el 50%, no cambian la ruta original programada en SUMO (calles Chica Narváez – Miguel Oviedo – Antonio José de Sucre); los restantes 6 vehículos (43, 53, 63, 73, 83) toman una nueva trayectoria con la VANET (calle Chica Narváez – Av. Mariano Acosta – Juan de Velasco – Antonio José de Sucre).

La Tabla 17 de los datos de tiempo y distancia del análisis, destaca que la diferencia entre el tiempo con y sin la solución VANET está disminuyendo gradualmente, y la distancia de viaje es mayor pero la movilidad es mayor. El 50% de los vehículos de esta Ruta 3 redujo el tiempo de ciclo del vehículo en un 27% en promedio; la distancia aumentó en un 7%. Se puede comprobar un hecho de simulación real, para el caso del vehículo 9 que, siguiendo la ruta programada y trayectoria definida, tiene un tiempo positivo mayor (9.6 s) con la solución VANET, esto se da porque este vehículo queda rezagado en tráfico por la presencia de vehículos de otras rutas que confluyen en una calle común. Aquí se comprueba que la solución VANET permite una mejora del tráfico vehicular, en este caso, cuando se tiene un accidente de tránsito en una de las calles del centro de la ciudad de Ibarra.

Tabla 17. Análisis comparativo de datos de la Ruta 3

RUTA	VEHÍCULO	TIEMPO SUMO	TIEMPO VANET	DIFERENCIA TIEMPO	DISTANCIA SUMO	DISTANCIA VANET	DIFERENCIA DISTANCIA
RUTA 3	5	56,47	46,63	-9,84	992,59	992,59	0
	9	51,47	54,66	3,19	992,59	992,59	0
	15	59,26	46,63	-12,63	992,59	992,59	0
	23	138,00	140,57	2,57	992,59	992,59	0
	33	137,53	136,22	-1,31	992,59	992,59	0
	43	139,19	120,18	-19,01	991,62	1067,59	75,97
	53	132,90	96,40	-36,50	997,79	1062,63	64,84
	63	125,36	85,30	-40,06	993,77	1066,86	73,09
	73	119,51	97,53	-21,98	998,18	1048,62	50,44
	83	116,64	100,06	-16,58	989,46	1076,28	86,82
	91	116,38	121,98	5,60	992,59	992,59	0
97	137,43	109,33	-28,10	999,58	1049,48	49,90	

Fuente: Roberto Marcillo

4.2.1. RENDIMIENTO

En la Figura 70, se tiene un comparativo de distancias para el Escenario Uno de sólo movilidad con SUMO, y el Escenario DOS con el uso de la VANET, en cuanto a lo recorrido por los 100 vehículos. Un 18% de estos vehículos tienen un aumento en la distancia recorrida, debido a que la Ruta 1 (9 vehículos), Ruta 3 (6 vehículos) y Ruta 5 (3 vehículos) tuvieron cambios de trayectoria por el accidente programado en la Calle Antonio Sucre, y las rutas alternas que optaron estos vehículos necesariamente implica mayor desplazamiento, por el uso de vías secundarias. Par el caso de la Ruta 8, los 6 vehículos asociados optan por una trayectoria alterna y recorren menor distancia con la solución VANET. Por otra parte, el 60% de los vehículos no presenta variación en distancias y conservan las rutas preestablecidas, de inicio y destino final.

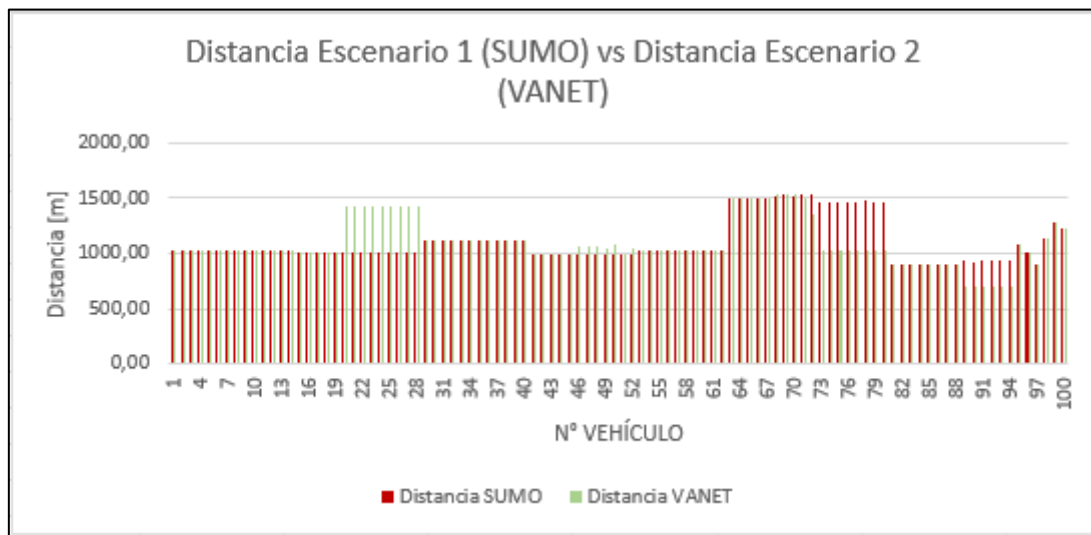


Figura 70. Análisis comparativo de distancias - Escenarios Uno 1 y Dos
Fuente: Roberto Marcillo

El tiempo es un parámetro clave y es significativo porque permite que el conductor sienta maniobrabilidad y seguridad, pero cuando la red de vehículos prioriza la seguridad vial, el tiempo se sitúa en un segundo plano. En la Fig. 71 se muestra la comparación de tiempos entre el Escenario Uno y el Escenario Dos 2, y se tiene un 46% de los vehículos con reducción de tiempo, lo que implica que el uso de la VANET es una solución de control para un mejor flujo vehicular.

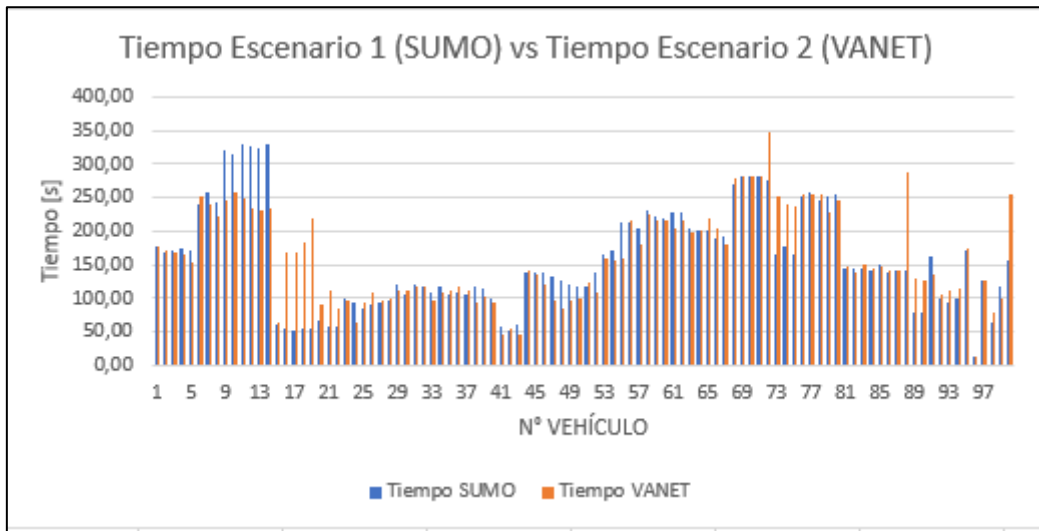


Figura 71. Análisis Tiempos con y sin VANET
Fuente: Roberto Marcillo

4.2.2. ANÁLISIS GENERAL

En esta capítulo se recogen y analizan los datos obtenidos en la simulación vehicular con SUMO, y lo entregado por la red de comunicación con la VANET.

