

**ANÁLISIS DE SIMULACIÓN DE LA DISEMINACIÓN
DE MENSAJES DE EMERGENCIA EN REDES
VEHICULARES AD-HOC MEDIANTE SOFTWARE
LIBRE**

MÓNICA NATALÍ CARRIÓN SANMARTÍN

Egresada de la Carrera de Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana

ERIKA PAOLA POVEDA SANCHEZ

Egresado de la Carrera de Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana

Dirigido por:

DR ING. JACK BRAVO

Dr. Ing Electrónico
Docente de la Universidad Politécnica Salesiana
Facultad de Ingenierías
Carrera de Ingeniería Electrónica.

CERTIFICACIÓN

En calidad de TUTOR DE LA TESIS “**Análisis de Simulación de la Diseminación de Mensajes de Emergencia en Redes Vehiculares Ad-hoc mediante Software Libre.**”, elaborada por Mónica Natalí Carrión y Erika Paola Poveda declaro y certifico la aprobación del presente trabajo de tesis basándose en la supervisión y revisión de su contenido.

Cuenca, Julio del 2016



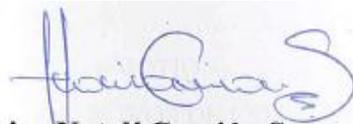
Dr. Ing. Jack Bravo

TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

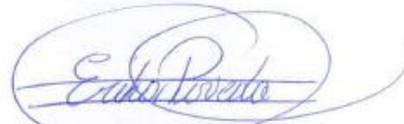
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Los autores son los únicos responsables por los contenidos, conceptos, ideas, análisis, resultados investigativos y manifestados en la presente tesis “**Análisis de Simulación de la Diseminación de Mensajes de Emergencia en Redes Vehiculares Ad-hoc mediante Software Libre**”,

Cuenca, Julio del 2016



Mónica Natalí Carrión Sanmartín
AUTORA



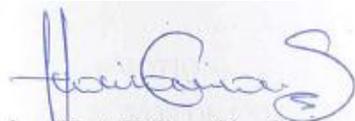
Erika Paola Poveda Sánchez
AUTORA

© CESIÓN DERECHOS DE AUTOR

Nosotras Mónica Natalí Carrión Sanmartín, con documento de identificación N° 0105624712 y Erika Paola Poveda Sánchez con documento de identificación N° 0104952049 y, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del trabajo de grado intitulado: **“ANÁLISIS DE SIMULACIÓN DE LA DISEMINACIÓN DE MENSAJES DE EMERGENCIA EN REDES VEHICULARES AD-HOC MEDIANTE SOFTWARE LIBRE”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autoras nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Julio del 2016



Mónica Natalí Carrión Sanmartín
AUTORA



Erika Paola Poveda Sánchez
AUTORA

ÍNDICE

Índice.....	I
Índice De Figuras	III
Índice De Tablas	IV
Abreviaturas Usadas.....	V
Agradecimientos	VI
Dedicatoria.....	VII
RESUMEN.....	VIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DE LA RED.....	3
1.1.1. NETWORK SIMULATOR 3.....	3
1.1.2. NETBEANS.....	3
1.1.3. NETANIM.....	4
1.2. HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DE MOVILIDAD VEHICULAR.....	4
1.2.1. SUMO.....	4
1.2.2. BONNMOTION.....	5
1.3. OBJETIVOS DE ESTE TRABAJO.....	5
1.4. SUMARIO.....	6
2. ESTADO DEL ARTE.....	7
2.1. REDES AD-HOC.....	7
2.1.1. PROPIEDADES DE LAS REDES AD-HOC.....	7
2.2. REDES VEHICULARES AD-HOC (VANET)	8
2.3. ESTÁNDAR PARA REDES VEHICULARES VANET.....	9
2.3.1. ESTÁNDAR IEEE 802.11.....	10
2.3.1.1. <i>FUNCIONAMIENTO DEL PROTOCOLO 802.11p</i>	12
2.3.2. ESTÁNDAR IEEE 1609	13
2.3.3. CONSIDERACIONES SOBRE LAS REDES VANET.....	14
2.3.4. APLICACIONES DE LAS REDES VANET.....	14
2.4. MODOS DE TRANSMISIÓN EN REDES AD-HOC.....	15
2.4.1. Unicast.....	15
2.4.2. Multicast.....	15
2.5. MECANISMOS DE ENCAMINAMIENTO DE LA INFORMACIÓN PARA MANETS.....	16
2.5.1. PROTOCOLOS REACTIVOS.....	16
2.5.2. PROTOCOLOS PROACTIVOS.....	17
2.5.3. PROTOCOLOS HÍBRIDOS.....	19
2.6. MECANISMOS DE ENCAMINAMIENTO DE INFORMACION PARA VANETS.....	20
2.6.1. PROTOCOLOS BASADOS EN TOPOLOGÍA.....	20

2.6.2.	PROTOCOLOS GEOGRÁFICOS.....	20
2.6.3.	PROTOCOLOS JERARQUICOS.....	23
2.7.	CAPA DE VIRTUALIZACIÓN.....	24
2.7.1.	CAPA DE NODO VIRTUAL VNLayer.....	25
2.7.2.	ELECCION DEL NODO LIDER.....	27
2.7.3.	ELECCION DEL NODO BACKUP.....	30
2.7.4.	MANTENIMIENTO DEL ESTADO DE LOS VECINOS Y DE LA REGIÓN.....	31
3.	DISEÑO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA.....	32
3.1.	SELECCIÓN DE LOS PROTOCOLOS.....	32
3.1.1.	AD-HOC ON DEMAND DISTANCE VECTOR (AODV)	32
3.1.1.1	<i>Características del protocolo AODV.....</i>	33
3.1.1.2	<i>Descubrimiento de Ruta.....</i>	33
3.1.1.3	<i>Mantenimiento de la ruta.....</i>	35
3.1.1.4	<i>Selección de la mejor ruta.....</i>	35
3.1.2.	OLSR (OPTIMIZED LINK-STATE ROUTING PROTOCOL).....	36
3.1.2.1	<i>Principios Básicos.....</i>	36
3.1.2.2	<i>Multipoint Relays Sectors (MPRs)</i>	37
3.1.2.3	<i>Detección de Vecinos y Selección de Multipoint Relays.....</i>	37
3.1.2.4	<i>Cálculo de la Tabla de Enrutamiento.....</i>	38
3.1.3.	PROTOCOLO VGEO.....	38
3.1.3.1	<i>Descubrimiento de Ruta.....</i>	39
3.1.3.1	<i>Mantenimiento de Ruta.....</i>	40
3.1.3.1	<i>Corrección de Ruta.....</i>	40
3.1.3.1	<i>Ventajas de VGEO.....</i>	41
3.2.	CONSIDERACIONES DE SIMULACIÓN.....	42
3.3.	DESARROLLO DEL AMBIENTE MÓVIL.....	42
3.4.	SELECCIÓN DE LOS NODOS FUENTE Y DESTINO.....	44
3.5.	TRAZA DEL MENSAJE DE EMERGENCIA.....	45
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	46
4.1	MÉTRICAS PARA EL ANÁLISIS DE RENDIMIENTO.....	46
4.2	ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE LOS PROTOCOLOS.....	47
4.2.1	ANÁLISIS DEL DELAY.....	47
4.2.2	ANÁLISIS DE LA TASA DE ENTREGA.....	49
4.2.3	ANÁLISIS DEL THROUGHPUT.....	50
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
	APÉNDICE.....	54
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Transmisión de información a diferentes usuarios de una red VANET	1
Figura 2 Configuraciones en la Capa Virtual dentro del modelo TCP/IP	2
Figura 3. Características de las Redes VANET	8
Figura 4 Modos de Comunicación en VANET [6].....	9
Figura 5 Pila de Protocolos en WAVE [9]	10
Figura 6 Sistemas ITS en carretera [12].....	12
Figura 7 Composición de la pila de protocolos que soportan las comunicaciones VANET [9]	13
Figura 8 Clasificación de los protocolos geocasting	22
Figura 9 Funcionamiento del Protocolo LBM.....	22
Figura 10 Funcionamiento del protocolo Geotora [46]	23
Figura 11 Estructura de Clúster Pasivo	24
Figura 12 Nodos virtuales en una red VANET.	25
Figura 13: Capa de virtualización VNLayer en un escenario de cuatro regiones [54]	26
Figura 14 Transmisión de paquetes en VNLayer provista por Brown.	27
Figura 15 Transmisión de paquetes en VNLayer mediante Wu.....	27
Figura 16: Módulo de máquina de estados para la elección del nodo Líder [32].....	29
Figura 17 Transmisión broadcast del mensaje RREQ a la red	34
Figura 18 Transmisión del mensaje RREP a la red	35
Figura 19 Selección de la mejor ruta del protocolo AODV	36
Figura 20 Ilustración del concepto de multipoint relay para N estaciones. [3]	37
Figura 21 Descubrimiento de ruta para la transmisión de mensajes desde 1 al nodo 10.....	40
Figura 22 Pérdida de paquetes en el proceso de corrección de ruta	42
Figura 23 Escenario de simulación para el sistema	43
Figura 24 Simulación en NetAnim para un escenario de 40 nodos.....	43
Figura 25: Representación de la capa virtual en un escenario con 3 regiones.....	44
Figura 26: Ubicación de los nodos en el escenario mediante NetAnim	45
Figura 27 Ilustración del delay en un rango de 200m	47
Figura 28 Ilustración de delay en 60 nodos.....	48
Figura 29 Tasa de Entrega en un rango de 200m	49
Figura 30 Tasa de entrega en 60 nodos	49
Figura 31 Comportamiento Throughput en un rango de 200m.	50
Figura 32 Comportamiento throughput en 60 nodos.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características del Estándar IEEE 802.11p	11
Tabla 2 Especificaciones del estándar IEEE 802.11p	12
Tabla 3 Información del canal inalámbrico V2X, IEEE 802.11p [9]	13
Tabla 4 Parámetros configurados en el escenario de la red.....	44
Tabla 5 Configuraciones globales de la red.	45

ABREVIATURAS USADAS

AODV	Ad-Hoc On Demand Distance Vector
AP	Access Point
AU	Application Unit
BSS	Basic Service Set
CH	Cluster head
CLR	Paquetes de limpieza o de borrado
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CTF	Coin Tosser Function
DAG	Database Availability Group
DSDV	Destination-Sequenced Distance-Vector Routing
DSR	Dynamic Source Routing
FWD	First Declaration Wins
HMI	Human Machine Interface
ITS	Intelligent Transport Systems
MAC	Media Access Control
MANET	Mobile Ad-Hoc Network
MPR	Multipoint Relay
NS-3	Network Simulator 3
OBU	On board Unit
OLSR	Optimized Link State Rounting
PHY	Physical Layer
QRY	Paquetes de consulta
RSU	Road-side Unit
SUMO	Simulation of Urban Mobility
UDP	User Datagram Protocol
UPD	Paquetes de actualizaciones
V2I	Vehicule to Infraestructure
V2V	Vehicle to Vehicle
VCN	Vehicle Communication Networks
VANET	Vehicle Ad-Hoc Network
WAVE	Wireless Access Vehicular Environment
WBSS	Wave Basic Service Set

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su bendición, a mi familia por su amor incondicional, y por fomentar en mí, principios invaluable y a cada uno de mis profesores que contribuyeron en mi formación académica.

Natalí Carrión Sanmartín

Un agradecimiento eterno a mi madre Lilia quien ha estado junto a mí en todo momento, que sin su apoyo incondicional no hubiera logrado esto, a mi hermano Boris y a mi querida tía Tarcila que me han ayudado tanto.

Erika Poveda Sánchez.

DEDICATORIA

Este trabajo de fin de grado va dedicado a mis hermanos menores Israel y Mateo, por el amor ilimitado que les tengo. En mi camino por la vida, ellos me han brindado muchas alegrías y han sido mi fortaleza y mi motor.

Natalí Carrión Sanmartín

A mi amado hijo que se ha vuelto mi motor, mi familia y a mis verdaderos amigos les agradezco infinitamente por apoyarme. Este logro es para ustedes, con ustedes y de ustedes, mil gracias.

Erika Poveda Sánchez.

RESUMEN.

Debido a la capacidad de cambiar el estilo de vida de las personas, los sistemas de comunicación son de mucha importancia en el desarrollo de las sociedades. Gracias a la variabilidad de las aplicaciones, hoy en día las comunicaciones son necesarias para la evolución en las relaciones de individuos, grupos e instituciones en una sociedad.

Los sistemas de comunicación entre vehículos no se descartan en el proceso de la conexión. Una de las principales aplicaciones que despierta interés en la industria, es el estudio y desarrollo de las redes de comunicación vehicular VANET (del inglés, Vehicular Ad-Hoc Networks). Estas redes posibilitan a los vehículos actuar como dispositivos de comunicación para proveer información con la finalidad de ofrecer comodidad y seguridad a todos los usuarios de la red.

La transferencia de mensajes de emergencia en una VANET es de gran importancia a la hora de brindar asistencia médica, en una situación donde ha ocurrido una catástrofe. No obstante, el envío de información en estas redes, presenta un verdadero desafío tecnológico debido al dinamismo que presentan; lo que ha llevado a la ejecución de diferentes protocolos para la contención de los diferentes problemas e inconvenientes que muestra.

Este trabajo de fin de grado propone estudiar la definición de las VANETs, así como sus características, categorización y descripción de protocolos comúnmente usados por estas, y se realiza una investigación mediante una simulación del comportamiento de la red, para finalmente, observar y analizar el rendimiento de los protocolos AODV, OLSR y VGEO en la transmisión de paquetes de mensajes de emergencia sobre una red VANET.

Para el análisis de la investigación, se utilizó los software libre NS-3 y SUMO. A través de SUMO, se montó un ambiente de movilidad vehicular sobre un área que emula una traza de calles e intersecciones a través de la obtención de archivos .tcl. Mediante estos software, se construye los parámetros de simulación y de red, para la evaluación de la eficiencia y escalabilidad de cada protocolo.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo menciona conceptos generales sobre redes VANET, la importancia de las mismas en la industria y los software utilizados para el desarrollo de este estudio.

Los sistemas de comunicación son de mucha importancia para el desarrollo de las sociedades debido a la capacidad de cambiar el estilo de vida de las personas. Dada la diversificación de redes de comunicación y la heterogeneidad de las mismas; conceptos de ubicuidad toman relevancia al momento de brindar nuevos servicios al usuario.

Un aspecto atractivo de la tecnología para la industria se presenta en los sistemas de comunicación entre vehículos. Una de las principales aplicaciones en estudio y desarrollo son las redes de comunicación vehicular VANET (Vehicular Ad-Hoc Networks) con la adopción del estándar 802.11p. En estas redes los vehículos actúan como dispositivos de comunicación para suministrar información con la finalidad de brindar confortabilidad y seguridad a los pasajeros.

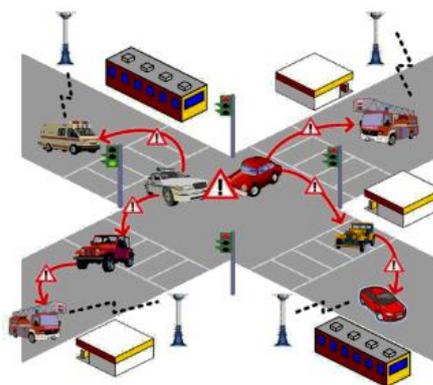


Figura 1 Transmisión de información a diferentes usuarios de una red VANET

Una de las principales características de estas redes es que no cuentan con un nodo central ya que cualquiera de sus miembros en determinado momento puede actuar como uno de ellos. Por otra parte, el movimiento arbitrario de los nodos, hace que se produzca un cambio constante en la topología de la red, lo que afecta las condiciones de la comunicación.

Entre las principales ventajas de las redes VANET están: prevención y decremento de accidentes, mejoras en la congestión del tráfico gracias a la búsqueda de rutas alternativas, reducción del tiempo de respuesta ante un accidente de tránsito, entre otras (ver figura 1). Frente a un acontecimiento catastrófico donde toda la comunicación con infraestructura se ha perdido o ha declinado, las VANET ofrecen la posibilidad de transmitir mensajes de emergencia o de otro tipo a toda la red; por lo

que el Grupo de Investigación en Telecomunicaciones (GITEL) de la Universidad Politécnica Salesiana ha mostrado interés en buscar, comparar y mejorar algoritmos de control de la diseminación de información que en un futuro podrían ser aprovechados por organismos de emergencia, o por cualquier usuario que pertenezca a la red.

En Ecuador un crecimiento acelerado del parque automotor ha generado graves problemas contra la población, tales como: accidentes, congestionamiento y demoras. En cuanto al índice de accidentes de tránsito según la Organización Mundial de la salud Ecuador se encuentra en el puesto décimo sexto entre los países con mayor índice de mortalidad, y a nivel de América Latina se ubica en el tercer lugar con una tasa de 32. muertes por cada 100000 habitantes [1], en estas situaciones el factor tiempo es vital, por ejemplo para pacientes en estado emergente con parada cardiaca cada minuto de demora reduce la tasa de supervivencia un 10% [2], por lo tanto en una emergencia médica es importante que la información llegue con alto grado de confiabilidad y con el menor retardo posible.

Encontrar un protocolo de diseminación que se ajuste a las características de las redes VANET resulta un verdadero desafío ya que se presentan problemas como: uso ineficiente del ancho de banda, fragmentación de la red, retardo y colisión de mensajes, etc. Para soportar estos problemas se ha desarrollado la **virtualización** que hace uso de nodos virtuales. Los nodos virtuales son generados por una Capa Virtual añadida dentro del modelo TCP/IP (ver figura 2) y emulados por nodos móviles físicos dentro de una misma región e independiente de su movimiento [3].

Los nodos móviles físicos cumplen las siguientes funciones: (i) Nodo Líder que es el encargado del descubrimiento de rutas y envío de paquetes, este envío es solamente de líder a líder evitándose la inundación de paquetes a la red; (ii) Nodos no Líder que pueden cumplir la función de backup respaldando al nodo líder cuando este abandone la región o se desconecte, asumiendo el liderazgo. Todo nodo backup debe estar sincronizado con el nodo líder y no todo nodo no líder puede asumir la función de backup.



Figura 2 Configuraciones en la Capa Virtual dentro del modelo TCP/IP³

¹ Enfoque pedagógico destinado a involucrar a grupos de visitantes de los museos en experiencias colectivas para mejorar su comprensión de las batallas históricas y guerras [61]

² Algoritmo de protocolo geocasting para la transferencia de paquete de mensajes en una red VANET.

³ Adaptación de la figura 3.5 de la referencia [32]

Los nodos virtuales actúan como servidores localizados en rejillas geográficamente fijas sobre los que se pueden desarrollar diferentes aplicaciones [31], [38]. Esta localización fija permite que la red se vuelva predecible y estable, lo que permite que la información se quede dentro de la misma región, mejorando los procesos de encaminamiento dentro de la red.

Frente a las situaciones mencionadas, nace la necesidad de evaluar la efectividad de ciertos protocolos bajo determinados escenarios, donde la topología de red, el ambiente de propagación, la densidad vehicular, la estructura física del escenario (distribución de calles, edificios, parques, tráfico, etc.) que rodean la comunicación en una red vehicular, marcarán dichos resultados. En esta investigación, por medio de simulaciones, se obtendrá una aproximación de la implementación real de dichas redes, el análisis se dará en términos de degradación de la tasa en la entrega de mensajes, retardo de propagación y el throughput o rendimiento.

1.1. HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DE LA RED

Existen varios simuladores fáciles y flexibles que permiten modelar una red Ad-Hoc, analizar su rendimiento y eficiencia en cualquier escenario móvil. Estos ofrecen herramientas accesibles y confiables al investigador para el análisis de resultados. Los software utilizados para el desarrollo y el estudio de esta investigación se describen a continuación:

1.1.1. NETWORK SIMULATOR 3

Network Simulator 3 es un simulador de redes de eventos discretos dirigidos principalmente a la investigación y el uso educativo, el cual facilita la creación y desarrollo de redes Ad-Hoc. NS-3 se inició en 2006, usa código abierto y está diseñado con un conjunto de bibliotecas que se pueden combinar entre sí y con otras bibliotecas de simuladores externos. Los usuarios deben esperar a trabajar en la línea de comandos y con las herramientas C++ y/o desarrollo de software Python.

El software NS-3 se utiliza sobre todo en los sistemas Linux, aunque existe soporte para FreeBSD, Cygwin (para Windows), y el apoyo de Visual Studio nativo de Windows se encuentra en el proceso de desarrollo.

1.1.2. NETBEANS

La plataforma ofrece servicios reusables comunes para las aplicaciones de escritorio, permitiendo a los desarrolladores centrarse en la lógica de sus aplicaciones. NetBeans IDE es un software libre, usa código abierto y ofrece multiplataforma con soporte integrado para el lenguaje de programación Java.

Entre las características más importantes de esta aplicación están: gestión de la interfaz de usuario (menús y barras de herramientas), gestión de configuración de usuario, gestión de almacenamiento (guardar o cargar algún tipo de dato), Gestión de

ventana, marco asistente (soporta diálogos para a paso), librería visual de Netbeans, herramientas de desarrollo integrado.

1.1.3. NETANIM

NetAnim es un animador basado en el kit de herramientas Qt. En la actualidad anima la simulación utilizando un archivo de rastreo XML recogidos durante la simulación. La primera versión fue desarrollada por George F Riley.

Este simulador posee algunas herramientas y características importantes descritas a continuación:

- Animación de paquetes a través de enlaces inalámbricos (Soporte limitado para LTE No hay soporte para IPv6)
- Línea de tiempo de paquetes con filtro de paquetes de expresiones regulares en la meta-dato.
- Estadísticas de posición de nodo con el nodo de trayectoria trazado (ruta de un nodo móvil).
- Usa iconos personalizados para los nodos
- Analiza los archivos XML de flow-monitor y las estadísticas de visualización para cada flujo.
- Muestra información IP y MAC, incluyendo enlaces punto a punto.
- Imprime la tabla de enrutamiento de los nodos en distintos puntos de tiempo.

