

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Análisis de Simulación de Comunicación Vehículo a Vehículo(V2V) en
escenarios urbanos basados en Protocolo AODV

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

Jefferson Gustavo Suárez Pilozo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2025

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo, en primer lugar, a Dios por brindarme salud y llenarme de sabiduría, a mi querida esposa Elizabeth por el apoyo brindado en este proceso, su amor, ternura, su tiempo, comprensión, y por confiar siempre en mis capacidades. A mi querido hijo Jerack, por ser la razón diaria de esforzarme, superarme cada día y así poder brindarle un futuro próspero.

Jefferson Suárez Pilozo

AGRADECIMIENTOS

Agradecido siempre con Dios por la hermosa familia paciente que me brindo, que han creído en mí en cada meta que me he propuesto, gracias también a la universidad ESPOL por acogerme en sus aulas brindándome la mejor formación académica posible, consolidando las bases teóricas que servirán de mucha ayuda en mi futuro campo laboral.

Jefferson Suárez Pilozo

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me(nos) corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Jefferson Gustavo Suárez Pilozo* doy(damos) mi(nuestro) consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Autor

EVALUADORES

.....
Phd. Francisco Novillo

PROFESOR EVALUADOR

.....
Msc. Washington Medina

PROFESOR EVALUADOR

RESUMEN

El propósito fundamental de este componente práctico de titulación es llevar a cabo un análisis simulando la comunicación entre vehículos (V2V) en entornos urbanos utilizando el protocolo AODV. Se busca evaluar cómo las redes vehiculares pueden contribuir a mejorar la seguridad vial, optimizar el flujo vehicular y disminuir la congestión en áreas urbanas. Mediante la simulación de redes V2V, se estudia el rendimiento del protocolo AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector), opera como un enrutamiento reactivo que permite establecer rutas de comunicación de manera eficiente en redes móviles y dinámicas. Se usarán redes Ad-Hoc Vehiculares considerando densidad vehicular, se implementa en un simulador de red llamado OMNET ++ y un simulador de tráfico denominado SUMO que permite visualizar de manera realista la movilidad de los vehículos mostrando cada uno de los mensajes del protocolo antes mencionado al momento de comunicarse entre sí. El estudio también considera los retos específicos de las ciudades, como la alta densidad vehicular y los obstáculos físicos, que pueden afectar la calidad de la comunicación entre vehículos. Los resultados de la simulación proporcionan una perspectiva crítica sobre cómo este protocolo otorga una mejora inteligente en los sistema de transporte, contribuir a la disminución de accidentes y promover la optimización del consumo energético, apoyando así la sostenibilidad urbana y en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Palabras Clave: Protocolo AODV, movilidad, simulador de tráfico, transporte inteligente.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL	II
ABREVIATURAS.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	4
1.3 Importancia del Estudio	7
1.4 Objetivos	9
1.4.1 Objetivo General.....	9
1.4.2 Objetivos Específicos.....	9
1.4.3 Desarrollo sostenible	10
1.5 Marco teórico.....	12
CAPÍTULO 2.....	18
2. Metodología	18
2.1 INFRAESTRUCTURA DEL DISEÑO.....	18
2.1.1 Elementos de la Infraestructura	18
2.1.2 Componentes del Diseño de la Red V2V.....	19
2.1.3 Simuladores.....	19
2.2 INTEGRACION DE SOFTWARE Y MODELAJE.....	21
CAPÍTULO 3.....	27
3. Resultados Y ANÁLISIS	27
3.1 Métricas.....	27

3.2	Resultados Obtenidos por nodo	27
CAPÍTULO 4.....		35
4.	Conclusiones Y Recomendaciones	35
4.1	Conclusiones.....	35
4.2	Recomendaciones.....	35
BIBLIOGRAFÍA.....		37
5.	Bibliografía.....	37

ABREVIATURAS

A continuación, se presenta una lista de las abreviaturas empleadas en el siguiente análisis de la simulación de comunicación vehículo a vehículo (V2V) en escenarios urbanos basados en el protocolo AODV:

- **V2V: Vehicle-to-Vehicle (Vehículo a Vehículo)**

Comunicación entre vehículos en una red vehicular, en la que los vehículos pueden intercambiar información sobre su ubicación, velocidad, dirección y condiciones del tráfico.

