

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE ESMERALDAS



CARRERA:

INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

TESIS DE GRADO

SIMULACIÓN DE UNA RED MÓVIL VEHICULAR DE COMUNICACIÓN
MEDIANTE LA TECNOLOGÍA AD-HOC VEHICULAR, CASO DE ESTUDIO:
CIUDAD DE ESMERALDAS.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

REDES

AUTOR:

ALFONSO JESÚS HOLGUÍN MENDOZA

ASESOR:

Mgt. Jaime Paul Sayago Heredia

ESMERALDAS, 2023

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

La tesis fue aprobada luego de cumplir con los requisitos del Reglamento de Egreso del Campus Esmeraldas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador previo a la obtención del título de “Ingeniero en Tecnologías de la Información”.

Presidente del Tribunal de Graduación

f. _____

Asesor

f. _____

Lector #1

f. _____

Lector #2

f. _____

Coord. de carrera

f. _____

AUTORÍA DE TESIS

Yo, Alfonso Jesús Holguín Mendoza, con cédula de identidad _____ estudiante de la Escuela de la Carrera de Ingeniería de Sistemas y Computación de la PUCESE, expreso que el desarrollo de la presente investigación enmarcada en el actual trabajo de tesis es absolutamente original, auténtica y personal.

En tal virtud, manifiesto que el contenido de este trabajo de investigación propuesto es de exclusiva responsabilidad legal académica del autor y la PUCESE.

Alfonso Holguín Mendoza

CC:_____

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico a Dios, quien supo guiarme e inspirarme para culminar con éxito el presente trabajo de investigación, por otorgarme las fuerzas necesarias para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a enfrentar las adversidades sin perder nunca la dignidad, ni desfallecer en el intento.

A mis familiares, amistades y docentes quienes me apoyaron en este largo camino de preparación académica. A mis padres por su ayuda incondicional, consejos, comprensión, amor, a quienes debo todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para lograr alcanzar mis metas.

A mi esposa por ser mi compañera de lucha ante las batallas que se presentan día a día por su apoyo incondicional y ayuda durante el tiempo que llevamos juntos.

Alfonso Jesús Holguín Mendoza

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios, por derramar sobre mí sus bendiciones y darme la oportunidad de cumplir este sueño anhelado.

Agradezco a mi familia, por darme la confianza y el apoyo moral, por sus incondicionales consejos que me empujaron a seguir adelante.

A mi asesor de tesis, Mgt. Jaime Sayago, por su esfuerzo y dedicación, quien, con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado que pueda terminar mis estudios con éxito.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida, muchas gracias.

Con cariño.

Alfonso Jesús Holguín Mendoza

INDICE DE CONTENIDOS

Tribunal de graduación.....	II
Autoría de tesis.....	III
Dedicatoria.....	IV
Agradecimientos.....	V
Indice de contenidos.....	VI
Indice de figuras.....	VIII
Indice de tablas.....	X
Resumen.....	XI
Abstract.....	XII
Introducción	1
Planteamiento del problema	1
Justificación	2
Objetivos	3
Capítulo I: marco teórico	1
1.1. Bases teóricas – científicas	1
1.1.1. Redes inalámbricas	1
1.1.2. Clasificación de las wlan	1
1.1.3. Redes ad-hoc	2
1.1.4. Protocolos de ruteo ad-hoc.....	3
1.1.5. Dsdv - destination sequenced distance vector	4
1.1.6. Aodv - ad-hoc on-demand distance vector.	7
1.1.7. Formatos de los mensajes aodv.....	11
1.1.8. Dsr - dynamic source routing.....	12
1.1.8.1. Descubrimiento de las rutas dsr básicas.....	12
1.1.8.2. Descubrimiento de rutas	13
1.1.8.3. Mantenimiento de rutas.....	13
1.1.8.4. Arquitectura del sistema de comunicación móvil basado en dsr	14

1.1.8.5. Algoritmo ant	15
1.1.8.6. Redes ad-hoc manet	16
1.1.9. Redes vanets.....	17
1.1.10. Arquitectura vanet.....	19
1.1.11. Estándares para vanet.....	21
1.1.12. Sumo	23
1.1.13. Ns3.....	24
1.2. Antecedentes	24
1.3. Fundamentación legal	27
Capítulo II: materiales y métodos	29
2.1. Delimitación de la investigación.....	29
2.2. Tipo de investigación.....	29
2.3. Métodos de investigación	29
2.4. Técnicas de investigación	30
2.5. Población y muestra.....	30
2.6. Descripción de instrumentos.....	30
2.7. Procesamiento y análisis de datos.....	31
2.8. Normas éticas.....	31
Capítulo III: resultados	32
3.1. Situación actual movilidad.....	32
3.2. Causas que ocasionan la congestión vehicular.	34
3.3. Análisis de la solución	38
3.4. Definir las rutas.....	44
3.5. Escenario.....	44
3.6. Resultados de la simulación.....	46
Capítulo IV: discusión	48
Capítulo V: conclusiones y recomendaciones.....	50
5.1. Conclusiones	50
5.2. Recomendaciones	51
Referencias.....	52

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de redes Inalámbricas.	1
Figura 2. Redes Inalámbricas.....	3
Figura 3. Ejemplo de red Ad-hoc.....	6
Figura 4. Red ad hoc antes y después del movimiento de los nodos móviles.	7
Figura 5. Ruteo en movimiento.	8
Figura 6. Solicitud de ruta.....	9
Figura 7. Respuesta de ruta.....	9
Figura 8. Error de ruta.....	10
Figura 9. Formato del mensaje de solicitud de ruta (RREQ) Campos mutables: Recuento de saltos.....	11
Figura 10. Formato del mensaje de respuesta de ruta (RREP) Campos mutables: Recuento de saltos.....	11
Figura 11. Formato de mensaje de error de ruta (RERR) Campos mutables: Ninguno	11
Figura 12. Respuesta de confirmación de ruta (RREP-ACK) Formato del mensaje Campos mutables: Ninguno.....	11
Figura 13. Ejemplo de descubrimiento de rutas	12
Figura 14. Descubrimiento de rutas DSR.	13
Figura 15. BS de la red de comunicaciones móviles	15
Figura 16. Jerarquía general de las redes ad-hoc inalámbricas [4].	17
Figura 17. Aplicación de redes manets [16]	18
Figura 18. Componentes de comunicación en el vehículo	20
Figura 20. Comunicación entre infraestructuras.....	21
Figura 21. Visión general de una VANET [18].....	21
Figura 22. Estándares vanets y su relación con el modelo OSI [20]	22
Figura 23. Intervalos de canal [20]	23
Figura 24. Mapa de análisis de la PUCESE y Centro Comercial Multiplaza.....	33
Figura 25. Porcentaje de la pregunta 1.	35
Figura 26. Porcentaje de la pregunta 2.	36
Figura 27. Porcentaje de la pregunta 3.	37
Figura 28. Porcentaje de la pregunta 4.	37
Figura 29. Porcentaje de la pregunta 5.	38
Figura 30. Trafico en vivo PUCESE - Centro comercial Multiplaza.	38
Figura 25. Mapa Base del área seleccionado para análisis de trafico.....	39

Figura 26. Área para simulación de trafico.....	40
Figura 27. Listado de archivos generados	40
Figura 28. Archivos osm.net.xml.....	41
Figura 29. Segmentos y nodos del área	42
Figura 30. Vehículos permitidos en la generación de trafico	43
Figura 31. Mapa para experimento 1	43
Figura 32. API Python	44
Figura 33. Ruta iniical establecida.....	46
Figura 34. Vehículos de prueba de simulación.....	47

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de enrutamiento del nodo H6 en un instante.	6
Tabla 2. Campos de aplicación y ejemplos de uso en VANET [11].	19
Tabla 3. Coordenadas PUCESE – Centro Comercial Multiplaza.....	33
Tabla 3. Leyenda de colores de tráfico de Google maps	39
Tabla 4. Nodos recorridos de PUCESE a Multiplaza	42
Tabla 5. Valores de simulación.....	46

RESUMEN

Se propone una alternativa de rutas mediante redes vehiculares ad hoc (VANET) que permita optimizar los tiempos. En la investigación se exploró la información disponible en un entorno VANET para permitir optimizar el tráfico, se realizó un filtrado de búsqueda de múltiples fuentes bibliográficas. Para la comunicación vehicular intervienen muchas aplicaciones en el mundo real, sin embargo, para los experimentos se utilizó OMNET++ y SUMO para realizar una simulación con 500 vehículos desde la PUCESE hasta el centro comercial Multiplaza, las redes ad hoc vehiculares (VANET) son un tipo especial de redes ad hoc móviles (MANET) en las que los vehículos se comunican con otros vehículos o con las unidades de infraestructura de los alrededores utilizando protocolos estándar. Como resultados de la simulación se obtiene una Big Data con 65509 registros, los datos principales para el análisis son el Id del vehículo, las coordenadas, velocidad y desplazamiento, con esta información se analiza un vehículo en particular y se calcula el tiempo de uno de los puntos mencionados en la sección anterior. Para finalizar se concluye que el mejor tiempo del vehículo es de aproximadamente cuatro minutos en un tráfico normal, el Simulador de Vehículo en Red (Veins) tiene una popularidad creciente porque incorpora el ampliamente utilizado simulador de movilidad urbana (SUMO) con el simulador de red OMNET++.

ABSTRACT

We propose a routing alternative using vehicular ad hoc networks (VANET) to optimize time. In the research we explored the information available in a VANET environment to allow traffic optimization, a search filtering of multiple bibliographic sources was performed. For vehicular communication many applications are involved in the real world, however, for the experiments we used OMNET++ and SUMO to perform a simulation with 500 vehicles from PUCESE to the Multiplaza shopping mall. Vehicular ad hoc networks (VANET) are a special type of mobile ad hoc networks (MANET) in which vehicles communicate with other vehicles or with infrastructure units in the surrounding area using standard protocols. As results of the simulation a Big Data with 65509 records is obtained, the main data for the analysis are the Id of the vehicle, the coordinates, speed and displacement, with this information a particular vehicle is analyzed and the time of one of the points mentioned in the previous section is calculated. Finally, it is concluded that the best vehicle time is approximately four minutes in normal traffic. The Network Vehicle Simulator (Veins) has a growing popularity because it incorporates the widely used Urban Mobility Simulator (SUMO) with the OMNET++ network simulator.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación pretende analizar la movilidad vehicular dentro del casco urbano de la ciudad de Esmeraldas, ya que miles de vehículos de todo tipo se movilizan diariamente por las calles del centro de la ciudad causando así una gran congestión vehicular y más aún durante las determinadas horas pico del día, para lo cual se conocerá la situación actual de los ciudadanos esmeraldeños que poseen vehículos, cuáles son los motivos de su movilización y utilización de su vehículo, las horas más frecuentes de flujo vehicular; para así poder obtener como resultado una mejora en la movilidad de los vehículos y en la seguridad vial de los conductores.

Los avances tecnológicos relacionados con las comunicaciones inalámbricas durante las dos últimas décadas del siglo XXI han posibilitado numerosas aplicaciones en redes virtuales destinadas a dar solución a problemas cotidianos. La tecnología de red móvil G/LTE permite el procesamiento de datos de alta velocidad y baja latencia desde estaciones base celulares, habilitando aplicaciones de vehículos como sistemas de transporte avanzados. La conectividad es un requisito de la sociedad de consumo y con base en los avances de la investigación, permite mejores aplicaciones e interacciones entre las personas y su entorno [1].

Planteamiento del problema

La Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas ha tratado de mejorar un cierto porcentaje la congestión vehicular en el centro de la ciudad de Esmeraldas, mediante la manipulación de las herramientas informáticas que permita obtener una solución a los ciudadanos acerca de lo que es la movilidad vehicular y la conectividad inalámbrica mediante las redes vehiculares ad – hoc VANET, mediante esta manera poder tener una propuesta para realizar el control de tráfico en las horas con mayor congestión vehicular en el centro de la ciudad de Esmeraldas.

Las redes VANET se están volviendo populares debido a la aparición de la Internet de las cosas y las aplicaciones de inteligencia ambiental. En tales redes, la funcionalidad de

intercambio seguro de recursos se logra mediante la incorporación de esquemas de confianza [2].

Sin embargo, en los últimos años la situación del tráfico está muy saturada en el casco urbano de la ciudad de Esmeraldas esto empeora en las horas pico. Debido a que el número de la población y el número correspondiente de vehículos necesarios también están aumentando en las ciudades, esto está causando retrasos en los viajes, accidentes y sus correspondientes servicios de respuesta de emergencia, es necesario sugerir la ruta óptima al vehículo desde el nodo de salida al nodo de destino utilizando un algoritmo de búsqueda de ruta óptima antes de comenzar el viaje.

Justificación

La presente investigación tiene como objetivo analizar la movilidad vehicular en el centro de la ciudad de Esmeraldas, mediante la implementación de un simulador de redes vehiculares (SUMO).

Durante la última década, Ecuador se ha encontrado con que el precio del barril de petróleo se ha disparado y los ingresos de la economía han aumentado, haciendo posible que los ecuatorianos adquieran otro tipo de vehículos privados. Esto puede ser una solución a los problemas sociales. Hay muchos autos, pero esto provoca un gran problema de congestión y caos vehicular, especialmente en la ciudad, centro, zona comercial, donde se encuentra el gobierno central y las instituciones municipales, escuelas, colegios, bancos, comercios. La movilidad en diferentes medios de transporte no es fácil en horas pico, debido al volumen alto de tráfico, lo que convierte a esta hora en un verdadero problema para los Esmeraldeños [1].

Por ello, es muy importante presentar una solución innovadora que tenga en cuenta las nuevas tecnologías de comunicación inalámbrica que ayuden a solucionar este problema que se presenta todos los días en hora pico en el centro de la ciudad de Esmeraldas.

El aplicativo de simulación no solo permitirá tener un seguimiento y control de la movilidad vehicular en la ciudad de Esmeraldas, sino que también podrá dar mejoras en las alternativas para el flujo vehicular en las horas pico de congestión.

En el presente estudio se utilizó la red vehicular ad-hoc VANET capaz de controlar el tráfico vehicular en hora pico en el centro de la ciudad de Esmeraldas para mejorar el tráfico vehicular durante la hora pico del día, es decir las 07:30 am.

Una vez realizada la simulación planteada y en un futuro se podría implementarse teniendo como beneficiarios a los ciudadanos esmeraldeños, tanto conductores como peatones que circulan por el casco urbano de la ciudad de Esmeraldas.

OBJETIVOS

General

Analizar la movilidad vehicular en horas pico dentro el centro de la ciudad de Esmeraldas, a través de una red VANET.

Específicos

- Identificar la situación actual de la movilidad vehicular de la ciudad de Esmeraldas.
- Estudiar las causas que ocasionan la congestión vehicular en el trayecto del centro multiplaza y la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Esmeraldas.
- Simular la congestión mediante la utilización de un simulador de redes vehiculares

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Bases teóricas – científicas

En este capítulo se especifican las bases teóricas conceptuales que están relacionadas con el tema de estudio, el cual es, las redes informáticas, red de área amplia definida por software y servicios empresariales. A partir de las descripciones de estas bases teóricas se pretende que se entiendan los conceptos para crear una red definida por software.

1.1.1.Redes Inalámbricas

Las redes inalámbricas se pueden dividir en cuatro grupos distintos según el alcance y el tamaño de la señal: redes de área personal inalámbricas (WPAN), redes de área local inalámbricas (Wireless Local-Área Networks - WLAN), una red urbana inalámbrica (Wireless Metropolitan- Área Networks - WMAN) y redes inalámbricas de área amplia (Wireless Wide-Área Networks - WWAN). En la siguiente figura se puede observar las tecnologías inalámbricas descritas anteriormente [1].

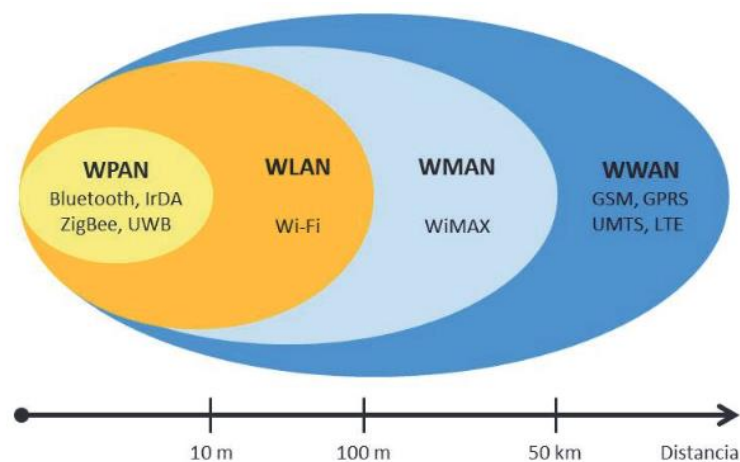


Figura 1. Clasificación de redes Inalámbricas.

1.1.2.Clasificación de las WLAN

Las redes WiFi se clasifican según varios criterios, como cobertura, servicios y componentes, que permita identificar los diferentes tipos de redes que han surgido a partir

de esta tecnología. Una de ellas son las redes ad-hoc. Este tipo de redes son conexiones punto a punto donde múltiples equipos se interconectan para compartir información sin necesidad de elementos adicionales.

Estas redes se utilizan para grupos de trabajo, congresos, conferencias, etc. Las redes ad-hoc se clasifican como MANET (red ad-hoc móvil), Bluetooth, WSN (red de sensores inalámbricos) y WSAN (red de actuadores de sensores inalámbricos) [2].