1.2. HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DE MOVILIDAD VEHICULAR

1.2.1. SUMO

SUMO, que es el acrónimo de Simulation for Urban MObility (Simulación para Movilidad Urbana), es un paquete de software de código abierto para simulación de tráfico microscópico y multimodal incluyendo los vehículos de carretera, el transporte público y peatones.

Posee características de software que se detallan a continuación:

- Movimiento de vehículos en tiempo discreto y espacio continuo.
- Soporta tipos diferentes de vehículos.
- Vías multicarril.
- Cambio de carril.
- Diferentes modos de prioridad en cruces y semáforos.
- Interfaz gráfica.
- Soporta redes viarias de varias decenas de miles de calles.
- Alta velocidad de ejecución (alcanza 100.000 actualizaciones/segundo por

vehículo en un procesador de 1GHz).

- Interoperabilidad con otras aplicaciones en tiempo real.
- Soporta importación de mapas topológicos para la red vial.
- Rutas microscópicas (cada vehículo tiene la suya propia).
- Alta portabilidad (paquetes para Linux y Windows).
- Alta interoperabilidad gracias al uso de datos XML

1.2.2. BONNMOTION

BonnMotion es un software de Java que crea y analiza escenarios de movilidad y es más comúnmente utilizado como una herramienta para la investigación de las características de las redes móviles ad hoc. Los escenarios también se pueden exportar a varios simuladores de red, como ns-2, NS-3, GloMoSim / QualNet, COOJA, MIXIM y UNO. Algunos de los escenarios de movilidad que se puede simular son los siguientes.

- The Random Waypoint model,
- The Random Walk model,
- The Gauss-Markov model,
- The Manhattan Grid model,
- The Reference Point Group Mobility model,
- The Disaster Area model,
- The Random Street model,

1.3. OBJETIVOS DE ESTE TRABAJO

La transmisión de información a los usuarios de una red vehicular VANET, tendrá como finalidad; analizar el proceso y el rendimiento a través de protocolos que se adapten a la topología de la red. Los beneficiarios del proyecto será el Grupo de Investigación de la Universidad Politécnica Salesiana, en los diferentes escenarios de las redes Ad-Hoc.

OBJETIVO GENERAL:

Analizar el rendimiento de los procesos de diseminación de mensajes de emergencia en redes vehiculares Ad-Hoc a través de escenarios de simulación usando NS-3.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- O.E.1 Estudio del arte de los procesos de diseminación de información en redes vehiculares Ad-Hoc.
- O.E.2 Estudiar software de simulación de redes y de tránsito vehicular.
- O.E.3 Implementar en NS-3 un protocolo adecuado para la diseminación de la información que con facilidad se adapte al dinamismo de los nodos en las redes Ad-hoc.

- O.E.4 Realizar pruebas de rendimiento del protocolo en diferentes escenarios.

1.4. SUMARIO

Este documento está organizado de la siguiente manera:

El capítulo 2 describe el estado del arte de la tecnología Ad-Hoc, el estándar utilizado, estructura, aplicaciones, mecanismos y estrategias de encaminamiento. El capítulo 3 presenta la selección de los protocolos para la disseminación del mensaje y el desarrollo del escenario de simulación. Se describe en detalle las técnicas para efectuar las mediciones, se fundamenta la elección de las métricas para el escenario de pruebas e implementación de los nodos origen y destino para la transmisión de los datos. El capítulo 4 muestra el análisis de los resultados y, finalmente las conclusiones de este trabajo.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE

Este capítulo estudia el estado del arte de las Redes Ad-Hoc, características, estándares; así como la capa de virtualización del modelo TCP/UDP.

2.1. REDES AD-HOC

Una red Ad-Hoc es un tipo de red de comunicación compuesta por un conjunto de nodos móviles capaces de comunicarse entre sí de manera inalámbrica, sin la necesidad de un dispositivo central, donde cada nodo es capaz de enrutar información, reenviar y transmitir datos al resto de usuarios de la red.

La decisión de retransmitir estos datos se toma de forma dinámica en función de la conectividad de la red. Cuando un nodo desea comunicarse con otro que se encuentra fuera del alcance del radio se establece un puente entre el origen y el destino a través de nodos intermediarios, donde la información viaja de nodo en nodo desde el emisor al receptor. A este mecanismo de comunicación se lo denomina “multisalto”.

2.1.1. PROPIEDADES DE LAS REDES AD-HOC

Las principales características de las redes Ad-Hoc se describen a continuación [2]:

- Movilidad: Los nodos en esta red pueden ser móviles y no por ello pierden la comunicación con el resto del sistema, siempre y cuando no salgan del alcance del radio de la propia red.
- Multi-salto: Una red multisalto es aquella donde los nodos envían y reciben paquetes de información a través de nodos vecinos o nodos intermediarios.
- Conservación de la energía: Se requiere de un mecanismo de alimentación de energía para los nodos móviles, ya que no cuentan con una batería ilimitada. Es importante mantener la comunicación en estas redes por lo que es necesaria la conservación de la energía.
- Escalabilidad: En una red distribuida, el número de nodos puede aumentar sin perder la calidad en el servicio de comunicación. Este debe tener un proceso sencillo y transparente en la integración y el descarte de nodos.
- Seguridad: Las redes inalámbricas son vulnerables a ataques y en especial las redes ad-hoc, estas deben tener un protocolo de autenticación o cifrado con la finalidad de evitar ataques tanto activos como pasivos.

2.2. REDES VEHICULARES AD-HOC (VANET)

Las redes vehiculares Ad-Hoc (VANET, Vehicular Ad Hoc networks) son redes en las que sus nodos son vehículos. En la comunicación, los vehículos no presentan una red de infraestructura fija por lo que en su lugar se auto-configuran y auto-administran. Por tanto, estas redes son consideradas redes adaptativas y de bajo costo [3].

La principal característica de las VANET es el cambio constante en su topología, este cambio se produce por la movilidad de los vehículos. Los inconvenientes en estas redes se derivan de dos grandes características: la velocidad del movimiento de los nodos y el sentido de la dirección. Es decir, la comunicación entre vehículos con la misma dirección puede durar más tiempo, mientras que entre vehículos con direcciones opuestas la conexión se pierde debido a que los dos nodos se alejan del radio de enlace o del alcance (ver figura 3). No obstante, la velocidad está sujeta a las normas de tránsito, al igual que las rutas en las zonas o escenarios de la red. Esto hace que tanto la topología de la red como algunos de los parámetros de movilidad sean predecibles. [4]

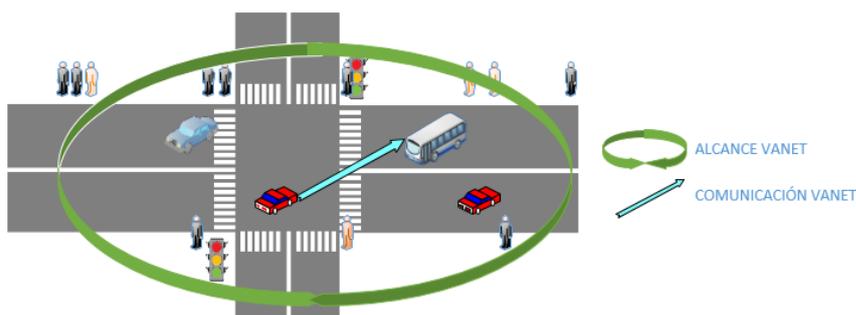


Figura 3. Características de las Redes VANET

Uno de los requerimientos importantes de las redes VANET es la fiabilidad de la información, así como la transmisión de la misma sin retardos. En situaciones donde se requiera de auxilio inmediato; por ejemplo, escenarios donde existan accidentes vehiculares o catástrofes naturales, la recepción de información en tiempo real puede acelerar el proceso de asistencia a los organismos de emergencia, por lo que la tasa de mortalidad en pasajeros disminuye. A la vez que existe la contingencia de evitar congestión vehicular a los usuarios de la red.

Las VANET se rigen a un estándar IEEE 802.11, específicamente el 802.11p [5]. Otra de las aplicaciones en estas redes es el acceso al Internet. Los pasajeros de un vehículo dentro de esta red obtienen el servicio de videojuegos y control de tráfico vehicular en tiempo real.

La comunicación en las VANET (ver figura 4) puede ser establecida de vehículo a vehículo V2V (del inglés, vehicle to vehicle communication) o de vehículo a una red de infraestructura V2I (del inglés, vehicle to infrastructure communication). El estándar que posibilita este enlace se lo denomina WAVE (del inglés, Wireless

Access On Vehicular Environments), este es un modelo de comunicación que constituye el núcleo de los sistemas de comunicación dedicados de corto alcance DSRC (Dedicated Short-Range Communication).

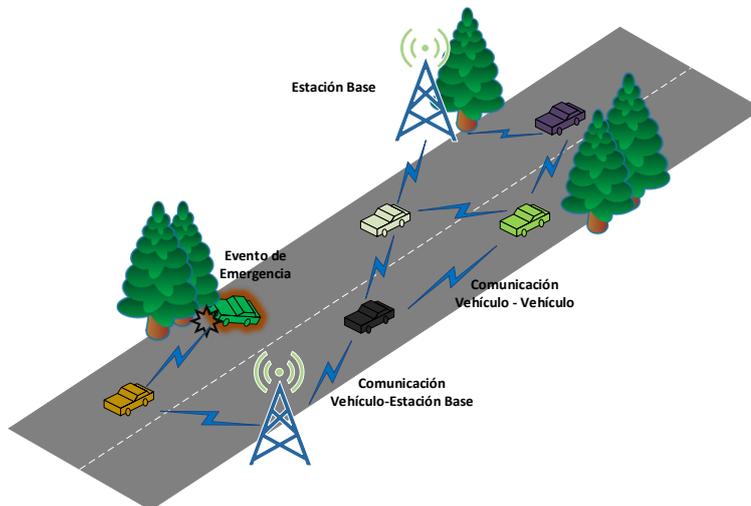


Figura 4 Modos de Comunicación en VANET [6]

2.3. ESTÁNDAR PARA REDES VEHICULARES VANET

Diversas investigaciones y el continuo desarrollo, principalmente en las regiones de Europa, Japón y Estados Unidos, han puesto en marcha diferentes proyectos relacionados con las redes de comunicaciones vehiculares. Los resultados logrados con estos proyectos dieron lugar a diferentes servicios y estándares como IEEE 802.11p e IEEE 1609 que son base para el desarrollo de los Sistemas de Transporte Inteligente (ITS, del inglés Intelligent Transportation Systems).

Entre las principales investigaciones de redes de comunicaciones vehiculares están: (1) La interoperabilidad entre estándares ya desarrollados y la relación entre los componentes de hardware y software; (2) el rendimiento de la plataforma de comunicación y (3) la funcionalidad de los servicios ITS [7].

En 1999 la FCC (Federal Communications Commission) asignó un espectro de 75 MHz para el ancho de banda en la frecuencia de los 5.9 GHz que es la banda de los servicios de ITS (Intelligent Transportation Systems) [8].

ITS sugirió que se debe adoptar un estándar único para la capa Física y capa MAC (del inglés, Medium Access Control) por lo que a partir del año 2004, el grupo de trabajo IEEE TFp (Task Force p) define un conjunto de especificaciones para la capa Física y capa MAC en comunicaciones para ambientes vehiculares con acceso inalámbrico 802.11 denominado IEEE 802.11p.

El buen funcionamiento y la correcta ejecución de las redes VANETs requieren de un conjunto de procesos como protocolos, estándares, arquitectura, entre otros. Es por esto, que el grupo de trabajo IEEE desarrolló especificaciones o estándares denominadas IEEE 1609 para las comunicaciones vehiculares en las capas de Red, Transporte y Aplicación. Dichos estándares se denominan WAVE (del inglés, Wireless Access in vehicular environments). WAVE tiene por objetivo proporcionar comunicación V2V o V2I dentro de una topología de red fluctuante donde la información debe ser entregada en un periodo corto de tiempo. En la siguiente figura se muestra la pila de protocolos WAVE. [9, 10, 11]

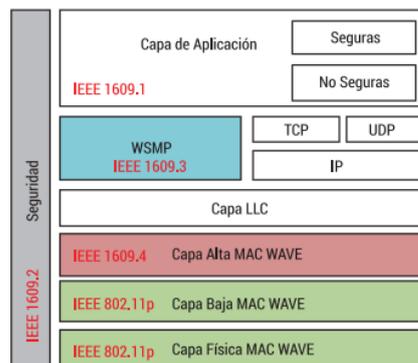


Figura 5 Pila de Protocolos en WAVE [9]

2.3.1. ESTÁNDAR IEEE 802.11

Las redes vehiculares dedicadas de corto alcance (DSRC) se rigen específicamente al estándar 802.11p. La tecnología DSRC permite la transmisión y recepción de paquetes de datos entre vehículos y automóviles e infraestructuras. La norma 802.11p proporciona dispositivos inalámbricos capaces de realizar intercambios de corta duración para establecer comunicación entre vehículos y con una estación de tierra a altas velocidades. La disminución de la latencia en la comunicación es uno de los objetivos principales de la norma 802.11p. Es decir, adquiere respuestas rápidas en diversas situaciones. Este estándar ofrece atención inferior que las redes celulares.

Esta norma opera en el espectro de frecuencias de entre 5,90 GHz y 6,20 GHz. Actualmente el ancho de banda medio requerido para las aplicaciones que utilizan estos protocolos es de 6 Mbps y una cobertura de 300 metros pero se espera que se llegue a 27 Mbps y una cobertura de 1 Km. [4]

En la tabla se presenta las características principales del estándar IEEE 802.11p [8]:

Estándar IEEE 802.11p	
C A R A C T E R I S T I C A S	Define 7 canales del 10 MHz cada uno, en donde hay un canal de control CCH que intercambia mensajes de control de red y 6 canales de servicio SCH de red
	Soporta transmisión de paquetes IP y mensajes cortos WAVE (Wave Short Message)
	El ancho de banda es dividido en ciclos de transmisión donde la duración de trama es de 50 milisegundos
	Soporta altas velocidades vehiculares al contrario del estándar IEEE 802.11a que abarca movilidad baja en interiores en sistemas WLAN
	Define un nuevo tipo de BSS ⁴ (Basic Service Set) llamado WBSS (Wave Basic Service Set) que permite la transmisión de paquetes de datos
	Define las técnicas de señalización WAVE y funciones de interface que son controladas por la IEEE 802.11 MAC
	Utiliza modulación OFDM, sus tasas de transmisión son de 3, 4.5, 6, 9, 12, 24 y 27 Mbps
	Usa 52 subportadoras moduladas utilizando BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM, con codificaciones de ratios 1/2, 2/3 o 3/4

Tabla 1 Características del Estándar IEEE 802.11p

ESPECIFICACIONES	802,11p
Velocidad de Tx Mbps	3,4,5,6,9,12,18,24 y 27
Modulación	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Tasa de Codificación	1/2, 1/3, 3/4
Número de Subportadoras	52(=48+4)
Longitud de Símbolo	8 useg
Tiempo de Guarda	1,6 useg
Período FFT	6,4 useg
Duración de Preámbulo	32 useg
Frecuencia	5,9 GHz
Ancho de Banda Utilizado	70 MHz
Espaciamiento en frecuencia de subportadoras	0,15625 MHz
Fase de Ejecución Capa MAC	No Identificación, No Autenticación
Número de Canales	7
Ancho de Banda por Canal	10MHz

⁴ La infraestructura que se propone es un grupo de estaciones de IEEE 802.11 agrupadas por un punto de acceso (AP) y configurado para comunicarse con otros AP u otros dispositivos por el canal de aire. Esto es usualmente conocido como una BSS (Basic Service Set)

2.3.1.1. FUNCIONAMIENTO DEL PROTOCOLO 802.11p

La estructura de red consta de los siguientes elementos en los sistemas ITS aplicados en el transporte de carretera [12] [9]. (Figura 6)

- **Vehículo:** Dentro de este, se pueden distinguir 3 dispositivos: - OBU (del inglés, On Board Unit) que es un dispositivo ubicado en el interior de un vehículo con un rango de comunicación de corto alcance DSRC. Este dispositivo posee un sistema de posicionamiento satelital, además una memoria en las que se encuentra detallado las características y especificaciones del vehículo. - Interfaz de usuario HMI (del inglés, Human-Machine Interface). - Módulo de comunicaciones y sensores, que permite monitorear el vehículo y el entorno en el que este se mueve.
- **Infraestructura:** Está formada por dispositivos fijos ubicados a lo largo de las vías denominados RSU (del inglés, Road-side Unit), estos dispositivos se conforman por distintos sensores como: detectores de paso de vehículos, de temperatura, de sistemas de reconocimiento de imágenes, radares de velocidad. Estos equipos actúan como un punto de acceso inalámbrico y pueden proporcionar comunicación con diferente infraestructura.
- **Central de Servicios:** El objetivo de la central es brindar servicios finales como: los de información de tráfico o de gestión de reservas de parqueaderos, sistemas de monitorización y seguimiento, etc.

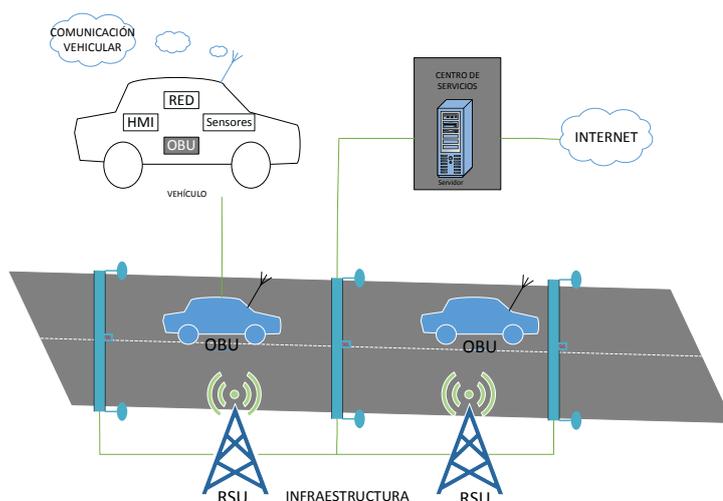


Figura 6: Sistemas ITS en Carretera [12]

En la figura 7 se muestra la composición de la pila de protocolos que soportan las comunicaciones VANET [13].

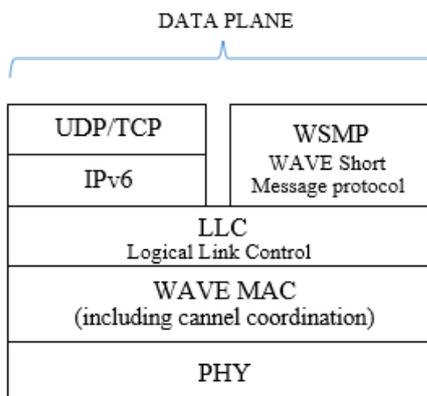


Figura 7: Composición de la pila de protocolos que soportan las comunicaciones VANET [9]

La *capa Física PHY* (del inglés, *PHYSical layer*) dentro del protocolo 802.11p, utiliza la transmisión multiportadora OFDM (del inglés, Orthogonal Frequency Division Multiplexing); y la *capa MAC* utiliza el protocolo CSMA/CA (del inglés, Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) para establecer y controlar los mecanismos de acceso a un único canal de comunicación desde múltiples estaciones para compartir de manera eficiente el canal y no desperdiciar recursos del mismo. Además, esta capa se ocupa de aspectos como la probabilidad de recepción de paquetes en la transmisión, el tiempo de acceso al canal, el control de congestión y la priorización de los mensajes.

Indicaciones Inalámbricas del Enlace	802.11 p WAVE
Bit rate	3-27 Mbps
Rango de comunicación	< 1000 m
Potencia de transmisión móvil (máximo)	760 mW (US)/2 W (EU)
Canal de ancho de banda	10 MHz
Asignación del espectro	75MHz (US)/30 MHz (EU)
Bandas de frecuencia	5,86 - 5,92 GHz

Tabla 3 Información del canal inalámbrico V2X, IEEE 802.11p [9]

2.3.2. ESTÁNDAR IEEE 1609

Este estándar define la arquitectura de red, modelo de comunicación, mecanismo de seguridad, acceso a la capa física en ambientes vehiculares (operación y gestión de la capa de red, transporte y de aplicación de la arquitectura WAVE). Esta familia está conformada por 5 estándares [9, 14]

- IEEE 1609.0: Define la arquitectura general WAVE, modelo de comunicación.
- IEEE 1609.1: Describe el manejo de recursos (Resource Manager). Permite a una OBU, con un limitado software, llevar a cabo procesos de manera remota.
- IEEE 1609.2: Se encarga de los servicios de seguridad para aplicaciones y mensajes de gestión (Security Services for Applications and Management Messages), así define el formato y procesamiento de los mensajes.
- IEEE 1609.3: Se ocupa de los servicios de red (Networking services), especifica funciones de enrutamiento y direccionamiento de la capa de red del modelo OSI y de los protocolos IP, UDP, TCP y WSMP.
- IEEE 1609.4: Se responsabiliza de las operaciones multicanal que implementa la capa física (Multi-Channel Operations) donde se incluye parámetros para la priorización de mensajes, temporizadores, conmutación del canal y premisas diseñadas para el funcionamiento multicanal.

2.3.3. CONSIDERACIONES SOBRE LAS REDES VANET

Debido a alta variabilidad en la topología de las redes VANET ocasionado por la movilidad de sus nodos, se producen desconexiones frecuentes en los mismos. Por esto, los nodos deben autoconfigurarse y autoadministrarse [15].