En términos generales, se toma para el análisis 100 vehículos distribuidos en 15 rutas entre programadas y aleatorias, identificadas con colores característicos, y con trayectorias ajustadas a la intensidad de tráfico vehicular en horas pico. En el área de análisis del centro de la ciudad de Ibarra, se ubican 6 RSU's en lugares que permitan tener cobertura con los vehículos que ingresan y salen de la misma, y nunca se pierda o se degrade la calidad de la señal que envían y reciben. Las OBU's instaladas en los vehículos (nodos) posibilitan establecer y mantener comunicación inalámbrica V2V y V2I.

En la etapa de las pruebas, se realizan simulaciones con una variación en la frecuencia de transmisión que va desde 1 hasta 0.05 segundos, y se habilita el parámetro de envío de las frecuencias beacons que permiten la comunicación en tiempo real y dan información de cada RSU y en cada vehículo. Dado que la mayoría de las aplicaciones de red en el vehículo deben responder instantáneamente a las solicitudes de los nodos, el retraso de un extremo a otro debe estar entre 100 y 500 milisegundos; este último es el valor mínimo aceptable para acceder a los servicios a través de la red. Se debe notar que, cuando aumenta la frecuencia de transmisión, aumenta el retraso

Ya en la parte final de esta simulación de movilidad vehicular con SUMO y red de comunicación con la VANET, en la Figura 72, se visualiza el comparativo de tiempos y distancias desarrollados por los vehículos. La Tabla 18 del Anexo B muestra la fuente de datos, con la información detallada de tiempos y distancias, que provienen del Escenario Uno 1 (solo movilidad vehicular y el Escenario Dos (usando la solución VANET). Se realizaron un total de 400 mediciones para los 100 vehículos, que incluyen el tiempo consumido y la distancia recorrida por cada unidad vehicular.

El simulador VEINS para soluciones de tráfico considera tres parámetros básicos a evaluar: eficiencia del tráfico, seguridad vial y comodidad del conductor. En el estudio se verificó que el 62% de los vehículos presentan una reducción en tiempo, distancia o ambos, mientras que el 38% no cambió ni mejoró.

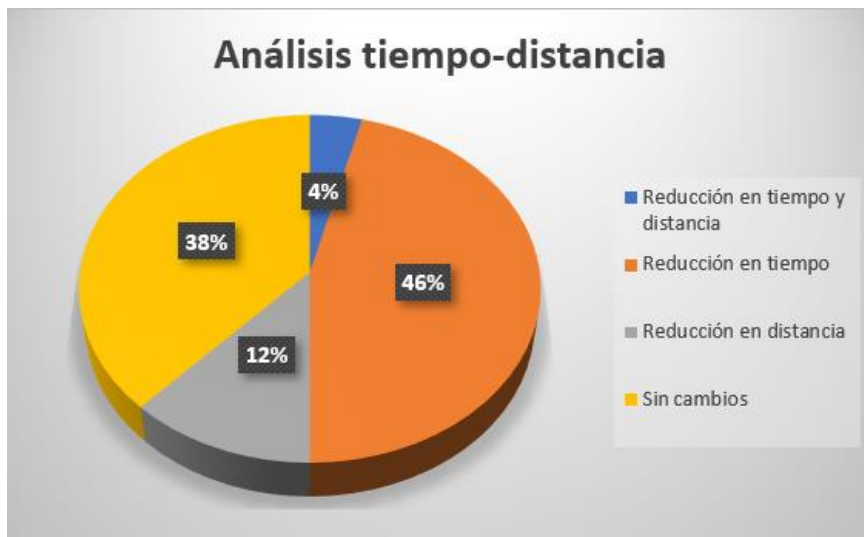


Figura 72. Análisis tiempo - distancia con VANET
Fuente: Roberto Marcillo

De pronto, el limitante puede ser, no contar con más rutas alternas, o la presencia de calles peatonales, como la que tenemos en la calle García Moreno que pertenece al Parque Pedro Moncayo. Al tener el centro de la ciudad de Ibarra, un área histórica y turística, es necesaria la reducción de velocidad vehicular para evitar accidentes o siniestros de tránsito. Si se debe puntualizar, que a las horas pico que se tiene en el centro de Ibarra, la percepción del usuario es la necesidad de movilizarse por rutas largas, que no prevalezca ni tiempo ni distancia, sino que haya un flujo vehicular que evite cuellos de botella, con la consiguiente congestión vehicular.

En consecuencia, la utilización de una red ad - hoc vehicular VANET si es una solución que permite el control de tráfico vehicular en horas pico en el centro de la ciudad de Ibarra. Esta tecnología de hecho apalanca los sistemas de transporte inteligente tan necesarios en los tiempos actuales para la optimización del tráfico vehicular en ciudades densamente pobladas y con un elevado parque automotor.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.CONCLUSIONES

- En un contexto general, es atribución del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Ibarra, el planificar y ordenar el sistema de movilidad, transporte, desarrollo urbano y medio ambiente e infraestructura. Caso particular es el mejorar la alta movilidad y concentración vehicular, de esta manera, dar solución al congestionamiento de vehículos que se producen en horas pico en el centro de la ciudad de Ibarra. Como se demuestra en el Capítulo IV, el uso de redes ad – hoc vehiculares VANET es una solución válida para el control de tráfico vehicular porque permite reducción de tiempos de movilidad cuando se tienen eventos de contingencia de tránsito.
- En la simulación de una red ad - hoc VANET debe existir un simulador de tráfico y un simulador de red, que son SUMO y OMNT ++ de manera indivisible. Los cuales se integran con una interfaz amigable a través del framework VEINS, que cada cierto tiempo se va actualizando conforme con avance y desarrollo de las redes vehiculares.do. El uso de las VANET implica contar con un buen ancho de banda de transmisión de datos, baja latencia y eficiencia espectral de la banda de frecuencia asignada para este tipo de comunicación inalámbrica.
- En el caso de la comunicación inalámbrica, el uso de la banda de frecuencia de 5,850 a 5,925 GHz establecida por el estándar IEEE 802.11p para redes vehiculares puede mejorar la flexibilidad y evitar la saturación de la banda. Los cambios en la capa física IEEE 802.11a permiten que IEEE 802.11p se utilice con canales de 10 MHz, que se utilizan para reducir el impacto de la propagación Doppler y funcionan con una sobrecarga más baja para lograr una mayor eficiencia espectral. Además, IEEE 802.11p cuenta una variación de IEEE 802.11e en la parte baja de la subcapa MAC para trabajar con EDCA como mecanismo de acceso al medio para la comunicación inalámbrica en tiempo real.