1.1.3.Redes ad-hoc

Con el nacimiento de las redes informáticas en la década de 1960, la actividad humana actual hace un uso intensivo y generalizado de estos sistemas de comunicación, creando un estrecho vínculo entre la tecnología y la vida cotidiana. Sin embargo, existe una gran brecha entre la red original y la red actual.

Actualmente, el modelo que prevalece es la computación sin infraestructura, donde un solo usuario se conecta a múltiples dispositivos de procesamiento; si a esta última se le suma la calidad establecida hoy y en todas partes, entonces nace el concepto de red Ad-hoc [2]

El estándar IEEE 802.11b especifica que la transmisión y recepción de datos se realiza mediante tecnología de radiofrecuencia, que utiliza el aire como medio de propagación, lo que permite a los usuarios moverse dentro de la cobertura de un enlace de red. Otra ventaja de usar sistemas inalámbricos es la portabilidad física de la infraestructura de la red.

Debido a que utiliza transmisión de radio de corto alcance, el sistema puede adaptarse a las necesidades generales de los dispositivos que interactúan en la red del espectro radio eléctrico en las bandas ISM (industrial científica y médica), que incluye los rangos de 900 MHz, 2.4 GHz y 5 GHz [3].



Figura 2. *Redes Inalámbricas.*

1.1.4. Protocolos de ruteo ad-hoc

Las redes estáticas tradicionales utilizan algoritmos de enrutamiento clasificados en estado de enlace y vector de distancia. Estos tienen un rendimiento efectivo en el entorno de red en el que trabajan, al igual que tienen la gran desventaja de no poder escalar. Las grandes redes ad hoc no pueden adaptarse a los cambios topológicos constantes que existen dentro de ellas. Para solucionar estos problemas se han realizado ajustes y nuevos protocolos estrictamente específicos para este tipo de redes [4]

Ruteo Plano, con enrutamiento plano o enrutamiento uniforme, todos los nodos son idénticos en cuanto a su función y responsabilidades dentro de la red. En el enrutamiento jerárquico, existen nodos que tienen diferentes responsabilidades para el funcionamiento del protocolo de enrutamiento. Para los protocolos de ubicación geográfica compatibles, los nodos pueden ser compatibles con un dispositivo especial, por ejemplo un GPS [4] [5].

El ruteo se divide en tres grupos según la forma en que los nodos obtienen y mantienen la información de las tablas de enrutamiento.

- Proactivos.
- Reactivos.
- Híbridos.

Protocolo Proactivo. tratan de mantener la información de ruteo a todos los demás nodos de la red consistente y actualizada, por lo que si un nodo necesita acceder a una

ruta la obtiene de manera inmediata. Como mantienen la información en tablas, se los conoce como table-driven. Estas tablas son transmitidas periódicamente a todos los nodos vecinos. No necesariamente para que sean usadas, las rutas a todos los destinos posibles se encuentran y se mantiene en cada uno de los nodos de la red [4].

Los protocolos proactivos tienen la ventaja de un menor retardo end-to-end porque las rutas están disponibles al momento de querer establecer una conexión, la mayor desventaja es la generación de un gran tráfico para mantener las tablas actualizadas, presentando problemas de escalabilidad en redes de mayor tamaño [4].

Protocolo Reactivo. En este tipo de protocolo las rutas son buscadas únicamente cuando se presenta la necesidad, el proceso de descubrimiento de ruta lo inicia el nodo origen, si encuentra una ruta hacia el nodo destino deseado mantendrá la transmisión hasta que el destino deja de ser accesible.

Protocolos híbridos. Combinan los méritos de estos dos tipos de protocolos y, además, solucionan sus limitaciones [4].

Los protocolos de enrutamiento de paquetes más populares en redes convencionales se clasifican principalmente como de estado de enlace y de vector distancia estado de enlace y vector distancia.

1.1.5. DSDV - Destination Sequenced Distance Vector

El enrutamiento vectorial de distancia con secuencia de destino (DSDV) es una adaptación de un protocolo ya conocido, como lo es el protocolo de enrutamiento de Información de Enrutamiento (RIP) aplicándolo a las redes Ad-hoc, la adaptación se la realiza añadiendo un nuevo atributo que es el número de secuencia, y se registra en cada entrada de la tabla de rutas del RIP convencional. Utilizando el nuevo número de secuencia, con esta incorporación los nodos pueden distinguir la información de rutas antiguas de las nuevas rutas evitando formación de bucles en el enrutamiento [6].

En DSVD, para enrutamiento y administración de paquetes de la tabla de enrutamiento cada nodo móvil en una red celular ad-hoc mantiene una tabla de enrutamiento que

enumera todos los destinos posibles registrados en la tabla, junto con la métrica y el siguiente salto a cada destino, y el número de secuencia generado por el nodo de destino. Al almacenar esta tabla de enrutamiento en cada nodo móvil, se realiza la transmisión de paquetes dentro de la red ad-hoc. Cada nodo actualiza su tabla de enrutamiento con anuncios periódicos o cuando hay nueva información importante disponible para mantener la tabla de enrutamiento consistente con la topología dinámica de la red ad-hoc [6].

A medida que se detectan cambios en la red, cada nodo móvil anuncia su información de enrutamiento mediante paquetes de transmisión o multidifusión que actualizan sus tablas de enrutamiento. El paquete de actualización comenzará con las métricas de uno de los nodos conectados directamente. A cada vecino receptor se le notifica que está a una métrica o salto del nodo. Esta forma de enrutamiento difiere de los algoritmos de enrutamiento tradicionales. Después de recibir los paquetes de actualización, los vecinos actualizan sus tablas de enrutamiento, incrementan sus métricas y reenvían los paquetes de actualización a sus respectivos vecinos.

Este proceso se repite para cada nodo de la red ad hoc hasta que se encuentran todos los paquetes actualizados con la métrica correcta. Los datos utilizados para las actualizaciones se conservan durante un período de tiempo para esperar la llegada de cada nodo de destino, especialmente la mejor ruta para cada nodo, antes de realizar la actualización y retransmitir el paquete de actualización. Si un nodo recibe varios paquetes de actualización destinados al mismo nodo dentro del período de tiempo de espera, la ruta ordenada más reciente siempre será la base para las decisiones de reenvío de paquetes, pero si solo cambia el número de secuencia, la información de enrutamiento no será necesariamente inmediata.

Si los paquetes de actualización tienen el mismo número de secuencia en el mismo nodo, se usa el paquete de actualización con la métrica más baja y la ruta existente se descarta o se guarda como una ruta menos preferida. En este caso, los paquetes de actualización con números de secuencia se propagan a todos los nodos móviles dentro de la red ad hoc [6]

El anuncio de rutas modificadas puede retrasarse hasta que se encuentre una ruta mejor. Retrasar la ruta de rutas potencialmente inestables puede causar fluctuaciones en la tabla de enrutamiento y reducir la cantidad de retransmisiones de entradas que pueden llegar con el mismo número de secuencia.

La entrada de la tabla de enrutamiento para cada nodo móvil cambia dinámicamente a medida que se conecta y cambian las condiciones de la red ad hoc. Asimismo, la transmisión de información debe ser lo suficientemente grande o rápida para garantizar que cada dispositivo móvil pueda llegar a todos los dispositivos móviles en la red activa [6].

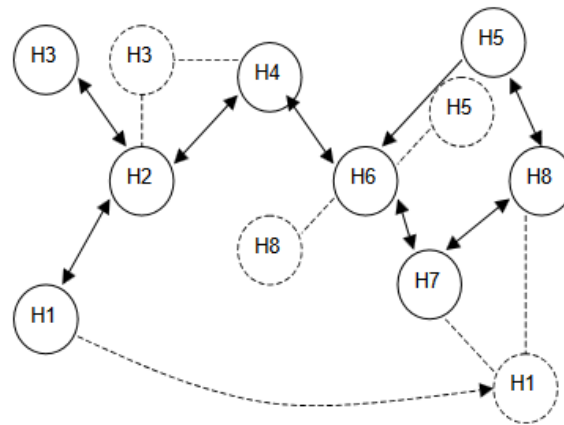


Figura 3. Ejemplo de red Ad-hoc.

Tabla 1: Tabla de enrutamiento del nodo H6 en un instante.

Dest	Next Hop	Metric	Seq.No.	Install
H1	H4	3	S406_H1	T001_H6
H2	H4	2	S128_H2	T001_H6
H3	H4	3	S564_H3	T001_H6
H4	H4	1	S710_H4	T002_H6
H5	H7	3	S392_H5	T001_H6
H6	H6	0	S076_H6	T001_H6
H7	H7	1	S128_H7	T002_H6
H8	H7	2	S050_H8	T002_H6

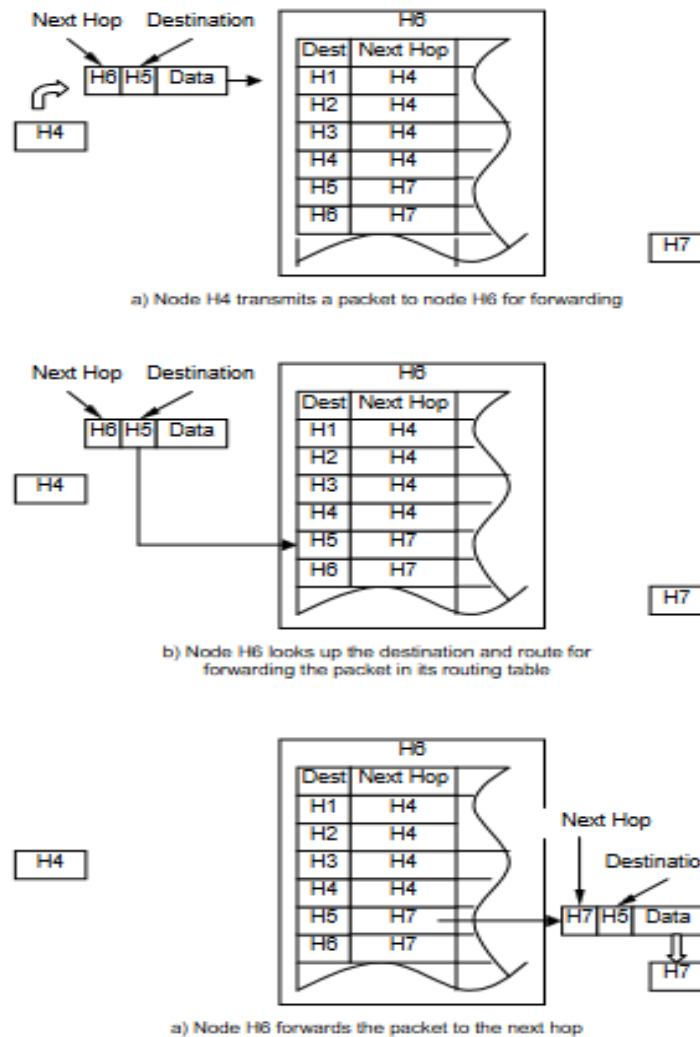


Figura 4. Red ad hoc antes y después del movimiento de los nodos móviles.

La tabla 1 de enrutamiento del nodo H6 en el momento anterior al movimiento de los nodos. El campo Install time en la tabla de enrutamiento ayuda a determinar cuándo hay que eliminar las rutas seleccionadas.

1.1.6.AODV - Ad-Hoc On-Demand Distance Vector.

AODV es un protocolo de enrutamiento reactivo para redes móviles Ad-hoc, este protocolo mantiene rutas solamente con los nodos que necesitan comunicarse. Los mensajes de enrutamiento no contienen toda la información sobre la ruta si no solamente la del origen y el destino. Por lo tanto, los mensajes de enrutamiento no tienen un tamaño específico. Además, este protocolo utiliza los números de secuencia de destino para especificar la rapidez de una ruta, lo que se utiliza para garantizar la secuencia de bucles [7].

Enrutamiento Vectorial De Distancia Ad Hoc Bajo Demanda

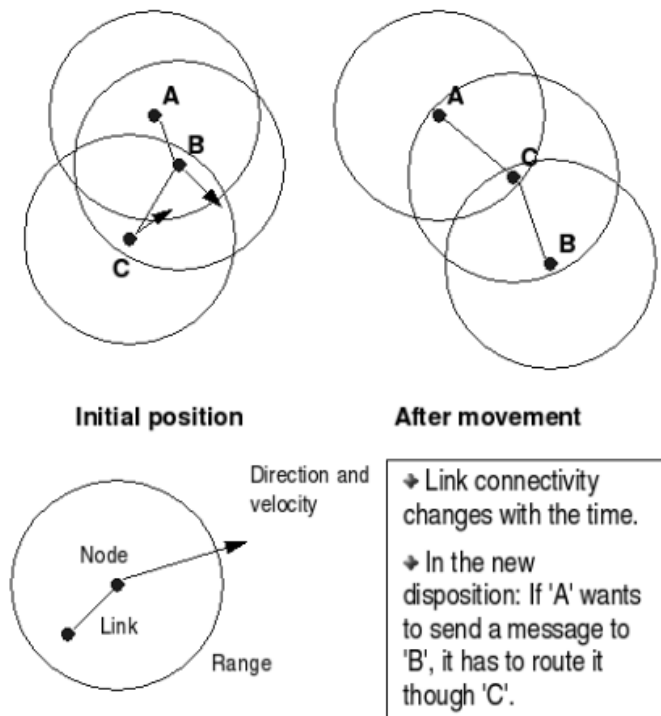


Figura 5. Ruteo en movimiento.

Cada vez que un nodo necesita enviar un paquete a un destino para el que no tiene una ruta "suficientemente fresca" (es decir, una entrada de ruta válida para el destino cuyo número de secuencia asociado sea al menos tan grande como los contenidos en cualquier RREQ que el nodo haya recibido para ese destino) emite un mensaje de solicitud de ruta (RREQ) a sus vecinos. Cada nodo que recibe la emisión establece una ruta inversa hacia el emisor del RREQ, a menos que tenga una más reciente [7], [8].

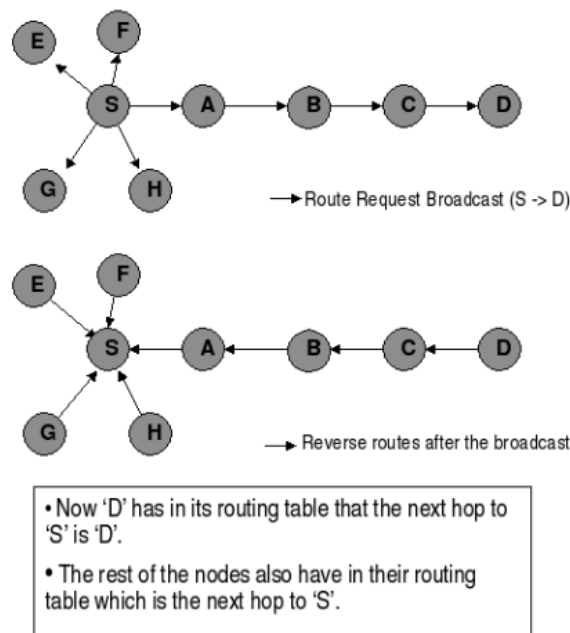


Figura 6. *Solicitud de ruta.*

En la figura 6, cuando el destino previsto (o un nodo intermedio que tenga una ruta "suficientemente fresca" hacia el destino) recibe el RREQ, responde enviando una respuesta de ruta (RREP). Es importante señalar que la única información mutable en un RREQ y en un RREP es el número de saltos (que se incrementa monótonicamente en cada salto). El RREP se difunde de vuelta al emisor del RREQ (Figura 7). En cada nodo intermedio, se establece una ruta al destino [9].

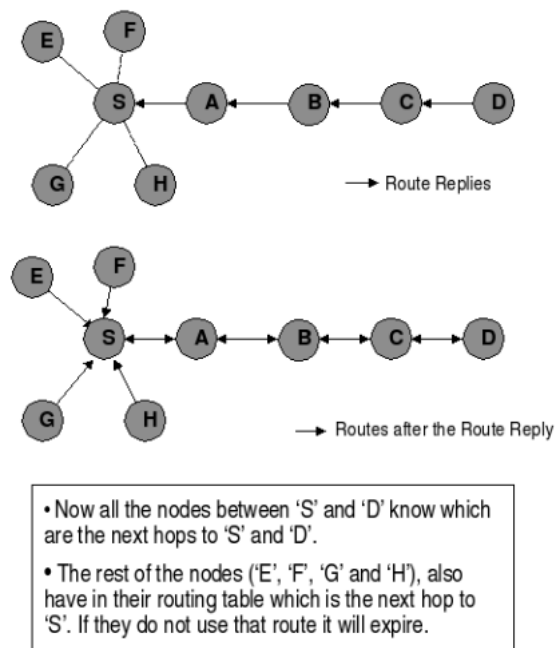


Figura 7. *Respuesta de ruta.*

En cada RREP que el líder emite, establece el tamaño del prefijo tamaño de la subred. Opcionalmente, el emisor del RREQ puede enviar un mensaje de acuse de recibo de la ruta (RREP-ACK) puede ser enviado por el emisor del RREQ para acusar recibo del RREP. El mensaje RREP-ACK no tiene información mutable.

Además de estos mensajes de enrutamiento, los mensajes de error de ruta (RERR) se utilizan para notificar a los demás nodos que ciertos nodos ya no son accesibles debido a la ruptura de un enlace (Figura 8). Cuando un nodo retransmite un RERR sólo añade los destinos inalcanzables a los que el nodo podría reenviar mensajes. Por lo tanto, la información mutable en un RERR es la lista de destinos inalcanzables y el contador de mensajes no alcanzados, destinos inalcanzables y el contador de destinos inalcanzables incluidos [9].