La densidad vehicular y la estructura física del escenario (distribución de calles, edificios, parques, tráfico, etc.) en una red vehicular, produce excesiva sobrecarga, retardos en el envío de información, desenlace de la red, transmisión de datos redundantes, problemas de nodo oculto, colisión o pérdida de paquetes, decremento en la fiabilidad y la velocidad de diseminación de mensajes de emergencia en redes vehiculares ad-hoc, etc.; por lo que se han propuesto diferentes mecanismos de diseminación de información para mitigar dichos problemas basándose en predicciones, jerarquías, entre otros. [16] [17] [18] [19]

En las redes vehiculares es vital la fiabilidad de la información así como la obtención en tiempo real de la misma. En el caso de diseminación de mensajes de emergencia, esta información puede ser de vital en caso de siniestros; y para los usuarios en general presenta la posibilidad de evitar situaciones como congestiones o accidentes vehiculares; entre otras opciones está encontrar un sitio de parqueo [20]. La energía suministrada a los equipos OBU ubicados dentro de los vehículos, proviene de una fuente de energía que es recargable y potente.

2.3.4. APLICACIONES DE LAS REDES VANET

A través de estas comunicaciones se pueden ofrecer diferentes servicios como: aplicaciones de seguridad, aplicaciones para monitoreo y difusión de información de tráfico y aplicaciones de entretenimiento [21], aplicaciones militares [22], aplicaciones de servicio público, mejoramiento de conducción y negocios. [7]

Entre los servicios de los sistemas de transporte inteligente (ITS) están: (i) seguridad ante situaciones críticas (condiciones de la carretera, colisiones, peligro de velocidad ante una curva, etc.), (ii) Servicio público con el propósito de respuesta de emergencia y apoyo a las autoridades (por ejemplo, acercándose a la advertencia de vehículos de emergencia), (iii) eficiencia del tráfico para aumentar el rendimiento de los sistemas viales como el control de flujo de tráfico inteligente, y el servicio de localizador de estacionamiento [7].

Las redes vehiculares ad hoc (VANETs) tienen un rol fundamental en la diseminación de mensajes de emergencia como: accidentes de tránsito, vehículos averiados que son cruciales para prevenir accidentes causados por los incidentes mencionados, la interacción de los vehículos con la red de infraestructura permite comunicaciones en tiempo real [23]

2.4. MODOS DE TRANSMISIÓN EN REDES AD-HOC

En un modelo de comunicación inalámbrica, un paquete de datos es transmitido desde el nodo fuente a todos los nodos dentro de un rango de enlace o cobertura, mediante un estándar de propagación denominado broadcast. Sin embargo, existen otros mecanismos para limitar el grupo de receptores de este paquete. A continuación se menciona los modelos de propagación más usados:

2.4.1. Unicast

El modelo de propagación unicast hace referencia a la comunicación uno a uno; es decir, la transmisión de un paquete de datos va de un nodo origen a un único nodo destino. Los protocolos más frecuentes que utilizan este mecanismo de transmisión son: DSDV [1], DSR [24], AODV [1], TORA [25], ZRP [26], OLSR [27].

2.4.2. Multicast

Multicast es utilizado cuando un nodo desea enviar información idéntica a varios destinos. En un grupo de nodos multicast se permite agregar otro nodo, siempre y cuando los nodos mantengan información adicional sobre el nodo que se une o abandonan el grupo. Existe solo un protocolo en redes Ad-Hoc que utiliza difusión multicast llamado MAODV. [28]

Los protocolos mencionados en los diferentes modelos de transmisión de información se describen en la sección siguiente.

2.5. MECANISMOS DE ENCAMINAMIENTO DE LA INFORMACIÓN PARA MANETS

Los protocolos de encaminamiento tienen como objetivo principal encontrar el camino entre el nodo fuente y destino de una red. A continuación se mencionan algunos mecanismos que los protocolos de encaminamiento utilizan para descubrir las rutas más convenientes en redes MANET.

2.5.1. PROTOCOLOS REACTIVOS

Los protocolos reactivos descubren rutas únicamente cuando un nodo origen desea transmitir un paquete de datos a un nodo destino. Mediante el proceso de “footing” buscan las rutas cuando se necesitan. Es decir, evitan el envío de paquetes de forma innecesaria. La desventaja de estos protocolos es la latencia que se genera al inicio de cada petición de descubrimiento de ruta. Sin embargo, tiene mayor escalabilidad con respecto a los protocolos proactivos debido a que tiene menos carga de tráfico.

Entre los protocolos reactivos más conocidos están: AODV [1], DSR [24], DYMO [29], RDMAR [30], TORA [25].

2.5.1.1 *Dynamic Source Routing (DSR)*

DSR es un protocolo simple y eficiente diseñado para redes Ad-hoc multi-salto. Los nodos cooperan para reenviar paquetes uno por el otro para permitir la comunicación entre nodos que no estén dentro del rango de transmisión inalámbrica. [24]

Este protocolo se basa en el enrutamiento fuente lo que permite que toda la información de enrutamiento se mantenga actualizado continuamente en los nodos móviles. Este protocolo está compuesto por los siguientes mecanismos principales: descubrimiento y mantenimiento de ruta.

Dynamic Source Routing presenta algunas ventajas: reduce la sobrecarga de enrutamiento y mejora la eficiencia de las rutas utilizadas para la transmisión del paquete de datos. Por otra parte, un nodo intermediario puede aprender las diferentes rutas a través de los RREQ y RREP que escuche. Este mismo nodo tiene la posibilidad de responder un RREQ usando la información caché. DSR limita a través de un contador el número de nodos q los que se envían un mensaje RREQ, bloquea la ruta cuando un nodo ha cambiado su posición y detecta la nueva distancia entre los nodos. Este protocolo protege la información de un paquete para que además de los mensajes RERR utilice la información de esos nodos para redirigir el paquete. Utiliza un piggy-backing⁵ para mejorar la transmisión de un mensaje RERR. [31]

2.5.1.2 *Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA)*

⁵ Técnica de transmisión de datos bidireccional en la capa de enlace de datos ((Modelo OSI)

Con la finalidad de mejorar las redes altamente dinámicas, en 1996 se propone el protocolo TORA (del inglés, Temporally Ordered Routing Algorithm). Este, es una mejora del protocolo DSR, a diferencia de él, TORA elimina las rutas inválidas buscando una nueva ruta y estableciéndola en un solo paso. Al detectarse un cambio en la topología de la red, se produce un conjunto de mensajes de control en los nodos cercanos al cambio [25]. Existen tres tipos de paquetes de control que son utilizadas en la creación, mantenimiento y supresión de rutas. Estas se describen a continuación:

- Query (QRY): El paquete QRY realiza una petición para descubrir una ruta determinada. Este paquete lleva consigo información de las rutas que se encuentran disponibles para la transmisión de datos.
- Update (UPD): El paquete UPD es una respuesta a la petición QRY. El nodo que posea la ruta hacia al nodo que se desea encontrar responde con un paquete UPD. Estos paquetes contienen información sobre las nuevas rutas que se generan en la red, sobre todo cuando hay enlaces rotos.
- Clear (CLR): El paquete CLR es utilizado para eliminar las rutas inválidas o inaccesibles que existen en la red.

TORA es un protocolo de enrutamiento adaptativo. Es un protocolo con la capacidad de reaccionar de manera efectiva ante el manejo de los fallos de enlace mostrando caminos alternativos en el descubrimiento de nuevas rutas.

2.5.2. PROTOCOLOS PROACTIVOS

Sistema adaptativo de encaminamiento donde los nodo de una red intercambian paquetes de control periódicamente para mantener actualizada la información de accesibilidad en las tablas de enrutamiento de los nodos. Esto evita los retrasos asociados con encontrar rutas deseadas. Esta técnica usa algoritmos como el vector distancia o el estado del enlace.

Ambas técnicas requieren que los nodos transmitan mensajes periódicos por broadcast y, calcular la ruta más corta a los demás nodos. Sin embargo, el mantener las tablas actualizadas implica una mayor sobrecarga de tráfico y una convergencia de tiempo mayor que los reactivos, especialmente cuando hay mucho dinamismo en la movilidad [32]. Se menciona algunos ejemplos de protocolos proactivos: OLSR [24], OSPF [33], DSDV [1], GPRS [34], BATMAN [35], WRP [36]

2.5.2.1 Destination Sequenced Distance Vector (DSDV)

DSDV fue uno de los primeros algoritmos desarrollados para el proceso de tablas de enrutamiento para redes móviles Ad-Hoc. Este protocolo es apropiado en ambientes con un número pequeño de nodos. Se basa en la norma vector distancia Bellman-Ford.

En la tabla de enrutamiento de cada nodo se añade el número de secuencia como un carácter adicional, a diferencia de los otros protocolos. Esto obstaculiza bucles en el descubrimiento de nuevas rutas, ya que se maneja información actualizada o reciente.

Este protocolo cumple el siguiente proceso: en una red Ad-Hoc, cada nodo calcula la distancia entre él y todos los demás donde almacena esta información en las tablas de enrutamiento. Esta tabla es enviada por cada nodo a todos sus vecinos. Un nodo al recibir esta información analiza la ruta más corta a los demás nodos y actualiza su tabla para mostrar los cambios.

Los caracteres o atributos [37] de las tablas de enrutamiento que poseen los nodos son:

- Dirección IP del destino.
- Número de secuencia del destino.
- Próximo salto al destino.
- Coste de la ruta hacia el destino.
- Tiempo de instalación (elimina rutas antiguas).

Cuando dos rutas tienen el mismo número de secuencia se elige a aquel que tiene el menos coste. Un número de secuencia impar indica que el camino es inaccesible o inalcanzable, mientras que un número par revela que el destino es asequible.

DSDV presenta algunas desventajas. Es poco escalable. Requiere de una actualización constante de las tablas de enrutamiento, lo cual aumenta el consumo de energía de las baterías y una cantidad pequeña de ancho de banda. No es adecuado para redes altamente dinámicas debido a que se necesita restablecer el número de secuencia en las tablas para la autenticidad de las rutas.

2.5.2.2 Wireless Routing Protocol (WRP)

Este protocolo fue creado en 1996 por Shree Murthy y J. J. Garcia-Luna, es también uno de los primeros algoritmos para redes MANET. Utiliza una versión mejorada del protocolo de enrutamiento del vector de distancia. WRP minimiza el proceso de bucles y es fiable en la transmisión y recepción de mensajes. [36]

WRP utiliza un mecanismo de mantenimiento de la información en la tabla de enrutamiento con referencia a la ruta más corta a los nodos destino y almacena el penúltimo salto dado para llegar a los mismos. De esta manera se mantiene actualizado el estado de la red. No obstante, no se envía la tabla completa, sino se envía únicamente los cambios producidos ya sea por la recepción de un mensaje de actualización o por la desconexión de un enlace:

Las tablas que mantiene WRP [37] son:

- Tabla de distancias (DT): Muestra el número de saltos desde el nodo origen al nodo destino
- Tabla de rutas (RT): Señala el siguiente salto al nodo destino.
- Tabla de coste de un enlace (LCT): Tiempo de retardo que se relaciona a una ruta específica.
- Lista de mensajes de retransmisión (MRL): Que comprende: un número de secuencia del mensaje de actualización, un contador de retransmisiones, un vector de confirmaciones, y una lista de actualizaciones en un mensaje de actualización.

Wireless Routing Protocol demanda un mayor empleo de memoria y un procesamiento rápido debido a la complejidad de mantenimiento de las tablas. Debido a la escalabilidad limitada que este tiene, no es apropiada para redes grandes y altamente dinámicas.

2.5.3. PROTOCOLOS HÍBRIDOS

Los protocolos híbridos combinan las características principales tanto de los protocolos proactivos como de los reactivos. La red se divide en grupos en donde de manera local se utiliza un protocolo proactivo, mientras que para conocer las rutas hacia los demás grupos se utiliza un protocolo reactivo. Así, no habrá congestión en la red con mensajes de control para conocer las rutas hacia los otros nodos. [32, 38] A continuación se describe los principales protocolos de esta clase:

2.5.3.1 Zone Routing Protocol (ZRP)

ZRP trabaja en un escenario de movilidad grande y dinámica. Este protocolo define una zona alrededor de un nodo A, denominado radio de la zona, donde se incluye a todos los nodos que están dentro de la misma. Cuando un nodo A necesita obtener una ruta hacia un nodo que no está en su zona, inicia un descubrimiento de ruta reactiva mediante el método IERP (Inter-Zone Routing Protocol). Caso contrario, utiliza un descubrimiento de ruta proactiva por el método IARP (Intra-Zone Routing Protocol). [39]

Este protocolo controla la sobrecarga de la red y reduce la latencia provocada por el descubrimiento de rutas. Por otro lado, al aumentar o disminuir el radio de la zona de enrutamiento puede mejorar el rendimiento del protocolo. [40]

2.5.3.2 Hazy Sighted Link State Protocol (HSLs)

HSLs es un protocolo basado en el algoritmo de estado del enlace y en difusión limitada. Este deshecha los enlaces de baja calidad. Es un protocolo de tipo híbrido ya que envía mensajes de actualización de tablas en un determinado espacio y tiempo.

La característica principal de este nodo es el alcance de diseminación del estado del enlace. Así los nodos más cercanos se envían actualizaciones de estado de enlace con más frecuencia en comparación con los nodos más lejanos solo reciben sugerencias esporádicas para encaminar un paquete hacia el destino. Mientras el paquete viaja a su destino se aprovecha de la información de enrutamiento que optimiza la posibilidad de llegar al nodo deseado.

2.6. MECANISMOS DE ENCAMINAMIENTO DE INFORMACION PARA VANETS

Entre los mecanismos de encaminamiento de información para redes VANETs están los protocolos geográficos y los protocolos jerárquicos los cuales se describen a continuación.

2.6.1. PROTOCOLOS BASADOS EN TOPOLOGÍA

Son protocolos basados en la disposición de los usuarios o nodos de la red basado en el contexto de la comunican o intercambio datos entre los mismos. Entre los protocolos más importantes de este mecanismo de diseminación están: DSDV [1], PBR [41], FSR [42], OLSR [27], ARBR [43].

2.6.1.1 Prediction Based Routing (PBR)

PBR es un protocolo diseñado para la comunicación entre un nodo móvil a un nodo fijo. Este protocolo transmite por inundación de red mensajes RREQ para el descubrimiento de las rutas y en respuesta los nodos envían un mensaje de respuesta RREP. Donde se elige el camino más adecuado para enviar información al nodo deseado. [32]

En este proceso del descubrimiento de rutas, los mensajes RREP recogen información sobre la velocidad y aceleración de los nodos móviles. Así el nodo fuente ejecuta un estudio sobre las posibles rutas al nodo destino antes de que se provoque una ruptura o desconexión en el enlace.

2.6.2. PROTOCOLOS GEOGRÁFICOS

Estos protocolos trabajan en función a la posición geográfica de los nodos. Se usan protocolos geocast cuando se desea manda un paquete a los nodos que se encuentran dentro de una determinada zona geográfica [44]. El nodo transmisor envía paquetes usando la localización geográfica del nodo destino en vez de su dirección de red. No obstante, no siempre se envía el paquete a todos los nodos de dicha región (Geo-broadcast), sino que el mensaje puede ir dirigido a un nodo referencia cualquiera de la región (Geo-Anycast), o a un solo nodo destinado específico (Geo-Unicast).

En los protocolos Geocasting, los nodos guardan información sobre a posición geográficas de los nodos vecinos y la utilizan para encaminar paquetes, de esta manera se produce menos sobrecarga de tráfico, debido a que la información

necesaria para construir la tablas de localización es menor. Los vehículos en esta red deben contar con un dispositivo GPS para conocer su posición geográfica. [45] En la figura 8 se muestra la clasificación de algunos protocolos Geocasting.

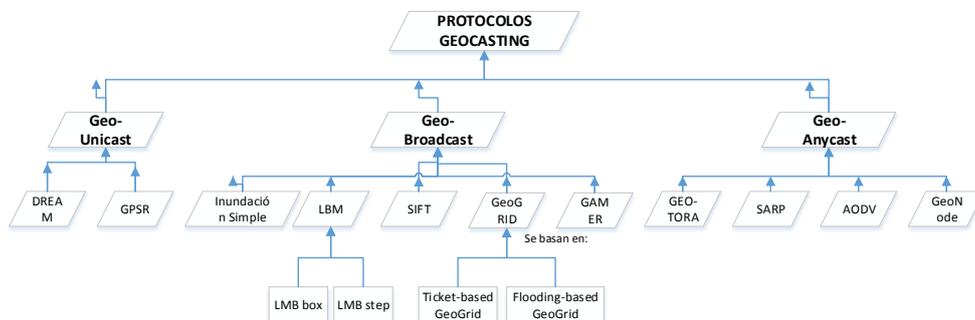


Figura 8 Clasificación de los protocolos Geocasting

2.6.2.1 Location Based Multicast (LBM)

LBM se basa en la inundación de paquetes en la red pero con la peculiaridad de que define una zona de reenvío (forwarding zone) donde los paquetes son reenviados únicamente si el nodo que lo recibe pertenece a dicha zona. [45]

Si un nodo recibe el paquete, pero no pertenece a la zona de reenvío, se descarta el paquete para evitar que se inunde completamente la red.

La zona de reenvío incluye, por lo menos, la región destino del paquete (por lo tanto, se trata de envío geobroadcast) y un camino entre el emisor del paquete y la región de destino a la que va dirigida el paquete emitido. De esta manera, cuanto más grande sea esta zona de reenvío, más probabilidades hay de que el mensaje llegue al destino, pero el precio a pagar es un incremento de sobrecarga de tráfico ofrecido en la red. (Ver figura 8)

Dentro del protocolo LBM hay dos opciones que se diferencian en la manera de elegir la forma de la zona de reenvío: LBM-box y LBM-step. En el esquema LBM-box, el nodo en cuestión retransmite el paquete solo cuando los nodos vecinos se encuentran dentro de la región de reenvío. En cambio; en el esquema LBM-step, el paquete es reemitido por el nodo en cuestión solo si este se encuentra más cercano al centro de la zona de reenvío que el nodo que le transmitió el paquete, (ver figura 9).

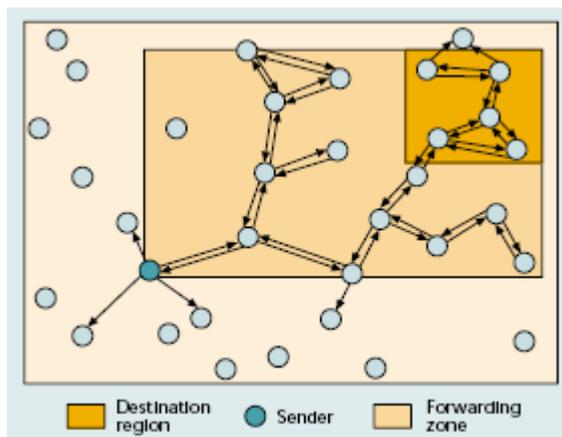


Figura 9 Funcionamiento del Protocolo LBM

2.6.2.2 Geotora

Deriva directamente del algoritmo unicast TORA. Se construyó de la siguiente manera: se modificó TORA para hacer un protocolo anycast, modificando este protocolo anycast se consiguió un protocolo multicast.

En la versión unicast de TORA se asigna un DAG⁶ (del inglés, Database Availability Group) para cada nodo de la red. En cambio, en la versión anycast se asigna un DAG para todo el grupo anycast. Así se consigue que todos los nodos del grupo sean destino. En este caso, los enlaces entre nodos del grupo no tienen dirección ya que no nos interesa realizar encaminamiento dentro del grupo anycast, basta con alcanzar un nodo del grupo anycast.

El protocolo GEOTORA solo presenta una pequeña variación con respecto a la versión anycast de TORA. Se mantiene un único DAG para todo el grupo geocast, logrando que cualquiera de los nodos presentes en la zona geocast sea destino. Primero, el protocolo realiza un anycast hacia un nodo de la zona geocast. A la recepción de un paquete de anycast, el nodo se encarga de retransmitir en modo inundación a todos los nodos de su zona geocast. [46]

Veamos un ejemplo con la siguiente figura. Si el nodo E (proceso 1) quiere mandar paquetes a una zona geocast, reenvía el paquete por el enlace (E, G) al nodo G. A su vez, el nodo G (proceso 2) lo reenvía al nodo A, como este ya pertenece a la zona geocast, inicia la inundación limitado (proceso 3). Los nodos B y C al recibir el paquete de A reenvían el paquete a sus vecinos (proceso 4). Cuando el nodo A recibe el paquete de B o C no reenvía el paquete ya que lo ha hecho previamente. De esta manera el paquete llega a todos los nodos de la región geocast.

⁶ DAG es el único método de proveer alta disponibilidad a una base de datos de un grupo.

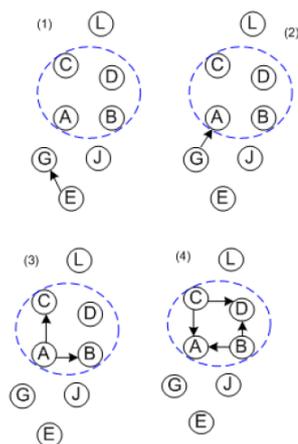


Figura 10 Funcionamiento del protocolo Geotora [46]

2.6.3. PROTOCOLOS JERARQUICOS

Los nodos de la red se agrupan en grupos y estos, a su vez, se dividen en subgrupos, con diferentes niveles de jerarquización. Cada grupo, o subgrupo, pertenece a un nivel dentro de la jerarquía. Cada nodo podrá pertenecer a un nivel distinto dentro de la jerarquía de la red [47]. Para conectar los grupos entre sí, se definen los denominados nodos jerárquicos o nodos pasarela, que serán los encargados de encaminar el tráfico hacia dentro o hacia afuera de los grupos. Dentro de cada grupo, cada nodo de conmutación sabe cómo encaminar paquetes al resto de nodos del grupo, pero no conoce nada sobre la estructura interna de los demás grupos de la red ni sobre la estrategia de encaminamiento utilizados en ellos. Para encaminar tráfico entre nodos de diferentes regiones, los nodos jerárquicos deben encontrar rutas hacia nodos jerárquicos de las demás regiones.