- **AODV: Ad hoc On-demand Distance Vector**

Protocolo para redes ad hoc de enrutamiento reactivo, diseñado para crear rutas dinámicas entre los nodos de la red solo cuando se requieren. En este estudio, se emplea para simular redes de comunicación entre vehículos (V2V).

- **DSRC: Dedicated Short Range Communication**

Comunicación inalámbrica de corto alcance dedicada, utilizada en aplicaciones de redes vehiculares para transmitir información entre vehículos e infraestructura cercana, como semáforos o señales de tráfico.

- **VANETs: Vehicular Ad-hoc Networks**

Las redes vehiculares ad hoc facilitan la comunicación tanto entre vehículos como entre vehículos y las infraestructuras urbanas. Estas redes son fundamentales para la aplicación de tecnologías de transporte inteligente.

- **C-V2X: Cellular Vehicle-to-Everything**

Protocolo de comunicación celular para vehículos que facilita la interacción entre los vehículos y la infraestructura urbana mediante redes celulares, mejorando la conectividad en las redes V2V.

- **ITS: Intelligent Transport Systems**

Los sistemas de transporte inteligentes emplean tecnologías de comunicación para procesar en tiempo real los datos aumentando la eficiencia y la seguridad del tráfico urbano.

- **RREQ: Route Request (Solicitud de Ruta)**

Mensaje enviado por un nodo en una red ad hoc, como AODV, para solicitar una ruta hacia un destino. Este mensaje es parte del proceso para establecer una nueva ruta en redes vehiculares.

- **RREP: Route Reply (Respuesta de Ruta)**

Respuesta proporcionada por un nodo que posee la ruta hacia el destino solicitado en el mensaje RREQ. Esta respuesta permite establecer en una red ad hoc la ruta de comunicación entre ellos.

- **ODR: On-Demand Routing (Enrutamiento Bajo Demanda)**

Los paquetes de datos son enrutados en una red ad hoc únicamente cuando es requerido, como ocurre con el protocolo AODV, que crea rutas únicamente cuando un vehículo necesita transmitir información.

- **MAC: Medium Access Control (Control de Acceso al Medio)**

Capa de control en el modelo OSI que regula el acceso al medio de comunicación en redes inalámbricas, como las utilizadas en redes vehiculares. Se encarga de evitar colisiones de datos entre vehículos.

- **PHY: Physical Layer (Capa Física)**

La Capa considerada más baja en el modelo OSI cuya función es transmitir físicamente los datos, incluyendo el tipo de señal, la frecuencia y la potencia de transmisión.

- **NLOS: Non-Line of Sight (No Línea de Vista)**

Se refiere a una situación en la que las señales de comunicación no pueden viajar en línea recta entre dos puntos debido a obstáculos (como edificios o vehículos), lo que puede afectar la calidad de la comunicación V2V.

- **LOS: Line of Sight (Línea de Vista)**

La comunicación puede ocurrir directamente entre dos vehículos sin obstáculos interpuestos. Es opuesto a los NLOS.

- **QoS: Quality of Service (Calidad de Servicio)**

Conjunto de métodos que aseguran el desempeño óptimo de las redes en aspectos como latencia, ancho de banda y fiabilidad. En el análisis de V2V, resulta crucial garantizar que la red proporcione una alta calidad de servicio para prevenir la pérdida de paquetes y asegurar una comunicación eficaz.

- **WAVE: Wireless Access in Vehicular Environments**

Especificación para las comunicaciones en redes vehiculares, basada en el estándar IEEE 802.11p, que permite la transmisión de datos de manera eficiente entre vehículos e infraestructura en entornos urbanos.

- **MAC-ID: Media Access Control Identifier**

Identificador único de una interfaz de comunicación en la capa MAC de un dispositivo, como un vehículo, que es necesario para el enrutamiento y la identificación dentro de una red V2V.

- **RSSI: Received Signal Strength Indicator**

Indicador que mide la potencia recibida por la señal, utilizado para evaluar la calidad de la comunicación inalámbrica entre vehículos en redes V2V.

- **MIMO: Multiple Input Multiple Output**

Tecnología que emplea varias antenas para optimizar la eficiencia en la transmisión de datos en redes inalámbricas, como las utilizadas en las comunicaciones V2V.