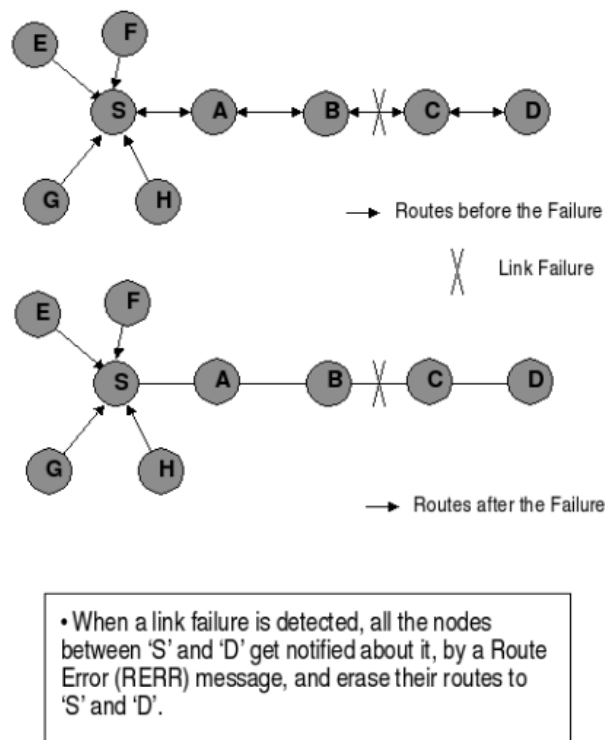


Figura 8. Error de ruta.

En el mensaje, de todos modos, es previsible que, en cada salto, la lista de destinos inalcanzables lista de destinos inalcanzables no cambie o se convierta en un subconjunto de la original.

1.1.7. Formatos de los mensajes AODV

Las figuras muestran la estructura de los mensajes AODV e indican cuáles son los campos mutables de los mensajes [9].

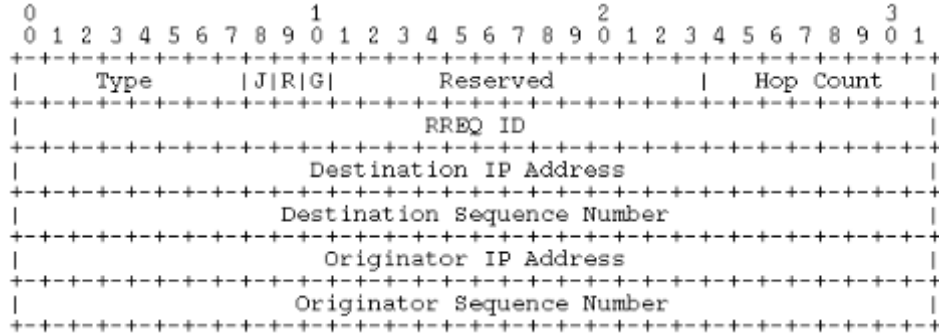


Figura 9. Formato del mensaje de solicitud de ruta (RRRQ) Campos mutables: Recuento de saltos

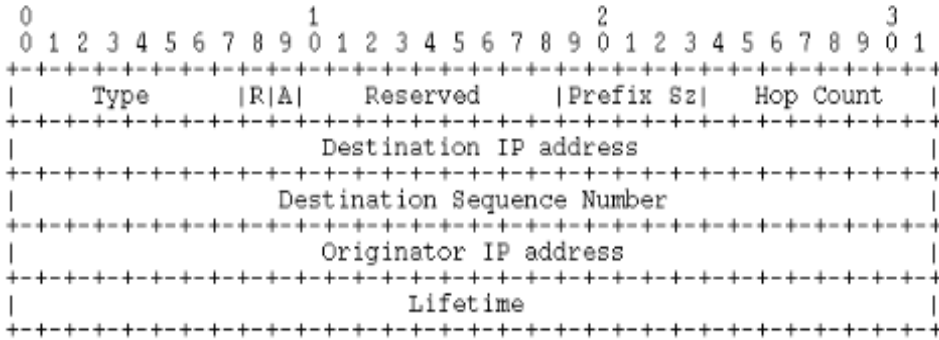


Figura 10. Formato del mensaje de respuesta de ruta (RRRP) Campos mutables: Recuento de saltos.

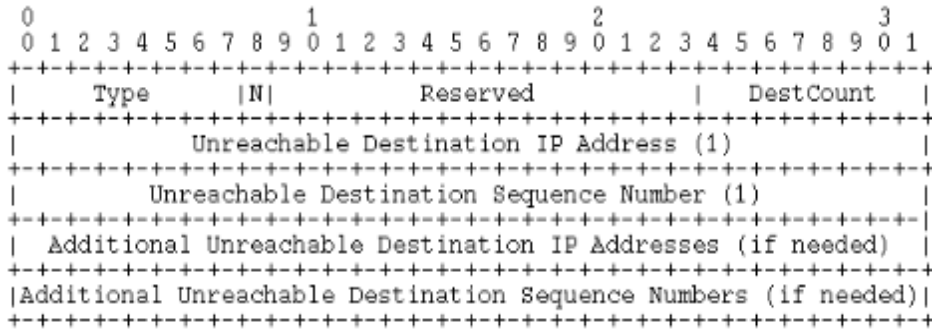


Figura 11. Formato de mensaje de error de ruta (RRER) Campos mutables: Ninguno

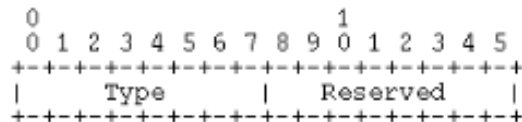


Figura 12. Respuesta de confirmación de ruta (RRRP-ACK) Formato del mensaje Campos mutables: Ninguno.

1.1.8. DSR - Dynamic Source Routing

El protocolo DSR tienen dos mecanismos que funcionan conjuntamente para descubrimiento y mantenimiento de las rutas de origen en la red ad hoc.

1.1.8.1. Descubrimiento de las rutas DSR básicas

Cuando el nodo S genera un nuevo paquete y lo envía a un nuevo destino, el nodo D agrega una ruta de origen al encabezado del paquete iniciando la serie de saltos necesarios para que el paquete llegue al nodo D. Inicia una ruta o una ruta de origen buscando en un caché de rutas previamente aprendidas, pero si la ruta no se encuentra en el caché, inmediatamente inicia un protocolo de descubrimiento de rutas para encontrar dinámicamente una ruta al nodo D. En este caso, el nodo S se denomina iniciador y el nodo D se denomina destino de descubrimiento de ruta.

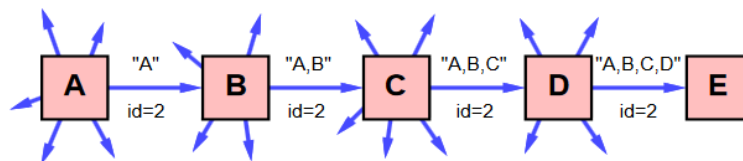


Figura 13. Ejemplo de descubrimiento de rutas

En la figura 14, se muestra un ejemplo de descubrimiento de ruta en el que el nodo A intenta descubrir una ruta al nodo E. Para iniciar el descubrimiento de rutas, el nodo A envía un mensaje de solicitud de ruta. Este es un único paquete de transmisión local recibido por casi todos los nodos dentro del rango de transmisión inalámbrica de A. Cada mensaje de SOLICITUD DE RUTA contiene un identificador único que identifica el indicador de descubrimiento de ruta y el destino. Esto lo determina el iniciador de la solicitud. Cada SOLICITUD DE RUTA también tiene un registro que enumera la dirección de cada nodo intermedio a través del cual pasa una copia del mensaje SOLICITUD DE RUTA. Un registro de ruta se inicia con una lista vacía por el indicador de ruta encontrada.

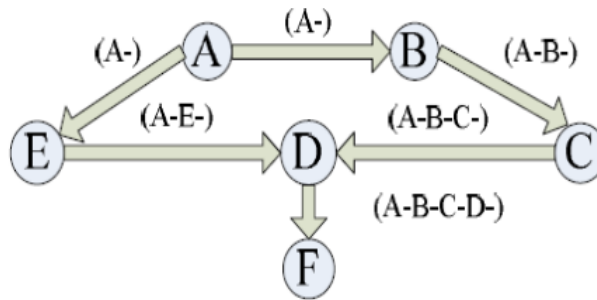


Figura 14. Descubrimiento de rutas DSR.

1.1.8.2. Descubrimiento de rutas

El descubrimiento de rutas es usado para descubrir una ruta desde un nodo origen hasta un nodo destino correcto mediante dos etapas: solicitud de ruta (RREQ) y respuesta de ruta (RREP). Este método también incluye algunas medidas de optimización; durante el proceso de solicitud de ruta, un nodo intermedio puede estar autorizado a emitir una respuesta de una ruta compleja si contiene una ruta válida al destino en su memoria cache de ruta. Siempre que una fuente que quiere comunicarse con el destino y si no tiene una ruta en su cache de rutas, se transmite un mensaje RREQ.

Cada vecino recibe el RREQ y añade su propia dirección a la lista de direcciones del RREQ o se alcance el destino. El destino recibe el RREQ, en donde se añade a su dirección y genera un paquete de ruta RREP de regreso hacia el nodo de origen usando la misma ruta de manera inversa que se acumuló en el último caso. Cuando el origen recibe finalmente el RREP, la ruta generada se almacena en el cache de rutas.

1.1.8.3. Mantenimiento de rutas

El mantenimiento de rutas se utiliza para almacenar en cache, caducar, cambiar entre las rutas que se descubrieron previamente, cuando algunos nodos descubren que un enlace vecino por el se van enviar datos está desconectado, se transmite de manera inmediatamente un mensaje de error de ruta RERR al nodo que inicio la transmisión, cuando el nodo de origen recibe el paquete de error, borra del búfer todas las rutas que se generó utilizando la ruta no valida, y se inicia nuevamente un nuevo proceso de descubrimiento de rutas si es necesario.

Los nodos que reenvían el paquete de error borran todas las rutas del enlace roto de su propia tabla de enrutamiento. El procedimiento de descubrimiento de rutas del protocolo DSR suele descubrir muchas rutas desde el nodo de origen a un nodo destino, y la ruta con un salto mínimo es más posible que se elija para la transmisión de datos que otras, los nodos elegidos con frecuencia son los que consumirían más energía, lo que resulta en un uso corto de batería.

1.1.8.4. Arquitectura del sistema de comunicación móvil basado en DSR

DSR se utiliza para sustituir al anterior protocolo de enrutamiento en la BS. Al mismo tiempo, la red troncal del sistema de comunicaciones móviles se convierte en una red IP completa. Cada BS tiene asignada una dirección IP única y los datos transmitidos entre las BS resultan en la formación IP de los mismos datos. La figura 14, muestra la EB de la red de comunicación móvil después de la mejora los elementos básicos del BS son:

- a) **Capa de control de enlace inalámbrico:** esta capa define la transmisión fiable de datos entre la MS y la BS en modo de circuito y puede ampliarse como capa de enlace.
- b) **Capa de gestión de recursos inalámbricos:** Construye y elimina el enlace inalámbrico entre la MS y la BS para la MS donde se mueve en la red cuando se mantiene la transmisión del estado del enlace.
- c) **Capa de gestión de la movilidad:** realiza algunas funciones de la EM, como el registro y la autorización del usuario en el área de servicio de diferentes EB.
- d) **Capa de gestión de la comunicación:** Realiza las funciones de gestión a los usuarios inalámbricos, como la gestión del enrutamiento y la gestión de la ruta.
- e) **Conmutación:** Realiza la disposición de datos de la IP. Se puede descubrir y mantener la ruta entre las EB de la EM de origen y la EM de destino según el protocolo DSR.
- f) **Interfaz de canales inalámbricos (Uu):** Define la interfaz inalámbrica entre la BS y la Ms.
- g) **Interfaz de canales inalámbricos (lu):** define la interfaz inalámbrica entre las EB.

En la figura 15, se muestra el flujo de datos de una EB a otra EB con dos saltos inalámbricos en la comunicación móvil con toda la movilidad de datos y también muestra cómo se comportaría la inclusión de más EB intermedias. La MS origina un paquete de datos típico y llega a la BS A, a través de un interfaz. En la EB A el paquete debe atravesar toda la pila de protocolos, desde la interfaz U hasta la interfaz lu. En la EB intermedia, el paquete debe subir a la subcapa DSR y será examinado y enviado de nuevo. Por lo tanto,

los paquetes no van más allá de la subcapa DSR en la ruta. Todos los paquetes se originan y terminan en la subcapa de DSR. La retransmisión de los paquetes de control es la misma que la de los paquetes de datos.

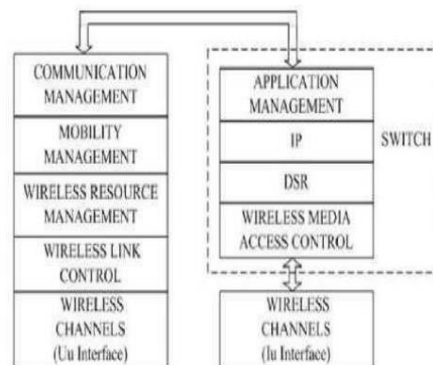


Figura 15. BS de la red de comunicaciones móviles

1.1.8.5. Algoritmo ANT

El algoritmo ANT es un algoritmo similar al comportamiento de las colonias de hormigas, conocido como sistema de hormigas. La hormiga puede encontrar la ruta más corta entre el nido y la fuente de alimento mediante las huellas o feromonas del camino recorrido. Las hormigas son prácticamente ciegas, pero aun así consiguen encontrar el camino de ida y vuelta a la comida. Estas observaciones inspiraron un nuevo tipo de algoritmos denominados algoritmos de hormigas (o sistemas de hormigas). Para determinar la ruta más corta, se utiliza el algoritmo de hormigas y los pasos de determinación son los siguientes:

- a) **Parámetros de inicialización valor algoritmo.** La intensidad del rastro de hormigas entre nodos y cambios (τ_{ij}), muchos de los nodos (n) incluye las coordenadas (x, y) o la distancia entre nodos (d_{ij}), Nodo de origen y nodo de destino, ciclo constante de hormigas (Q), controlador de intensidad constante rastro de hormigas (α), el valor de $\alpha \geq 0$, visibilidad de control constante (β), el valor de $\beta \geq 0$, visibilidad entre nodos = $1/d_{ij}$ (η_{ij}), el número de hormigas (m), rastro de hormigas constante de evaporación (ρ), los valores de ρ deben ser > 0 y < 1 para evitar un rastro de feromonas infinito, y el número máximo de ciclos (NC_{max}) se fija durante la ejecución del algoritmo, mientras que los costes (τ_{ij}) se actualizará en cada ciclo del algoritmo desde el primer ciclo ($NC = 1$) hasta alcanzar el número máximo de ciclos ($NC = NC_{max}$) o hasta que haya

convergencia. Después de la inicialización de los parámetros, se inicializa el primer nodo de cada hormiga. Primero se realiza la inicialización (τ_{ij}), entonces (m) hormigas se colocan en cierto primer nodo al azar. Esta hormiga llamada paquete de hormiga de reenvío, se trazará la ruta hacia el nodo de destino. Cuando se descubra el nodo de destino, las hormigas volverán por la misma ruta. En esta condición la hormiga se llama hormiga de retroceso.

- b) **Parámetros de inicialización valor algoritmo.** La intensidad del rastro de hormigas entre nodos y cambios (τ_{ij}), muchos de los nodos (n) incluye las coordenadas (x, y) o la distancia entre nodos (d_{ij}), Nodo de origen y nodo de destino, ciclo constante de hormigas (Q), controlador de intensidad constante rastro de hormigas (α), el valor de $\alpha \geq 0$, visibilidad de control constante (β), el valor de $\beta \geq 0$, visibilidad entre nodos = $1/d_{ij}$ (η_{ij}), el número de hormigas (m), rastro de hormigas constante de evaporación (ρ), los valores de ρ deben ser > 0 y < 1 para evitar un rastro de feromonas infinito, y el número máximo de ciclos (NCmax) se fija durante la ejecución del algoritmo.

1.1.8.6. Redes Ad-hoc MANET

Una red ad hoc móvil (MANET) es una red automatizada donde los nodos pueden ser una fuente y un destino al mismo tiempo. Los teléfonos celulares tienen recursos limitados: Memoria, alimentación, buffers de red, etc. Además, estos dispositivos se utilizan en procesos como el intercambio de información, la selección de rutas y funciones de transporte. Cuando los nodos actúan como enrutadores, deben intercambiar información para compartir y actualizar la información de enrutamiento [10].

La gestión de datos ayuda a la red a mantener un nivel adecuado de rendimiento, confiabilidad y conectividad. Los hosts utilizan principalmente los puntos de control para mantener una tabla de enrutamiento consistente. La información de control se intercambia según el tipo de protocolo de enrutamiento utilizado, por ejemplo, un protocolo de enrutamiento puede usar varios paquetes pequeños para determinar la ubicación de los nodos vecinos [10].

Es difícil garantizar la calidad de servicio (QoS) en las redes MANET porque los enlaces dinámicos, las capacidades de enlace y la energía finita de cada nodo forman nodos en este tipo de red. Actúan como terminales e interruptores.

Los nodos no son estáticos, por lo que las relaciones entre los nodos pueden variar. Si un grupo de nodos está conectado en el momento t_1 , pueden conectarse en otro momento t_2 , siempre están cambiando, al igual que la topología de la red. En la mayoría de los casos, los nodos crean rutas entre ellos, lo que dificulta el funcionamiento de este tipo de red.

La calidad del servicio es un factor muy importante en Internet. Esto se debe a que es un tipo de garantía que garantiza cierto nivel de servicio que el sistema debe brindar de acuerdo con ciertos parámetros, tales como: Latencia, rendimiento, jitter, pérdida de paquetes, Latencia, pérdida de capacidad, conexión a la red, ancho de banda disponible, etc. En la red MANT, esto es muy difícil debido a los factores anteriores y no se puede garantizar debido a la alta movilidad de los dispositivos finales. Se presenta un algoritmo para mejorar la calidad de servicio en la red MANT [11].