- Las redes ad - hoc VANET posibilitan la transmisión de datos entre vehículos con comunicación V2V a través de las carreteras y vías, proporcionan información del estado del tráfico vehicular que permita generar y optimizar un sistema de transporte inteligente STI; el simular una VANET permite tener un mejor criterio del número de RSU's que se requieren para cubrir zonas geográficas específicas y gestionar el transporte de datos en la comunicación V2I.
- En este trabajo de investigación se estableció para el análisis un área específica del centro de la ciudad de Ibarra. Con el uso de mapas geo referenciados de: ubicación de calles y avenidas, de intensidad de tráfico en horas pico cercanas a la realidad proporcionados por aplicaciones de Google Maps, y la ubicación de los RSU's. basada en un criterio técnico de cobertura, permitieron poder implementar un modelo de simulación de control de tráfico vehicular por medio de una red vehicular ad -hoc VANET.
- El uso de la tecnología de comunicación inalámbrica se realizó mediante simulaciones en software académico gratuito, como son OMNeT ++ y SUMO; y con la ayuda de la herramienta GatcomSUMO, fue posible obtener las coordenadas x e y en los simuladores, a partir de coordenadas georreferenciadas de latitud / longitud determinadas por el área de estudio que es el centro de la ciudad de Ibarra; para esto se utilizó OpenStreetMap.
- Como se indicó en el capítulo IV, los valores de los principales parámetros de la red de comunicación se encuentran ya determinados, tales como: número de vehículos, velocidad, la frecuencia, tamaño del paquete, frecuencia beacon, ya fueron establecidos en la fundamentación teórica y de estado del arte de la investigación con este tipo de tecnología. Los valores asignados se describen a continuación:

Para una red IEEE 802.11p: Una frecuencia de 5.9 GHz, una Potencia del Transmisor de 25 dBm (RSU & OBU), una Sensibilidad de -108 dBm (umbral de -83 dBm), Tamaño del paquete de 1200 bits, Tiempo de simulación de 370 segundos para el escenario propuesto, Frecuencia Beacon de 1, 4, 8, 10 & 20 Hz,

los 100 vehículos con una velocidad de 13.89 m/s (50 Km/h), el Tipo de Antena Isotrópica/omnidireccional, y un ancho de banda de 10 MHz.

- Al tener la solución VANET en el Escenario 2, se verificó con la simulación de movilidad vehicular en el centro de la ciudad de Ibarra, un 62% de los vehículos obtuvieron una mejora en tiempo, en distancia o en ambos parámetros. La red vehicular permite controlar y balancear el tráfico vehicular en el área de cobertura, enfocada a tener eficiencia y seguridad de tráfico, y dar una sensación de confianza al conductor al tenerle comunicado sobre posibles eventualidades como accidentes de tránsito. De esta manera, se pueden reducir los siniestros, congestiones, atascamientos propios de las urbes citadinas; y por otra parte bajar los niveles de estrés y posible violencia de los conductores que podrían coadyubar a provocar más accidentes de tránsito en las vías.

5.2.RECOMENDACIONES

- Debido al elevado número de vehículos que circulan por el centro de la ciudad de Ibarra, con el consecuente nivel alto de contaminación del aire, se debe promover una movilidad sostenible y sustentable, que involucre a todos los actores de la movilidad: peatones, y conductores; y generar en ellos una cultura de concientización y convivencia vial, a través de campañas de educación a la ciudadanía.
- Se debe entender que el centro de la ciudad de Ibarra confluye todo tipo de actividades comercial, financiera, turística, y educativas, y no sólo el control de tráfico vehicular es una necesidad imperiosa, sino debe darse una restricción progresiva uso de vehículos particulares en la urbe ibarreña.
- Se recomienda utilizar los programas SUMO v1.6.0 y OMNeT++ v5.0 ya que son requisitos para ejecutar el framework VEINS. Estos programas trabajan con el sistema operativo Windows, y son de uso académico no comercial. Se tiene un mejor ajuste de los simuladores y se evitan conflictos de instalación. Al ser programas de gran utilidad y aplicación, son sujetas de actualizaciones periódicas, con la que sus versiones cambian y pueden tener conflicto para trabajar con VEINS.

- Cuando se importa el mapa de OpenStreetMap para trabajar en SUMO, imperiosamente se deben cambiar los polígonos y puntos de GPS generados para identificar las diferentes infraestructuras en la simulación vehicular, esto se obtiene al modificar el archivo *ibarra.poly.xml* dentro de la carpeta de SUMO. Así, es posible generar los puntos georreferenciados que identifican a los dispositivos fijos RSU's instalados. Se recomienda el uso del software GatcomSUMO de Java Script, el cual permite conocer las posiciones (coordenadas x e y) para el simulador de red OMNeT++.
- Para trabajos de investigación futuros se sugiere el estudio de los vehículos en la red ad – hoc vehicular VANET y la comunicación inalámbrica 802.11p, e incorporar diferentes aplicaciones de información o entretenimiento multimedia en tiempo real e integrarlos en los vehículos. De esta manera, sacar provecho a las bondades que nos dan ahora las redes 4G, y en un futuro mediato la tecnología 5G y el Internet de las Cosas (IoT).
- En este trabajo de investigación se ha tenido en cuenta un número considerable de vehículos y las rutas que infieren el tráfico respectivo. Se recomienda delimitar el área a simular, de manera que se pueda determinar el escenario a analizar, y de esta manera, se pueda seleccionar el tipo de simulador de red de tecnología inalámbrica más adecuado, de manera que el resultado sea cercano a la realidad. De hecho, si hay más elementos en la red, los requisitos para funciones de software y hardware son proporcionales, y los equipos informáticos deben tener características técnicas similares.
- Finalmente, la sugerencia mediata es apuntar al estudio de la movilidad de los vehículos de socorro o de intervención rápida en situaciones de emergencia con soporte de la red ad - hoc VANET, y generar planes de contingencia vehicular.