Entre los más importantes protocolos de encaminamiento jerárquicos están: RTRP [48], HSR [49], CEDAR [50] y PassCAR [51]

2.6.3.1 Road and Traffic Aware Routing (RTRP)

El mecanismo de RTRP es dividir el área de la red en celdas menor o igual al rango de enlace de los nodos. El nodo más cercano al centro de la celda se define como líder. El líder retransmite mensajes RREQ al nodo más lejano del centro y este último al líder de la siguiente celda. El primer mensaje RREP que llega al nodo origen se considera como la ruta más adecuada en llegar al nodo destino.

Este protocolo utiliza dos mecanismos de funcionamiento para la selección de nodos retransmisores; El tiempo de llegada a la intersección (RIT) y la probabilidad de cambio de dirección (TDP). Al llegar a una intersección los nodos difunden información acerca de su posición y próximo giro o si se mantiene en la ruta que sigue al nodo destino. RTRP selecciona una ruta óptima con la menor probabilidad de desconexión de la red y evita el retardo en el envío de información.

2.6.3.2 *Passive Clustering Alded Routing Protocol (PassCAR)*

El objetivo principal de Passive Clustering Alded Routing Protocol es determinar los participantes adecuados para la construcción de un clúster estable y fiable durante el mecanismo de descubrimiento de ruta.

Los paquetes de datos en un clúster pasivo lleva adicional, información sobre la estructura del clúster; como el estado del nodo transmisor en la cabecera de los paquetes. Este mecanismo es utilizado con la finalidad de disminuir el tráfico de datos en la red.

Entre los estados externos que pueden adjudicarse están: Inicial, Ordinario, Clúster-Head o Gateway. Por otro parte, los estados internos pueden ser asumidos como: Clusterhead-Ready y Gateway-Ready. Los estados internos indican las posibles funciones que los nodos tomarán para transmitir un paquete.

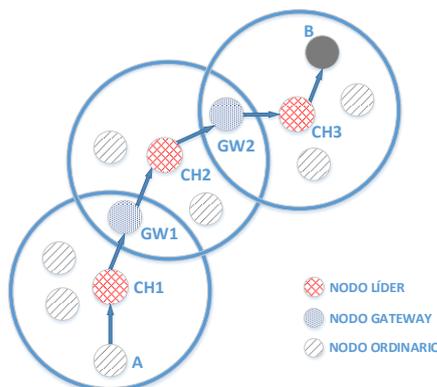


Figura 11 Estructura de Clúster Pasivo

En un clúster pasivo, el nodo líder (CH, del inglés, clúster head) se ubica en el centro del clúster, los nodos que comparten dos clústers se los denomina nodos Gateway, mientras que a los otros se los designa nodos ordinarios. En esta disposición solo los nodos líder y Gateway son los determinados para retransmitir paquetes. Como se observa en la figura 11, en el envío del paquete que viaja desde el nodo A al nodo B, únicamente los nodos CH1 y CH2 (nodos líderes del clúster 1 y 2 respectivamente) y GW1 y GW2 (nodos Gateway) retransmiten la información hasta llegar al destino deseado.

PassCAR mejora la estabilidad de los clúster. Este protocolo usa estrategias para la selección de nodos líder y Gateway, considerando el número de nodos, la estabilidad y el tiempo de duración de los enlaces. [32] Estos nodos retransmiten los paquetes RREQ y RREP durante el descubrimiento de rutas.

2.7. CAPA DE VIRTUALIZACIÓN

Con la finalidad de obtener sistemas de redes móviles y vehiculares Ad-Hoc más robustos, capaces de soportar la operación de sistemas de información distribuidos; se han introducido nodos virtuales (VMNs) que son generados en una capa virtual

(VNLayer) sobre la cual se desarrollan servicios de comunicaciones. Este principio fue originario para redes MANET [52], luego fue considerada dentro del desarrollo de las redes VANET con sus correspondientes ajustes para presentar mejoras en las redes móviles, como lo es una topología altamente dinámica. Sobre las VNLayer se puede propagar datos de manera ideal⁷ o acoplada lo más posible a la realidad, esta segunda opción es propuesta en [53] adaptando esta capa a la forma y ubicación de las vías dentro de un escenario urbano y las condiciones de mayor pérdida de paquetes de las redes vehiculares. (ver figura 12)

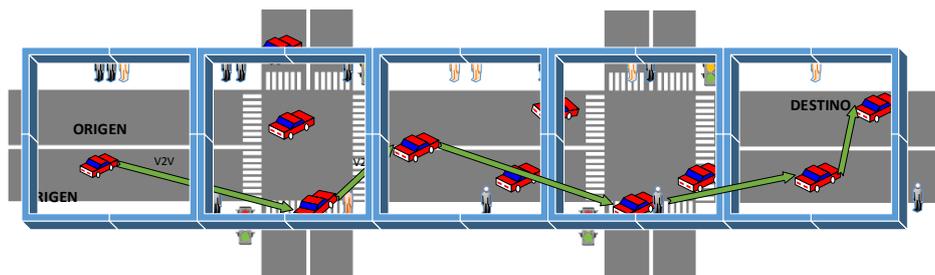


Figura 62 Nodos virtuales en una red VANET.

Los nodos virtuales actúan como servidores localizados en rejillas geográficamente fijas, sobre el que se pueden desarrollar diferentes aplicaciones [39], [54]. Esta virtualización permite que la red se vuelva predecible y estable por la ubicación fija de los nodos virtuales.

2.7.1. CAPA DE NODO VIRTUAL VNLayer

Una VNLayer se basa en un enfoque clúster; es decir, crea regiones fijas con iguales dimensiones dentro de las redes móviles Ad-Hoc, que permite que los nodos móviles físicos (PNs, del inglés, Physical Nodes) sean capaces de emular nodos virtuales (VNs, Virtual Nodes). Esta es una capa ficticia dentro de una red MANET que dispone de dos entidades:

- Nodos físicos: Son vehículos reales que representan a los usuarios en la red. El movimiento de los mismos son impredecibles. Los nodos móviles físicos puede cumplir las siguientes funcionalidades:
 - Nodo Líder: Es el responsable del descubrimiento de ruta y la transmisión de paquetes.
 - Nodo No Líder: Cumple la función de backup; es decir, respalda al nodo líder cuando este abandone la región o se desconecte, asumiendo el liderazgo. Todo nodo backup debe estar sincronizado con el nodo líder y no todo nodo no líder puede asumir la función de backup.
- Nodos Virtuales: Poseen características predecibles. Estos actúan como

⁷ Se asume que no existe pérdida de paquetes, colisiones ni retraso en la entrega de los mismos

servidores localizados en regiones geográficamente fijas, sobre el que se pueden desarrollar diferentes aplicaciones. Dichos nodos se ubican en el área central de cada región. Cabe mencionar que al quedar una región sin nodos móviles físicos, los nodos virtuales dejan de existir.

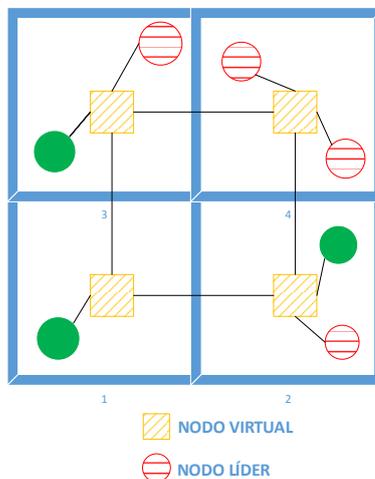


Figura 73: Capa de virtualización VNL ayer en un escenario de cuatro regiones [54]

En la figura 13 se aprecia la capa virtual VNL ayer donde se establece rejillas o rectángulos que simbolizan nodos virtuales emulados por los nodos físicos (clientes) representados por los círculos mediante algoritmos distribuidos. En cada región se emula un nodo virtual, y uno de los nodos físicos presentes en cada rejilla cumple la función de líder.

En una red Ad-Hoc, la transmisión de un paquete suministrada por Brown se muestra en la figura 14. Aquí la red se divide en 9 regiones. El nodo A desea transmitir un paquete de información desde la región 1 al nodo H ubicado en la región 9, el paquete que sale desde el nodo 3 es procesado por el líder y el backup de la región (nodo C y nodo B respectivamente). El líder C retransmite el paquete a la región 5 mientras que el backup B almacena la información en su cola de envío con la finalidad de cumplir con los deberes del nodo líder en caso de asumir el liderazgo. Cuando el backup B escucha que el nodo líder C ya ha retransmitido el paquete, lo elimina desde su cola. Los nodos virtuales 5 y 9 retransmiten el paquete a lo largo de toda la ruta hasta alcanzar el nodo destino H.

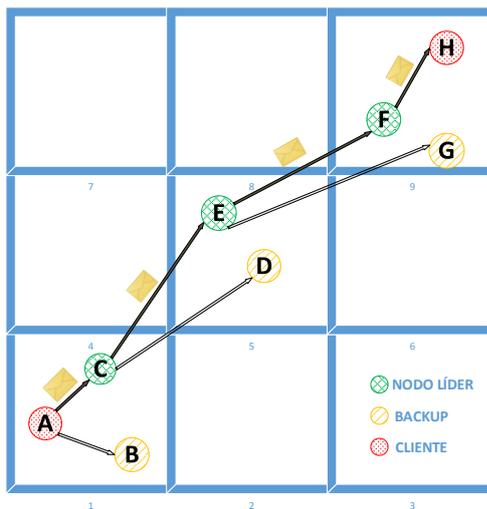


Figura 84 Transmisión de paquetes en VNLayer provista por Brown.

Wu [55] presenta una versión mejorada de VNLayer en el 2011. Aquí los mecanismos de recepción es directa y sin retardos, con la finalidad de evitar la comunicación con el nodo líder local del nodo virtual. En la figura 15, se muestra al nodo origen enviando el paquete de información directamente al nodo líder de la región vecina. De la misma manera para el nodo destino, que también acepta el paquete de datos del líder del nodo virtual vecino. Por lo que los nodos líderes de los nodos virtuales locales son destituidos de procesar los paquetes tras comprobar que están dirigidos a otro nodo en su región. Wu propuso también la comunicación entre nodos a través de enlaces alargados; lo que implica, que los nodos de la red acepten mensajes aún desde regiones no vecinas.

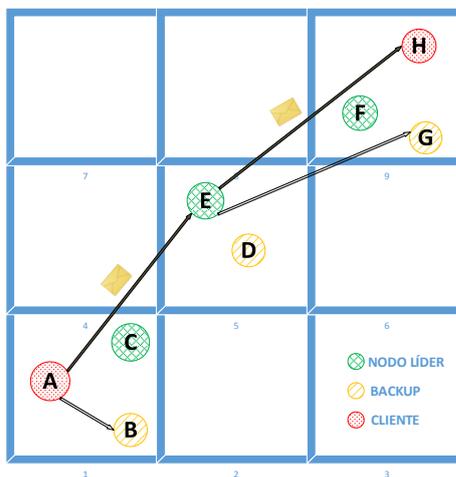


Figura 95 Transmisión de paquetes en VNLayer mediante Wu

2.7.2. ELECCION DEL NODO LIDER

En [55] se describe el proceso de elección de líder. Esto se da a través de tipos de eventos; recepción de mensajes, tiempos de espera y cambios de región que se describen a continuación:

A continuación se describen los mensajes para el proceso de elección del nodo líder

- LeaderRequested message: Es la petición que realiza un nodo para obtener el liderazgo de la región.
- Leader Replay message: Es la respuesta de un nodo líder ante la recepción de la petición de otro candidato a líder (LeaderRequested message); ratificando así, su liderazgo actual.
- Heartbeat message: Son mensajes periódicos enviados por el nodo líder confirmando su presencia.
- Leader left message: Son mensajes de aviso para alertar a los nodos no líderes que abandonará la región.

Cuatro temporizadores son descritos a continuación:

- Leader Request Timer: Es el tiempo esperado por cada nodo al entrar en una nueva región o al dejar de escuchar la señal del nodo líder actual para poder enviar su petición de liderazgo (leader request message).
- Request Wait Timer: Es el tiempo que un nodo espera para recibir el mensaje de contestación del nodo líder, después de enviar un mensaje (leader request message).
- Heartbeat Timer: decide cada que tiempo un Heartbeat message es transmitido por un nodo líder.
- LeaderTimer: es el tiempo esperado para que los nodos no líderes empiecen la elección de un nuevo líder ante la ausencia de Heartbeat message.

Los cuatro estados se detallan a continuación:

- INIT: aquí los nodos móviles físicos no han identificado aún en que región se encuentran.
- REQUEST: es un estado en el que se determina la función de cada nodo dentro de una región.
- LEADER: El líder llega a ser el primer nodo que envía una petición de liderazgo (Leader Requested message) ante la ausencia de uno.
- NONLEADER: es un estado que indica que una región se ha quedado sin un líder.

Como se menciona, los nodos físicos pueden estar expuestos a seis diferentes eventos: INIT, REQUEST, LEADER, NONLEADER e INTERIM. El

comportamiento se representa en la figura 16.

El estado INIT indica que los nodos móviles físicos no han identificado aún en que región se encuentran. Después de identificar en que región están se inicia un temporizador llamado Leader Request Timer antes de enviar un LeaderRequested message, al enviarlo se activa un tiempo de espera Request Wait Timer encontrándose ya dentro del estado REQUEST.

Si dentro de este periodo no se reciben ninguno de estos mensajes de respuesta: (1) Leader Replay message o (2) Heartbeat message, este nodo asumirá la función de nodo líder entrando al estado LEADER; caso contrario, su estado cambiará a NONLEADER.

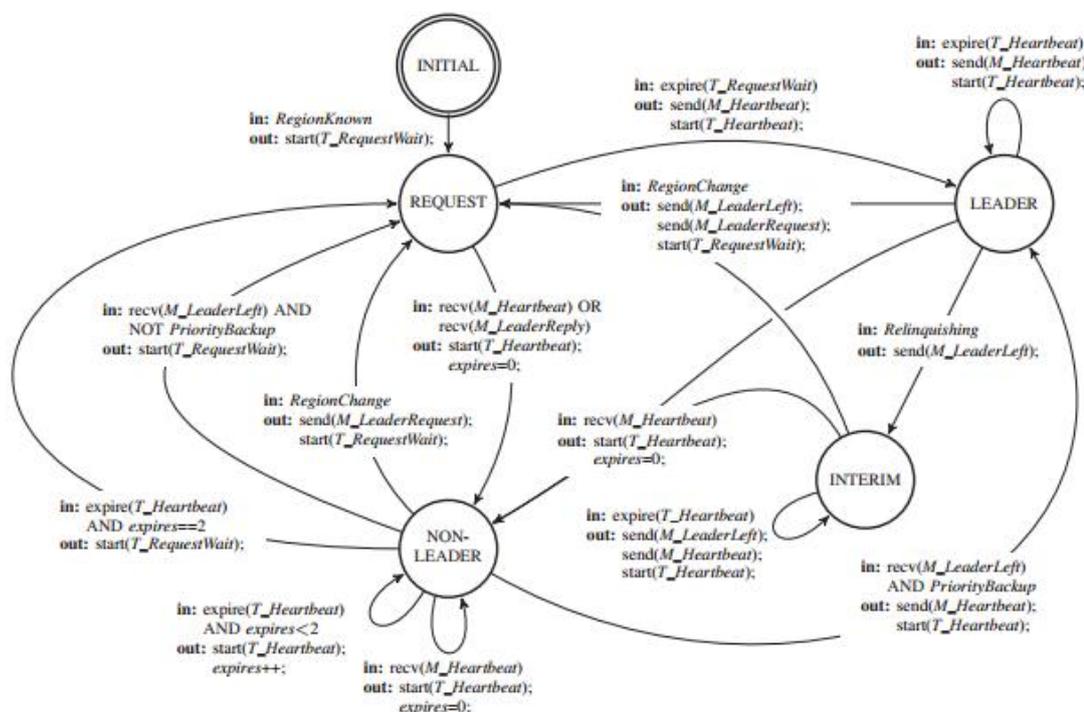


Figura 106: Módulo de máquina de estados para la elección del nodo Líder [32]

Por otra parte, si el nodo llega a escuchar otra petición de liderazgo desde otro nodo dentro del intervalo de tiempo Leader Request Timer, abandona la petición de liderazgo entrando al estado NONLEADER.

Los nodos de cada región eligen cuál de ellos asumirá la función de líder. El nodo ante la carencia de un líder o cuando este detecta su cambio de región automáticamente envía su petición de liderazgo. Mediante un Leader Request Timer su función será determinada.

En un estado NONLEADER se activa un temporizador “LeaderTimer” para comenzar la búsqueda de otro líder tras haber dejado de recibir los mensajes “Heartbeat message” para que este responda, de no hacerlo los nodos cambian su estado a UNSTABLE. Se realiza otro intento de búsqueda del líder, en caso de no encontrar respuesta dentro del intervalo de tiempo “LeaderTimer” se asume que el líder se ha desconectado o abandonado el grupo y los nodos nuevamente proceden a enviar peticiones “Leader Requested message”

El estado INTERIM permite que la elección de un nuevo líder sea procesado antes de que el nodo líder actual abandone la región permitiendo que los mensajes LeaderLeft sean transmitidos previos a su salida, estos mensajes serán replicados de no haber contestación para un nuevo liderazgo al momento de enviar un nuevo Heartbeat. Hasta que un nuevo líder sea elegido mediante mensajes Heartbeat el nodo renunciante continúa respondiendo los mensajes SyncRequest.

2.7.3. ELECCION DEL NODO BACKUP

En [32] subraya que uno de los nodos no líder cumple la función de backup mediante procesos probabilísticos. En estos procesos la función de lanzamiento de moneda (CTF, del inglés, Coin Tossor Function) es solicitado.

La probabilidad ρ de ser elegido nodo backup disminuye al aumentar el número de nodos no-líder en la región, esta probabilidad es directamente proporcional al umbral (TH) e inversamente proporcional a la estimación de nodos en la región (NN)

$$\rho \propto \frac{TH}{NN}$$

De esta manera se evita tener más backups en zonas más densas y reducir la sobrecarga por la sincronización de estado⁸

El servidor nodo backup debe recibir una copia de cada mensaje a su buffer. Para esto es importante la sincronización. Hay dos tipos de sincronismo que emplean los siguientes mensajes

- Mensajes Sync Request: lleva las peticiones de los nodos no-líder
- Mensajes SynkAck transportan las respuestas de los nodos líder.

Los tipos de sincronización se describen a continuación:

- Sincronización de movimiento: es la sincronización entre el nodo líder y backup en una región para que la información de estado sea enviada desde el nodo líder al backup

⁸ Es un proceso de intercambio de mensajes que permiten garantizar que las réplicas de la información de estado desde las capas superiores (por ejemplo, tablas de encaminamiento) mantenidas en los nodos de reserva son compatibles con la versión del líder.

- Sincronización de inconsistencias: se activa cuando el nodo backup toma consciencia de que la información que tiene almacenada no coincide con la que escucha del líder; también cuando se detectan anomalías en el comportamiento de un nodo líder, esta detección se realiza comparándola con la copia de la información de estado que el backup tiene almacenada.

2.7.4. MANTENIMIENTO DEL ESTADO DE LOS VECINOS Y DE LA REGIÓN

Para la emulación de nodos virtuales se ejecutan dos tablas por los nodos físicos que le dan mantenimiento. Las tablas que mantienen los nodos se describen a continuación:

- Tabla de actividad de la región: Mantiene un registro de las regiones desde la cual el nodo virtual puede escuchar mensajes. Cada entrada sostiene un identificador de la región, la dirección MAC del líder de la región y parámetros que miden la actividad de la misma.
- Lista de vecinos: Sostiene una relación entre nodos físicos que han escuchado mensajes recientemente. Cada entrada contiene un identificador del nodo, un identificador de la región actual y un tiempo de vida. El mantenimiento de estado de las regiones en la red se lleva a cabo mediante el intercambio de mensajes M_Hello que se envían periódicamente por cada nodo físico y por los mensajes escuchados de cada nodo líder, incluyendo Heartbeat message, Leader Replay message, Leader left message, SynkAck message y mensajes de aplicación.

Para la transmisión de un paquete de datos desde un nodo virtual a un nodo físico en la red, la VNLayer busca al nodo líder. Si el líder no estuviera definido, el paquete se pudiera transmitir utilizando una dirección destino por difusión broadcast. De lo contrario, el paquete sería enviado por unicast a la dirección MAC correspondiente.
[56]

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA

Este capítulo muestra el desarrollo y proceso de nuestro sistema, los protocolos utilizados para la transferencia de mensajes y el escenario para la diseminación del mensaje de emergencia.

Para la transmisión de un paquete de información en una red VANET, se requiere de un escenario de movilidad urbana; para esto, hemos utilizado el software SUMO. Los nodos (vehículos), se exponen a diferentes parámetros que se configuran en el programa, entre estos están: la densidad de tráfico en el área de movilidad y un flujo determinado para cada vehículo.

Los protocolos seleccionados para la diseminación de mensajes de emergencia en la red son AODV, OLSR y VGEO, protocolos de tipo reactivo, proactivo y geocast respectivamente. Para analizar el rendimiento y comportamiento de los protocolos en una situación emergente, se realiza la comparación de los mismos frente a los siguientes parámetros:

- Tasa de Entrega
- Thoughtput
- Delay

Dentro de la evaluación de los protocolos, se consideran diferentes distancias entre los nodos origen y destino, con la finalidad de apreciar la eficiencia de cada protocolo en cuestión frente a los cambios de distancia.