1.1.9. REDES VANETS

Una red Had-hoc (VANET) es una sub distribución de red MANET'S la misma que forma parte de un grupo principal denominado redes inalámbricas Ad-hoc WANETs (Wireless Ad-hoc Networks). En la figura 16 se encuentra detallado la distribución de red WANET.

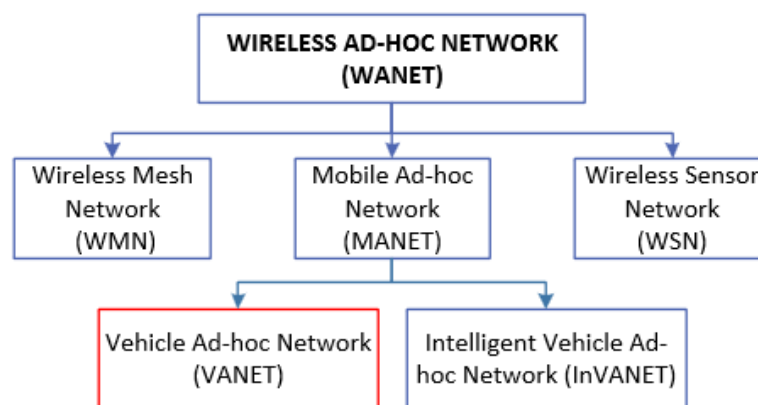


Figura 16. Jerarquía general de las redes ad-hoc inalámbricas [4].

Esta tecnología continúa explorando las redes WANET y las variaciones desarrolladas para cubrir necesidades específicas.

MANET es una red de infraestructura flotante auto configurable que consta de una gran cantidad de estaciones móviles interconectadas de forma inalámbrica (MS, conjunto de estaciones móviles) que se desplazan libre e independientemente dentro de un área de cobertura. Las conexiones entre dispositivos cambian con mucha frecuencia usando topología de red dinámica [15].

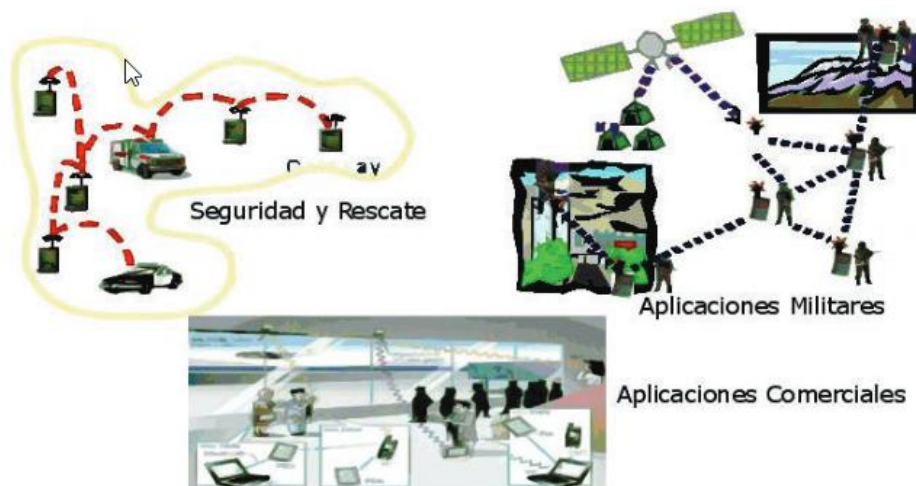


Figura 17. Aplicación de redes MANETs [16]

La interacción de vehículos en una VANET es la base de la tecnología, es conveniente subrayar que no se limita únicamente a que su objetivo no solamente la de monitorear el tráfico vehicular en las ciudades, como varios dispositivos inteligentes lo realizan en la actualidad. La tecnología de red VANET es la base para un sin número de aplicaciones. A continuación, en la tabla número 4, se detallan varios de los campos de aplicación de las de este tipo de tecnología de redes vehiculares como, seguridad vial, servicio público, mejora de la conducción y entretenimiento.

Parámetros	Propósito	Ejemplo
Seguridad vial	Carreteras peligrosas	Advertencia de intersecciones
	Condiciones anormales de tráfico	Advertencia de zona de obras
	Peligro de colisión	Advertencia de ángulo muerto; cambio de carril; peatones que cruzan
	Choque inminente	Frenada pre-accidente
	Aviso de incidente	Alerta tras colisión ya ocurrida. Aviso SOS.
Servicio público	Respuesta de emergencia	Alerta vehículo de emergencias, 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 del 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

Tabla 2. Campos de aplicación y ejemplos de uso en VANET [11].

1.1.10.ARQUITECTURA VANET

En una red VANET, un vehículo se considera un nodo móvil que contiene una unidad a bordo (OBU) y una unidad de aplicación (AU). GPS, direcciones de conducción, sensores de velocidad, sensores de freno, sensores de fatiga y muchos otros dispositivos. El propósito de OBU es la comunicación por radio dentro del alcance. El diagrama muestra los nodos VANET en un entorno de red que son nodos que comparten datos.

Los nodos priorizan información como varios sensores e información sobre el vehículo, la velocidad y la ubicación GPS de cada OBU para mantener los nodos actualizados y mantener una comunicación continua en la ruta. Los datos transmitidos se procesan en la red para determinar el comportamiento de los vehículos cercanos utilizando varios tipos de comunicación dentro de VANET. Entre la información de la comunicación, se registran las siguientes.

- Comunicación intravehicular
- Comunicación vehículo a vehículo (V2V)
- Comunicación de vehículo a infraestructura (V2I)
- Comunicación entre infraestructuras
- Comunicación del vehículo a la nube

Cada vehículo es un **nodo** y cuenta con una unidad de aplicación (AU)
Y una unidad a bordo (OBU)

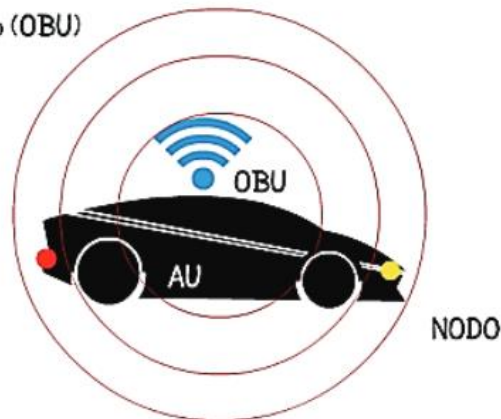


Figura 18. Componentes de comunicación en el vehículo

La comunicación V2I involucra dos nodos estáticos llamados nodos fijos o RSU. Estos nodos se colocan estratégicamente en diferentes lugares de la carretera dentro del área de cobertura de la red. La figura 19, ilustra la comunicación entre RSU distribuidas en una red VANET; La información centralizada en la red ad hoc se comparte con otras estaciones fijas similares a través de sus respectivas RSU para permitir la comunicación entre infraestructuras con el fin de informar eventos a los vehículos donde residirá la red ad hoc. salvarte de posibles accidentes.

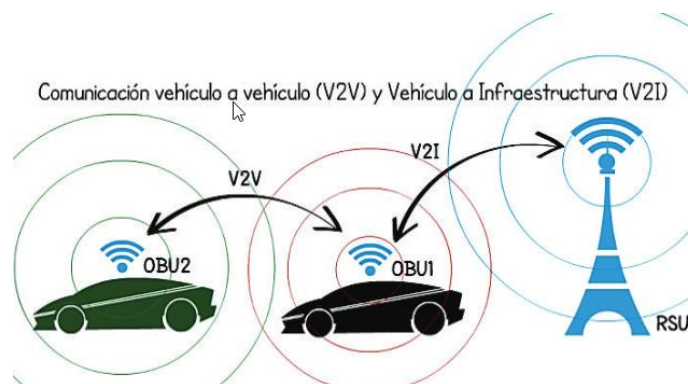


Figura 19. Componentes de comunicación V2V y V2I

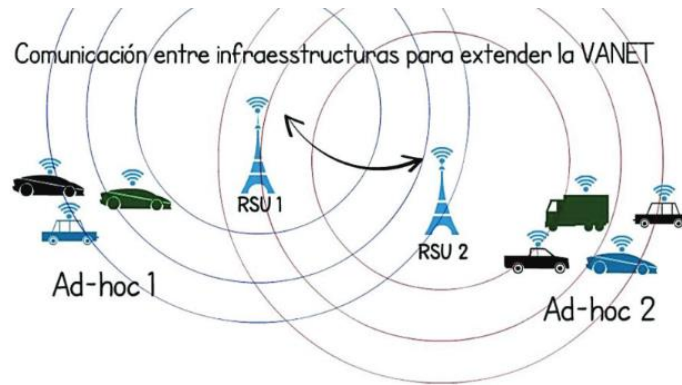


Figura 20. Comunicación entre infraestructuras

En la siguiente figura se muestra cómo interactúan las comunicaciones entre vehículos e infraestructuras.

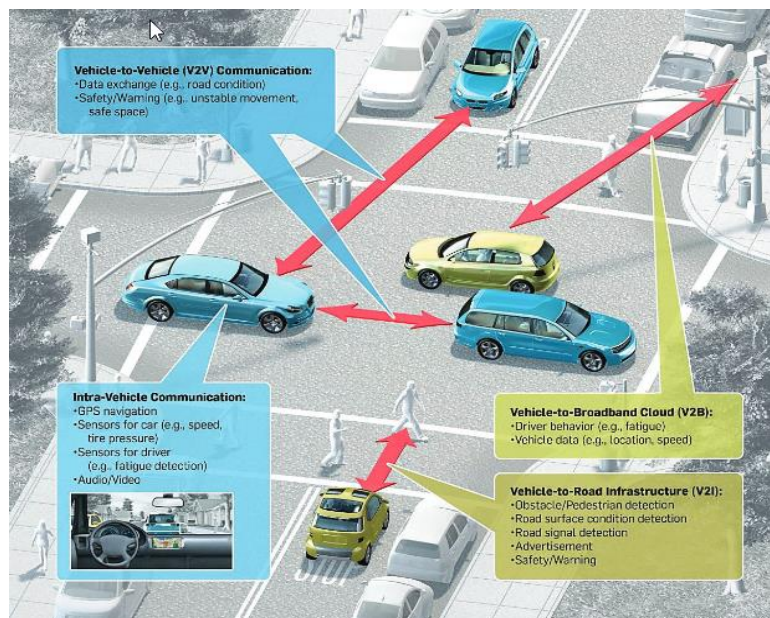


Figura 21. Visión general de una VANET [18]

1.1.11. ESTÁNDARES PARA VANET

Las redes inalámbricas para vehículos, como la mayoría de las tecnologías, tienen dos desarrolladores principales en todo el mundo. En Europa, el Sistema de Transporte Inteligente (ITS) está regido por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) y su arquitectura es un modelo de seis capas que utiliza los protocolos regionales y 2 frecuencias operativas en las que se basa 2,4 [GHz] y 5 [GHz] [19].

Mientras tanto, en los Estados Unidos, el Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) es responsable del desarrollo y los estándares. En 1999, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) designó la banda de 5,9 GHz (5,850 a 5,925 [GHz]) con un ancho de banda de 75 [MHz] para DSRC (Comunicaciones dedicadas de corto alcance). y se ha utilizado desde 1992.

En los años siguientes, fue necesario crear un grupo especial de trabajadores para estudiar redes inalámbricas en el área IEEE 802.11. Este estándar define los componentes físicos y de la subcapa MAC inferior necesarios para las redes de área local inalámbricas (WLAN) y se complementa con el estándar específico IEEE 802.11p. Este cambio es una modificación de IEEE 802.11a, pero funciona con menos sobrecarga y logra una mayor eficiencia espectral [19] y [20].

El grupo IEEE 1609 se formó unos años más tarde para abordar las capas superiores de acceso inalámbrico para redes de vehículos denominadas WAVE (Acceso inalámbrico en entornos vehiculares). La figura 22, muestra la equivalencia del modelo OSI (Interconexión de sistemas abiertos) para unificar estos estándares que existe en la capa por debajo de IEEE 802.11p y en la capa por encima de IEEE 1609.

Dentro de IEEE 1609 existen subestándares que abordan cada capa superior. La comunicación entre las capas superior e inferior de MAC utiliza IEEE1609, que es un estándar que define el funcionamiento en un entorno multicanal en la banda de 5,9 [GHz]. En otras palabras, se está tratando de definir un mecanismo para un sistema con dispositivos que se mueven entre múltiples canales para que puedan colocarse en un canal común y adaptarse y comunicarse al mismo tiempo [20] y [21].

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 22. Estándares VANETs y su relación con el modelo OSI [20]

El canal común con el que los dispositivos se sincronizan periódicamente se denomina Canal de control (CCH) y está referenciado por IEEE 1609. Para lograr la sincronización,

se utiliza una fuente de tiempo común en todos los dispositivos: señales GPS de posicionamiento global con hora universal coordinada (UTC). El estándar IEEE 1609 es inferior cuando todos los dispositivos están sincronizados. Impone una división del tiempo en intervalos de tiempo para el canal de control e intervalos de tiempo para el canal de servicio SCH (canal de servicio) [20] y [21].

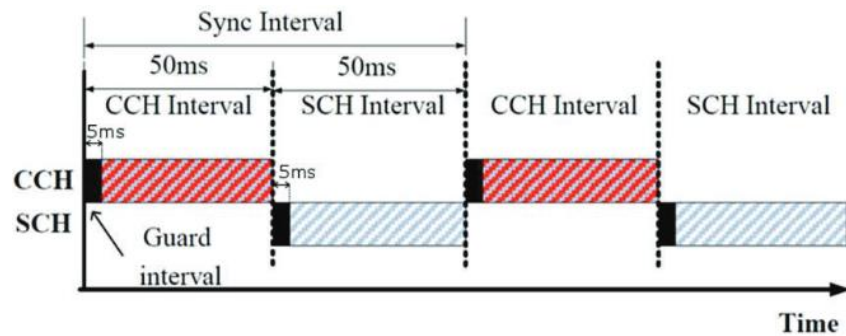


Figura 23. Intervalos de canal [20]

1.1.12. SUMO

Constituye una conocida y potente herramienta de simulación que permite manejar grandes redes de carreteras sin limitaciones en el tamaño y en el número de vehículos. Trabajar con simuladores de tráfico y, en este caso concreto, con SUMO, es importante ya que proporcionan un escenario virtual semejante a la realidad en el que probar a desplegar nuevas soluciones que mejoren la seguridad y la eficiencia del tráfico.

Es importante destacar que SUMO es muy utilizado en el estudio de redes vehiculares, debido a que proporciona una API que le permite interactuar con programas externos, por ejemplo, con simuladores de redes [6].

Mediante este aplicativo se puede realizar algún tipo de simulación de redes de carreteras y así poder trabajar con los simuladores de tráfico de la manera más real posible y así poder obtener mejoras a la circulación vehicular.

1.1.13. NS3

El Network Simulator ns-3 es un simulador nuevo, que maneja ciertas similitudes a su antecesor, el ns2, sin sustituirlo, ambos manejan aplicaciones similares trabajando con los protocolos de comunicación más utilizados a nivel de redes inalámbricas y cableadas además son de distribución masiva al ser totalmente gratuitos.

El simulador ns-3, está escrito en su mayor parte en lenguaje C++, adicionalmente el lenguaje Python también es un aporte para el desarrollo de este simulador. En el ns3 actualmente se generan archivos de tipo. pcap, los cuales pueden ser leídos o interpretados por varios programas de captura de paquetes, entre los más usados se puede destacar el programa Wireshark [7].

El aplicativo NS3 le permite al usuario trabajar con varios protocolos de comunicación en lo que es redes inalámbricas y redes cableadas, y este es muy utilizado a nivel mundial ya que se lo puede encontrar de forma gratuita.

1.2. Antecedentes

Controlar el tráfico vehicular en horas pico dentro del 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; esto realizándolo a través de una red ad – hoc VANET que utiliza software de modelación y simulación vehicular [12]

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. 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. 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. Este artículo científico obtenido de la ciudad de Ibarra se relaciona con el presente tema de investigación, debido a que se va a utilizar herramientas tecnológicas similares como lo son las redes ad-hoc vehiculares VANET y el campo de estudio que se va a utilizar es el casco urbano de la ciudad de Esmeraldas.

En este trabajo se presenta un escenario vehicular el cual busca obtener un rendimiento adecuado al implementar una red heterogénea en varios sectores de la ciudad de Quito. Este tipo de redes presentan características y desafíos únicos, debido a la cobertura, la alta movilidad de los vehículos, y el cambio frecuente de topología, encontrándose con varias desconexiones, es por ello que se analiza la red aplicando tecnologías de acceso inalámbrico en cada escenario permitiendo la difusión de las comunicaciones en escenarios reales.

Este artículo proporciona una visión general de las Redes vehiculares Ad-Hoc (Vehicular Ad-Hoc Network, VANET); describe los conceptos fundamentales y se enfoca en la aplicación de las tecnologías de Redes Inalámbricas de Área Local (Wireless Fidelity, WIFI) y Comunicaciones Dedicadas de Corto Alcance (Dedicated Short Range Communications, DSRC), donde se evalúa el throughput de la red con parámetros basados en la cantidad de paquetes generados, perdidos y recibidos, obteniendo como resultado aproximadamente el 60% de rendimiento con redes heterogéneas, en comparación de escenarios enfocados en una sola tecnología [13]. Este artículo científico obtenido de la ciudad de Quito se relaciona con el presente tema de investigación, debido a que se va a utilizar herramientas tecnológicas similares como lo son las redes ad-hoc vehiculares VANET.