GLOSARIO

AC	Access Category (categoría de acceso)
AIFSN	Arbitration InterFrame Space Number (número de espacios arbitrario entre tramas)
ARCOTEL	Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones
AU	Application Unit (unidad de aplicación)
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (múltiple acceso con sensado de portadora y evasión de colisiones)
DSRC	Dedicated Short-Range Communications (comunicaciones especializadas de corto alcance)
EDCA	Enhanced Distributed Channel Access (canal de acceso de distribución mejorado)
FCC	Federal Communications Commission (comisión federal de comunicaciones)
GPS	Global Positioning System (sistema de posicionamiento global)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)
ITS	Intelligent Transportation Systems (sistema de transporte inteligente)
IVC	Inter-Vehicular Communication (comunicación inter vehicular)
MAC	Media Access Control (control de accesos al medio)
MANET	Mobile Ad-hoc Network (red móvil ad-hoc)
MPDU	MAC Protocol Data Unit (unidad de datos del protocolo MAC)
OBU	On Board Unit (unidad a bordo)
OFDM	Orthogonal Frequency Division Modulation (modulación ortogonal por división de frecuencia)
OMNeT++	Objective Modular Network Tested (probador de redes modulares orientado a objetos)
PDU	Protocol Data Unit (unidad del protocolo de datos)
PLCP	Physical Layer Convergence Protocol (protocolo de convergencia de capa física)
PMD	Physical Medium Dependent (dependiente del medio físico)
PPDU	Physical Layer Protocol Data Unit (unidad de datos para el protocolo)

	de capa física)
QAM	Quadrature Amplitude Modulation (modulación de amplitud en cuadratura)
QoS	Quality of Service (calidad de servicio)
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying (modulación de fase en cuadratura)
RSU	Road Side Unit (unidades de lado de la carretera)
SIFS	Short Interframe Space (espacio corto entre tramas)
SUMO	Simulation of Urban Mobility (simulador de movilidad urbana)
TRACI	Traffic Control Interface (interfaz de control de tráfico)
UTC	Universal Coordinated Time (tiempo coordinado universal)
UDP	User Datagram Protocol (protocolo de datagrama de usuario)
VANET	Vehicular Ad-hoc Network (red vehicular ad-hoc)
VEINS	Vehicles In Network Simulation (simulación de redes en vehículos)
V2V	Vehicle-to-vehicle (vehículo a vehículo)
V2I	Vehicle-to-infrastructure (vehículo a infraestructura)
V2X	Vehicle-to-someone (vehículo a cualquier objeto)
WANET	Wireless Ad-hoc Network (red inalámbrica ad-hoc)
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments (acceso inalámbrico en ambientes vehiculares)
WBSS	WAVE Basic Service Set (conjunto de servicios básicos WAVE)

REFERENCIAS

- ARCOTEL. (2017). *Plan Nacional de Frecuencias Ecuador 2017*. Quito.
- Asamblea Nacional. (2018). *LEY ORGANICA DE TRANSPORTE TERRESTRE TRÁNSITO Y SEGURIDAD VIAL*. Quito.
- Bernal Torres, C. (2010). *Metodología de la investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. México: Prentice Hall.
- Byungjun, K., Seongwon, K., & Hoyoung, Y. (2019). Nearest-First: Efficient Relaying Scheme in Heterogeneous V2V Communication Environments. *IEEE*, 23615 - 23627.
- Caiza, D. (2017). *Simulación de una VANET para en sector del Centro Histórico de la Ciudad de Quito como apoyo a la movilidad vehicular*. Quito.
- Cerezo, P. G. (2012). "Estudio del Simulador de redes vehiculares", p. 166.
- Eckhoff, D., & Sommer, C. (2012). "A Multi-Channel IEEE 1609.4 and 802.11 p EDCA Model for the Veins Framework,". *Proc. 5th ACM/ICST* , 4-5.
- GAD IBARRA. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Ibarra 2015*. Ibarra.
- González, E. (23 de 07 de 2020). *uisrael.edu.ec*. Obtenido de <https://www.facebook.com/universidadisrael/videos/583311779024257/>
- Gutiérrez, M. (2006). *Curso de Métodos de Investigación*. Quito.
- Haitao, Z., Hongsu, Y., & Dapeng, L. (2019). Vehicle Accident Risk Prediction Based on AdaBoost-SO in VANETs. *IEEE*, 14549 - 14557.
- Higashino, T. (10 de 07 de 2020). *MobiReal*. Obtenido de <http://www.mobireal.net>
- IEEE. (2010). IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements. *IEEE*, 1-51.
- IEEE. (2012). IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks-- Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. *IEEE*.
- Kosch, T. (2009). Communication Architecture for Cooperative Systems in Europe. *IEEE*, 116-125.
- Leiva Zea, F. (2010). *Nociones de metodología de investigación científica*.
- López, S. (2019). *Transporte, Movilidad, Desarrollo Urbano y Medio Ambiente: Una necesidad en la ciudad de Ibarra*. Quito.

- Marousek, J., Khijniak, D., Zhang, T., & Xiang, W. (2008). "Wireless Access for Vehicular Environments {(WAVE)". *IEEE*.
- Mayné, J. (2005). "*Comunicaciones Inalámbricas,*".
- Mena, R., Urquiza, L., Calderón, X., & Zambrano, A. (2018). Simulación y Análisis de Tráfico Vehicular en las Rutas de Acceso para la Ciudad de Quito con Mapas Geográficos en SUMO (Simulación de Movilidad Urbana). *IEEE 2018*, 26-34.
- Mercado, A., Berrios, F., & Chan Ye, P. (2003). Redes inalámbricas Ad - Hoc . 1-7.
- Miao, L., Djouani, B., Van Wyk, J., & Y., H. (2012). "Evaluation and Enhancement of IEEE 802.11p Standard: A Survey,". *Mob. Comput*, 15 - 30.
- Miao, L., Djouani, K., Van Wyk, B., & Y., H. (2012). Evaluation and Enhancement of IEEE 802.11p Standard: A Survey,. *Mov. Compute*, 15 - 30.
- Min Defensa. (2019). *PLAN NACIONAL DE SEGURIDAD INTEGRAL 2019 - 2030*. Quito.
- Mir, Z., & Fethi, F. (2014). Lte and IEEE 802.11p for vehicular networking: a performance. *EURASIP Journal*, 1 - 15.
- Moller, R. (2006). *Transporte Urbano y desarrollo sostenible en América Latina*. Cali - Colombia: Universidad del Valle.
- Movildelnor. (12 de Julio de 2020). *movieldenor.gob.ec*. Obtenido de https://www.movieldenor.gob.ec/umep/uniportal/images/Estadisticas/Jun2020/Jun2020_Ibarra.pdf
- Network Simulations Tools. (20 de Junio de 2020). *Network Simulations Tools*. Obtenido de <https://networksimulationtools.com/groove-net-simulator-projects>
- Olivares Gallego, R. (2015). *Modelo de simulación y planificación de tráfico urbano mediante semáforos inteligentes y Sumo*.
- OMNeT++. (23 de Junio de 2020). Obtenido de OMNeT++: <https://omnetpp.org/download/>
- Orozco, O., & Llano, G. (2014). Aplicaciones para redes vanet estimación del exponente de hurst y dimensión fractal para el análisis de series de tiempo de absorbancia uv-vis. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 111 - 132.
- Piórkowski, M., Raya, M., Lugo, A., Papadimitratos, P., Grossglauser, M., & Hubaux, P. (2008). "TraNS," ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review.
- Samad, S., Waqar, A., & Rahman, A. (2019). Time Barrier-Based Emergency Message Dissemination in Vehicular Ad-hoc Networks. *IEEE*, 16494 - 16503.