La sección siguiente describe el funcionamiento y comportamiento de los protocolos AODV, OLSR y VGEO; así como, los posesos de construcción de la simulación del escenario, y las herramientas usadas para el análisis de los protocolo.

3.1. SELECCIÓN DE LOS PROTOCOLOS

3.1.1. AD-HOC ON DEMAND DISTANCE VECTOR (AODV)

AODV es un protocolo reactivo bajo demanda; es decir, la información es actualizada en cada nodo solo cuando sea requerida, este reajuste de datos se da solo cuando una ruta necesita ser establecida para el envío de paquetes. Las tablas de enrutamiento se almacenan en cada nodo durante cierto tiempo, la información contenida en estas tablas es: [1]

- Dirección IP destino
- Número de secuencia de destino: se obtiene de los mensajes de control, se genera incrementalmente un número entero cada vez que un nodo va a generar un mensaje de control para ser copiado en el mismo nodo antes de retransmitirlo
- Bandera de número de secuencia de destino valida: indica que la ruta está disponible, caso contrario la bandera de número de secuencia son marcados como inválidos.
- Otras banderas de estado de ruta: indican si las rutas son; válidas, inválidas, reparables, en reparación, ahí se está buscando una ruta alternativa o si ya se está reparando, etc.
- Interfaz de red
- Contador de Saltos (hop-count): es el número de saltos necesarios para alcanzar el destino)
- Siguiendo salto: es el nodo adyacente al que se debe transmitir el paquete hasta llegar al destino.
- Lista de precursores: son el conjunto de nodos que forman la ruta definitiva para la transmitir paquetes.
- Tiempo de vida de la ruta: tiempo que dura una ruta activa antes de ser borrada.

3.1.1.1 Características del protocolo AODV

En [56] y [5] se mencionan las siguientes características del protocolo:

Ventajas:

- Señalización de control baja
- Señalización de procesamiento mínima
- Prevención de bucles
- Es utilizado en redes altamente densas
- Funciona sólo con enlaces bidireccionales

Desventajas:

- Puede existir confusión entre el incremento del número de secuencia y el decremento de saltos de manera que pueden generar errores de ruta.
- Presenta alta latencia en la red

3.1.1.2 Descubrimiento de Ruta

Previo a iniciar la comunicación para la transmisión de paquetes desde un nodo transmisor a un receptor, se busca si hay en su tabla de enrutamiento una distancia ya calculada hacia el destino deseado. Si no existe tal información, se envían mensajes de petición de ruta RREQ (del inglés, Route Request) por transmisión broadcast, para establecer la comunicación (ver figura 17). El alcance de los mensajes RREQ están dentro de un cierto rango de transmisión definido por un TTL, este proceso broadcast se repite hasta descubrir la ruta al nodo destino.

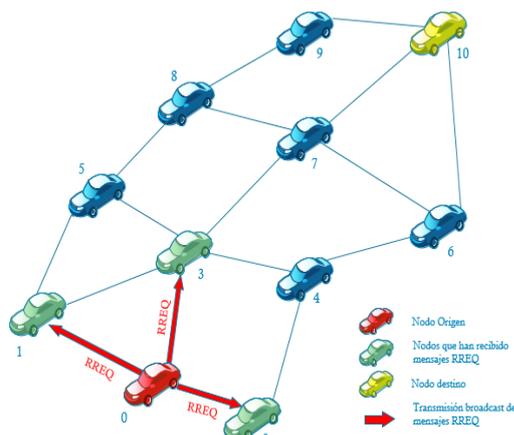


Figura 11 Transmisión broadcast del mensaje RREQ a la red

Cada vez que un nodo emisor envía mensajes RREQ su Identificador de Broadcast y su Número de Secuencia incrementa en uno. Además, cada nodo al recibir estos mensajes RREQ guardan un Identificador Broadcast junto a la Dirección IP del Origen que permite identificar cuál de los mensajes que recibe son mensajes RREQ que le llegan y evita procesarlos en caso que se repitan, así se va registrando una Ruta Inversa para saber cómo regresar al origen, dicha ruta también tiene un tiempo de vida denominado ART (del inglés, Active Route Time) [57].

Cuando un nodo recibe un mensaje con el mismo Identificador pero diferente Número de Secuencia se procede a realizar una actualización de la información para que no se pierda con información caducada. Estos Números de Secuencia evitan el problema de bucles (Cuenta al Infinito) que se presentan cuando el enlace se ha roto por diversos motivos donde los nodos siguen intentado llegar al destino a través de un enlace inexistente [57].

Cada nodo adyacente, transmite un mensaje RREP al encontrar rutas validas hacia el nodo destino (ver figura 18) o retransmite el mensaje RREQ después de incrementar en uno el contador de saltos (hop-count); caso contrario se implementa la Ruta Inversa. Si un nodo recibe varios mensajes RREQ valida el primero, mientras los demás no son procesados. [1]

Al encontrar una ruta válida para alcanzar el destino se procede a comparar el Número de Secuencia del Destino, si este es mayor al número de secuencia guardado se considera que la ruta es válida enviándose un mensaje RREP [3].

Una vez encontrado el destino, el nodo buscado envía un mensaje RREP al emisor

con la información de la ruta inversa hacia el nodo fuente mediante transmisión unicast por la configuración de punteros de los nodos intermedios hacia el destino. Aquí la ruta queda establecida y se puede enviar la información deseada hacia el nodo receptor.

El nodo origen puede transmitir un mensaje RREP-ACK (del inglés, Route Replay Acknowledgment) al destino para informar que el RREP ha sido recibido. En caso de no recibir al primer intento una respuesta de ruta, el nodo emisor espera un tiempo llamado NETT (Net Transversal Time) para que el paquete RREP regrese al origen, caso contrario, se enviará nuevamente dichos mensajes mediante broadcast y se contará el número de intentos mediante un RREQ TRIES. Con cada nuevo intento de retransmisión el tiempo de espera NETT se duplica.

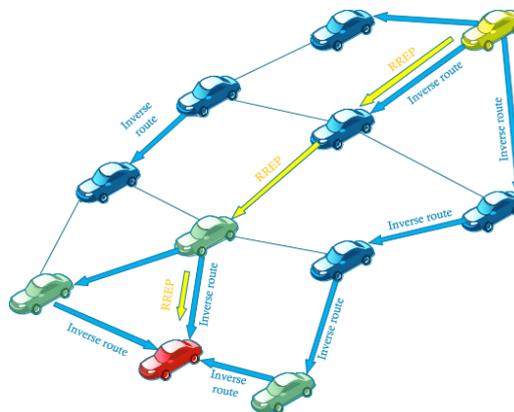


Figura 18 Transmisión del mensaje RREP a la red

3.1.1.3 Mantenimiento de la ruta

Una vez ya establecida la trayectoria para el envío de paquetes, este se mantiene activa un cierto tiempo para no tener que repetir el proceso durante el envío de paquetes. Si durante el mantenimiento de la ruta se producen cambios en la topología, el enlace queda roto o la ruta ha expirado. Aquí, el papel de los mensajes RERR es indicar que las rutas ya no están disponibles. Estos mensajes son enviados mediante broadcast a la red. Al recibir un mensaje RERR cada nodo invalida la ruta inmediatamente.

Al recibir un mensaje RERR, el nodo origen intenta reparar o descubrir una nueva ruta reiniciando el proceso de descubrimiento de ruta. Mediante mensajes HELLO periódicos cada nodo conoce información (ubicación, velocidad, etc.) acerca de los vecinos, de esta manera es que se monitorea el estado de las rutas activas de los próximos saltos.

3.1.1.4 Selección de la mejor ruta

Al ser AODV un protocolo basado en el vector distancia, cada nodo mantiene un array con toda la información de los nodos de la red en las tablas de enrutamiento y el

cálculo de las distancias de cada trayectoria cruzada para llegar al nodo destino. Esta distancia se calcula por medio de la cantidad de saltos dados (hop-count). De todas estas posibles rutas, se selecciona la que menor número de saltos haya cruzado para llegar al destino. (Ver figura 19)

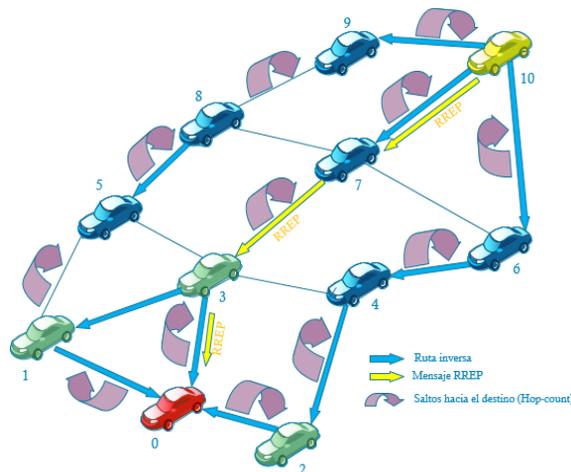


Figura 19 Selección de la mejor ruta del protocolo AODV

3.1.2. OLSR (OPTIMIZED LINK-STATE ROUTING PROTOCOL)

OLSR es un protocolo de encaminamiento de tipo proactivo diseñado para redes móviles Ad-Hoc (MANET), que utiliza estaciones dedicadas de reenvío de paquetes, denominadas Multipoint Relays (MPRs). Estos MPRs reenvían los paquetes de broadcast durante el proceso de inundación. Para optimizar la difusión de mensajes, OLSR utiliza esta técnica para reducir la sobrecarga de paquetes en comparación al mecanismo puro de inundación en el que cada estación retransmite el paquete cuando recibe la primera copia.

3.1.2.1 Principios Básicos

Debido a que el protocolo OLSR, es un protocolo de tipo proactivo, ofrece la ventaja de que las rutas puedan usarse inmediatamente. OLSR es un protocolo inspirado en la práctica de estado de enlace, estos algoritmos proporcionan la lista de los vecinos a cada estación de la red; por lo que se mantiene actualizada la topología de la red. [58]

Para limitar el alcance de los mensajes difundidos y evitar la sobrecarga de tráfico o congestión en la red, OLSR mejora esta medida con algunas técnicas. Los paquetes son enviados solo a un subconjunto de nodos denominados Multipoint Relay Sectors (MPRs). Estos, se encargan de retransmitir sus mensajes de broadcast minimizando así la cantidad de nodos retransmisores en la red. [32]

Este protocolo es más conveniente para redes grandes y densas debido a que ofrece importantes beneficios como conservar las rutas hacia todos los destinos de la red sin

generar tráfico de control, lo que es útil en situaciones en las que un gran número de estaciones se están comunicando.

OLSR está diseñado para operar de modo distribuido; es decir, no depende de una entidad central. Cada nodo envía periódicamente mensajes de control, siendo tolerante a pérdidas de paquetes de control. OLSR usa información más reciente para encaminar un paquete; es decir, usa reenvío de paquetes per-node. [32]

3.1.2.2 *Multipoint Relays Sectors (MPRs)*

La técnica de Multipoint Relays Sectors, parte de disminuir los nodos repetidores de las actualizaciones de la tabla de estados de enlace de cada uno de los nodos en una red, minimizando la inundación originada, por el tráfico de broadcast.

Cada estación de la red selecciona un subconjunto de estaciones Multipoint Relays (MPRs) de sus vecinos para retransmitirles paquetes. Los otros vecinos que no forman parte de las estaciones MPRs recibirán paquetes, pero no los retransmitirán. Un nodo puede ser elegido como MPR si puede alcanzar a todos los nodos a dos saltos de distancia [59]. En la figura 20 se muestra este concepto, el gráfico izquierdo muestra la Inundación o inundación normal; por otro lado, el gráfico derecho muestra la inundación con MPR. En azul los nodos repetidores y en negro los nodos finales, se observa con claridad la disminución de repetidores.

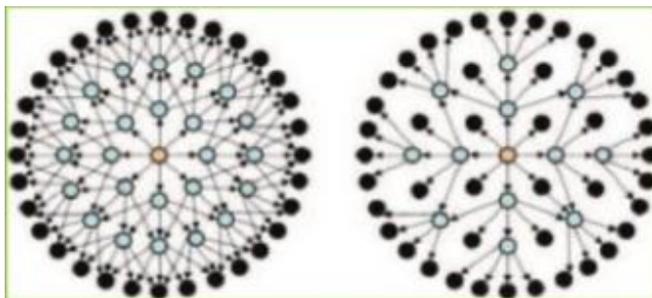


Figura 12 Ilustración del concepto de multipoint relay para N estaciones. [3]

3.1.2.3 *Detección de Vecinos y Selección de Multipoint Relays*

El protocolo OLSR emplea un intercambio de mensajes periódicos entre nodos hasta un salto. Los nodos usan dos tipos de paquetes de control: Mensajes HELLO y mensajes de control de topología. Un nodo envía un mensaje HELLO que contiene la información acerca de sus vecinos y el estado del enlace, de esta manera los nodos mantienen una base de datos actualizada. Estos mensajes reciben los nodos vecinos pero no se retransmiten.

Por otra parte, se utilizan mensajes de control de topología para que cada nodo obtenga la información suficiente para seleccionar su MPR. Los MPR cambian cuando se detecta un cambio en de vecinos a un salto o a dos saltos. Cada entrada de la tabla contiene un número de secuencia y un valor timeout asociados. [59, 32]

3.1.2.4 Cálculo de la Tabla de Enrutamiento

Los nodos conservan una tabla de enrutamiento con información de cómo acceder a otros nodos. Las entradas de esta tabla están compuestas de un destino, el siguiente salto y la distancia estimada al nodo destino. La tabla solo sostiene las entradas que se conocen en una ruta hacia un destino. Por esto, la tabla de enrutamiento debe ser constantemente actualizada por los cambios en la topología de red detectados. [58]

3.1.3. PROTOCOLO VGEO

El protocolo de disseminación de mensajes VGEO es de dos tipos, reactivo debido a que inicia búsqueda de rutas únicamente cuando se necesita transmitir información y geográfico ya que transmite paquetes de datos a nodos localizados dentro una determinada área geográfica. Debido a los atributos de los protocolos reactivos y geográficos, existe poco tráfico generado en la red. El funcionamiento de VGEO cumple los siguientes procesos: (i) descubrimiento de la ruta, (ii) retransmisión de paquetes y (iii) mantenimiento de la ruta. Este protocolo opera a través de la capa de virtualización, usa nodos virtuales para cubrir toda área donde se ejecuta una red VANET.

Antes de describir el funcionamiento del protocolo VGEO, es necesario conocer que en el formato del paquete RREQ, cada nodo tiene incorporado una tabla de protocolo de encaminamiento, que se utiliza para establecer comunicación entre los nodos. Dentro de esta tabla encontramos los siguientes campos:

- Dirección IP del origen y destino
- Número de secuencia del destino: se utiliza para determinar qué tan actualizada está la información de distancia generada por dos nodos para el mismo destino. En una ruta válida aumentan hasta llegar al destino.
- Bandera de número de secuencia de destino valida: indica que la ruta está disponible, de no ser así, la bandera de número de secuencia son marcados como inválidos.
- ACKrepair, ChangeRoutes, CorrectionRuteRequest, CorrectionRouteReplay: Muestran si las rutas son; válida, inválida, reparable, en reparación, si se está buscando una ruta alternativa o si ya se está reparando, etc.
- Contador de Saltos (hop-count): Es el número de saltos necesarios para alcanzar el destino.
- Siguiente salto (next_hop): Es el nodo adyacente al que se debe transmitir el paquete hasta llegar al destino.
- Lista de precursores: Es el conjunto de nodos que forman la ruta definitiva para la transmitir paquetes.
- ArpRequest, ArpReplay: son mensajes enviados por el protocolo ARP (del

inglés, Address Resolution Protocol) encargados de traducir direcciones IP a direcciones MAC.

En la tabla de enrutamiento denominada R_table, se verifica si tiene una ruta activa, si no el caso se iniciará el proceso de búsqueda de la ruta más corta, para alcanzar su destino por medio del cálculo de distancias.

Cada vez que un mensaje Heartbeat es escuchado por los miembros de la región, cada nodo empieza a buscar alguna coincidencia de ruta en sus tablas, si no se encuentra similitud se actualizan las tablas de enrutamiento creando nuevas ruta.

El protocolo VGEO recibe mensajes de alerta desde la capa MAC para detectar fallos de enlace, además de recibir mensajes Hello que se envían periódicamente para conocer información sobre sus vecinos. Dentro de una región solo el nodo líder es el responsable de retransmitir la información, los demás nodos únicamente escuchan y aprenden la información transmitida por el nodo líder, de esta manera, el tráfico y el número de saltos disminuye.

3.1.3.1 Descubrimiento de Ruta

Cuando se desea transmitir información desde un nodo a otro y no existe una ruta conocida hasta el destino en las tablas R_table comienzan el descubrimiento de la misma por medio de mensajes broadcast RREQ desde el nodo origen, con un identificador para evitar mensajes repetidos en la región. Los nodos que reciban estos mensajes aprenderán información importante del nodo remitente (ruta y región), a su vez, estos mensajes serán replicados mediante broadcast desde los líderes de las regiones adyacentes. En las regiones todos los nodos escuchan la petición RREQ del nodo origen pero solo el nodo líder responderá con mensajes broadcast RREP de regreso al nodo inicial.

En la Figura 21, el nodo 1 desea transmitir un paquete al nodo 10, al no encontrar información del destino en su R_table comienza a transmitir mediante broadcast peticiones RREQ, los nodos 0, 3, 4, 6, 7 de las regiones vecinas escuchan estos mensajes, pero solo los nodos líder 0, 3 y 6 empiezan a transmitir mensajes RREP en modo broadcast hacia el nodo origen para aprender la ruta inversa (ruta y región) hacia el mismo.

Solamente los nodos líder 0, 3 y 6 de las regiones 5, 2 y 4 respectivamente son encargados de replicar los mensajes RREQ a las regiones 3 y 6 permitiendo que los nodos 5, 8, 9, 10 escuchen la petición RREQ. Cabe mencionar que el nodo líder 2, no transmitirá el mensaje ya que este se encuentra dentro de la misma región de nodo emisor 1. El nodo líder de la región 6 no recibirá el paquete ya que comparte la misma región con el nodo 10, además el nodo 10 es el responder de responder con un mensaje RREP.

Una vez que el destino recibe los paquetes, el nodo 10 coloca en el campo next_hop y

next_region la dirección IP y la región de donde provinieron los paquetes, el RREQ que primero ha escuchado, en este caso podría ser el nodo 3 de la Región 2. El nodo 1, al escuchar el REPP desde el nodo 3, aprenderá la ruta hacia el nodo 10 cuyo next_hop y next_region son 3 y 2 respectivamente.

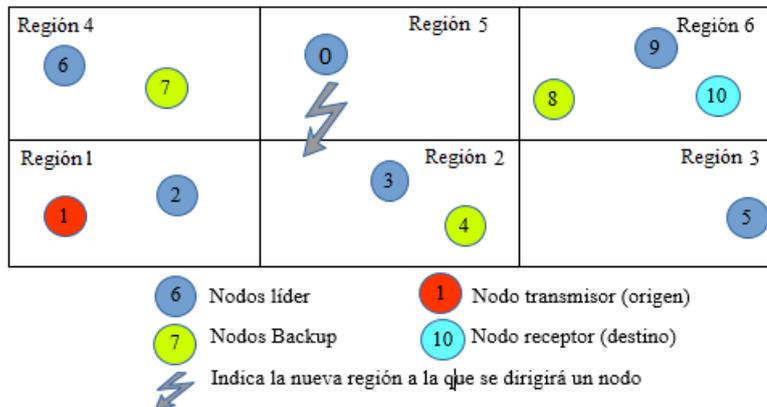


Figura 21 Descubrimiento de ruta para la transmisión de mensajes desde 1 al nodo 10

3.1.3.2 Mantenimiento de Rutas

Todos los nodos de la red de manera independientemente se encargan del mantenimiento de sus tablas. Estas contienen el campo “state” para conocer si el estado de la ruta es válido o no. Un tiempo time_expire inicia con la activación de cada nueva ruta antes de depurar la información de rutas contenida en sus tablas, una vez expirado este tiempo las rutas entran en estado inválido.

Si una vez iniciado el temporizador, en la capa MAC no se recibe ningún tipo de confirmación del destinatario, se reporta una falla de enlace generado porque el destino esta fuera del área de cobertura o por las colisiones producidas por los propios procesos de transmisión. Detectado el error los paquetes se mantienen en cola mientras se realiza la reparación local (ACK_Repair), esta reparación se pone en marcha solamente cuando el fallo del enlace está más cercado al destino que al origen; caso contrario, se enviarán mensajes de error tipo broadcast (RERR) que intentarán redirigir el paquetes a su destino con un nuevo descubrimiento de ruta. [60]

3.1.3.3 Corrección de la Ruta

El establecimiento de una ruta para la transmisión de paquetes se debe a que se ha determinado una región y ruta final, pero si el nodo destino se dirige hacia otra región se necesita una corrección de ruta; para esto, mensajes transmitidos mediante broadcast son diseminados sin ningún destinatario y con un valor de 1 en el campo TTL (del inglés, Time To Live) con el fin de establecer una nueva ruta. Mientras se genera esta corrección de ruta, los mensajes se mantienen en cola para evitar ser diseminados antes de la corrección.

Suponiendo que el nodo destino 10, de la figura 20 desea moverse a la Región 2, empezará a generar mensajes RREQ sin destinatario que serán escuchadas por todos los nodos incluidos el nodo origen. Una vez corregida la ruta en el nodo 1, los mensajes serán enviados a la región actual en la que se encuentre el nodo 10, en este caso a la Región 2.