En los Sistemas de Transporte Inteligente (ITS – Intelligent Transport Systems), las Redes Ad Hoc Vehiculares (VANET - Vehicular Ad Hoc Networks) vendrán a convertirse en una realidad que cambiará el paradigma del transporte. Las VANET derivan de las MANET: redes autoorganizadas cuya topología cambia continuamente debido a la movilidad de los nodos, con ciertas características propias como la alta movilidad y la velocidad de los vehículos.

El diseño de protocolos de enrutamiento será avalado por los diferentes estudios y simulaciones necesarias para poder calificar su eficiencia ante cambios en la topología y el movimiento rápido de los nodos. Se presentará una breve clasificación de los protocolos de enrutamiento existentes en VANET. En este trabajo se presentará la propuesta de un algoritmo de enrutamiento, que será comparado con otros ampliamente utilizados y normalizados por la IETF: AODV y OLSR, según unas métricas bien definidas. Finalmente, se expondrán conclusiones y líneas futuras [14] .

Este artículo científico obtenido de la ciudad de Linares - España se relaciona con el presente tema de investigación, debido a que se va a utilizar herramientas tecnológicas similares como lo son las redes ad-hoc vehiculares VANET en lo relacionado con el transporte vehicular de las personas.

Los dispositivos electrónicos portátiles han ido cobrando un gran protagonismo en nuestra vida diaria a lo largo de los últimos años, y con ellos las comunicaciones inalámbricas. Ya no se trata únicamente de ordenadores portátiles, teléfonos inteligentes o tabletas, el Internet clásico está dando paso a lo que se denomina Internet de las cosas, donde objetos cotidianos son capaces de conectarse a la red e interactuar en diversas aplicaciones. Una de sus ramas más relevantes es el Internet de los vehículos, el cual, a medida que aumenta el número de vehículos capaces de conectarse al Internet de las cosas será el siguiente paso en las redes de comunicación entre vehículos. El principal propósito de esta rama es combinar los recursos de múltiples vehículos, redes y cosas (señales de tráfico, semáforos, dispositivos inteligentes de pasajeros o peatones, unidades de cómputo al borde de las carreteras, etc.) para proporcionar un entorno de comunicación robusto sobre el que sustentar numerosos servicios y aplicaciones. Este nuevo panorama está destinado a cambiar el entorno vehicular tal y como lo conocemos, facilitando un mejor uso de las carreteras y una mayor seguridad, con los llamados Sistemas de Transporte Inteligentes a la par de numerosos servicios de información y comunicaciones para

conductores, pasajeros y peatones. Esto supondría pasar del caótico estado actual del tráfico en ciudades y carreteras a un modelo eficiente y autorregulable, avanzando hacia las ciudades y carreteras inteligentes con conducción autónoma, donde el usuario pueda desplazarse de la manera más eficiente, cómoda y segura posible. El despliegue de estos servicios requiere una red de comunicaciones estable que cumpla con las necesidades de los mismos. Para ello, la mayoría de las propuestas se centran en dos tecnologías: el estándar 802.11p y las redes celulares 5G.

Entre estas dos tecnologías a día de hoy la primera se encuentra en una posición ventajosa, siendo la más asentada y con mayor presencia en el mercado del automóvil, dado que se trata de un estándar ya aprobado y listo para su despliegue. Por tanto, todo parece indicar que en el futuro más inmediato este estándar será el que dé soporte a las primeras redes de comunicación entre vehículos. Aunque dependiendo de cómo este estándar sepa adaptarse a las necesidades crecientes de este tipo de aplicaciones, en algún punto podría verse reemplazado por las bondades de las redes celulares 5G. Las redes 802.11p se basan en comunicaciones vehículo a vehículo y vehículo a infraestructura, de modo que se despliega una red ad-hoc entre los dispositivos móviles próximos mientras que en las aplicaciones que lo requieran, el acceso a Internet se consigue comúnmente a través de unidades de cómputo al borde de las carreteras (infraestructura) [15].

Este artículo científico obtenido de la ciudad de Vigo - España se relaciona con el presente tema de investigación, debido a que se va a utilizar herramientas tecnológicas similares como lo son las redes ad-hoc vehiculares VANET.

1.3. Fundamentación legal

La presente investigación se basa en la aplicación y regimientos de las siguientes normas y leyes: Constitución de la República del Ecuador [16], la Ley Orgánica de Educación Superior (LOES) [17], la Ley de Propiedad Intelectual [18].

De acuerdo con la Constitución de la República del Ecuador en el Título VII de Régimen de buen vivir, Capítulo Primero de Inclusión y equidad, Sección octava de Ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales; que en el Art. 385, menciona que “Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la

eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir” [16].

Además, de acuerdo con la Ley Orgánica de educación superior en el Título I de Ámbito, objeto, fines y principios del sistema de educación superior; Capítulo 2 Fines de la educación superior, en el Art. 8.- Fines de la Educación Superior, describe en uno de sus apartados que “Fomentar y ejecutar programas de investigación de carácter científico, tecnológico y pedagógico que coadyuven al mejoramiento y protección del ambiente” [17]. Este estudio, tiene la intención de proporcionar una invención que resuelva una problemática, fomentando la investigación tecnológica en virtud de colaborar en el desarrollo a las empresas.

En la Ley de Propiedad Intelectual en el Libro I, en su Título I De los derechos de autor y derechos conexos, Capítulo I Del derecho de autor, Sección I Preceptos generales, el Art. 4 menciona que “Se reconocen y garantizan los derechos de los autores y los derechos de los demás titulares sobre sus obras” [18]. En consecuencia, de lo ya mencionado, el estudio cumplirá con todos los parámetros de autoría, respetando los lineamientos a fines del derecho de autor de los estudios previamente publicados y de los licenciamientos de las herramientas de software a usar para el desarrollo de la propuesta.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Delimitación de la investigación

La presente investigación se realizó en el área urbana del centro de la ciudad de Esmeraldas, específicamente en la Avenida Espejo entre las calles Eloy Alfaro y Pedro Vicente Maldonado. El presente análisis se enfocó sobre la congestión vehicular en las horas pico entre las 7:00am hasta las 8:30am y entre las 12:00 pm hasta las 13:30 pm, donde se produce una mayor cantidad de flujo vehicular. Los datos se los obtuvo de información que fue proporcionada por la institución competente del control vehicular de la ciudad de Esmeraldas, que es en este caso ANT, ESVIAL EP y el ECU 911.

2.2. Tipo de investigación

La presente investigación fue de tipo cuantitativa y cualitativa, esto la convierte en una investigación híbrida. Primero se realizó un análisis de los procesos y herramientas tecnológicas que intervienen en la investigación y un estudio de los causantes de la congestión vehicular, luego de esto se trabajó con estas herramientas para así poder evaluar la efectividad de la simulación de la red vehicular y de esta manera obtener resultados porcentuales sobre el uso de esta tecnología para la solución de la congestión vehicular en el centro de la ciudad de Esmeraldas. Igualmente, se utilizó es la experimental, ya que este permitió identificar las causas y evaluar los efectos que arrojó la investigación, de esta manera se aplicó este tipo de investigación ya que se utilizaron varias herramientas tecnológicas para la simulación de una red móvil vehicular y poder obtener resultados para tener una adecuada evaluación de las herramientas utilizadas.

2.3. Métodos de investigación

Uno de los métodos que se utilizó en la presente investigación es el método experimental, ya que este consiste en identificar las causas y evaluar los efectos. De esta manera mediante este método se utilizaron herramientas tecnológicas de simulación como el SUMO, para así mediante esta aplicación poder trabajar con redes de carreteras y simuladores de tráfico vehicular, con la finalidad de que se pueda obtener resultados de funcionabilidad y mejoramiento para de esta manera poder evaluar correctamente la herramienta tecnológica.

2.4. Técnicas de investigación

Para realizar la recolección de información necesaria en el presente tema de investigación, la técnica que se empleó es la encuesta, ya que mediante la misma se pudo obtener información acerca de lo que piensan los conductores y peatones con respecto a la congestión vehicular en la calle Bolívar del centro de la ciudad de Esmeraldas, y si estos están de acuerdo que se implemente alguna mejora para este problema con la ayuda de la tecnología; así de esta manera obtener resultados de los encuestados para realizar una mejora en la circulación vehicular.

2.5. Población y muestra

En la presente investigación se tomó en cuenta como población a un determinado grupo de ciudadanos. Se entiende como muestreo el obtener una o varias muestras que se extraen de una población. Es decir, representa una parte de la población a la cual es objeto de estudio. Para esta investigación, la población a considerar es la ciudad de Esmeraldas y utilizaremos la fórmula de muestra estadística estándar que es de 220 encuestas, que transitan en el espacio delimitado para esta investigación, los cuales fueron entrevistados acerca de lo que piensan sobre la congestión vehicular durante las horas pico del día y en que favorecería a la ciudadanía proporcionar una herramienta para la mejora de esta problemática.

2.6. Descripción de instrumentos

Para el desarrollo de la presente investigación se empleó una herramienta como lo es la encuesta, en la cual se utilizó como instrumento un cuestionario, el cual se trató acerca del uso de una herramienta tecnológica que permita mejorar la circulación vehicular en las horas pico del día, lo que piensan los conductores y peatones acerca del caos que causa esta congestión vehicular, y en que los afecta todo esto en su vida cotidiana.

2.7. Procesamiento y análisis de datos

Los resultados que se obtuvieron al aplicar las encuestas a los conductores y peatones del centro de la ciudad de Esmeraldas fueron tabulados y presentados en tablas de frecuencia y porcentaje con su respectiva gráfica estadística que posteriormente fueron analizados e interpretados para la obtención de los resultados. Para realizar todo el proceso antes indicado se empleó herramientas tecnológicas de Microsoft para llevar el cabo el presente trabajo investigativo.

2.8. Normas éticas

La presente investigación se desarrolló bajo ciertas normativas éticas, estas mismas están basadas en diversos lineamientos y reglamentos de grado de la PUCESE, dentro de los cuales se fundamentan la autoría, integridad y el profesionalismo con respecto al tema propuesto, de tal manera que toda la información que fue recopilada durante el transcurso de la investigación, es de carácter confidencial, es decir que la persona que tuvo acceso a los datos fue el autor. Por otra parte, se respetó el trabajo de cada uno de los autores que han sido nombrados en el transcurso del desarrollo del presente plan, incluyendo las ideas y conceptos que se usan en la presente investigación.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Situación Actual movilidad

En la provincia de Esmeraldas el mayor número de vías de circulación es en buen estado con 1269,35 km, seguido de 1002,20 km de vías en mal estado y finalmente 171,35 km de vías en buen estado [19], estos datos son importantes porque de alguna manera son factores indirectos que afectan al tráfico vehicular.

En la provincia de Esmeraldas antes de la pandemia se registraron un total de 21880 vehículos, de las cuales en el cantón Esmeraldas se contabilizaron 1809, 1511 eran livianos, 16 eran buses, 270 eran vehículos de 2 ejes, 6 eran vehículos de 3 ejes y 6 eran vehículos de 5 ejes, esto significa decir que un promedio de 1500 vehículos transitan en toda la ciudad [20].

La ciudad de Esmeraldas se enfrenta a un problema de congestión vehicular, especialmente en las horas pico, lo que genera retrasos y complicaciones en el traslado de las personas [19]. Además, la falta de mantenimiento en las vías y la presencia de baches y obstáculos en las calles, dificultan la circulación de los vehículos y aumentan el riesgo de accidentes.

Por otro lado, la falta de una cultura vial y la irresponsabilidad de algunos conductores, son factores que contribuyen a la inseguridad vial en la ciudad. Según el visor de siniestros del Consejo Nacional de Tránsito (CNT) [21] se registraron un total de 584 accidentes de tránsito en la provincia de Esmeraldas, de los cuales el 57% fueron ocasionados por conductores en estado de embriaguez o bajo los efectos de sustancias psicoactivas.

Para el diseño se seleccionó la distancia desde la Pontificia Universidad Católica del Ecuador-Esmeraldas hasta el Centro Comercial Multiplaza con una distancia de 1,4 [km], esta distancia es suficiente para simular el alto tráfico y mediante las redes VANET y aplicar posibles soluciones como la generación de rutas alternas. El área está delimitada por las calles, Eugenio Espejo, Pichincha, Muriel y Pedro Vicente Maldonado ver Figura 24.

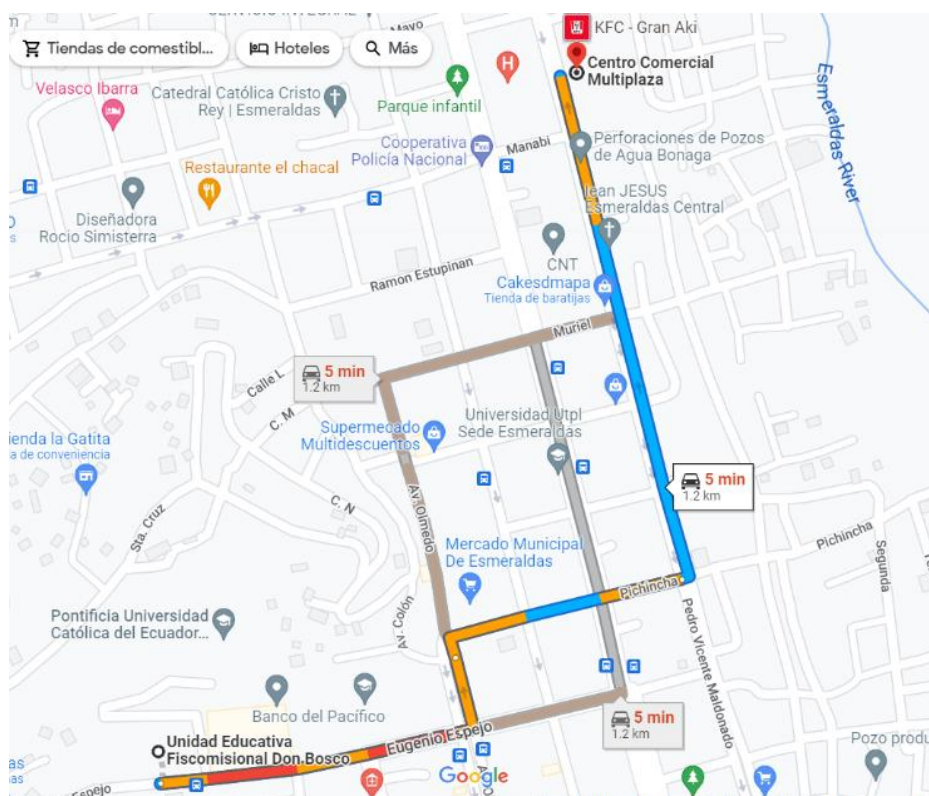


Figura 24. Mapa de análisis de la PUCese y Centro Comercial Multiplaza

Se obtiene las coordenadas desde el punto inicial ubicado en la PUCese y el punto final ubicado en el centro comercial Multiplaza.

Tabla 3. Coordenadas PUCese – Centro Comercial Multiplaza

	Latitud	Longitud
PUCese	0.9697314545985082	-7.965.741.360.677.340
Centro Comercial Multiplaza	0.9765167208899496	-796.534.656.373.013

Por tal motivo, estas rutas ya nombradas que forman parte de la malla de movilidad vial del cantón, son utilizadas por el usuario para el retorno a sus hogares especialmente al norte y sur de la ciudad, debido a esto, al término de la jornada en días laborales, en la calle Espejo y Olmedo la congestión vehicular es percibida como muy alta en horarios picos, de 07:00 am – 10:00 am, luego de 12:00 pm – 15:00 pm y finalmente en la tarde-noche de 17:00 pm – 19:00 pm, sobrepasando su capacidad y obligando al usuario a disminuir radicalmente la velocidad. No obstante, a partir del fin de la hora pico el tránsito vehicular se va aligerando, permitiendo una fluidez vehicular normal entre los 40 km/h y 60 km/h [22]. Igualmente, la vía Pichincha, Muriel y Pedro Vicente Maldonado el tráfico es ininterrumpido desde las 06:45am hasta las 21:30pm presentando una congestión

vehicular media pero continua, es decir, de flujo lento con una velocidad que varía entre los 20 km/h y 40 km/h. La identificación de la situación actual de movilidad determina que estos puntos sufren una gran carga de vehículos y por ende demorar de circulación vehicular, además debemos mencionar un incremento grande de carga motorizada que utilizan estas vías para el traslado en la urbe esmeraldeña [23].

3.2. Causas que ocasionan la congestión vehicular.

La congestión vehicular es un problema recurrente en muchas ciudades alrededor del mundo, y Esmeraldas no es una excepción. En este sentido, diversas causas pueden contribuir a la congestión vehicular en la ciudad. A continuación, se presentan algunas de las principales causas, respaldadas de estudios y la encuesta que aplicamos en la investigación para determinar estas causas.

Aumento del parque automotor: Una de las principales causas de la congestión vehicular en Esmeraldas es el aumento del parque automotor. Según el INEC [20], el parque automotor en Esmeraldas se ha incrementado en un 31,8% entre los años 2010 y 2019. Este incremento del parque automotor ha generado una mayor demanda de vías, lo que ha contribuido a la congestión vehicular.

Infraestructura inadecuada: Una de las principales causas de la congestión vehicular en Esmeraldas es la falta de infraestructura adecuada para acomodar el creciente número de vehículos. Según un estudio realizado por el Gobierno Provincial de Esmeraldas [24], la mayoría de las calles y carreteras de la ciudad están en mal estado y no cumplen con las normas de seguridad vial. Además, hay una falta de carriles exclusivos para el transporte público y una falta de semáforos en muchos lugares importantes de la ciudad, lo que aumenta la congestión vehicular.