- **SDN: Software-Defined Networking**

Tecnología que permite controlar y gestionar redes de manera centralizada a través de software, lo que puede ser útil en redes vehiculares para optimizar la gestión del tráfico de datos y la asignación de recursos.

Estas abreviaturas son claves para entender los aspectos técnicos y operativos de la comunicación vehículo a vehículo en escenarios urbanos, y su correcta utilización permitirá una mejor comprensión y análisis del estudio en cuestión.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Comunicación V2V	13
Figura 1.2 Comunicación V2V vs CV2X	14
Figura 1.3 Red Vanet sin infraestructura intermedia	15
Figura 2.1 IDE software OMNET	20
Figura 2.2 Integración OMNET++ e INET	21
Figura 2.3 Módulo RoutingSceneario	22
Figura 2.4 Componente del sub modulo radio Medium	22
Figura 2.5 Componente del submodulo Node	23
Figura 2.6 Inicio simulación implementación protocolo AODV	24
Figura 2.7 Protocolo AODV entre dos nodos.....	24
Figura 2.8 Protocolo AODV entre tres nodo	25
Figura 2.9 Protocolo AODV entre 6 nodos	25
Figura 2.10 Procotolo AODV con 8 nodos.....	26
Figura 3.1 Paquetes recibidos/enviados nodo 0.....	28
Figura 3.2 Paquetes recibidos/enviados nodo 1	28
Figura 3.3 Paquetes recibidos/enviados nodo 2.....	29
Figura 3.4 Paquetes recibidos/enviados nodo 3.....	29
Figura 3.5 Paquetes enviados/recibidos nodo 4.....	30
Figura 3.6 Paquetes enviados/recibidos nodo 5.....	30
Figura 3.7 Paquetes enviados/recibidos nodo 6.....	31
Figura 3.8 Paquetes enviados/recibidos nodo 7.....	31
Figura 3.9 Paquetes enviados/recibidos nodo 8.....	32
Figura 3.10 Comunicación loopback constante de transferencia de datos.....	33
Figura 3.11 Paquet Error Rate nodo 0.....	33
Figura 3.12 PaquetDrop en capa MAC nodo 1, 3, 5 y 8.	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Mensajes enrutamiento AODV con 8 nodos.....	26
---	----

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El avance de las tecnologías de comunicación inalámbrica ha hecho posible el desarrollo de redes vehiculares, que se han consolidado como una de las soluciones más efectivas para optimizar la seguridad vial y movilidad en entornos urbanos. En particular, la comunicación entre vehículos (V2V) se destaca como una herramienta fundamental para la interacción directa entre vehículos sin la necesidad de una infraestructura centralizada, lo que facilita un intercambio fluido de información en tiempo real, como ubicación, velocidad, dirección y condiciones del entorno de cada vehículo. Esta capacidad de compartir datos de manera eficiente entre vehículos tiene un impacto significativo en el progreso de la seguridad en las vías, la disminución de accidentes y reducir la congestión del tráfico y, finalmente, con una mejor calidad del aire mediante la promoción de rutas más eficientes.

La implementación de la comunicación V2V, sin embargo, presenta varios desafíos técnicos y operativos, especialmente en entornos urbanos caracterizados por una alta densidad de vehículos, infraestructura compleja y una constante variabilidad en las condiciones del tráfico. Uno de los factores determinantes para el resultado favorable de estos sistemas es la elección de los protocolos de comunicación que permitan una transmisión de datos rápida, confiable y eficiente. Uno de los protocolos más investigados en el ámbito de las redes vehiculares (VANETs) es el AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector), protocolo de enrutamiento reactivo que permite la generación de rutas dinámicas y bajo demanda entre vehículos. AODV es particularmente adecuado para redes móviles como las vehiculares debido a su capacidad para adaptarse a los cambios invariables de las formas adaptativas de la red, característica inherente al movimiento de los vehículos.

El protocolo AODV ha demostrado ser eficaz en diversas situaciones, pero su desempeño puede verse afectado por diversos factores que caracterizan los entornos urbanos. La densidad vehicular, la interferencia de señal causada por edificios y otros obstáculos, la variabilidad de las condiciones del tráfico y la movilidad no predecible de los vehículos son algunos de los factores que pueden influir en la eficiencia de la comunicación entre vehículos. Además, los entornos urbanos

presentan un desafío adicional debido a la diversidad de dispositivos y aplicaciones que hacen uso de la misma infraestructura de comunicaciones, lo que podría generar congestión en el espectro de comunicación y afectar la calidad del servicio de las redes vehiculares.