- Shovita, V., Rajeev, P., & Aditi, A. (2019). Realistic Model of Mobility based on Location and Route for VANET. *IJRTE*, 5111 - 5116.
- Ullah, A., Yaqoob, S., & Imran, M. (2018). Emergency Message Dissemination Schemes Based on Congestion Avoidance in VANET and Vehicular FoG Computing . *IEEE*, 1570 - 1585.
- Vandung, N., Khanh, T., & Oo., T. (2018). • A cooperative and reliable RSU-assisted IEEE 802.11p-based multi-channel mac protocol for VANET's. *IEEE*, 107576 - 107590.
- Varga, A. (2001). The OMNeT++ discrete event simulation system.
- Veins. (30 de Junio de 2020). *Veins*. Obtenido de <https://veins.car2x.org/>
- Viscaino, J. (2018). *Evaluacion de rendimiento de las tecnologias 802.11 y LTE para proveer servicios web en redes vehiculares ad-hoc*. Riobamba.

ANEXOS

ANEXO A: INSTALACIÓN DE SIMULADORES

SIMULADOR OMNET++5

Se ingresa a la página web del simulador de red OMNeT++5.62¹⁶, para descargarlo en ambiente Windows, como se indica en la Figura 73.



Figura 73. Descarga de simulador de red OMNeT++
Fuente: (OMNeT++, 2020)

Se obtiene la carpeta omnetpp-5.6.2. En la subcarpeta doc existe un archivo .pdf guía para la instalación del simulador.

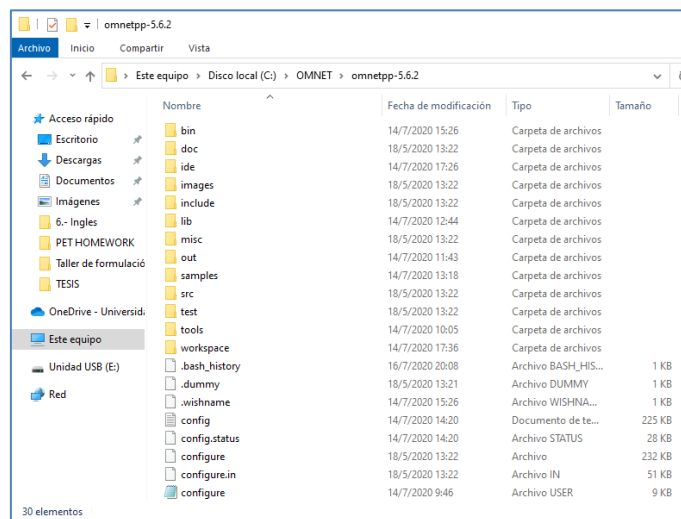


Figura 74. Carpeta omnetpp-5.6.2
Fuente: Roberto Marcillo

¹⁶ <https://omnetpp.org/download/>

Se abre el archivo configure.ser con ayuda del Notepad para poder editar una línea de código, se muestra a continuación, por default está en YES, y se pone NO, para soporte del compilador gccG++

```
# configure.user
#
# This file contains additional input for 'configure'. It is read (sourced)
# during the configuration process. You are free to edit the settings in here.
#
# The settings in this file are all optional in the sense that they all
# have reasonable default values in the configure script.
#
#
# Edit here if you want to use a different compiler from the one autodetected
# by configure. Turns off the compiler autodetection.
#
#CC=gcc
#CXX=g++
#
# Set to "yes" if you want to use clang/clang++ instead of gcc/g++ when both
# compiler is installed.
#
PREFER_CLANG=no
#
# Compiler optimization switches. There are two sets of switches,
# and the MODE variable ("debug" or "release") decides which one gets used.
# (Note: For maximum debugging info use switch -ggdb or -gstabs+3 when using gcc and gdb)
# With gcc, do NOT use --omit-frame-pointer (it crashes when coroutines and
# C++ exceptions (throw/catch) are used together)!
#
#
```

Figura 75. Archivo configure.user
Fuente: Roberto Marcillo

Se ejecuta el archivo mingwev para extraer los paquetes y los instaladores con los que trabaja OMNETT, y se obtiene la siguiente ventana, la misma que ayuda a inicializar el simulador.

```
M /c/OMNET/omnetpp-5.6.2
Welcome to OMNeT++ 5.6.2!
/c/OMNET/omnetpp-5.6.2$ |
```

Figura 76. Inicialización de simulador OMNeT
Fuente: Roberto Marcillo

Se escribe la línea de código ./configure para la configuración que necesita OMNeT por defecto. Después se escribe la sentencia MAKE para completar la instalación.

```

/c/OMNET/omnetpp-5.6.2
Welcome to OMNeT++ 5.6.2!

/c/OMNET/omnetpp-5.6.2$ ./configure
configure: loading site script /mingw64/etc/config.site
checking build system type... x86_64-w64-mingw32
checking host system type... x86_64-w64-mingw32
configure: -----
configure: reading configure.user for your custom settings
configure: -----
checking for icc... no
checking for gcc... gcc
checking whether the C compiler works... yes
checking for C compiler default output file name... a.exe
checking for suffix of executables... .exe
checking whether we are cross compiling... no
checking for suffix of object files... o
checking whether we are using the GNU C compiler... yes
checking whether gcc accepts -g... yes
checking for gcc option to accept ISO C89... none needed
checking for icpc... no
checking for g++... g++
checking whether we are using the GNU C++ compiler... yes
checking whether g++ accepts -g... yes
checking for g++... g++
checking for ranlib... ranlib
checking whether g++ supports -fno-omit-frame-pointer... yes
checking whether g++ supports -Wl,--no-as-needed... yes

Scroll up to see the warning messages (use shift+PgUp), and search config.log
for more details. While you can use OMNeT++ in the current configuration,
be aware that some functionality may be unavailable or incomplete.

Your PATH contains /c/OMNET/omnetpp-5.6.2/bin. Good!

/c/OMNET/omnetpp-5.6.2$ make

```

Figura 77. Instalación completada del simulador.
Fuente: Roberto Marcillo

Posteriormente se ejecuta el comando omnetpp, el cual permite abrir el simulador.

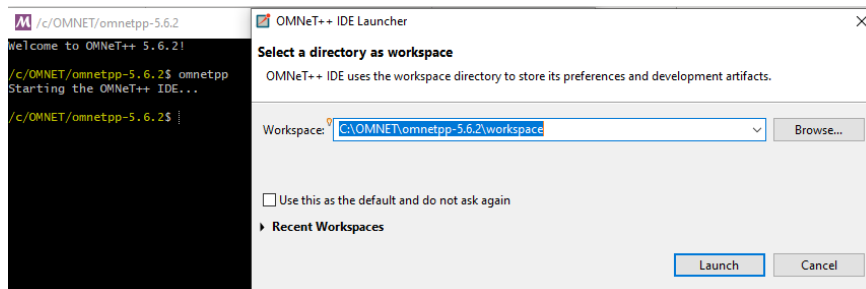


Figura 78. Ambiente omnetpp-5.6.2 workspace
Fuente: Roberto Marcillo



Figura 79. Simulador OMNeT++5 instalado
Fuente: Roberto Marcillo

Para instalar el INET Framework que es un conjunto de modelos OMNeT ++ de código abierto para redes cableadas, inalámbricas y móviles, se lo hizo a través de GitHub¹⁷, no a través de OMNeT++ porque optimiza y no genera demoras la instalación.