3.1.3.4 Ventajas del Protocolo VGEO

- En un escenario de movilidad con alta densidad de tráfico, VGEO debido a la aplicación de la capa virtual, presenta un buen rendimiento. Debido a que impide la sobrecarga de tráfico en la red, ya que considera únicamente a los nodos líderes como transmisores de información y evita regiones con carencia de nodos, evitando también un fallo en el enlace. Si existe sobrecarga en la red, esta es generada únicamente por la capa virtual, permitiendo una entrega de paquetes más fiable. [60]
- Cuando hay sincronización y regiones con al menos un nodo el número de descubrimientos de ruta son extremadamente pequeños.
- Se establece prioridades entre los nodos backup sincronizados que permite que el nodo con mayor prioridad adquiera el rol de líder de manera inmediata ante la ausencia de uno. [61]

3.1.3.5 Desventajas del Protocolo VGEO

Peticiones de regiones lejanas: cuando un nodo escucha mensajes REQUEST de una región lejana inmediatamente descarta estas peticiones debido a la limitación del alcance de la señal.

Mensajes ERROR: Cuando mensajes RERR son enviados por fallo de enlace, los paquetes encolados en los nodos serán descartados.

Además de los tiempos de espera generados para el proceso de diseminación de información, se adiciona los tiempos generados para los procesos dentro de la capa virtual como: BackUpRequest, LifeHostEntryExpire, RetrySyncData, LeaderCease, WaitForNewLeader, RequestWaitLeader, Heartbeat.

Tiempo en el que un nodo responde una petición ARP en el proceso de corrección de ruta: En la Figura 22, el nodo 1 tiene paquetes encolados para el nodo 4, la cola del nodo irán vaciándose poco a poco. El nodo 1 entregará cierta cantidad de paquetes al nodo 2; del mismo modo, este último entregará paquetes al nodo 3 y el proceso continúa hasta alcanzar el destino, mientras cierta cantidad de paquetes siguen aún encolados. Al abandonar el nodo 4 su región actual enviará mensajes RREP para comenzar la corrección de ruta hacia la Región 3. Al escuchar dichos mensajes el nodo 2 procede a enviar los paquetes que aún permanecen en cola hacia la Región 3 siguiendo el proceso anterior, aunque es muy probable que el protocolo ARP aún no

haya traducido la dirección física del nodo 4. Mientras mensajes ARP son difundidos hacia el nodo 4, el nodo 2 ya está transmitiendo paquetes hacia el nodo destino. Si el proceso de traducción de direcciones no es exitosa hasta que el número de intentos de transmisión del nodo 2 hacia el nodo 4, comenzará a generarse mensajes de error RERR y los paquetes serán descartados. [60]

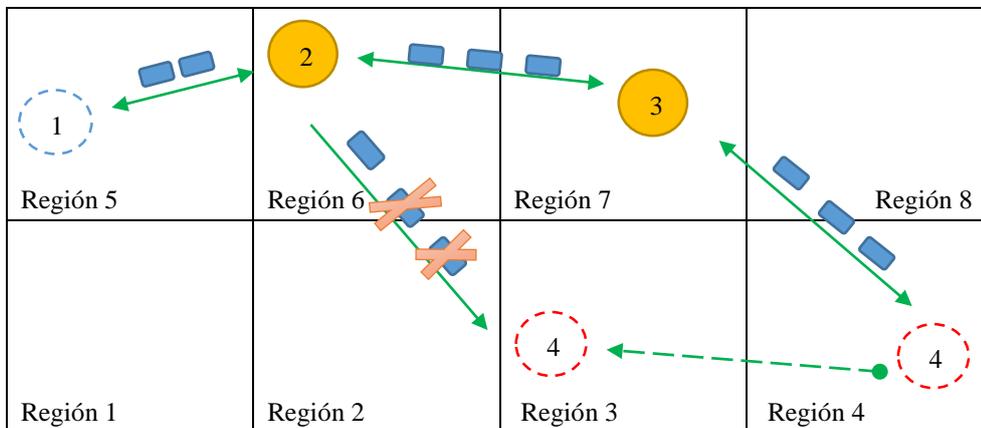


Figura 132 Pérdida de paquetes en el proceso de corrección de ruta

3.2. CONSIDERACIONES DE SIMULACIÓN

Como se mencionó, para el análisis del rendimiento de los protocolos seleccionados (AODV, OLSR, VGEO) se creó un ambiente de movilidad urbano; donde, se considera una densidad vehicular en un rango de 20, 40, 60, 80 y 100 vehículos.

Para evaluar los escenarios de simulación a través de la capa de virtualización se utilizó el protocolo VGEO creado por el grupo de investigación d GSSI (Grupo de Servicios para la Sociedad de la Información) de la universidad de Vigo de España a través del proyecto SPORANGIUM en conjunto con el grupo GITEL (Grupo de Investigación en Telecomunicaciones y Telemática) de la Universidad Politécnica Salesiana.

Dado que los protocolos AODV y OLSR no trabajan sobre nodos virtuales se crearon dos escenarios con los mismos parámetros pero, el primero con nodos virtuales en VGEO como protocolo de encaminamiento y el segundo sin nodos virtuales para AODV y OLSR.

Dado que el protocolo VGEO maneja la capa de virtualización se evaluará el comportamiento del mismo con diferente número y tamaño de regiones que pertenecen a los nodos virtuales. Además se configura parámetros de acuerdo al estándar de comunicación para redes vehiculares IEEE 802.11p. El área de simulación tiene un área de 600mx200m. (Ver Figura 23)

3.3. DESARROLLO DEL AMBIENTE MÓVIL

El software utilizado para la creación del escenario de movilidad es SUMO-0.0.25. A través de un código de programación se crearon archivos que generan el tamaño del

escenario, las posiciones de las calles así como las intersecciones, el número de vehículos (densidad de tráfico) y las trazas de movimiento los mismos, (ver en Figura 23). Para generar las trazas de red se ha utilizado el simulador ns3.

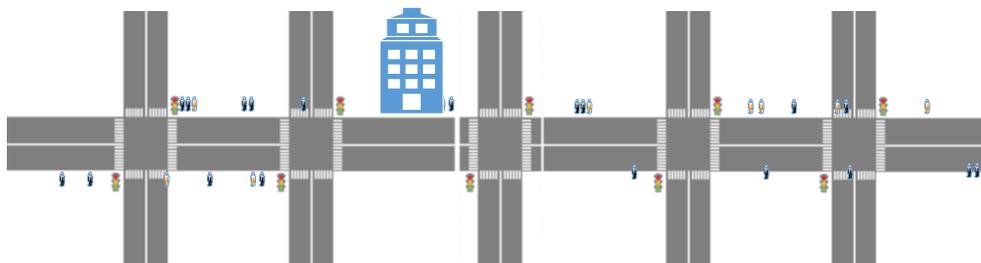


Figura 23 Escenario de simulación para el sistema

En la figura 24 se observa el flujo vehicular de 40 nodos sobre el escenario de la figura 23.

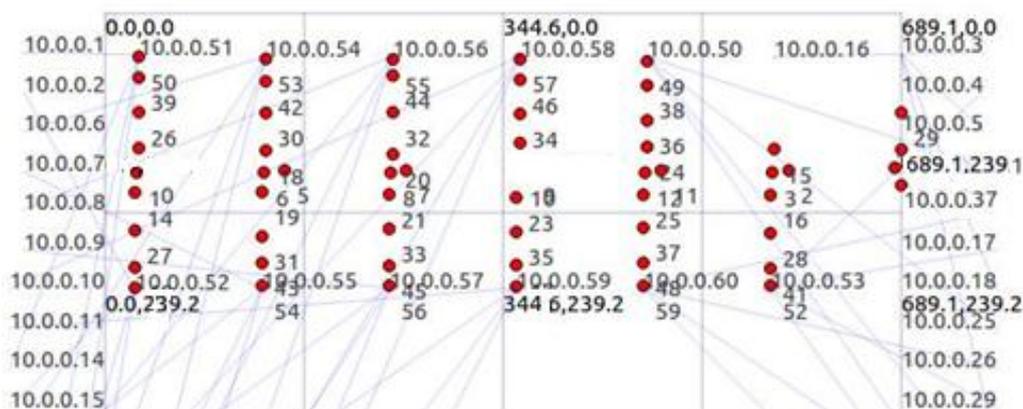


Figura 24 Simulación en NetAnim para un escenario de 40 nodos

El número de nodos virtuales configurados para el protocolo VGEO se muestran en la figura 24. Se delimita al área del escenario con 3 regiones con el fin de cada una de ellas abarque el mayor número de vehículos y cubra cada rincón del área donde ocurrió el suceso.

Las direcciones IP de los nodos se definen en orden ascendente desde la dirección 10.0.0.0 con máscara 255.255.240.0. En la Figura 25 para un escenario de 40 nodos las direcciones para los nodos físicos se asignarán hasta la ID 10.0.0.39 y la ID 10.0.0.40 se otorgará al nodo destino.

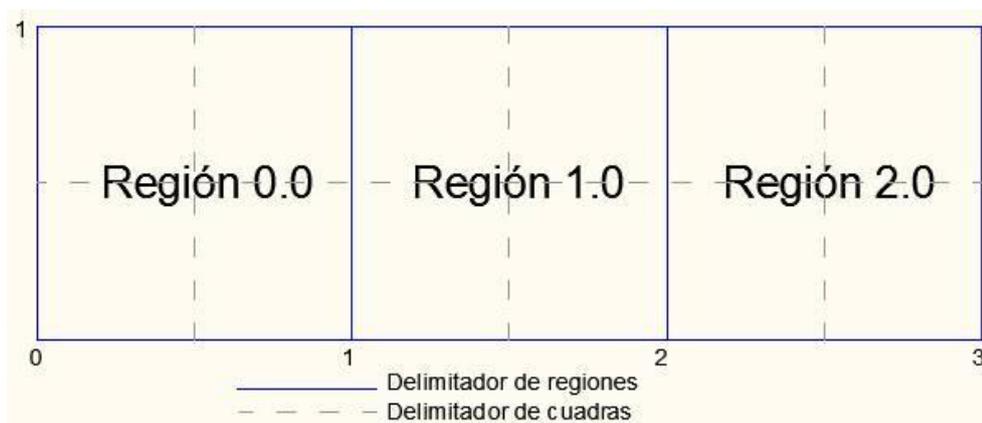


Figura 145: Representación de la capa virtual en un escenario con 3 regiones.

Se emula un nodo destino para que se efectúe la transmisión del paquete de datos establecido en las coordenadas $(x, y, z) = (683.5, 133.5, 2)$

A continuación tenemos los parámetros configurados en el escenario de simulación.

Parámetros de simulación en un topología de red vehicular	
Nodos Fuente	Nodo 1: 400m del nodo destino Nodo 5: 300m del nodo destino Nodo 9: 2000m del nodo destino
Nodo Destino (x,y,z)	600, 133.5, 2
Velocidad de nodo [km/h]	30-50
Densidad de tráfico	20, 40, 60, 80, 100
Parámetros VGEO	
Filas del escenario de simulación [m]	2
Columnas del escenario de simulación [m]	4
Numero de regiones nodos virtuales	3
Duración+ de simulación [seg]	60

Tabla 4 Parámetros configurados en el escenario de la red

En la siguiente sección se muestran los resultados y análisis sobre el rendimiento de los protocolos.

3.4. SELECCIÓN DE LOS NODOS FUENTE Y DESTINO

Como se observa en la figura 26 los nodos con ID 1, 5 y 9 son los responsables de informar al nodo destino con ID 80 sobre el incidente a través de un mensaje de emergencia. La selección de estos nodos se debe al interés de evaluar cada protocolo

en la transmisión de un paquete a diferentes distancias entre el nodo origen y el nodo destino.

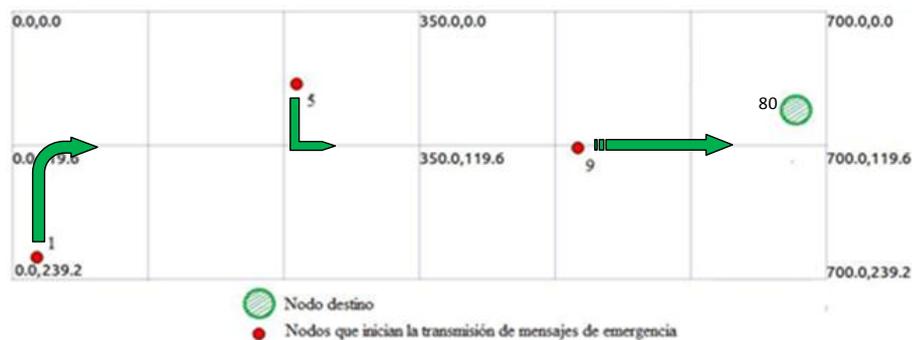


Figura 156: Ubicación de los nodos para un escenario de 80 vehículos en NetAnim

Los nodos 1, 5 y 9 están a una distancia del nodo destino 80 de 400m, 300m y 200m respectivamente. El rendimiento de los protocolos AODV, OLSR y VGEO se evaluarán a través de una densidad de flujo vehicular de 20, 40, 60, 80 y 100 nodos.

3.5. TRAZA DEL MENSAJE DE EMERGENCIA

En cada transmisión se enviarán 1000 paquetes de 512 bytes con un intervalo de 0.05 segundos entre ellos. Al ser un mensaje de emergencia el tiempo de transmisión del mensaje total no supera los 60 segundos. Los paquetes se transportan a través del protocolo UDP.

Las configuraciones globales de la red se muestran en la siguiente tabla:

Parámetros	Valor
Protocolos de disseminación	AODV, OLSR, VGEO
Estándar de Comunicación	IEEE 802.11p
Modelo de Propagación	ITU-R P.1411
Modelo de retardo	Randómico
Frecuencia [GHz]	Banda DSCR 5.9
Ancho de banda [MHz]	10
Data Rate [Mbps]	6
Multiplexación	OFDM
Tiempo de Simulación	60 seg.
Protocolo de transporte	UDP
Potencia de transmisión [dBm]	28.8
Numero Paquetes Transmitidos	1000
Tamaño de paquete [bytes]	512
Intervalo entre paquetes [seg]	0.05

Tabla 5 Configuraciones globales de la red.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo muestra los resultados obtenidos por los protocolos AODV, OLSR y VGEO y describe el análisis del rendimiento en los diferentes escenarios de la red.

Se muestra el análisis de los resultados obtenidos por los protocolos AODV, OLSR y GEOCASTING en los diferentes ambientes vehiculares que se han desarrollado.

El objetivo del estudio es de comparar el funcionamiento, fiabilidad y escalabilidad de los algoritmos desarrollados en los protocolos sobre los ambientes vehiculares creados en esta investigación. Para el cumplimiento de este fin, hemos considerado las siguientes métricas: tasa de entrega de paquetes, throughput, delay. Las cuales se describen a continuación.

Adicional a la comparación de estos parámetros; en el protocolo VGEO se variará el tamaño y número de las regiones de los nodos virtuales. Con la finalidad de analizar el rendimiento de la transmisión de un paquete de datos en los diferentes ambientes propuestos en la red de comunicación VANET.

4.1 MÉTRICAS PARA EL ANÁLISIS DE RENDIMIENTO.

En la transmisión de paquetes de información en un ambiente vehicular es necesario medir la calidad de comunicación entre los usuarios de una red VANET. A continuación se describen los parámetros utilizados en este estudio para desarrollar una comparativa entre protocolos de encaminamiento de la información.

- **TASA DE ENTREGA DE PAQUETES:** La tasa de entrega de paquetes es la cantidad recibida de paquetes sobre los paquetes enviados por un nodo transmisor.
- **THROUGHPUT:** Se denomina throughput a la tasa promedio de transferencia de paquetes en un canal de comunicación. Esta métrica hace referencia al rendimiento del protocolo que opera. Entre mayor rendimiento. Mientras mayor el número throughput mejor será el rendimiento.
- **DELAY:** Este parámetro muestra el tiempo que tarda la entrega de información desde el nodo emisor en volver a el mismo, habiendo pasado por el nodo destino en una red de comunicación.

Con los parámetros configurados en el anterior capítulo mostramos el resultado de las gráficas en cada protocolo. Para la transmisión de los paquetes de información se

considera al nodo fuente en diferentes rangos de distancia con referencia al nodo destino.

4.2 ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE LOS PROTOCOLOS

La relación entre las diferentes métricas para el análisis y el número de nodos se obtuvo a través del módulo de animación de NS-3 flow monitor. Después de la obtención de los datos de las diferentes pruebas se analizaron las métricas con relación al número de nodos y el rango de distancia entre el nodo origen y destino.

El análisis de los protocolos AODV, OLSR y VGEO se realizó a través de las siguientes consideraciones:

- Data rate: 6Mbps
- Rango: 200 metros, dentro de este escenario se adaptaron diferentes densidades vehiculares (20, 40, 60, 80, 100)
- Nodos: 60, esta densidad vehicular fija fue implantada en un escenario con diferentes dimensiones ya que la distancia entre el nodo origen y destino es variable en el rango de (200, 300 y 400 metros)
- Regiones Virtuales: 3

4.2.1 ANÁLISIS DEL DELAY

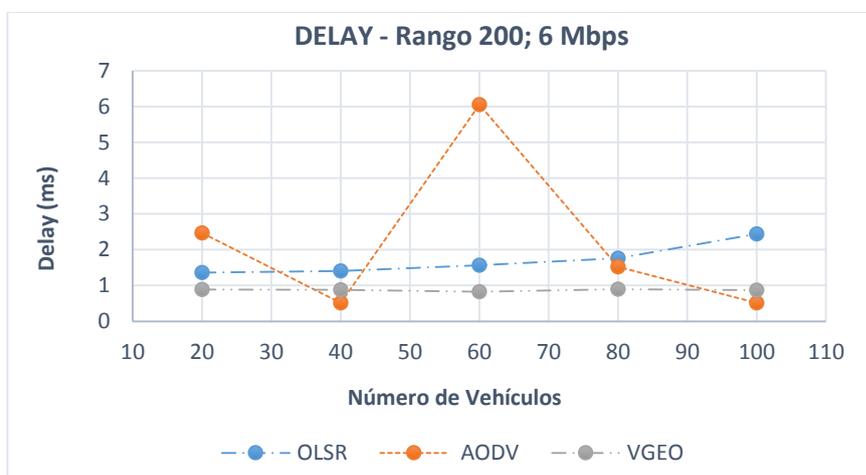


Figura 27 Ilustración del delay en un rango de 200m

En la figura 27 se observa una mejor respuesta en los protocolos OLSR y VGEO a comparación del protocolo AODV. Se ilustra claramente que la estabilidad que el protocolo VGEO es independiente de la cantidad de vehículos en la red y la distancia de nodo origen al destino. VGEO al tener una mayor densidad de nodos móviles en una misma área la coordinación de mensajes que realiza la VNLayer se vuelve más eficaz por el tráfico incrementado ya que evita la ausencia de nodos físicos en la región, además al dividir el área geográfica en pocas regiones se tendrá un menor número de saltos para alcanzar el destino. El protocolo OLSR tiene un retardo

moderado que tiende a crecer con el incremento de la densidad vehicular y el número de nodos por los mismos procesos que conlleva mantener siempre sus tablas de enrutamiento activas y actualizadas. El protocolo AODV presenta el retardo más bajo a comparación de los otros protocolos ya que en 40 nodos ha encontrado un número óptimo de rutas para el envío de paquetes, sin embargo la red se satura en 60 nodos produciéndose un pico inaceptable, pasada dicha saturación los tiempos de vida de la mayoría de rutas empiezan a expirar

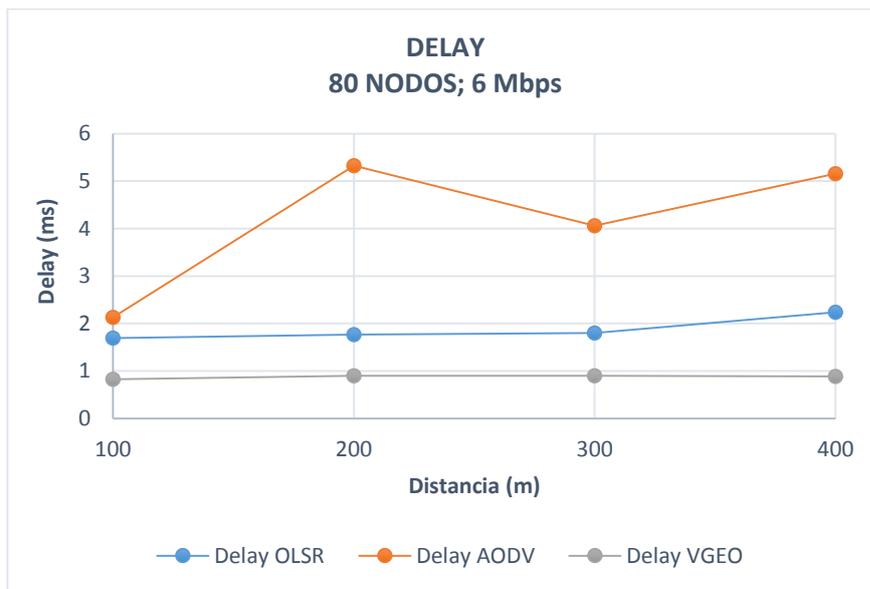


Figura 168 Ilustración de delay en 60 nodos

Como se observa en la figura 28 los protocolos OLSR y VGEO se mantienen estables independientemente de la distancia del nodo origen al nodo destino. OLSR maneja correctamente el problema de la desconexión gracias a las características proactivas ya que entre el nodo origen y destino siempre va a haber rutas disponibles para la entrega de paquetes, por otra parte VGEO muestra un retardo mínimo en la transferencia de la información ya que únicamente los nodos líder retransmiten la información lo que evita la colisión de paquetes en la red. Por otro lado, la figura muestra inestabilidad en el protocolo AODV ya que al ser un protocolo reactivo tiene que calcular las rutas sobre cualquier cambio en la topología de la red.