Mal estado de las vías: El mal estado de las vías también es una causa de la congestión vehicular en Esmeraldas. Según un estudio realizado por el Gobierno Provincial de Esmeraldas [24], el estado de las vías es uno de los principales factores que afectan la velocidad y el tiempo de desplazamiento en la ciudad.

Falta de opciones de transporte público: La falta de opciones de transporte público de calidad en Esmeraldas ha llevado a un mayor uso de vehículos privados. Según el Plan de Desarrollo Vial de la Provincia [24], la calidad del transporte público en la provincia y ciudad de Esmeraldas es baja, con servicios de autobús y taxi irregulares y mal mantenidos. La falta de opciones de transporte público de calidad en Esmeraldas ha llevado a un mayor uso de vehículos privados, lo que ha agravado la congestión vehicular.

Comportamiento del conductor: El comportamiento de los conductores también puede contribuir a la congestión vehicular en Esmeraldas. Los conductores en Ecuador tienden a ser agresivos y a ignorar las normas de tráfico [25]. Esto puede llevar a la congestión vehicular, ya que los conductores no ceden el paso o se mueven de manera errática en la carretera.

Además, se presenta los resultados de una encuesta que se llevó a cabo para analizar la mejora del tráfico vehicular. La encuesta incluyó preguntas cuidadosamente redactadas que tomaron en cuenta diversos factores relacionados con la problemática, tales como los medios de transporte disponibles y los factores económicos de los usuarios. La información obtenida a través de esta encuesta es de gran importancia, ya que nos permitirá identificar los problemas relacionados con la congestión vehicular en la ciudad de Esmeraldas y analizar la solución al problema. A continuación, se muestran los resultados de la encuesta.

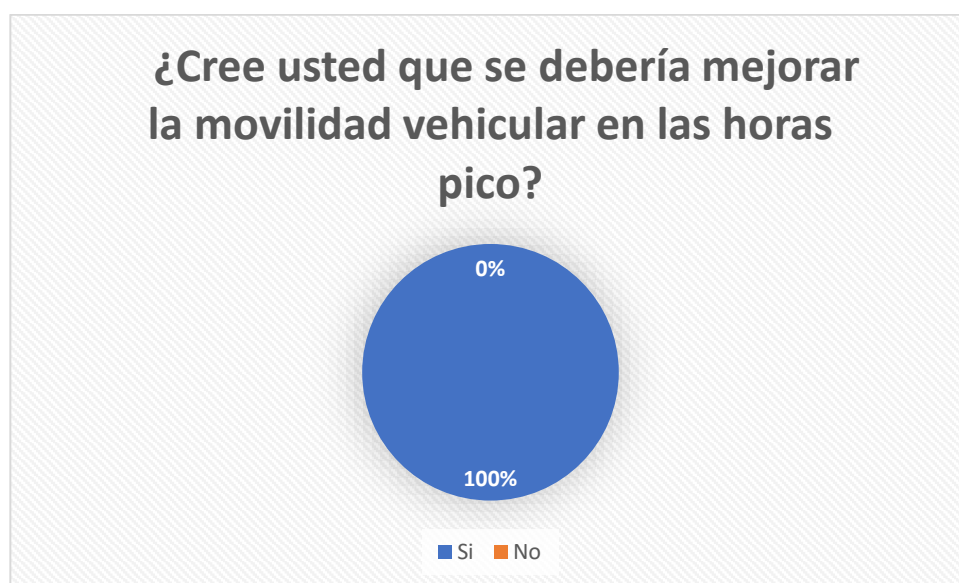


Figura 25. Porcentaje de la pregunta 1.

Una vez analizada la situación que se presenta mediante la pregunta de la encuesta, podemos apreciar que el porcentaje es totalmente aprobado por parte de los encuestados que se debe mejorar la movilidad vehicular en las horas pico con un 100% del total de encuestados que son 220.

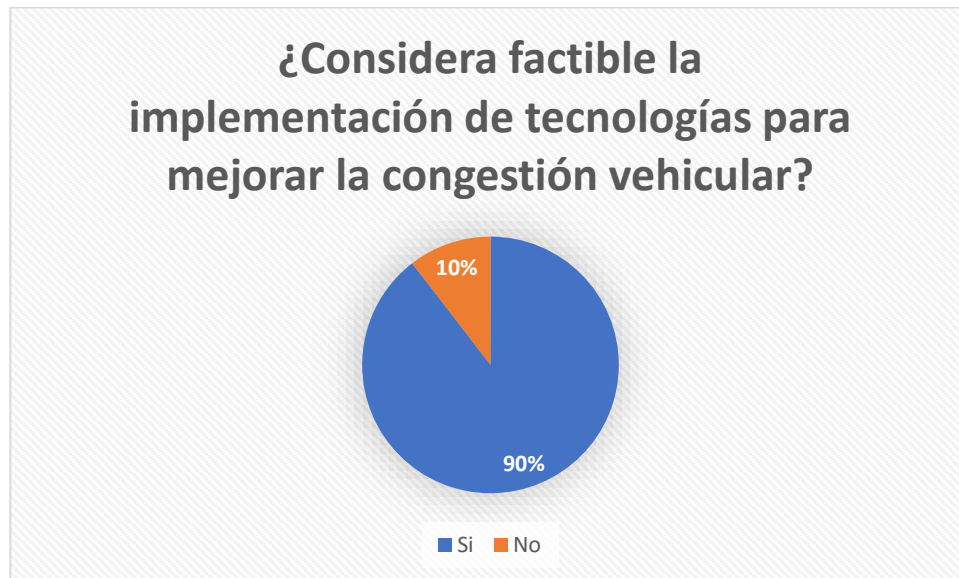


Figura 26. Porcentaje de la pregunta 2.

La pregunta 2 de la encuesta, dio como resultado que el 90% de los encuestados considera factible la implementación de alguna tecnología para mejorar la congestión vehicular, lo que permite apreciar que el porcentaje de aceptación es alto para la investigación propuesta con un 90% y únicamente un 10% no considera factible.

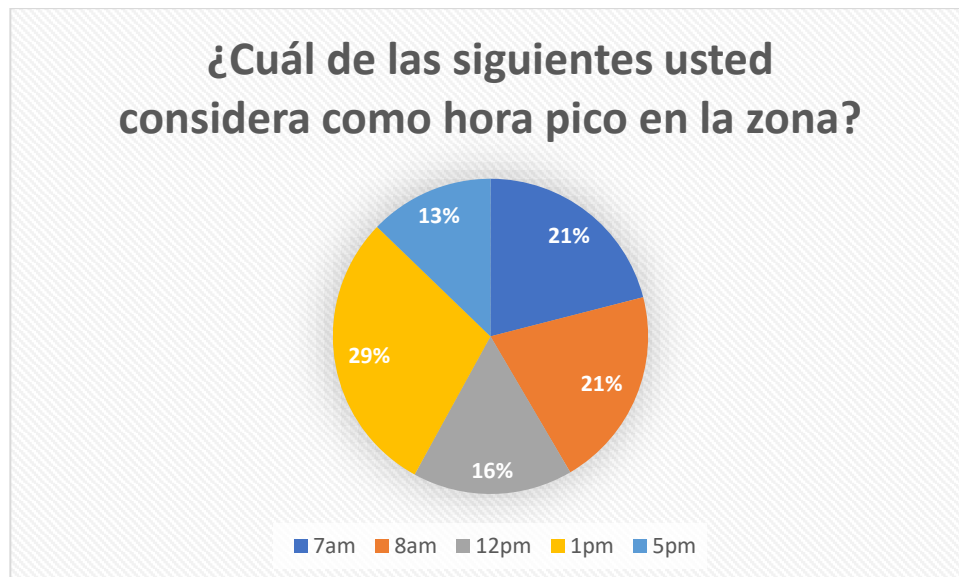


Figura 27. Porcentaje de la pregunta 3.

Podemos observar en la pregunta 3, que existen diferentes opiniones en cuanto a la consideración de la hora pico comenzamos con un 29% de los encuestados que piensan que la 1pm es la hora pico, el 21% considera que es las 7am y 8am como hora pico y un 16% de los encuestados considera que las 12pm es hora pico. Finalmente, un 13% considera a las 5pm como hora pico en la zona.

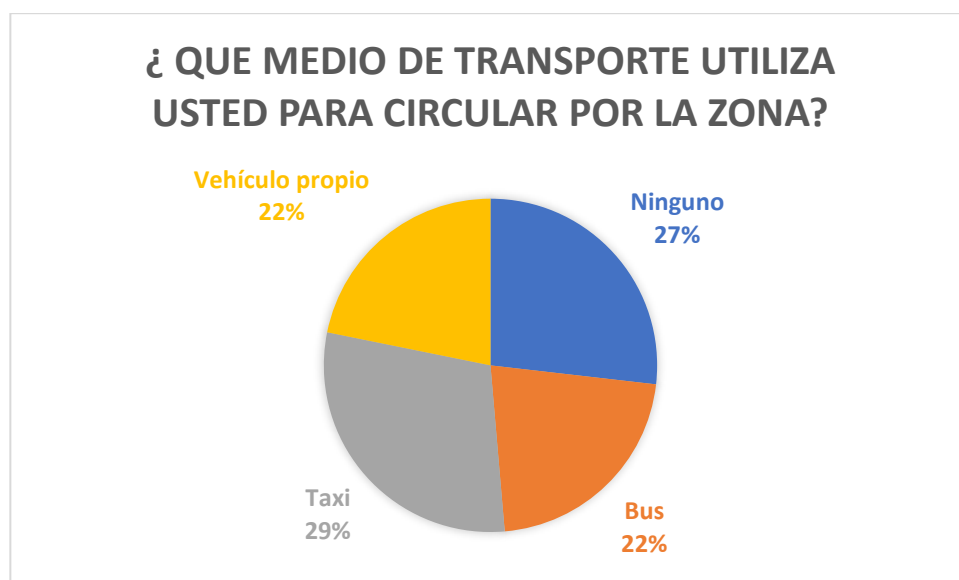


Figura 28. Porcentaje de la pregunta 4.

De todas las personas encuestadas sobre la pregunta propuesta, encontramos que el 22% tienen vehículo propio, el 22% usan Bus, el 29% usan taxi y un 27% no utilizan ninguno.

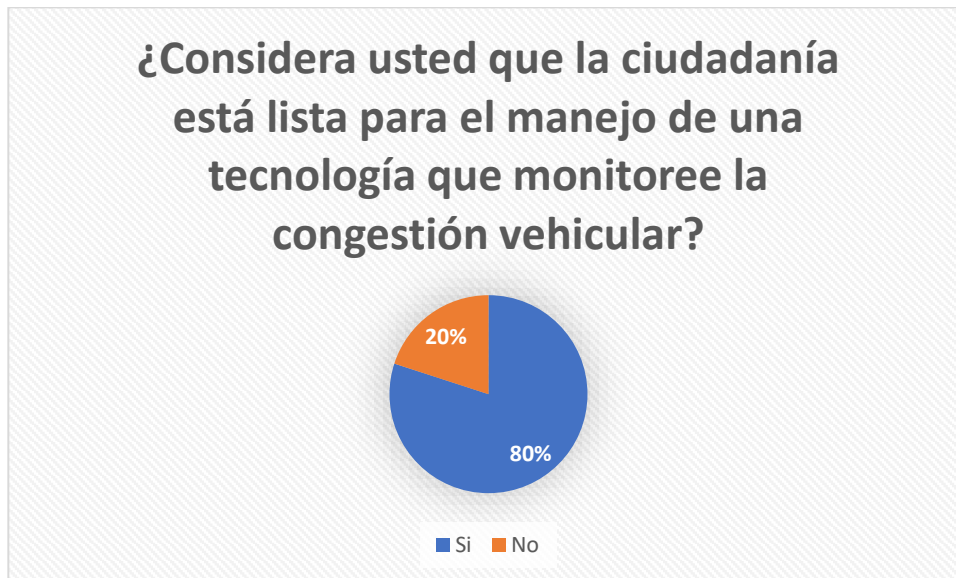


Figura 29. Porcentaje de la pregunta 5.

Podemos observar en la pregunta 5, que los encuestados consideran que la mayoría de ciudadanía esta lista y preparada para el uso de diferentes tecnologías para el monitoreo vehicular con un 80% y un 20% considera que no están los ciudadanos listos para alguna tecnología de monitoreo.

3.3. Análisis de la solución

Para la resolución del problema al ser una simulación involucra hardware y software, otro punto importante es el tráfico ocasionado en las horas pico para obtener los códigos de intensidad de calor y poder describir el tráfico en vivo se obtuvo el mapa mediante Google Maps.

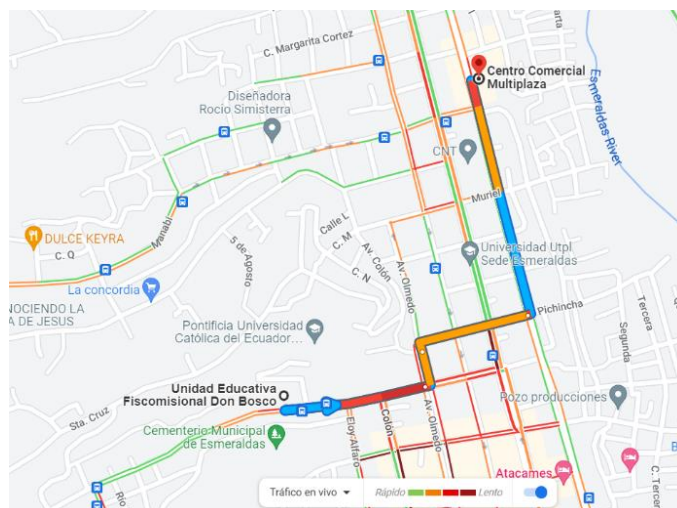


Figura 30. Trafico en vivo PUCESE - Centro comercial Multiplaza.

Los diferentes códigos de color del tráfico en vivo del área seleccionada para el análisis indican la velocidad de este en la carretera, según Google los colores oficiales son los siguientes (Ver Tabla)

Tabla 3. Leyenda de colores de tráfico de Google maps

colores	Leyenda
Verde	No hay retraso en el trafico
Naranja	Cantidad media de trafico
Rojo	Retraso en el trafico
Rojo oscuro	Velocidad de circulación muy lenta o vehículos parados

Sumo (Simulación de movilidad urbana), es un paquete informático que permite la simulación de tráfico multimodal continuo, permite importar mapas mediante la utilización de OpenStreetMap [26]. (ver Figura 25).

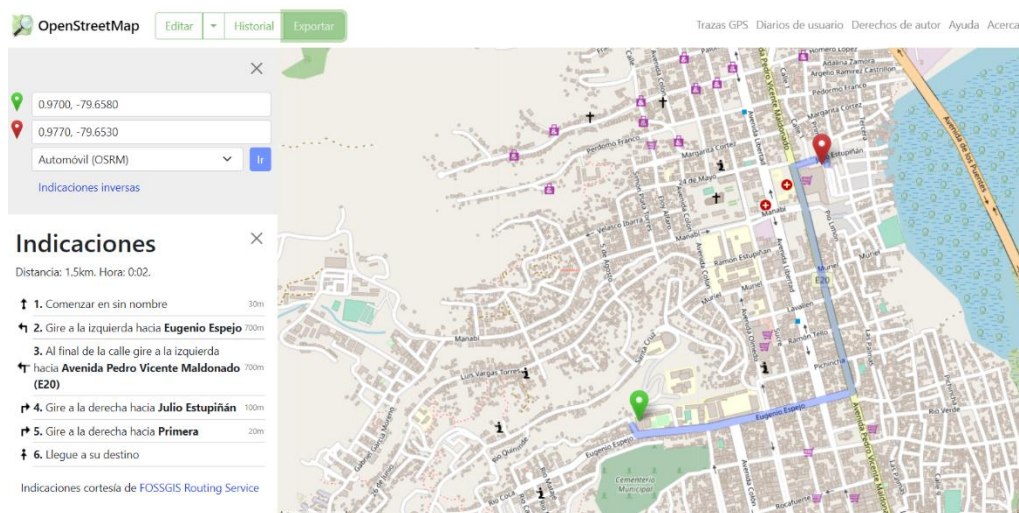


Figura 25. Mapa Base del área seleccionado para análisis de tráfico

El mapa base se descarga con la extensión. osm, para convertirlo a extensión .xml que sea compatible con SUMO es necesario ubicarse en donde se encuentra el mapa base (mapa-esmeraldas.osm) y agregar la siguiente línea de comandos en Git Bash.

```
$ netconvert --osm-files mapa-esmeraldas.osm mapa-esmeraldas.net.xml
```

En la herramienta “osm-web-wizard” se obtiene el mapa con las coordenadas descritas en la 5, en segundo lugar, seleccionamos el área para generar los diferentes escenarios ver Figura 25.