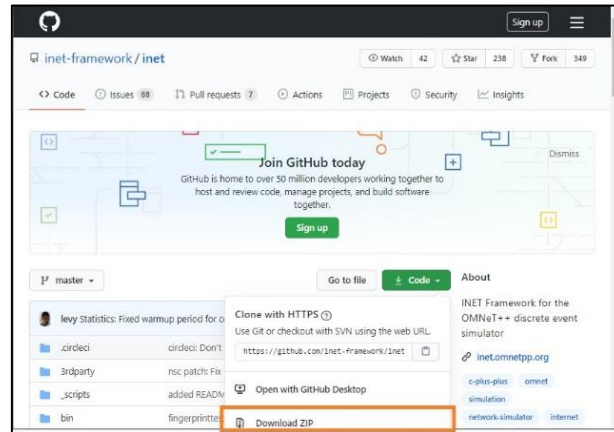


Figura 80. Instalación de INET Framework
Fuente: Roberto Marcillo

Después de la descarga, se descomprime en la misma ruta del OMNeT, del disco local C.

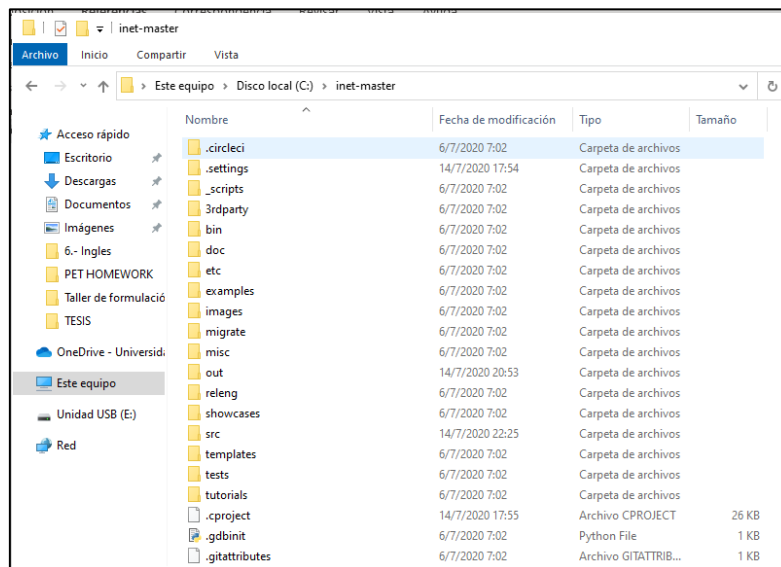


Figura 81. Creación de carpeta INET
Fuente: Roberto Marcillo

Para abrir INET en OMNETT se importa como Proyecto de la carpeta descargada anteriormente.

¹⁷ <https://github.com/inet-framework/inet>

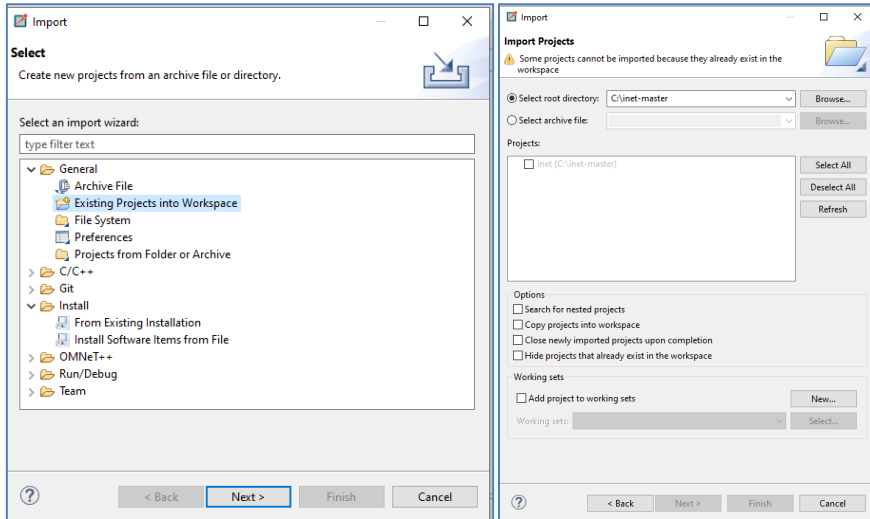


Figura 82. Creación de un proyecto con INET
Fuente: Roberto Marcillo

Se continúa con la instalación, una vez importado el proyecto, se procede a construirlo. Con esto terminamos instalación del INET.

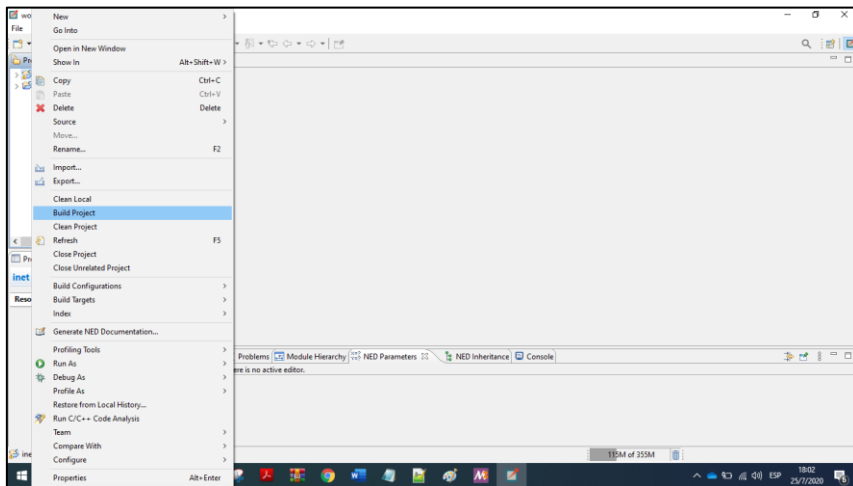


Figura 83. Construcción de Proyecto con INET
Fuente: Roberto Marcillo

SIMULADOR VEINS

La instalación de VEINS - que incluye un conjunto completo de modelos para hacer que las simulaciones de redes vehiculares sean lo más realistas posible -, se descarga en forma similar a lo realizado con INET Frameworks, desde GitHub¹⁸