4.2.2 ANÁLISIS DE LA TASA DE ENTREGA

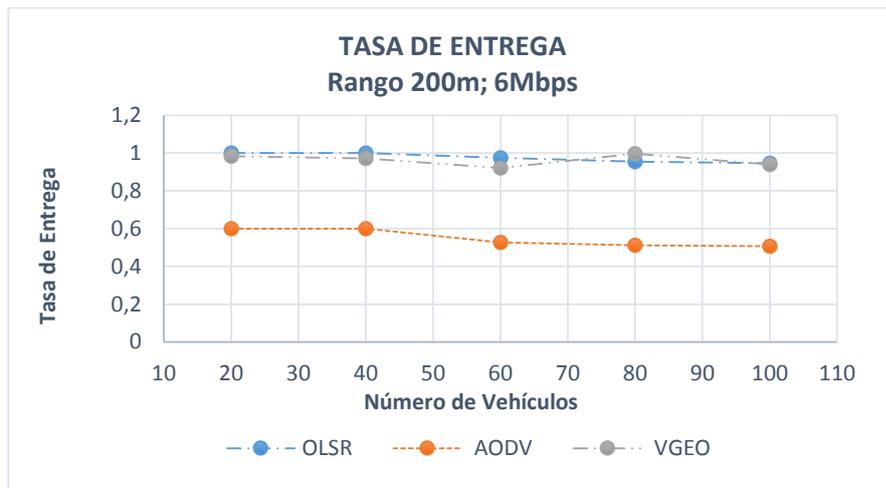


Figura 29 Tasa de Entrega en un rango de 200m

Se puede visualizar en la figura 29 que el protocolo AODV presenta una pérdida de paquetes considerable con respecto a VGEO, esto se debe a que cuando la ruta se invalida por el movimiento de algún nodo se envía un mensaje RERR haciendo que los paquetes se descarten y la tasa de envío disminuya, hasta que se descubra una nueva ruta. Por el contrario VGEO tiene mayor tasa de entrega ya que cuando se produce la ruptura del enlace se activa el proceso de corrección de ruta, por lo que los paquetes a diferencia de AODV no son descartados más bien son almacenados mientras se hace la corrección de ruta para su retransmisión. A medida que aumentamos los nodos de la red se observa un decaimiento mínimo de la tasa de entrega en los protocolos AODV y OLSR por la congestión de tráfico durante la transmisión de mensajes de control en los períodos de movilidad de media y alta.

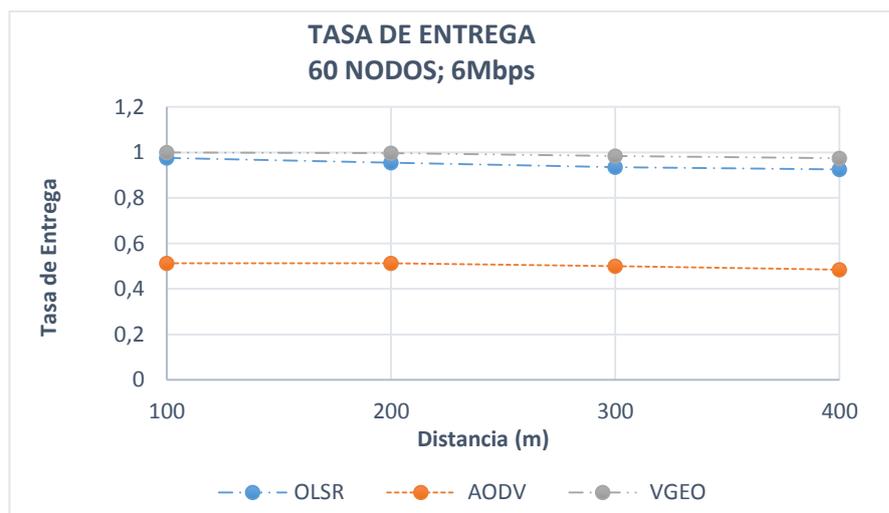


Figura 30 Tasa de entrega en 60 nodos

La tasa de entrega de los protocolos AODV, OSLR y VGEO se mantienen estables con respecto a las distancias entre el nodo origen y destino (ver figura 30). Sin embargo el protocolo AODV por las desventajas de ser un protocolo reactivo

presenta una tasa de entrega de paquetes ineficiente con respecto a los otros protocolos ya que existe sobrecarga en la red debido a la densidad de tráfico. No existe pérdida significativa de paquetes en los protocolos OLSR y VGEO ya que la relación entre el número de nodos y la distancia escogidas del escenario promueve escalabilidad en el comportamiento de los protocolos.

4.2.3 ANÁLISIS DEL THROUGHPUT

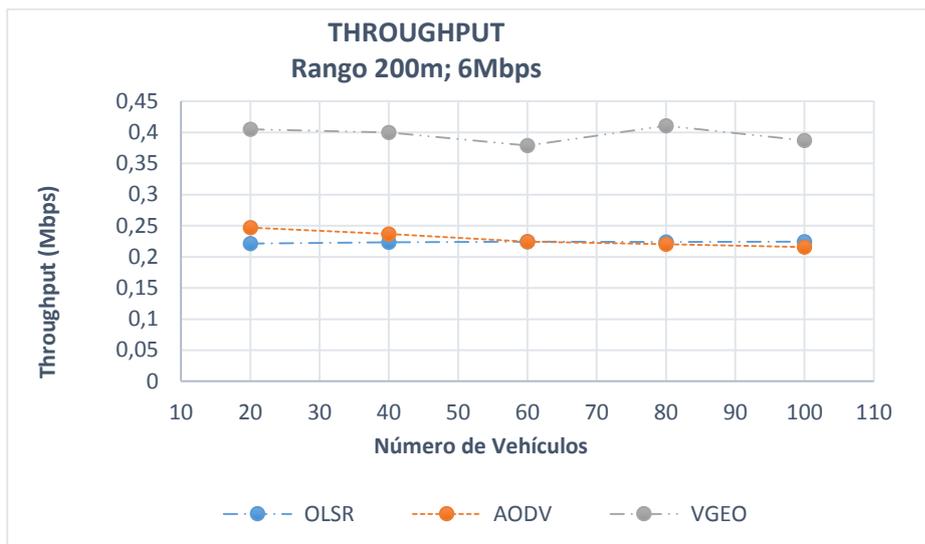


Figura 31 Comportamiento Throughput en un rango de 200m.

La figura 31 muestra mayor rendimiento en el protocolo VGEO debido a la virtualización, a medida que el número de nodos crece existe una variabilidad en el comportamiento del protocolo, esto se debe a que al existir más nodos en la red las colisiones de paquetes aumentan, sin embargo la sobrecarga de tráfico es poca debido a la sincronización de sus rutas. En VGEO con el aumento de vehículos aumentará el número de mensajes por lo que se activa el proceso que permite que haya más de un nodo líder dentro de la región para aliviar la sobrecarga de trabajo sobre un único líder. En OLSR cuando los nodos de comunicación están más cercanos el uno del otro el nodo origen encuentra una ruta rápidamente e independientemente del número de nodos. AODV muestra mayor fiabilidad en la transmisión del paquete en número inferior a 40 vehículos, se observa como el valor de throughput disminuye al aumentar el número de nodos en la red. Los protocolos AODV y OLSR se mantienen en un rango de eficiencia aceptable y estable, sin embargo estos ofrecen la mitad del rendimiento que el obtenido por VGEO.

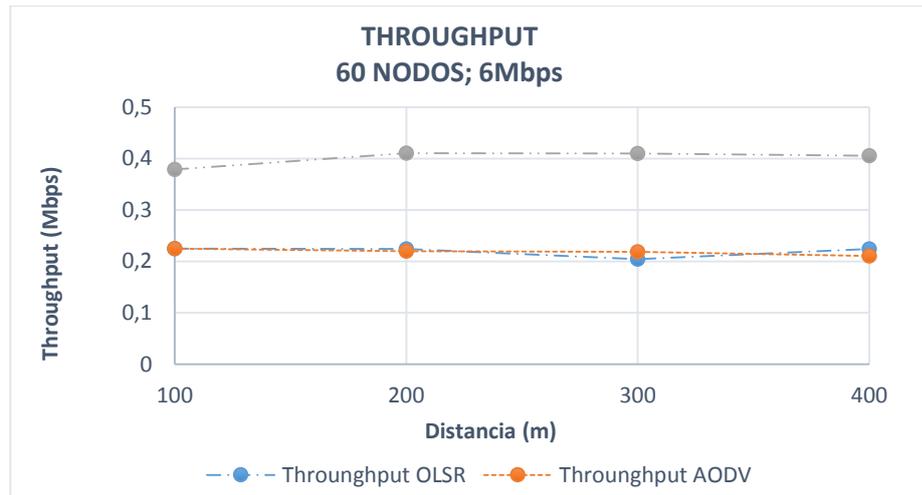


Figura 32 Comportamiento throughput en 60 nodos.

Se observa en la figura 32 como el protocolo AODV se mantiene en rangos de rendimiento iguales al protocolo OLSR, la distancia entre el nodo origen y el nodo destino no repercute en los valores del rendimiento de los mismos debido a que la densidad vehicular no varía. Se observa notablemente como el protocolo VGEO tiene un rendimiento eficiente con respecto a los otros protocolos.

CAPÍTULO 5

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es de gran importancia en las redes vehiculares VANET la obtención de información fiable y con el menor retardo posible, sobre todo en los casos donde se presente situaciones de desastre, esta información puede ser aprovechados por organismos de emergencia o por cualquier usuario que pertenezca a la red con el fin de ofrecer asistencia en el área de siniestro.

Este trabajo de titulación propuso estudiar, observar y analizar el rendimiento de la transmisión de un mensaje de emergencia sobre una red VANET, para su realización se utilizó los software libre de movilidad y red NS-3 y SUMO respectivamente.

La obtención de los resultados de las diferentes métricas para el análisis del sistema se obtuvo a través del módulo de animación de NS-3 flow monitor, posterior a la obtención de los datos de las pruebas realizadas se analizaron las métricas con respecto al número de nodos y al rango de distancia entre el nodo origen y destino.

En las pruebas del protocolo VGEO, observamos un mayor rendimiento cuando dividimos nuestro escenario en 3 regiones para los nodos virtuales. A tamaños grandes de región se maximiza el número de nodos físicos y el tiempo que permanecen dentro de ellas, estas variables son beneficiosas para la estabilidad de los nodos virtuales.

En el análisis de los resultados se muestra que la escalabilidad de los protocolos OLSR y VGEO es aceptable debido a sus características como protocolos proactivos y geográfico respectivamente. En el protocolo AODV la escalabilidad se restringe debido a que esta causa mayor inundación de mensajes en las redes congestionadas o con mayor número de nodos.

Considerando el delay en el análisis de los resultados se observó una mejor respuesta en los protocolos OLSR y VGEO a comparación del protocolo AODV. VGEO al tener una mayor densidad de nodos móviles en una misma área, la coordinación de mensajes que realiza la VNLayer se vuelve más eficaz por el tráfico incrementado que evita la ausencia de nodos físicos en la región. VGEO mostró un retardo mínimo en la transferencia de la información, ya que únicamente los nodos Líder se encargan de retransmitirla lo que evita la colisión de paquetes en la red. El protocolo OLSR al ser un protocolo proactivo tiene la posibilidad de descubrir rutas rápidamente sin importar el número de nodos intermediarios ya que este mantiene la tabla de enrutamiento actualizada permitiéndole manejar correctamente el problema de la desconexión. El protocolo AODV presentó un retardo inaceptable al incrementar el número de nodos en la red debido a la sobrecarga de tráfico generado por la cantidad de rutas descubiertas y el mantenimiento de las mismas

Con respecto a la tasa de entrega, el protocolo AODV exhibió una pérdida de paquetes considerable con respecto a VGEO, esto se debe a que cuando la ruta se invalida por el movimiento de algún nodo se envían mensajes RERR haciendo que los paquetes se descarten y la tasa de envío disminuya hasta que se descubra una nueva ruta. Por el contrario VGEO obtuvo mayor tasa de entrega ya que al presentarse una ruptura en el enlace los paquetes son encolados mientras se realiza la reparación de la ruta para su posterior retransmisión. Los resultados de la simulación muestran que OLSR es mejor que AODV debido a que este envía únicamente mensajes HELLO a diferencia de AODV que inunda la red con mensajes RREQ. A medida que aumentamos los nodos de la red se observó un decaimiento mínimo de la tasa de entrega en los protocolos AODV y OLSR por la congestión de tráfico durante la transmisión de mensajes de control en los períodos de movilidad de media y alta. No existe pérdida significativa de paquetes en los protocolos OLSR y VGEO ya que la relación entre el número de nodos y la distancia escogidas del escenario promueve escalabilidad en el comportamiento de los protocolos.

Se concluye entonces que el protocolo VGEO es el más óptimo para la transferencia de mensajes de emergencia en redes vehiculares ad-hoc independientemente de la densidad vehicular y la distancia entre el nodo transmisor y receptor.

APÉNDICES

APÉNDICE A

A. PASOS PARA CREAR EL ESCENARIO DE SIMULACIÓN.

Las líneas de código a continuación se deben colocar en el terminal de Ubuntu, con la dirección de la carpeta donde se ubicarán los archivos para la creación de los escenarios.

➤ GENERACION DEL ARCHIVO DE RED

Nuestro escenario está compuesto por 15 intersecciones y 22 bordes, donde cada vía es bidireccional, a continuación se crea el archivo *7x3.netccfg* para la generación del mismo.

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

  <grid_network>
    <grid value="1"/>
    <grid.y-number value="3"/>
    <grid.x-number value="7"/>
    <grid.length value="110"/>
  </grid_network>
  <output>
    <output-file value="13x13.net.xml"/>
  </output>
  <processing>
    <no-turnarounds value="true"/>
    <offset.x value="27.5"/>
    <offset.y value="27.5"/>
    <offset.disable-normalization value="true"/>
  </processing>
  <building_defaults>
    <default.speed value="10.85"/>
    <default.lanenumber value="1"/>
    <default.sidewalk-width value="17.5"/>
  </building_defaults>
</configuration>
```

Una vez configurados los parámetros en el archivo *7x3.netccfg* se procede a generar el archivo de red *7x13.net.xml* mediante el comando descrito a continuación.

```
/home/ubuntu/sumo-0.25.0/bin/netgenerate
-c /home/ubuntu/13x13.netccfg
```

APÉNDICES

➤ GENERAR DE RUTAS

Para la creación de rutas se utilizó la herramienta *Netgenerate*, la misma genera redes de carretera abstractas permitiendo la creación de *grid-networks*, *spider-networks* y *random networks*.

El escenario consta de 80 nodos distribuidos en 12 flujos con un tiempo de simulación de 80 segundo configurados en el archivo *flow.xml* observado a continuación.

```
<flows>
<flow id="0" from="0/0to0/1" to="6/1to6/2" begin="0" end="80"
number="10"/>
<flow id="1" from="0/2to0/1" to="6/1to6/2" begin="0" end="80"
number="5"/>
<flow id="2" from="1/0to1/1" to="6/1to6/2" begin="0" end="80"
number="10"/>
<flow id="3" from="1/2to1/1" to="6/1to6/2" begin="0" end="80"
number="5"/>
<flow id="4" from="2/0to2/1" to="6/1to6/2" begin="0" end="80"
number="4"/>
<flow id="5" from="2/2to2/1" to="6/1to6/2" begin="0" end="80"
number="5"/>
<flow id="6" from="3/0to3/1" to="6/1to6/2" begin="0" end="80"
number="7"/>
<flow id="7" from="3/2to3/1" to="6/1to6/2" begin="0" end="80"
number="5"/>
<flow id="8" from="4/0to4/1" to="6/1to6/2" begin="0" end="80"
number="8"/>
<flow id="9" from="4/2to4/1" to="6/1to6/2" begin="0" end="80"
number="5"/>
<flow id="10" from="5/0to5/1" to="6/1to6/2" begin="0" end="80"
number="6"/>
<flow id="11" from="5/2to5/1" to="6/1to6/2" begin="0" end="80"
number="5"/>
<flow id="12" from="6/0to6/1" to="6/1to6/2" begin="0" end="80"
number="5"/>
</flows>
```

A continuación por consola nos dirigimos a la carpeta que contiene el archivo de red generado con anterioridad y con los siguientes comandos obtenemos el archivo *7x3.process.rou.xml*

```
duarouter -n 7x3.net.xml -f flow.xml -o 7x3_process.rou.xml
```

Una vez ejecutado el archivo *7x3.process.rou.xml* se han posicionado los vehículos con sus respectivos flujos del archivo (*flow.xml*) y el escenario físico creado en el script *7x3.net.xml*

➤ REAJUSTE DE RUTAS

En el archivo *script_rou.tcl* se ingresa la ubicación de archivo de generación de rutas *7x3_process.rou.xml* para que los archivos de ruta nos sean devueltos.

```
#!/usr/bin/tclsh
set infile [open "/home/ubuntu/7x3_process.rou.xml" r]
set outfile [open "/home/ubuntu/7x3_processOUT.rou.xml" w]

set busqueda "depart=\""
set depart "0.00\">"

while { [gets $infile linea] >= 0 } {

    set inicio [string first $busqueda $linea]

    if {$inicio != -1} {
        set inicio [expr $inicio+7]
        set nueva_linea [string range $linea 0 $inicio]

        set nueva_linea $nueva_linea$depart
        puts $outfile $nueva_linea
    } else {
        puts $outfile $linea
    }
}
close $infile
close $outfile
```

El archivo de reajuste de la ruta *7x3_processOUT.rou.xml* se ejecuta mediante

```
/home/ubuntu/script_rou.tcl
```

➤ GENERAR ARCHIVOS DE TRAZAS DE SUMO

Para generarlos es necesario ingresar el archivo de red y ruta como se describe a continuación:

```
<configuration
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/sumoConfigura
tion.xsd">
    <input>
        <net-file value="13x13.net.xml"/>
        <route-files value="13x13_processOUT.rou.xml"/>
    </input>

    <time>
        <begin value="0"/>
```

```

        <end value="10000"/>
    </time>
</configuration>

```

El archivo de trazas (*sumoTrace.xml*) es generado a continuación

```
sumo -c /home/ubuntu/7x3.sumocfg -fcd-output /home/sumoTrace.xml
```

➤ GENERACION DE ARCHIVO DE TRAZAS NS-2

Para que la traza de movilidad (*sumoTrace.xml*) creada en SUMO sea interpretada por ns2 se utiliza la herramienta *Trace Exporter*.

```

/home/ubuntu/sumo-0.25.0/tools/traceExporter.py --fcd-input
/home/ubuntu/sumoTrace.xml --ns2mobility-output
/home/ubuntu/ns2mobility.tcl

```

El archivo *ns2mobility.tcl* puede reajustar sus trazas ingresando su ubicación en el archivo *script.tcl*.

```

set infile [open "/home/ubuntu/ns2mobility.tcl" r]
set outfile [open "/home/ubuntu/Escritorio/ns2mobility_process.tcl"
w]

set busqueda "set Z_ "

proc GetRand { m M } { return [expr $m+rand()*($M-$m)] }

while { [gets $infile linea] >= 0 } {

    set inicio [string first $busqueda $linea]

    if {$inicio != -1} {
        set inicio [expr $inicio+6]
        set nueva_linea [string range $linea 0 $inicio]

        set altura [GetRand 1.0 2.0]
        set nueva_linea$nueva_linea$altura
        puts $outfile $nueva_linea
    } else {
        puts $outfile $linea
    }
}

close $infile
close $outfile

```

Mediante el comando ejecutado a continuación el archivo *ns2mobility_process.tcl* es creado.

```
/home/ubuntu/script.tcl
```

B. ENLACE DE NS-3 Y SUMO

El archivo `ns2mobility_process.tcl` ya ha quedado traducido para NS-2, ahora por medio de la herramienta `ns3::Ns2 MobilityHelper` la traza de movilidad pueden ser interpretada por el software NS-3. Para esto en el archivo `ns3` se debe agregar la librería. Se genera entonces un archivo de traza `.xml` que es utilizado por el animador de red `NetAnim`.