El propósito de este componente práctico es analizar la simulación de comunicación V2V en entornos urbanos utilizando el protocolo AODV, para evaluar su desempeño bajo diversas condiciones de tráfico y entorno. Mediante simulaciones detalladas, se examinarán diferentes parámetros de rendimiento, como la latencia en la creación de rutas, la utilidad general en la red en términos de transmisión de datos, la fiabilidad del protocolo en situaciones de alta densidad vehicular y su capacidad de adaptación a los cambios dinámicos del entorno urbano.

Este análisis busca proporcionar una comprensión más profunda de cómo el protocolo AODV se comporta en entornos urbanos reales, lo que permitirá identificar sus fortalezas y limitaciones. Los resultados obtenidos serán valiosos para el diseño de redes vehiculares más robustas, escalables y eficientes, contribuyendo a la creación de ciudades inteligentes donde la integración de los vehículos con la infraestructura urbana sea una realidad que permita una movilidad más segura y eficiente. Asimismo, este estudio proporcionará una base para investigaciones futuras sobre la mejora de protocolos de enrutamiento y la adopción de tecnologías emergentes en redes vehiculares.

1.1 Descripción del problema

El acelerado desarrollo de urbanización junto al aumento de la población global ha ocasionado un considerable aumento en el número de vehículos en las ciudades. Este incremento en la densidad vehicular ha generado diversos desafíos relacionados con la movilidad, la seguridad y la sostenibilidad urbana. Las ciudades actuales se enfrentan a problemas como la congestión del tráfico, accidentes frecuentes, emisiones contaminantes y la necesidad constante de mejorar el uso de las infraestructuras de transporte disponibles. A medida que los vehículos se vuelven más inteligentes, conectados y autónomos, la comunicación vehículo a vehículo (V2V) se posiciona como una solución crucial para enfrentar estos problemas y mejorar la eficiencia del tráfico urbano.

La comunicación V2V permite que los vehículos intercambien información en tiempo real sobre su velocidad, ubicación, dirección y el entorno en el que se encuentran, lo que podría mejorar la seguridad vial y facilitar una conducción más fluida. Sin embargo, la implementación de redes V2V en entornos urbanos presenta una serie de problemas técnicos y operativos que deben ser superados para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro de estas redes.

Uno de los desafíos más importantes es el desarrollo y la mejora de los protocolos de comunicación en las redes vehiculares. El protocolo AODV ha sido utilizado extensamente en estas redes debido a su habilidad para crear rutas de forma dinámica y bajo demanda, lo que resulta especialmente útil en redes móviles como las vehiculares, donde la topología de la red cambia de manera constante debido al desplazamiento de los vehículos. A pesar de sus ventajas, AODV enfrenta limitaciones cuando se aplica en escenarios urbanos debido a factores como la alta densidad de vehículos, la interferencia causada por obstáculos como edificios y otras estructuras urbanas, y la variabilidad del tráfico y la movilidad.

En entornos urbanos, la comunicación V2V puede verse seriamente afectada por varios factores. La densidad vehicular alta puede provocar congestión en la red, aumentando la latencia y la posibilidad de pérdidas de paquetes. Las rutas establecidas por AODV pueden volverse inestables debido a la modificación rápida en la topología de la red, lo que podría llevar a una degradación en la calidad de la comunicación. La presencia de obstáculos urbanos, como edificios y túneles, también puede generar interferencias significativas en las señales de comunicación, afectando la cobertura y la fiabilidad de las conexiones entre vehículos. Estos problemas se ven amplificados en escenarios con tráfico denso, donde la movilidad de los vehículos es impredecible y las rutas de comunicación pueden volverse ineficientes debido a la falta de visibilidad directa entre los vehículos.