¹⁸ <https://github.com/sommer/veins>

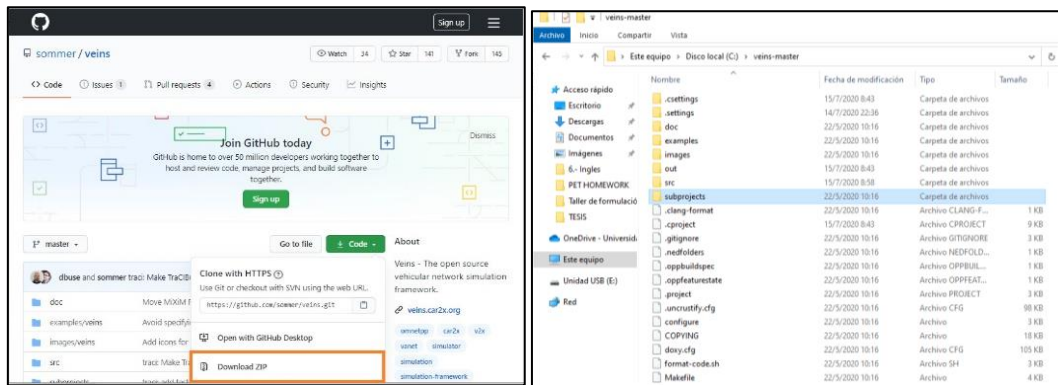


Figura 84. Instalación de VEINS
Fuente: Roberto Marcillo

Una vez construido el Proyecto se obtiene el siguiente ambiente de VEINS dentro de OMNeT++ 5. Aquí se puede ya, realizar proyectos, revisar ejemplos, etc.

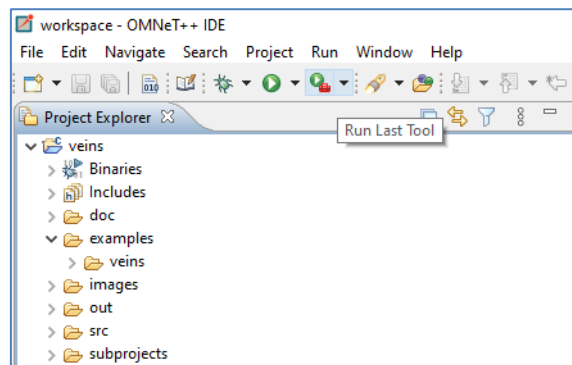


Figura 85. Modelo VEINS instalado
Fuente: Roberto Marcillo

SIMULADOR SUMO 1.6.0

La instalación del simulador de tráfico vial SUMO 1.6.0 para Windows se lo realiza ingresando al sitio web¹⁹

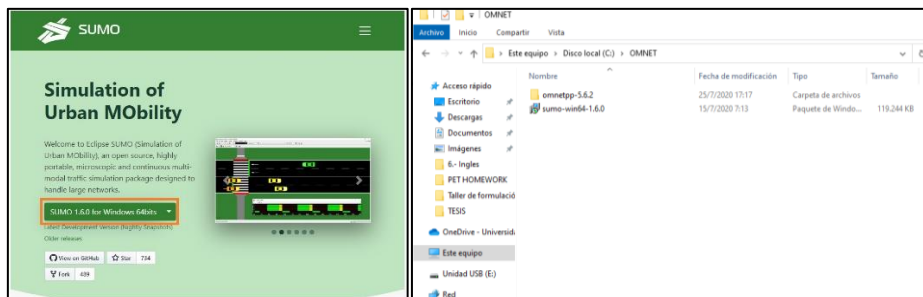


Figura 86. Instalación de SUMO bajo OMNeT++
Fuente: Roberto Marcillo

¹⁹ <https://www.eclipse.org/sumo/>

Para abrir un archivo de SUMO en VEINS, se debe conocer cuál es el script para correrlo. Este archivo es .py porque está escrito en Python, que es un lenguaje de programación, que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida programación funcional²⁰.

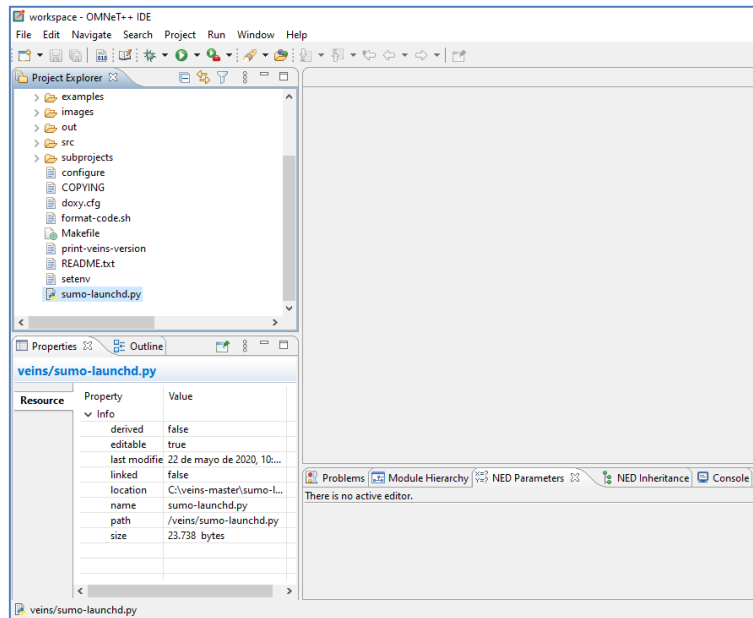


Figura 87. Archivos de SUMO con extensión .py
Fuente: Roberto Marcillo

Para ejecutar SUMO desde el VEINS de OMNeT++5, se requiere saber la ubicación de donde está instalado, y ejecutar el siguiente comando.

```
/c:/OMNET/omnetpp-5.6.2$ C:/veins-master/sumo-launchd.py -vv -c 'C:/Program Files (x86)/eclipse/Sumo/bin/sumo-gui.exe'  
Logging to C:/Users/Roberto/AppData/Local/Temp/sumo-launchd.log  
Listening on port 9999
```

Con esto ya podemos ingresar a la aplicación SUMO 1.6.0, y podemos iniciar un proyecto realizado o un nuevo de simulación de tráfico vehicular.

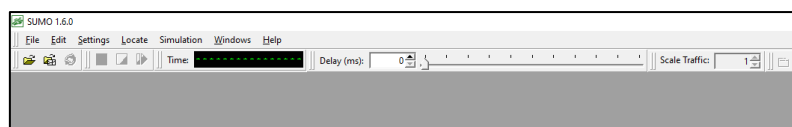


Figura 88. Simulador SUMO 1.6.0 instalado
Fuente: Roberto Marcillo

²⁰ <https://es.wikipedia.org/wiki/Python>

ANEXO B: DISTANCIA Y TIEMPOS DE SIMULACIÓN VEHICULAR.