Figura 26. Área para simulación de tráfico

Cada que se genera una simulación se crea una carpeta con todos los archivos para poder realizar las modificaciones y personalizar el mapa, la carpeta se encuentra ubicadas en “C:\Windows\System32”

Disco local (C:) > Windows > System32 > 2022-08-12-05-56-56				
Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño	
build	12/8/2022 5:57	Archivo por lotes ...	1 KB	
osm.net	12/8/2022 5:57	Documento XML	1.742 KB	
osm.netccfg	12/8/2022 5:57	Archivo NETCCFG	2 KB	
osm.passenger.trips	12/8/2022 5:57	Documento XML	84 KB	
osm.poly	12/8/2022 5:57	Documento XML	646 KB	
osm.polycfg	12/8/2022 5:57	Archivo POLYCFG	1 KB	
osm	12/8/2022 5:57	SUMO Configurati...	1 KB	
osm.view	12/8/2022 5:57	Documento XML	1 KB	
osm_bbox.osm	12/8/2022 5:57	Documento XML	1.444 KB	
run	12/8/2022 5:57	Archivo por lotes ...	1 KB	

Figura 27. Listado de archivos generados

Para analizar el archivo se puede utilizar cualquier editor de texto, en esta investigación en particular se utilizó Visual Studio Code, se puede observar que se está ejecutando tres archivos osm.net.xml, osm.passenger.trips.xml y osm.poly.xml, de las cuales para nuestro

análisis solo se estudió los dos primeros el de la red vial y la demanda vehicular (ver Figura).

```
<configuration xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/sumoConfiguration.xsd">

  <input>
    <net-file value="osm.net.xml"/> //Archivo de la red vial
    <route-files value="osm.passenger.trips.xml"/> //Demanda vehicular
    <additional-files value="osm.poly.xml"/> //polígonos
  </input>

  <processing>
    <ignore-route-errors value="true"/>
  </processing>

  <routing>
    <device.rerouting.adaptation-steps value="18"/>
    <device.rerouting.adaptation-interval value="10"/>
  </routing>

  <report>
    <verbose value="true"/>
    <duration-log.statistics value="true"/>
    <no-step-log value="true"/>
  </report>

  <gui_only>
    <gui-settings-file value="osm.view.xml"/>
  </gui_only>

</configuration>
```

Figura 28. Archivos *osm.net.xml*

El mapa está compuesto por segmentos y nodos, para poder personalizar el área de estudio es necesario utilizar otra herramienta (NETEDIT) que viene incorporado en SUMO.

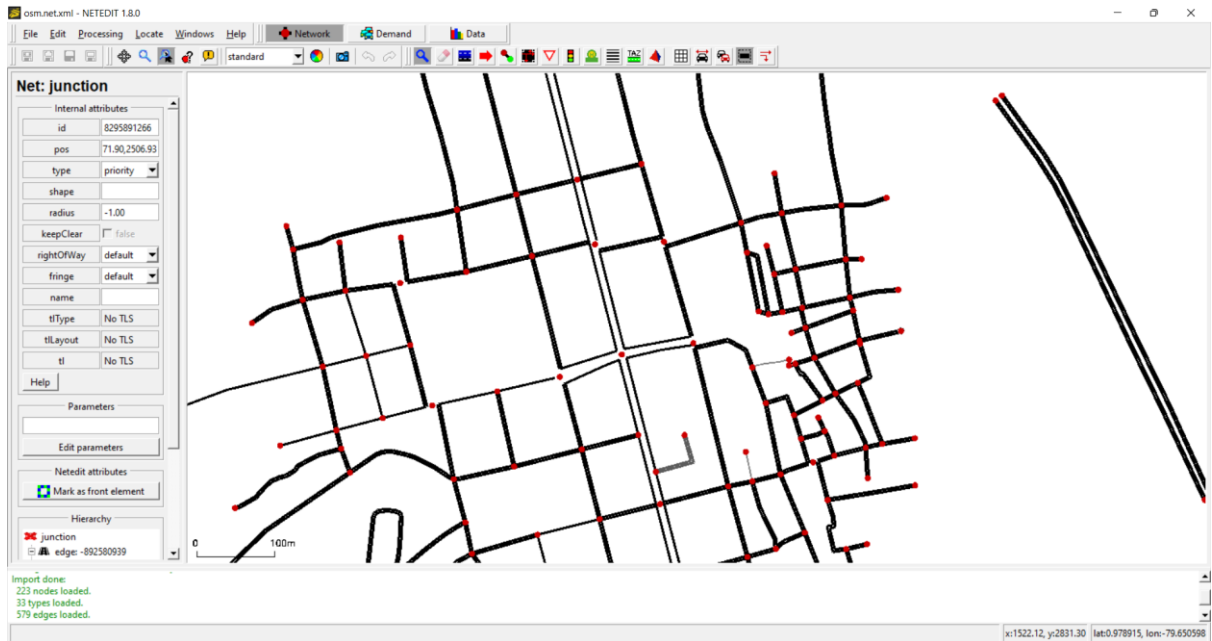


Figura 29. Segmentos y nodos del área

Tabla 4. Nodos recorridos de PUCESE a Multiplaza

Avenida	Nodos
Espejo	1143925089
	1143926012
	1143931858
Olmedo	1143931858
	1143925281
Pichincha	1143925281
	1143927931
Maldonado	1143927931
	1143927077
	1142711596

Toda la documentación para ejecutar el simulador se encuentra ubicado en la plataforma GitHub. Los vehículos permitidos para la simulación son los que están predeterminados en la configuración ver figura 30.

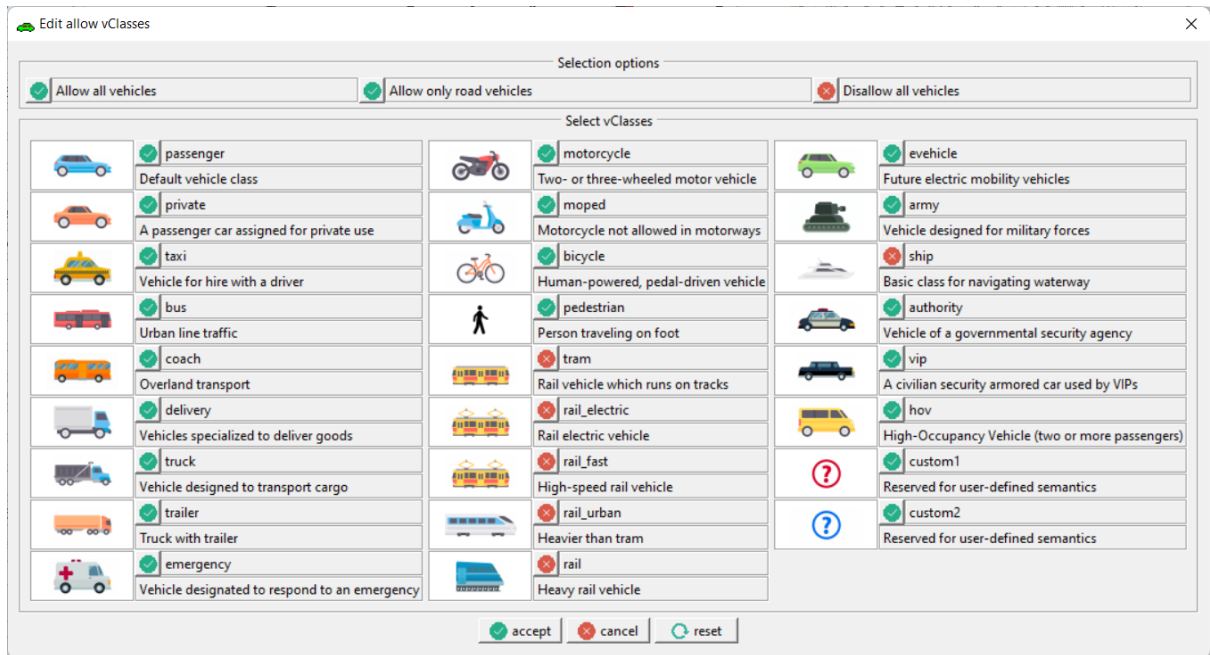


Figura 30. Vehículos permitidos en la generación de tráfico

En referencia a las vías mencionadas anteriormente se procede a la edición del mapa base, eliminando los nodos incensarios, finalmente obtenemos el siguiente resultado.

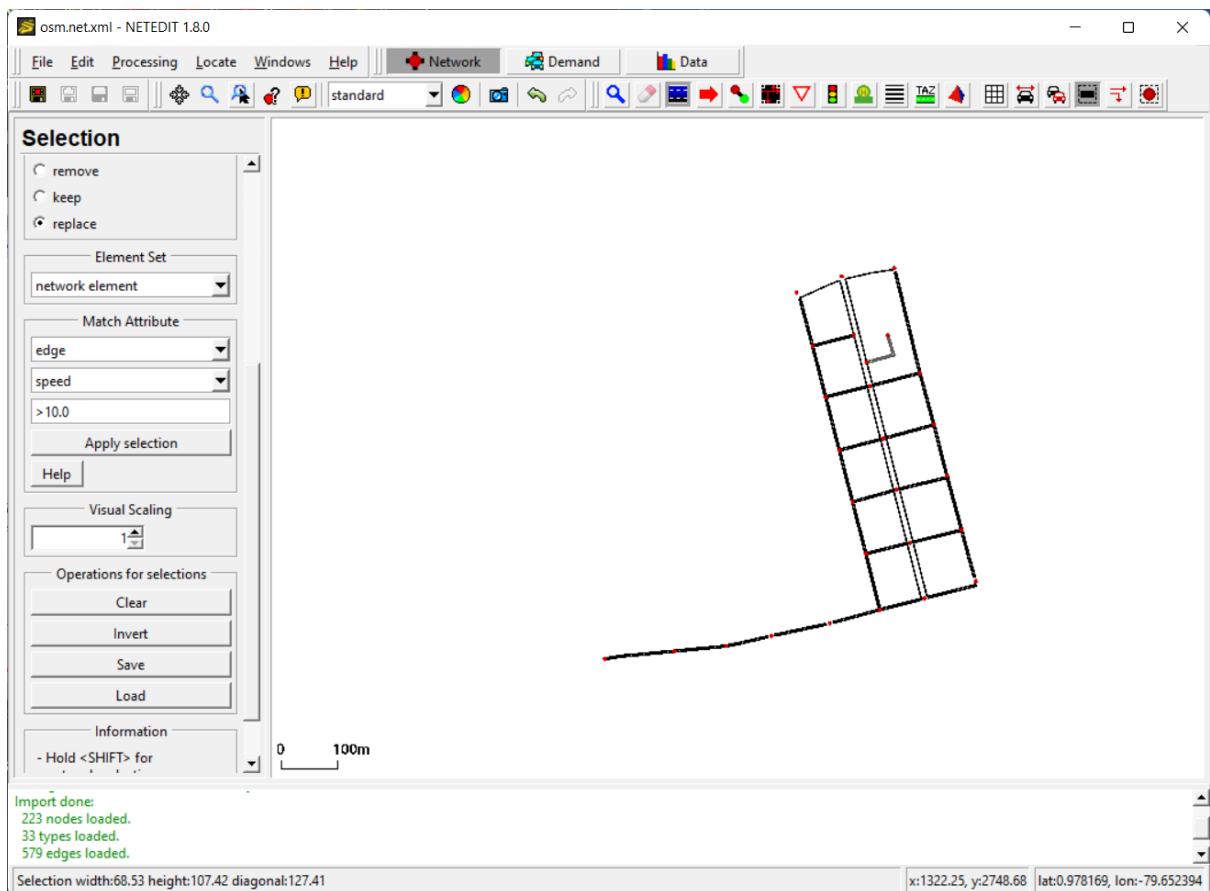


Figura 31. Mapa para experimento 1

3.4. Definir las rutas

Para definir las rutas se realizó modificando el archivo `osm.passenger.trips.xml`, sin embargo, para emular el comportamiento en condiciones reales es necesario observar las calles principales con intensidad de tráfico de esta manera se debe generar una carga vehicular razonable.

3.5. Escenario

En el primer escenario se realizó la simulación con 200 vehículos, para obtener la información de los vehículos se utilizó el API de SUMO, luego pasa por un proceso de aprendizaje automático, finalmente los resultados se obtienen en función de la configuración mediante la librería `set` ver Figura 32.

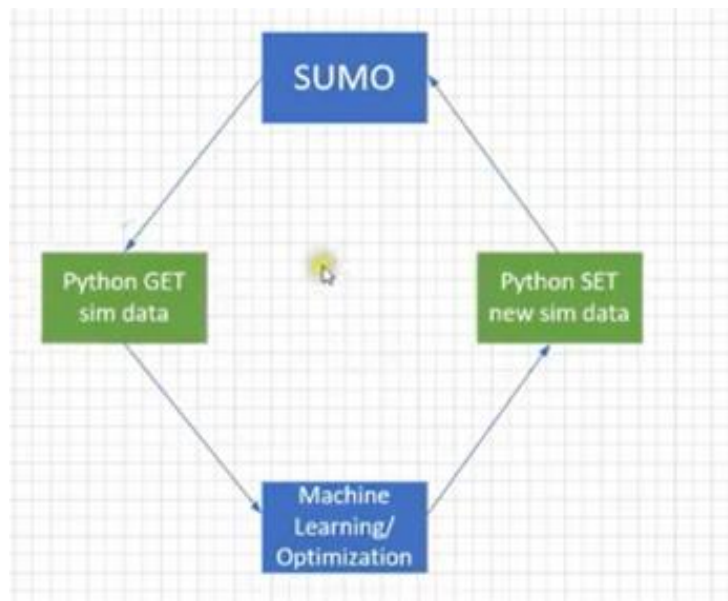


Figura 32. API Python

Se realizó la instalación de las librerías `pytz` y `pandas` para ejecutar los scripts de reportes y poder agregar el código para Machine Learning.

```

Downloading pandas-1.4.3-cp310-cp310-win_amd64.whl (10.5 MB)
----- 10.5/10.5 MB 4.0 MB/s eta 0:00:00
Collecting pytz>=2020.1
  Downloading pytz-2022.2-py2.py3-none-any.whl (504 kB)
----- 504.7/504.7 kB 2.6 MB/s eta 0:00:00
Collecting python-dateutil>=2.8.1
  Downloading python_dateutil-2.8.2-py2.py3-none-any.whl (247 kB)
----- 247.7/247.7 kB 2.5 MB/s eta 0:00:00
Collecting numpy>=1.21.0
  Downloading numpy-1.23.1-cp310-cp310-win_amd64.whl (14.6 MB)
----- 14.6/14.6 MB 1.5 MB/s eta 0:00:00
Collecting six>=1.5
  Downloading six-1.16.0-py2.py3-none-any.whl (11 kB)
Installing collected packages: pytz, six, numpy, python-dateutil, pandas

```

Se obtiene todos los vehículos y semáforos de la simulación,

```

vehicles=traci.vehicle.getIDList();
trafficlights=traci.trafficlight.getIDList();

```

Se emula el tráfico bajo las mismas condiciones en el área seleccionada, además fue necesario la instalación de otras librerías, para ejecutar el script sumo_run.py mediante terminal se debe direccionar a la carpeta en donde se encuentra el proyecto (C:\Windows\System32\2022-08-12-05-46-09), una vez generado se obtiene un archivo .csv con todos los datos para el respectivo análisis.

```

Administrador: Símbolo del sistema - sumo_run.py
veh108 >>> Position: [1689.244258890448, 1886.8628548410427] | GPS Position: [-79.649099932343, 0.970372667740819]
| Speed: 46.82 km/h | EdgeID of veh: 98881515#5 | LaneID of veh: 98881515#5_0 | Distance: 776.19 m | Vehicle
orientation: 82.5 deg | Upcoming traffic lights: ( )
Vehicle: veh110 at datetime: 2022-08-13 04:24:04
veh110 >>> Position: [1293.8859745329203, 2021.8409135353795] | GPS Position: [-79.6526519494268, 0.9715949394300286]
| Speed: 46.46 km/h | EdgeID of veh: -99156086#3 | LaneID of veh: -99156086#3_0 | Distance: 575.98 m | Vehicle
orientation: 256.05 deg | Upcoming traffic lights: ( )
Vehicle: veh111 at datetime: 2022-08-13 04:24:04
veh111 >>> Position: [1041.6179573445143, 2152.900155220267] | GPS Position: [-79.65491824300642, 0.9727812503771774]
| Speed: 42.24 km/h | EdgeID of veh: -416064991#0 | LaneID of veh: -416064991#0_0 | Distance: 452.26 m | Vehicle
orientation: 256.04 deg | Upcoming traffic lights: ( )
Vehicle: veh112 at datetime: 2022-08-13 04:24:04
veh112 >>> Position: [1113.7370980941503, 2471.3199284003904] | GPS Position: [-79.65426907078836, 0.975661025558533]
| Speed: 21.07 km/h | EdgeID of veh: :cluster_1142545274_1142545498_1142545786_1142546562_14 | LaneID of veh:
:cluster_1142545274_1142545498_1142545786_1142546562_14_0 | Distance: 393.04 m | Vehicle orientation: 72.68 deg |
Upcoming traffic lights: ( )
Vehicle: veh113 at datetime: 2022-08-13 04:24:04
veh113 >>> Position: [1519.6029936891734, 1870.9688120500964] | GPS Position: [-79.65062430447097, 0.970229522379701]
| Speed: 42.01 km/h | EdgeID of veh: 98881515#1 | LaneID of veh: 98881515#1_0 | Distance: 376.81 m | Vehicle
orientation: 84.25 deg | Upcoming traffic lights: ( )
Vehicle: veh114 at datetime: 2022-08-13 04:24:04
veh114 >>> Position: [779.0380979347335, 2167.4533867962623] | GPS Position: [-79.65727761418951, 0.9729138271770723]
| Speed: 20.39 km/h | EdgeID of veh: :1142713612_7 | LaneID of veh: :1142713612_7_0 | Distance: 364.6 m | Vehicle
orientation: 9.23 deg | Upcoming traffic lights: ( )
Vehicle: veh115 at datetime: 2022-08-13 04:24:04
veh115 >>> Position: [1794.1727583053216, 1783.5446502198256] | GPS Position: [-79.64815746787103, 0.969437801018009]
| Speed: 24.12 km/h | EdgeID of veh: -412772769#4 | LaneID of veh: -412772769#4_0 | Distance: 290.56 m | Vehicle
orientation: 265.36 deg | Upcoming traffic lights: ( )
Vehicle: veh116 at datetime: 2022-08-13 04:24:04