Además, el protocolo AODV, al ser un protocolo reactivo, puede no ser lo suficientemente rápido para establecer rutas en condiciones de tráfico dinámico o congestionado, lo que puede generar una latencia elevada y afectar la sincronización en la transmisión de datos críticos. La interacción entre vehículos y la infraestructura urbana, como semáforos inteligentes o sensores de tráfico, agrega otra capa de

complejidad, ya que la red V2V debe ser capaz de integrar estos datos externos para tomar decisiones informadas en tiempo real.

Dado que la comunicación V2V tiene el potencial de transformar los sistemas de transporte urbano, es crucial entender cómo se comportan los protocolos de enrutamiento como AODV en condiciones urbanas reales. Si bien existen investigaciones previas sobre redes vehiculares, la mayoría de los estudios se han centrado en entornos rurales o interurbanos, dejando una brecha en el análisis de su rendimiento en escenarios urbanos altamente dinámicos y congestionados. Esto resalta la necesidad de realizar estudios que aborden específicamente los desafíos del entorno urbano y la evaluación de protocolos como AODV para identificar sus limitaciones, optimizar su rendimiento y garantizar su fiabilidad en condiciones del mundo real.

En conclusión, la implementación de redes V2V en escenarios urbanos es una tarea compleja debido a la variedad de factores que pueden afectar el desempeño de la comunicación entre vehículos. Los protocolos de enrutamiento como AODV deben ser evaluados y adaptados para enfrentar los desafíos que presenta la infraestructura urbana, la alta densidad vehicular y las condiciones dinámicas de los entornos urbanos. Este estudio busca contribuir a una mejor comprensión de cómo AODV se desempeña en estos escenarios y qué mejoras son necesarias para asegurar que las redes V2V puedan desempeñar su papel en la construcción de ciudades más inteligentes y seguras.

1.2 Justificación del problema

El análisis de la simulación de comunicación vehículo a vehículo (V2V) en escenarios urbanos basados en el protocolo AODV es un estudio esencial debido a la creciente necesidad de perfeccionar la movilidad urbana, vías más seguras y la sostenibilidad en las ciudades. A

Las ciudades están experimentando un crecimiento acelerado en términos de población y vehículos, lo que genera una presión constante sobre las infraestructuras de transporte existentes. La implementación de sistemas inteligentes de transporte (ITS) es una solución prometedora para gestionar de manera eficiente el tráfico y mejorar la seguridad en áreas urbanas. El protocolo AODV, al ser reactivo y

adaptarse a redes vehiculares altamente móviles, permite una gestión de las rutas más eficiente, lo cual es esencial en entornos urbanos densos donde la infraestructura está en constante cambio. Este estudio busca evaluar la viabilidad de AODV para el enrutamiento eficiente en redes vehiculares, contribuyendo así a la creación de una infraestructura más resiliente y optimizada.

En los escenarios urbanos, las características específicas del entorno, como la alta densidad de vehículos, los obstáculos físicos (edificios, puentes) y la interferencia electromagnética, representan desafíos significativos para las redes V2V. Estos factores dificultan la transmisión de datos de manera fiable entre vehículos. A pesar de que existen protocolos de enrutamiento en redes vehiculares, la aplicabilidad de AODV en entornos urbanos complejos sigue siendo insuficientemente analizada. Este estudio tiene como objetivo llenar ese vacío y proporcionar una evaluación rigurosa sobre cómo el protocolo AODV maneja las dificultades inherentes a los escenarios urbanos, con el fin de determinar su efectividad y eficiencia en la comunicación V2V.

En las ciudades, los accidentes de tráfico y las situaciones de emergencia son comunes y a menudo provocan grandes pérdidas humanas y materiales. La comunicación en tiempo real entre vehículos es crucial para alertar a los conductores sobre posibles peligros o cambios repentinos en las condiciones de la carretera. Al analizar cómo el protocolo AODV maneja la creación dinámica de rutas bajo demanda, este estudio busca optimizar el tiempo de respuesta en situaciones de emergencia, reduciendo así los tiempos de reacción y potencialmente salvando vidas. Esto es especialmente relevante en zonas urbanas densamente pobladas, donde las condiciones del tráfico cambian constantemente y los vehículos deben adaptarse rápidamente a nuevas rutas para evitar accidentes.