```
#include "ns3/ns2-mobility-helper.h"
#include "ns3/netanim-module.h"
AnimationInterface anim ("animation.xml");
Sobre la línea → `Simulator::Stop (Seconds (duration));`
```

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] C. E. Perkins y E. M. Royer, «Ad-hoc on-demand distance vector routing,» *Mobile Computing Systems and Applications. WMCSA '99. Second IEEE Workshop*, pp. 90-100, 1999.
- [2] P. Picazo Sánchez, *Cooperación en Redes Vehiculares. Estado de la Cuestión y Propuesta de Mecanismo Basado en Incentivos*, Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2011.
- [3] D. A. Aucancela y E. E. Espinoza , «Diseño de una red de comunicación vehicular inteligente, integrando la tecnología Ad-Hoc con LTE, para la movilidad en la zona urbana de la ciudad de Cuenca,» *Tesis previo a la obtención del título de: Ingeniero electrónico*, p. 136, marzo, 2015.
- [4] G. Jimenez Pinto, D. López y L. F. Pedraza , *Simulación y Análisis de Desempeño de Protocolos Unicast para Redes VANET*, vol. I, Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2011.
- [5] G. Jiménez, D. López y L. F. Pedraza, «Simulation and Performance Analysis of Protocols for Unicast Vanet,» *Tecnura*, vol. 16, n° 31, pp. 66-75, 2012.
- [6] S. R. Kolte y M. S. Madankar, «A Design Approach of Congestion Control for Safety Critical Message Transmission in VANET,» *Fourth International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, pp. 298-301, 2014.
- [7] C. Edited by Makaya y S. Pierre, «Emerging Wireless Networks,» de *Concepts, Techniques, and Applications*, CRC press, 2012, p. 442.
- [8] J. Conde, M. F. Torres y J. F. Sánchez, «Una visión multicultural para la internacionalización de la investigación, el emprendimiento,» *MEMORIAS, III Simposio Nacional y II Internacional de Investigación, el emprendimiento y la innovación*.
- [9] O. Orozco y G. Llano, «VANET APPLICATIONS FOCUSED ON ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY, A SYSTEMATIC REVIEW,» *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 2, n° 24, pp. 111-132, 2014.
- [10] H. Hartenstein y K. Laberteaux, «A Tutorial Survey on Vehicular ad hoc Networks,» *IEEE Communications Magazine*, vol. 46, n° 6, pp. 164-171, 2008.
- [11] IEEE, «IEEE 802.11p, Amendment to Standard for Information Technology Telecommunications and Information Exchange Between Systems- Local and

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Metropolitan Area Networks-Specific requirements,» *Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications-Amendment 7: Wireless Access. Vehicular Environment, IEEE Std. IEEE 802.11p*, p. VER PAGINAS, 2010.
- [12] A. G. Caicedo, J. M. Martínez y G. A. Méndez, «Evaluación del Desempeño de Redes 802.11p/WAVE en la Transmisión de Datos, Voz y Video IP,» *Revista Universitaria en Telecomunicaciones, Informática y Control*, vol. 1, n° 1, pp. 15-25, Marz0, 2012.
- [13] D. Jiang y L. Delgrossi, «Ieee 802.11 p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments,» *Vehicular technology conference*, pp. 2036-2040, 2008.
- [14] U. P. COMILLAS, «ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI),» INGENIERO INDUSTRIAL, [En línea]. Available: www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/4fc63da851633.pdf.
- [15] A. M. Orozco, G. Llano y R. Michoud, «Redes vehiculares Ad-hoc: aplicaciones basadas en simulación,» *Ingenium*, vol. 6, n° 12, pp. 11-22, 2012.
- [16] C. Suthaputchakun, Z. Sun y M. Dianati, «Impact of Propagation Environments on Emergency Message Dissemination in VANETs,» *Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, pp. 361-366, Seventh International, 2015.
- [17] M. Koubek, S. Rea y D. Pesch, «Event Suppression for Safety Message Dissemination in VANETs,» *Vehicular Technology Conference, IEEE*, n° 71, pp. 1-5, Spring, 2010.
- [18] C. Sommer, O. K. Tonguz y F. Dressler, «Adaptive Beaconing for Delay-Sensitive and Congestion-Aware Traffic Information Systems,» *IEEE Vehicular Networking Conference*, pp. 1-8, 2010.
- [19] I.-C. Chu, P.-Y. Chen y W.-T. Chen, «An IEEE 802.11p based Distributed Channel Assignment Scheme Considering Emergency Message Dissemination,» *Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2012 IEEE 75th*, pp. 1-5, 2012.
- [20] G. Jimenez, D. López y L. F. Pedraza, «Simulación y análisis de desempeño de protocolos unicast para Redes VANET,» *Tectura*, pp. 66-75, 1999.
- [21] J. A. Ibañez, C. Flores, A. Barba y A. Reyes, «Análisis de desempeño de estándar 802.11p en situaciones de handoffdentro de un entorno de redes vehiculares,» *XXIII Congreso Nacional y IX Congreso Internacional de Informática y Computación*, pp. - 148154, octubre, Jalisco, 2010.
- [22] M. Emmelmann, B. Bochow y C. Kellum, *Vehicular Networking, Automotive Applications and Beyond*, 1998.
- [23] J. M. J. H. J.Loo, «Mobile ad Hoc Networks: Current Status and Future Trends,» 2012.
- [24] D. Johnson, Y. Hu y D. Maltz, *The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad-Hoc Networks for IPv4*, Network Working Group, 2009.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [25] V. Park y S. Corson , Temporally-ordered routing algorithm (TORA) version 1 functional, IETF Draft: draft-ietf-manet-tora-spec-04.txt , 2001.
- [26] Z.-J. Haas, M. Pearlman y Samar P, Performance comparison of aodv, En Proceedings, 2006, pp. 14-17.
- [27] P. Jacquet, P. Muhlethaler, T. Clausen, A. Laouiti, A. Qayyum y L. Viennot , Optimized link state routing protocol for Ad-Hoc networks, IEEE International Multi Topic Conference, 2001, pp. 62-68.
- [28] G. M. Rodriguez Pineda, Análisis de Simulación de Protocolos de Enrutamiento en diferentes Escenarios para Redes Ad-Hoc, mediante herramienta Ns-3, vol. I, Loja: Universidad Nacional de Loja, 2015.
- [29] I. P. C. Chakeres, Dynamic MANET On-demand (DYMO) Routing Protocol, Internet-Draft Version 8, IETF, 2007.
- [30] G. Aggelou y R. Tafazolli, Rdmr: A bandwidth-efficient routing, New York, NY, USA,: Proceedings of the 2Nd ACM International, 1999, p. 26–33.
- [31] M. Saumett León y H. Castro Barrera, Análisis del Desempeño del Protocolo de Enrutamiento DSR bajo Diferentes Modelos de Movilidad, vol. VIII, Revista Épsilon, 2008, pp. 111-123.
- [32] J. Bravo, «Mejora de los servicios de Comunicaciones sobre Redes Móviles Ad Hoc en rscenarios Pedestres y Vehiculares mediante Virtualización,» *Tesis doctoral, Universidad de Vigo*, 2015.
- [33] J. Moy, OSPF version 2, RFC 2328, 1998.
- [34] B. Karp y H. Kung, Gpsr: Greedy perimeter stateless routing for, MobiCom, Ed., New York, NY, USA: Proceedings of the 6th Annual International Conference, 2000, p. 243–254.
- [35] M. B. Trujillo, Tesis Evaluación experimental de redes malladas basadas en el protocolo B.A.T.M.A.N., Universidad Carlos III de Madrid Ingeniería Técnica de Telecomunicación Especialidad en Sistemas de Telecomunicación. Proyecto Fin de Carrera..
- [36] S. Murthy y Garcia-Luna-Aceves, An efficient Routing Protocol for Wireless Networks, ACM/Baltzer Mobile Networks and Applications, 1996, pp. 183-199.
- [37] A. Benito Peral, Control de Topología soportado por Técnicas de Clustering Aplicado a Redes Ad-Hoc, Madrid: Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial, 2012.
- [38] Q.-A. Zeng, Introduction to Wireless & Mobile System, Dharma Prakash Agrawal, 2011, pp. 317-335.
- [39] B. O. Carrión y L. A. Delgado, «Simulación y Análisis de redes Esporádicas Móviles

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ad-hoc.» *Tesis de pregrado*, pp. 1-110, 2015.
- [40] L. Alejandro, Mejora del Rendimiento de las Redes AD-HOC con ZRP Utilizando Mantenimiento de Ruta, vol. I, Michoacán: CECyTEM, 2013, pp. 3-4.
- [41] T. D. S. L. C. A. I. L. NADEEM, Trafficview: Traffic data dissemination using car-to-car communication., vol. 8, SIGMOBILE Mob.Comput. Commun. Rev, 2004, pp. 6-19.
- [42] G. Pei, Gerla M y T.-W. Chen, Ad-hoc on-demand distance vector routing, P. W. '99., Ed., Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 1999, pp. 90-100.
- [43] S. A. M. A. J. M. ARZIL, Adaptive routing protocol for vanets in city environments using real-time traffic information., vol. 2, International Conference on Information Networking and Automation (ICINA), 2010, p. V2-132-V2-136.
- [44] G. Jimenez, E. Fernández y J. Ospina, Comparision of Unicast and Geocast Protocols for VANETs Networks, Segunda ed., vol. XVII, Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2013, pp. 4-7.
- [45] V. Sandonis, Estudio y Desarrollo de un Protocolo Geográfico y su Integración con IPv6, Primera ed., vol. I, E. P. Superior, Ed., Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2009, pp. 23-28.
- [46] H. Doumenc, Estudio Comparativo de Protooclos de Encaminamiento en Redes Vanet, I ed., Universidad Politécnica de Madrid, 2008, pp. 32-33.
- [47] F. Boronat Seguí, Encaminamiento Jerárquico, Valencia Valencia: Universidad Politécnica de El presente proyecto tiene la finalidad de realizar el estudio para diseñar una, 2013, pp. 1-13.
- [48] P. Hong, H. Park y C. Kang, A road and traffic-aware routing protocol in vehicular ad hoc networks., En 13th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 2011, p. 24-28..
- [49] A. Iwata, C. Chiang, G. Pei, Gerla M y T. Chen, Scalable routing strategies for ad hoc wireless networks., vol. 8, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, p. 1369-1379.
- [50] R. Sivakumar, P. Sinha y V. Bharghavan, Cedar: a core-extraction distributed ad hoc routing algorithm., vol. 8, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, p. 1454-1465..
- [51] S. Wang y Y. Lin, passive clustering aided routing protocol for vehicular ad hoc networks, Computer Communications 36,, 2013, pp. 170-179.
- [52] M. Brown, S. Gilbert, N. Lynch, C. Newport, T. Nolte y M. Spindel, «The virtual node layer: aprogramming abstraction for wireless sensor networks,» *SIGBED*, vol. 4, nº 3, 2007.
- [53] J. Bravo, M. Lopez y Y. Blanco, «On the use of virtual mobile nodes with real-world considerations in vehicular ad hoc networks,» *Communications (COMM), 2012 9th International Conference*, pp. 193-196, 2012.
- [54] M. C. Spindel, «Simulation and evaluation of the Reactive Virtual Node layer,» *Massachusetts Institute of Technology, Departament of Electrical Engineering and computer Science*, 2008.
- [55] J. Wu, «A simulation study on using the Virtual Node Layer to implement efficient and Reliable

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MANET Protocolos,» *A thesis submitted to the Graduate Faculty in Computer Science in partial fulfillment of the requirements for the degree of: Doctor of Philosophy*, 2011.
- [56] A. Medina, «Comparativa de los protocolos AODV y OLSR con un emulador de redes Ad-Hoc,» *Trabajo final de carrera, Universitat Politècnica de Catalunya*, 2006.
- [57] J. M. García, «Proyecto Fin de Carrera Ingeniería de Telecomunicación, Dept. de Ingeniería Electrónica, Universidad de Sevilla,» 2014.
- [58] F. Hidalgo, J. Parkin, O. K. Tonguz, P. Mudalige, F. Bai y V. Sadekar, Estudio de la Viabilidad de la utilización de Redes Inalámbricas Ad-Hoc en Edificios Departamentales, Valencia: IEEE Wireless Communications, 2008, pp. 20-24.
- [59] U. Ponce, Análisis del Desempeño del Protocolo OLSR para encaminamiento en Redes Inalámbricas Malla y Análisis del Desempeño Enlaces Punto a Punto con Enlaces 2.4GHz y Protocolos Wifi, Segunda ed., vol. III, Congreso Internacional de Investigación, 2011, pp. 714-720.
- [60] E. P. Siguenza y J. P. Hurtado, Análisis del Usi de Nodos Móviles Virtuales para Procesos de Encaminamiento en Redes Vehiculares Ad-Hoc, vol. I, Cuenca, Azuay: Universidad Politécnica Salesiana, 2013, pp. 25-35.
- [61] J. Bravo, «Mejora de los servicios de comunicaciones sobre redes móviles Ad-hoc en escenarios pedestres y vehiculares mediante virtualización,» 2015.
- [62] R. W. Montesdeoca y E. J. Vásconez, «Análisis de los niveles de servicio mediante la implementación del tranvía en la Ciudad de Cuenca,» p. 122, febrero, 2015.
- [63] S. Panichpapiboon y W. Pattara-atikom, «A Review of Information Dissemination Protocols for Vehicular Ad Hoc Networks,» *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 14, n° 3, pp. 784 - 798, 2012.
- [64] L.-C. Tung y M. Gerla, «An Efficient Road-Based Directional Broadcast Protocol for Urban VANETs,» *IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, pp. 10-16, 2010.
- [65] M. Sun, W. Feng, T. Lai, K. Yamada, H. Okada y K. Fujimura, «GPS-Based Message Broadcasting for Inter-vehicle Communication,» *Parallel Processing, 2000. Proceedings. 2000 International Conference*, pp. 279-286, 2000.
- [66] L. Peiyuan, X. Wang, N. Lu y F. Liu, «A Reliable Broadcast Routing Scheme Based on Mobility Prediction for VANET,» *Intelligent Vehicles Symposium*, 2009.
- [67] D. Li, H. Huang, X. Li, M. Li y F. Tan, «A Distance-Based Directional Broadcast Protocol for Urban Vehicular Ad Hoc Network,» *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2007. WiCom*, pp. 1520 - 1523, 2007.
- [68] S. Khakbaz y M. Fathy, «A Reliable Broadcast Method for Vehicular Ad hoc Networks Considering Fragmentation and Intersection Problems,» *Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, 2008. NGMAST '08.*, pp. 379 - 38, 2008.
- [69] YUAN, J., ZHENG, Y., XIE, X., AND SUN, G. T-drive: Enhancing driving directions with taxi drivers intelligence. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 25, 1 (enero 2013), 220–232..

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [70] F. J. Martinez, M. Fogue, M. Coll, J. C. Cano, C. T. Calafate y P. Manzoni, «Evaluating the Impact of a Novel Warning Message Dissemination Scheme for VANETs Using Real City Maps,» *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 6091, pp. 265-276, 2010.
- [71] O. M. Hussain, H. Bourdoucen y M. Ould-Khaoua, «Efficient Alert Messages Dissemination in VANETs using Single-Hop Distributed Protocols,» *Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC), 2013 6th Joint IFIP*, pp. 1-4, 2013.
- [72] M. Fogue, P. Garrido, F. J. Martinez, J. C. Cano, C. T. Calafate y P. Manzoni, «An Adaptive System Based on Roadmap Profiling to Enhance Warning Message Dissemination in VANETs,» *IEEE/ACM Transaction on Networking*, vol. 21, n° 3, pp. 883-895, Junio, 2013.
- [73] X. Ma, J. Zhang, X. Yin y . K. S. Trivedi, «Design and Analysis of a Robust Broadcast Scheme for VANET Safety-Related Services,» *IEEE transactions on Vehicular Technology*, vol. 61, n° 1, pp. 46-62, January, 2012.
- [74] M. A. Javed, J. Y. Khan y D. T. Ngo, «A Tone-Based Time-Slotted Protocol for Multi-Hop Emergency Message Dissemination in VANETs,» *Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2014 IEEE 79th*, pp. 1-5, 2014.
- [75] J. Dongxu, S. Fei y S. Jooseok, «A Traffic Flow Theory based Density Adopted Emergency Message Dissemination Scheme for Vehicular Ad Hoc Networks,» *International Conference on Information Networking (ICOIN)*, pp. 57-62, 2015.
- [76] N. Wisitpongphan, O. K. Tongunz, J. S. Parkihk, P. Mudalige, F. Bai y V. Sadekar, «Broadcast tom itigation echniues in Vehicular AdHoc Networks,» *IEEE Wireless Communications*, vol. 14, n° 6, pp. 84-94, 2007.
- [77] A. T. Akabane, L. A. Villas y E. R. Mauro , «An Adaptive Solution for Data Dissemination under Diverse Road Traffic Conditions in Urban Scenarios,» *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC): Track 3: Mobile and Wireless Networks*, pp. 1654-1659, 2015.
- [78] M. Bakhouya, J. Gaber y P. Lorenz, «An adaptive approach for information dissemination in vehicular ad hoc networks,» *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 14, n° 6, pp. 1971-1978, 2011.
- [79] «An Effective Data Dissemination in Vehicular Ad-Hoc Network,» *Information Networking Towards Ubiquitous Networking and Services. Springer*, pp. 295-304, 2008.
- [80] L. A. Villas, A. Boukerche, R. B. de Araujo y A. F. Loureiro, «Network partition-aware geographical data dissemination,» *Communications (ICC), 2013 IEEE International Conference on IEEE*, pp. 1439-1443, 2013.
- [81] A. T. Akabane, L. A. Villas y E. R. Mauro, «GTO: A Broadcast Protocol for Highway Environments over Diverse Traffic Conditions,» *2014 IEEE 13th International Symposium on Network Computing and Applications*, pp. 37-40, 2014.
- [82] R. S. Schwartz, R. R. Barbosa, N. Meratnia y . G. Heijenk, «A directional data dissemination protocol for vehicular environments,» *Computer Communications*, vol. 34, no. 17, pp. 2057–, vol. 34, n° 17, pp. 2057-2071, 2011.
- [83] T. Akabane, A. T. Villas, L. A. Villas y E. R. Medeira, «Data dissemination in highway scenarios using car-to-car communication,» *Connected Vehicles and Expo (ICCVE), 2013*

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

International Conference on. IEEE, pp. 761-766, 2013.

- [84] ns-3, «Discrete-event network simulator,» 2011. [En línea]. Available: https://www.nsnam.org/docs/release/3.8/doxygen/classns3_1_1aodv_1_1_rreq_header.html.
- [85] ns-3, «A Discrete-Event Network Simulator,» 2011. [En línea]. Available: https://www.nsnam.org/doxygen/classns3_1_1aodv_1_1_rrep_ack_header.html.
- [86] ns-3, «A Discrete-Event Network Simulator,» [En línea]. Available: https://www.nsnam.org/doxygen/classns3_1_1aodv_1_1_rrep_header.html.
- [87] ns-3, «Discrete-event network simulator,» 2011. [En línea]. Available: https://www.nsnam.org/doxygen/classns3_1_1aodv_1_1_rerr_header.html.
- [88] O. K. Tonguz, N. Wisitpongphan y F. Bai, «DV-CAST: A DISTRIBUTED VEHICULAR BROADCAST PROTOCOL FOR VEHICULAR AD HOC NETWORKS,» *IEEE Wireless Communications*, pp. 47-56, 2010.
- [89] B. Yuanguo y e. poveda, «A Multi-Hop Broadcast Protocol for Emergency Message Dissemination in Urban Vehicular Ad Hoc Networks,» *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 17, n° 3, pp. 736-750, 2016.
- [90] ZHOU, J., SUN, J., ATHUKORALA, K., WIJEKON, D., AND YLIANTTILA, M. Pervasive social computing: augmenting five facets of human intelligence. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* 3, 2 (2012), 153–166.
- [91] J. Liu, Z. Yang y I. Stojmenovic, «Receiver Consensus: On-Time Warning Delivery for Vehicular Ad-Hoc Networks,» *IEEE Emerging Topics in Computing*, vol. 1, n° 1, pp. 57-68, 2013.
- [92] L. Zhang, B. Hassanabadi y S. Valaee, «Cooperative Positive Orthogonal Code-Based Forwarding for Multi-Hop Vehicular Networks,» *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 13, n° 7, pp. 3914-3925, 2014.
- [93] B. Hassanabadi y S. Valaee, «Reliable Periodic Safety Message Broadcasting in VANETs Using Network Coding,» *IEEE Transactions on wireless communications*, vol. 13, n° 3, pp. 1284-1297, 2014.
- [94] A. D. Ghodrati y L. Mohammadkhanli, «A New Cluster-Based Efficient Broadcast Algorithm for Alert Message Dissemination in VANETs,» *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, vol. 4, pp. 1235-1244, 2013.
- [95] J. Wu, «Engineering the Virtual Node Layer for Reactive MANET Routing,» *Network Computing and Applications (NCA), 2011 10th IEEE International Symposium*, pp. 131-138, 2011.
- [96] M. Yuming, «Research on Monte Carlo localization for three-dimension mobile wireless sensor network,» *Cyberspace Technology (CCT 2014)*, pp. 1-4, 2014.
- [97] B. Ghai, «Energy efficient dynamic nearest node election for localizations of mobile node in wireless sensor networks,» *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICIC)*, pp. 1-5, 2015.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [98] S. Kumar, S. Tiwari y R. Hegde, «Greedy node localization in mobile sensor networks using Doppler frequency shift,» *49th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, pp. 199-203, 2015.
- [99] D. G. J.M García, Evaluación de Protocolos de Encaminamiento para redes Vehhiculares (VANET), Sevilla: Proyecto de Fin de carrera de Ingeniería Electrónica, 2014.
- [100] C. G. a. G. -C. R. R. Handorean, «Accommodating Transient Connectivity in Ad-Hoc and Mobile Settings,» *Pervasive Computing (PERVASIVE '04)*, pp. 305-322, 2014.
- [101] L. A. Caldas y J. C. Zaruma, «Implementación de un ambiente de simulación basado en Software Libre para el Estudio de la provisión de Servicios de Comunicaciones en Redes Vehiculares Ad hoc mediante Uso de Nodos Virtuales,» *Tesis previa a la obtención del Título de:Ingeniero Electrónico*, pp. 1-152, 2013.
- [102] M. E. Nowatkowski, «CRL Distribution in VANETs using ns-3,» *Georgia Tech, Colelge of engineering "School of Electrical and Computer Enineering"*, p. 24, 2010.
- [103] Y.-D. Chen, Y.-P. Shih y K.-P. Shih, «An Emergency Message Dissemination Protocol using N-way Search with Power Control for VANETs,» *IEEE ICC-Mobile and Wireless Networking Symposium*, pp. 3653 - 3658, 2015.
- [104] O. Obaidar, M. Ali, I. Shahwan, S. Obeidar y A. Toce, «Dynamic Suppression Broadcast scheme for vehicle Ad hoc networks (VANET),» *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (Wicom)*, pp. 589-592, 2014.
- [105] C. Suthaputchakun, M. Dianati y Z. Sun, «Trinary Partitioned Black-Burst-Based Broadcast Protocol for Time-Critical Emergency Message Dissemination in VANETs,» *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 63, nº 6, pp. 2926-2940, 2014.
- [106] J. WU, A Simulation Study on Using the Virtual Node Layer to Implement Efficient and reliable MANET protocols, New York: Universidad de New York, 2011, pp. 131-138.
- [107] J. H. R. H. F. V. Nishith D. Tripathi, Radio Resource Management in Cellular Systems, New York: Kluwer Academic Publishers, 2006.