```

3.6. Resultados de la simulación.

En la Figura 33, se puede ver la ruta inicial establecida que comprende el desplazamiento vehicular a lo largo de la específicamente a través de la calle Espejo hasta la intersección con la calle Olmedo, a continuación, con la calle Pichincha y finalmente hasta la intersección con la calle Pedro Vicente Maldonado para desplazarse hasta el punto final que es el Centro Comercial Multiplaza,

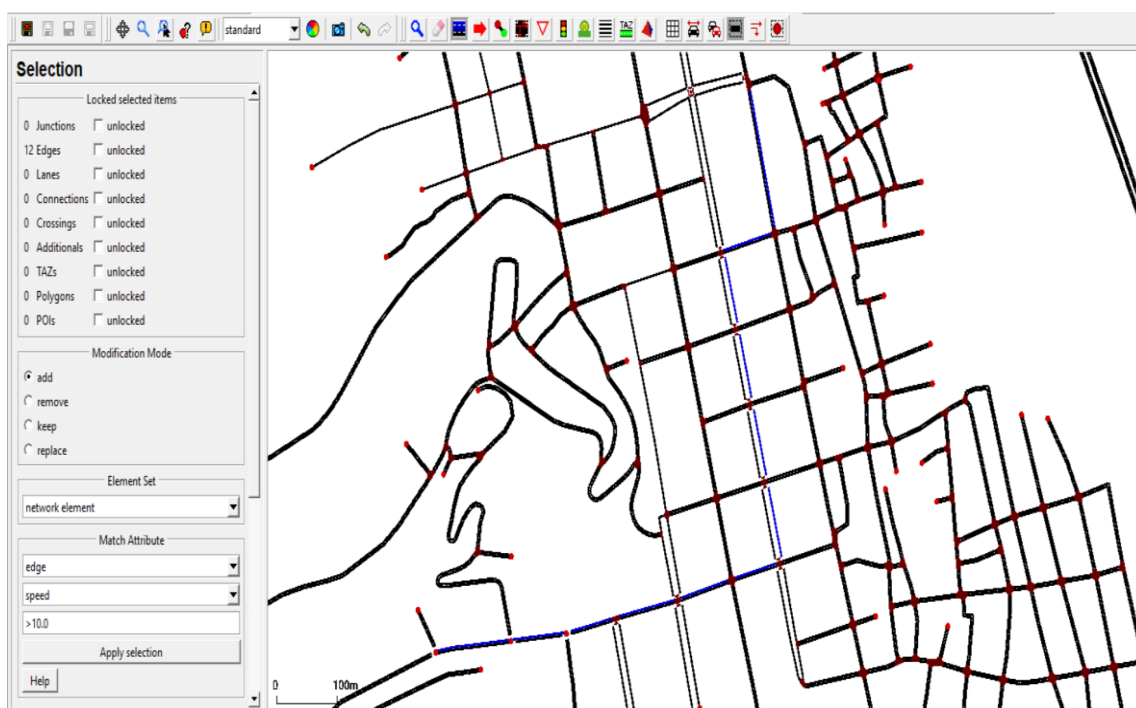


Figura 33. Ruta iniicial establecida

Una vez configurados todos los parámetros con los cuales se define la movilidad de los vehículos dentro de la simulación, se procede a presentar en la Tabla 8, los resultados obtenidos respecto a tiempo, distancia y duración del recorrido cumplido tanto por los vehículos que siguen la ruta original como los que siguen la ruta alterna.

Tabla 5. Valores de simulación

Vehículo			
Carril	De	Hasta	Velocidad
-376593940#1	1143927076	P_Don_Bosco	22,22
-376593940#0	P_Don_Bosco	P_I_Cementerio	22,22
-98881766#7	cluster_1143931389_1143931671	1389_1143931671	22,22
-98881766#5	cluster_1143931389_1143931671	cluster_1143925301_1143931836	22,22

-98881766#3	1143931858	cluster_1143925301_1143931836	22,22
-98881766#2	1143931858	cluster_1143925021_1143927211	22,22
285832009#0	cluster_1143925021_1143927211	cluster_1143929880_1143932435	22,22
285832009#1	cluster_1143929880_1143932435	cluster_1143926346_1143929933	22,22
285832009#2	cluster_1143926346_1143929933	cluster_1143926446_1143932048	22,22
285832009#3	cluster_1143926446_1143932048	cluster_1142711217_1142713649	22,22
98769527#2	cluster_1142711217_1142713649	1142711596	13,89
-98739478#6	1142711596	cluster_1142544813_1142545892 1143717579	27,78

Con los resultados obtenidos se puede apreciar que los vehículos que toman una ruta y cubren la distancia de la ruta propuesta, tienen un tiempo de duración casi similar al tiempo que les toma a los vehículos en desplazarse siguiendo la ruta establecida. Esto se puede verificar revisando los vehículos de prueba como se puede observar en la Figura AAA., los cuales cumplen con el trayecto en un promedio de 22,22 km por hora. Estos valores establecen a la ruta definida inicialmente como la ruta más viable a utilizar ya que el trayecto a seguir es un tanto más complicado, y la distancia es mucho más extensa que si se utiliza otras rutas alternas.

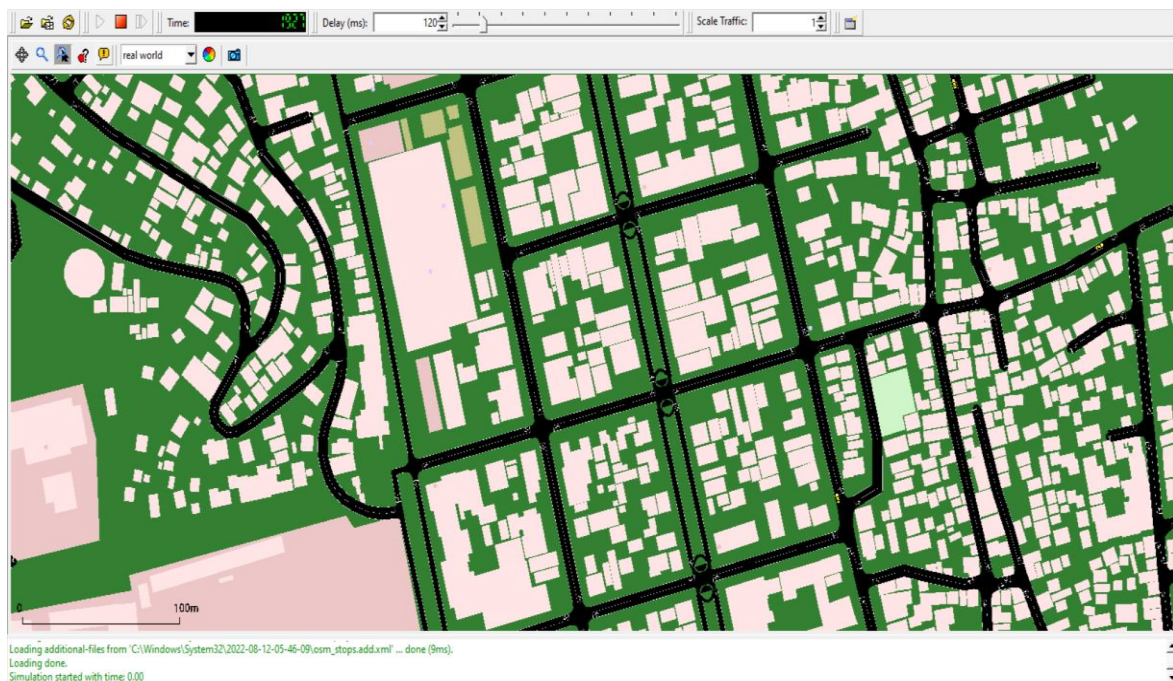


Figura 34. Vehículos de prueba de simulación

CAPITULO IV: DISCUSIÓN

Es importante discutir algunos aspectos de gran importancia respecto a las herramientas de simulación para el tráfico vehicular, normalmente, los investigadores combinan los simuladores de movilidad existentes con los simuladores de red existentes con Redes tiene una popularidad creciente. En 2020, Maya[12] propone controlar el tráfico vehicular realizándolo a través de una red ad – hoc VANET que utiliza software de modelación y simulación vehicular, podemos apreciar que en esta investigación se utilizaron las programas informáticos mencionados anteriormente. Igualmente, en este caso particular la idea es 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. El trabajo en mención es similar a nuestra investigación, debido a que se va a utilizar herramientas tecnológicas similares como lo son las redes ad-hoc vehiculares VANET y el campo de estudio que se va a utilizar es el casco urbano de la ciudad de Esmeraldas.

La red vehicular ad hoc (VANET) permite que cualquier vehículo que utilice esta tecnología pueda funcionar como repetidor para otros miembros de la VANET, el uso de la tecnología VANET en los vehículos mejorar la respuesta en tiempo y servicio hacia la ciudadanía, Andrade [13], propone la aplicación de redes VANET demostrando sus múltiples implementaciones en escenarios vehiculares con diferentes tecnologías de acceso inalámbrico proponiendo diversos desafíos para mejorar la movilidad urbana, y las herramientas principales incluyen los simuladores SUMO, MOVE y NS3 para la implementación de escenarios obtenidos de mapas reales con la posibilidad de crear nodos móviles y apreciar el comportamiento vehicular, aportando para próximas implementaciones de movilidad en NS3. Igualmente, este trabajo utiliza las herramientas complementarias para su propuesta lo que valida nuestro trabajo específicamente en la ruta designada de la ciudad de Esmeraldas.

El estudio de Delgado [14] en su a propuesta cambia el comportamiento de AODV añadiendo un sistema difuso que intenta mejorar la estabilidad de las rutas. Las simulaciones demuestran que el protocolo funciona adecuadamente, sobre todo, en cuanto a pérdidas y sobrecarga normalizada. Es importante mencionar que este trabajo utiliza algoritmos para las diferentes simulaciones de su propuesta y utiliza herramientas

tecnológicas similares como lo son las redes ad-hoc vehiculares VANET en lo relacionado con el transporte vehicular de las personas, que es el enfoque de la investigación y que permite reforzar el uso de estas herramientas y algoritmos para la simulación realizada.

Esmeraldas se encuentra en el desarrollo del proyecto ciudad inteligente por tal motivo nuestra atención es en el diseño de un sistema de transporte inteligente (ITS) que ofrece apoyo a los conductores a reducir el tiempo de traslado de un punto a otro punto de la ciudad, Evaluamos toda los datos y las variables obtenidas mediante la aplicación de algoritmos que integran SUMO, como la velocidad las coordenadas el número de carril, de esta manera se pudo realizar el cálculo que tarda un vehículo.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En la provincia de Esmeraldas antes de la pandemia se registraron un total de 21880 vehículos, de las cuales en el cantón Esmeraldas se contabilizaron 1809, 1511 eran livianos, 16 eran buses, 270 eran vehículos de 2 ejes, 6 eran vehículos de 3 ejes y 6 eran vehículos de 5 ejes, esto significa decir que un promedio de 1500 vehículos transitan en toda la ciudad, para esta investigación se analizó la zona comprendida desde la PUCESE, como punto de referencia se escogió la entrada a la unidad educativa Don Bosco, hasta el Centro Comercial Multiplaza con todas las rutas alternar que integran en toda la trayectoria, se utilizó mapas georreferenciados con imágenes de tráfico actual, estas fueron visualizadas en Google Maps, para generar los Archivos se utilizó OSM web wizard y para la edición NetEdit, la simulación se realizó con 200 vehículos.

Existen varias causas que generan la congestión vehicular, una de las principales es el deterioro de la capa asfáltica esto genera molestias a los conductores y daños en sus vehículos, para la simulación no se toma en cuenta esta problemática, sin embargo mediante la implementación de las redes VANET se puede equilibrar en el área de cobertura de esta manera se puede priorizar la eficiencia de tráfico y el confort del conductor, en consecuencia se puede disminuir el índice de accidentes y finalmente el estrés en los conductores.

Mediante el análisis de las redes VANET se puede seleccionar las rutas más efectivas en tiempo y distancia, con toda la Big Data que se obtiene se puede detectar problemas que surgen en la congestión vehicular y mediante la información que se obtiene luego de aplicar diferentes algoritmos se puede dar soluciones optimas, como por ejemplo las rutas más eficientes.

5.2. Recomendaciones

En la investigación no se contempla vehículos de emergencia ni la generación accidentes programados de tránsito, esto permitirá soluciones más efectivas en la congestión vehicular, este trabajo servirá de base para el Cantón Esmeraldas en la aplicación del proyecto ciudad inteligente.

Para crear una infraestructura de la red VANET es necesario crear un mapa geo posicionado, los programas que se deben utilizar para generar la simulación son, inet-4.2.2-src, omnetpp-5.6.2-src-windows, sumo-win64-1.8.0, veins-5.2., las versiones son de mucha importancia para no tener errores al ejecutar la aplicación.

Se recomienda utilizar OMNET++, porque permite integrar SUMO sin ningún problema, los archivos que se deben modificar para solucionar el problema de congestión son `osm.net.xml`, `osm_pt.rou.xml`, `osm.passenger.trips.xml`, `osm.poly.xml`, `osm_stops.add.xml`, también es necesario tener una referencia entre todos los nodos y semáforos para evitar confusiones en la edición de los mapas base

REFERENCIAS

- [1] J. Salazar, “REDES INALÁMBRICAS.” [Online]. Available: <http://www.techpedia.eu>
- [2] M. A. S. O. R. B. M. E. Molina Vilchis, “Arquitectura de las redes ad-hoc,” *Arquitectura de las Redes Ad-Hoc*, pp. 8–13, 2007, Accessed: Jul. 21, 2022. [Online]. Available: <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v8n4/1390-6542-enfoqueute-8-04-00016.pdf>
- [3] F. López Ortiz, “El estándar IEEE 802.11 Wireless LAN.”
- [4] V. E. Maldonado Narváez, “Comparacion de protocolos de enrutamiento y modelos de movilidad para redes Ad-hoc Vehiculares usando mapas reales,” *Comparación de protocolos de enrutamiento y modelos de movilidad para Redes Ad-Hoc Vehiculares usando mapas reales*, 2012.
- [5] Matías Robles, Luis Marrone, Javier Díaz, and Andrés Barbieri, “comparacion de protocolos de ruteo en redes ad-hoc,” *Comparación de protocolos de ruteo en redes ad-hoc*, 2010.
- [6] G. He, “Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV) Protocol.” Accessed: Jul. 22, 2022. [Online]. Available: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.18.8758&rep=rep1&type=pdf>
- [7] Guerrero Zapata, “Chapter 3 Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing 3.1 Introduction,” 2022. Accessed: Jul. 24, 2022. [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93309/04Mgz04de10.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- [8] E. R. Charles Perkins, “AODV R On Demand Distance Vector Routing”.
- [9] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, “Network Working Group,” 2003.
- [10] U. Enfoque, “Overhead impact on ad hoc mobile networks (Impacto de la sobrecarga en redes móviles ad hoc),” vol. 4, pp. 16–26, 2017, [Online]. Available: <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>
- [11] E. De, M. Zurbaran, and P. Sanmartin, “EFFECTS OF COMMUNICATION IN AN AD-HOC NETWORK,” *Investig. Innov. Ing*, vol. 1, no. 4, pp. 26–31, 2016.
- [12] E. Maya Olalla, “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 VEHICULAR.”

- [13] M. Andrade, “Estudio y Simulacion de Redes Heterogeneas VANET, con la variación tecnológica inalámbrica según la capacidad de usuarios en zonas urbanas.”
- [14] J. Delgado, “ESTUDIO DE ALGORITMO DE ENCAMINAMIENTO AD HOC EN REDES VEHICULARES”.
- [15] V. Saiáns-Vázquez, “Contribucion a los mecanismos de virtualización y enrutado para aplicaciones de conducción autónoma en en redes ad-hoc móviles y vehiculares.”
- [16] Constitución de la Republica del Ecuador, “Publicada en el Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008,” *Incluye Reformas*, pp. 1–136, 2015.
- [17] *LEY ORGANICA DE EDUCACION SUPERIOR, LOES*. Accessed: Mar. 30, 2023. [Online]. Available: www.lexis.com.ec
- [18] Propiedad Intelectual Registro Oficial No 320, “Ley de Propiedad Intelectual,” 2015, no. 320. p. 92, 2015.
- [19] Gobierno Provincial de Esmeraldas, “Plan de Infraestructura Vial Provincial.,” p. 1390, 2017.
- [20] INEC, “Documento Metodológico del Anuario de Estadísticas de Transporte (ANET) ,” 2020. Accessed: Mar. 31, 2023. [Online]. Available: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/2020/2020_ANET_METODOLOG%C3%8DA.pdf
- [21] “Visor de siniestralidad – Estadísticas – Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador – ANT.” <https://www.ant.gob.ec/visor-de-siniestralidad-estadisticas/> (accessed Mar. 30, 2023).
- [22] N. Veliz, “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA INCIDENCIA DEL RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS DE LA CIUDAD DE ESMERALDAS,” 2022.
- [23] D. OSTAÍZA, “ESTUDIO DE IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES VIALES DE ESMERALDAS,” 2018.
- [24] GADPE, “PLAN DE DESARROLLO VIAL INTEGRAL DE LA PROVINCIA DE ESMERALDAS,” 2019. Accessed: Mar. 31, 2023. [Online]. Available:

<http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2020/09/Esmeraldas-plan-vial-integral.pdf>

[25] ANT, “Estadísticas de Transporte Siniestros de Tránsito 2021,” 2021.

[26] “OpenStreetMap.”

https://www.openstreetmap.org/directions?engine=fossgis_osrm_car&route=0.9700%2C-79.6580%3B0.9770%2C-79.6530#map=16/0.9735/-79.6552 (accessed Aug. 12, 2022).