Una fuente elemental de consumo energético y emisiones de CO₂ en las ciudades es el transporte. Mejorar la optimización de las rutas y gestionar de manera eficiente las comunicaciones son factores esenciales para disminuir constantes contaminaciones y sobre todo el consumo de combustible. En este sentido, la simulación de la comunicación V2V utilizando el protocolo AODV puede ofrecer soluciones para acortar los tiempos de viaje y mejorar el rendimiento de las redes vehiculares. Este estudio aporta en la eficiencia del buen uso de los recursos de la

red y a la disminución de valores operativos de las infraestructuras de transporte, mediante el buen rendimiento de los protocolos de enrutamiento.

Es así que, las redes V2V son fundamentales para el avance de los vehículos autónomos, ya que estos dependen de la habilidad que disponen para cambiar información entre junto con la infraestructura urbana. Los protocolos de enrutamiento como AODV pueden mejorar la comunicación en tiempo real entre vehículos autónomos, lo que es crucial para una conducción segura y eficiente. Este estudio se justifica porque proporciona información valiosa sobre cómo mejorar la comunicación entre vehículos en escenarios urbanos, lo que es un paso fundamental en la transición hacia sistemas de transporte completamente autónomos y más seguros.

Si bien existen protocolos establecidos para redes vehiculares, muchos de estos se han probado en entornos más controlados o rurales. La aplicación de estos protocolos en entornos urbanos, donde la topología de la red es más dinámica y sujeta a cambios rápidos, requiere un análisis más exhaustivo. Este estudio justifica la necesidad de realizar una simulación exhaustiva para evaluar cómo el protocolo AODV puede mantenerse eficiente, fiable y escalable en un entorno urbano congestionado. La optimización del uso del espectro y la capacidad de adaptación del protocolo AODV serán cruciales para garantizar que las redes vehiculares urbanas puedan manejar grandes volúmenes de datos sin afectar su rendimiento.

En resumen, este estudio está justificado por la necesidad urgente de mejorar la eficiencia del transporte urbano, reducir los accidentes de tráfico y minimizar el impacto ambiental asociado con las emisiones del sector. La investigación sobre el uso del protocolo AODV en redes V2V en entornos urbanos permite identificar soluciones a problemas críticos, como la optimización del flujo de tráfico, la mejorar la seguridad vial y la creación de infraestructuras sobre transporte más inteligentes y sostenibles. A medida que las ciudades continúan creciendo y la tecnología avanza, este estudio proporcionará bases sólidas para el diseño e implementación de soluciones de transporte inteligentes que beneficien a la sociedad en su conjunto [1].

1.3 Importancia del Estudio

El estudio de la simulación de la comunicación vehículo a vehículo (V2V) en escenarios urbanos, utilizando el protocolo Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV), es de gran relevancia en el contexto actual de urbanización creciente, movilidad inteligente y sostenibilidad. La importancia de este estudio radica en varios aspectos clave que afectan directamente la calidad de vida en las ciudades, la eficiencia del transporte y la seguridad vial.

Este estudio permite mejorar la seguridad vial y prevenir accidentes. La comunicación V2V tiene un impacto directo en la reducción de accidentes de tráfico al permitir que los vehículos intercambien información sobre su posición, velocidad y entorno en tiempo real. Esta comunicación facilita la toma de decisiones más rápidas y precisas, como la alerta de posibles colisiones, frenadas automáticas y cambios de carril, lo que puede evitar accidentes y salvar vidas. Estudiar el rendimiento de AODV en escenarios urbanos permite identificar las condiciones bajo las cuales este protocolo es más eficaz para garantizar que la información crítica se transmita de manera oportuna, mejorando la seguridad en zonas de alta densidad vehicular.

Por otra parte, da paso a la optimización del tráfico y reducción de la congestión. En las ciudades, la congestión del tráfico es uno de los problemas más persistentes, provocando no solo pérdidas de tiempo y recursos, sino también un aumento en las emisiones contaminantes. El análisis de protocolos de comunicación V2V, como AODV, permite que los vehículos coordinen sus movimientos y tomen decisiones más inteligentes en tiempo real. Esto podría resultar en una optimización del flujo de tráfico, la disminución de atascos y el aprovechamiento más eficiente de las infraestructuras de transporte. La simulación y análisis de AODV en entornos urbanos contribuirá a identificar sus fortalezas y limitaciones para crear redes de vehículos más eficientes.