Tabla 18. Tiempos y Distancias - Escenarios 1 y 2

RUTA	VEHÍCULO	TIEMPO SUMO	TIEMPO VANET	DIFERENCIA TIEMPO	DISTANCIA SUMO	DISTANCIA VANET	DIFERENCIA DISTANCIA
RUTA 0	0	176,92	175,58	-1,34	1029,62	1029,62	0
	2	167,48	170,17	2,69	1029,62	1029,62	0
	6	171,79	167,51	-4,28	1029,62	1029,62	0
	12	175,28	164,92	-10,36	1029,62	1029,62	0
	20	170,43	153,77	-16,66	1029,62	1029,62	0
	30	239,38	252,85	13,47	1029,62	1029,62	0
	40	256,62	238,52	-18,10	1029,62	1029,62	0
	50	242,17	221,16	-21,01	1029,62	1029,62	0
	60	321,33	245,64	-75,69	1029,62	1029,62	0
	70	313,29	257,49	-55,80	1029,62	1029,62	0
	80	330,67	248,27	-82,40	1029,62	1029,62	0
	88	324,79	234,18	-90,61	1029,62	1029,62	0
	94	324,72	231,56	-93,16	1029,62	1029,62	0
	98	328,05	234,61	-93,44	1029,62	1029,62	0
RUTA 1	1	60,03	62,55	2,52	1009,20	1009,20	0
	3	55,52	167,25	111,73	1009,20	1009,20	0
	7	51,34	167,45	116,11	1009,20	1009,20	0
	13	55,92	183,90	127,98	1009,20	1009,20	0
	21	54,91	217,69	162,78	1009,20	1009,20	0
	31	67,11	91,65	24,54	1009,20	1419,88	410,68
	41	57,76	112,45	54,69	1009,20	1419,88	410,68
	51	56,56	83,51	26,95	1009,20	1419,88	410,68
	61	100,31	96,03	-4,28	1009,20	1419,88	410,68
	71	92,62	62,64	-29,98	1009,20	1419,88	410,68
	81	85,85	94,16	8,31	1009,20	1419,88	410,68
	89	89,65	107,59	17,94	1009,20	1419,88	410,68
	95	93,72	96,55	2,83	1009,20	1419,88	410,68
	99	95,52	99,85	4,33	1009,20	1419,88	410,68
RUTA 2	4	120,89	112,17	-8,72	1123,41	1123,41	0
	8	104,43	111,93	7,50	1123,41	1123,41	0
	14	121,35	117,11	-4,24	1123,41	1123,41	0
	22	118,41	117,74	-0,67	1123,41	1123,41	0
	32	106,96	95,76	-11,20	1123,41	1123,41	0
	42	116,99	108,70	-8,29	1123,41	1123,41	0
	52	104,56	111,13	6,57	1123,41	1123,41	0
	62	109,31	117,32	8,01	1123,41	1123,41	0
	72	105,36	111,31	5,95	1123,41	1123,41	0
	82	118,71	94,14	-24,57	1123,41	1123,41	0
90	113,00	102,50	-10,50	1123,41	1123,41	0	

		96	98,18	93,75	-4,43	1123,41	1123,41	0
RUTA 3		5	56,47	46,63	-9,84	992,59	992,59	0
		9	51,47	54,66	3,19	992,59	992,59	0
		15	59,26	46,63	-12,63	992,59	992,59	0
		23	138,00	140,57	2,57	992,59	992,59	0
		33	137,53	136,22	-1,31	992,59	992,59	0
		43	139,19	120,18	-19,01	991,62	1067,59	75,97
		53	132,90	96,40	-36,50	997,79	1062,63	64,84
		63	125,36	85,30	-40,06	993,77	1066,86	73,09
		73	119,51	97,53	-21,98	998,18	1048,62	50,44
		83	116,64	100,06	-16,58	989,46	1076,28	86,82
		91	116,38	121,98	5,60	992,59	992,59	0
	97	137,43	109,33	-28,10	999,58	1049,48	49,90	
RUTA 4		10	165,19	158,57	-6,62	1026,55	1026,55	0
		16	172,17	155,05	-17,12	1026,55	1026,55	0
		24	214,09	157,59	-56,50	1026,55	1026,55	0
		34	212,96	217,13	4,17	1026,55	1026,55	0
		44	204,51	180,15	-24,36	1026,55	1026,55	0
		54	230,16	226,05	-4,11	1026,55	1026,55	0
		64	222,90	215,69	-7,21	1026,55	1026,55	0
		74	219,78	214,34	-5,44	1026,55	1026,55	0
		84	226,57	205,03	-21,54	1026,55	1026,55	0
		92	228,32	215,49	-12,83	1026,55	1026,55	0
RUTA 5		11	203,64	198,76	-4,88	1508,27	1508,27	0
		17	201,18	201,31	0,13	1508,27	1508,27	0
		25	201,18	217,41	16,23	1508,27	1508,27	0
		35	189,28	204,03	14,75	1508,27	1508,27	0
		45	192,59	180,93	-11,66	1508,27	1508,27	0
		55	269,44	279,10	9,66	1522,19	1536,18	13,99
		65	282,94	280,29	-2,65	1528,71	1539,03	10,32
		75	280,88	281,81	0,93	1524,17	1535,34	11,17
		85	280,71	282,77	2,06	1528,92	1503,37	-25,55
	93	274,90	345,90	71,00	1527,62	1360,70	-166,92	
RUTA 6		18	165,66	250,74	85,08	1471,71	1022,15	-450
		26	177,05	238,30	61,25	1464,99	1022,15	-443
		36	164,52	236,31	71,79	1471,38	1022,15	-449
		46	252,30	255,47	3,17	1465,76	1022,15	-444
		56	257,10	254,06	-3,04	1471,80	1022,15	-450
		66	247,04	254,12	7,08	1475,17	1022,15	-453
		76	251,28	228,48	-22,80	1470,16	1022,15	-448
	86	254,94	246,17	-8,77	1470,05	1022,15	-448	
RUTA 7		19	145,37	146,21	0,84	901,80	901,80	0
		27	143,01	138,05	-4,96	901,80	901,80	0

		37	143,87	150,62	6,75	901,80	901,80	0
		47	140,29	143,51	3,22	901,80	901,80	0
		57	149,83	147,41	-2,42	901,80	901,80	0
		67	139,55	139,81	0,26	901,80	901,80	0
		77	140,51	142,35	1,84	901,80	901,80	0
		87	142,17	288,46	146,29	901,80	901,80	0
RUTA 8		28	77,91	129,66	51,75	934,52	694,72	-239,80
		38	78,52	125,05	46,53	925,76	698,03	-227,73
		48	162,30	134,39	-27,91	945,00	699,18	-245,82
		58	98,69	104,17	5,48	940,14	694,82	-245,32
		68	92,06	110,90	18,84	941,61	697,47	-244,14
		78	98,67	113,27	14,60	942,74	693,04	-249,70
R9		29	169,63	174,25	4,62	1089,98	1089,98	0
R10		39	13,05	13,43	0,38	1003,97	1003,97	0
R11		49	125,56	125,90	0,34	898,59	898,59	0
R12		59	64,94	78,95	14,01	1129,57	1129,57	0
R13		69	118,24	98,81	-19,43	1287,76	1287,76	0
R14		79	154,64	253,95	99,31	1225,74	1225,74	0

Fuente: Roberto Marcillo