En cuanto al desarrollo urbanístico, permite el desarrollo de ciudades inteligentes. Este concepto de ciudades inteligentes se basa en la integración de tecnologías avanzadas para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, optimizar los recursos

y aumentar la sostenibilidad. Las redes V2V son una de las piedras angulares de estas ciudades inteligentes, ya que permiten una interconexión eficiente entre vehículos, infraestructuras y otros dispositivos urbanos. Este estudio es fundamental para entender cómo los protocolos de enrutamiento, como AODV, pueden desempeñar un papel crucial en la creación de redes vehiculares urbanas, interoperando con sistemas de transporte inteligentes, semáforos inteligentes, sensores de tráfico y otros elementos urbanos. A través de la simulación, se podrán obtener datos valiosos para el diseño de políticas y soluciones tecnológicas que promuevan una movilidad más eficiente y sostenible.

Adicionalmente, da paso al desarrollo de protocolos de enrutamiento más robustos y eficientes. Aunque AODV ha demostrado ser eficaz en redes vehiculares en escenarios más simples, su desempeño en entornos urbanos densos y dinámicos necesita ser evaluado de manera más profunda. Este estudio proporcionará información crucial sobre las limitaciones y el comportamiento de AODV en condiciones reales, lo que permitirá proponer mejoras y adaptaciones del protocolo para maximizar su rendimiento en situaciones urbanas. Los resultados de esta investigación podrían contribuir al desarrollo de protocolos de enrutamiento más robustos, capaces de enfrentar los desafíos de la movilidad urbana moderna, como la alta velocidad de cambio en la topología de la red y la interferencia provocada por obstáculos urbanos.

En cuanto a su impacto ambiental, este tipo de sistemas permite la reducción de la huella de carbono. La congestión del tráfico no solo genera molestias y pérdidas económicas, sino que también tiene un impacto significativo en el medio ambiente debido a las emisiones contaminantes de los vehículos. Al optimizar las rutas y mejorar la comunicación entre vehículos mediante tecnologías V2V, es posible reducir el tiempo de conducción y, por ende, las emisiones de gases contaminantes. Un estudio detallado de cómo el protocolo AODV puede mejorar la eficiencia de la comunicación y el flujo de tráfico en entornos urbanos contribuirá a la reducción de la huella de carbono en las ciudades, alineándose con los objetivos globales de sostenibilidad y protección del medio ambiente.

Finalmente, este estudio no solo tiene importancia en el contexto práctico de las ciudades inteligentes, sino también en el ámbito académico y científico. Al abordar los problemas específicos que plantea la implementación de V2V en entornos urbanos, el estudio contribuirá a la expansión del conocimiento sobre redes vehiculares y protocolos de comunicación. Los resultados obtenidos podrían abrir nuevas líneas de investigación sobre la optimización de protocolos de enrutamiento en redes móviles altamente dinámicas, lo que beneficiará a futuras investigaciones y el desarrollo más avanzado de tecnologías en el campo de la conectividad vehicular.

En conclusión, el valor de este componente práctico radica en su habilidad para abordar problemas reales que impactan a las ciudades actuales y el transporte urbano. Evaluar y optimizar el rendimiento de protocolos como AODV en la comunicación V2V no solo potenciará la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad del transporte, sino que también apoyará el desarrollo de soluciones tecnológicas que serán fundamentales en las ciudades inteligentes del futuro.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar un modelo de simulación para la comunicación V2V en un entorno urbano con densidad de vehículos, evaluando la efectividad de diferentes protocolos de comunicación y modelos de propagación.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Modelar módulos para vehículos, canales de comunicación y el entorno, utilizando herramientas como OMNET++ y SUMO para simular el tráfico denso y la movilidad realista
- Implementar modelos V2V utilizando el protocolo AODV, en el contexto de alta densidad vehicular.

- Definir eventos para la transmisión, recepción y colisión de mensajes, y medir métricas clave como la tasa de entrega, latencia y tasa de error de paquetes.

1.4.3 Desarrollo sostenible

El estudio sobre el análisis de la simulación de comunicación vehículo a vehículo (V2V) en escenarios urbanos basados en protocolos AODV se encuentra estrechamente relacionado con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 2015. Los ODS son un conjunto de 17 objetivos globales para abordar los principales problemas que enfrenta la humanidad en áreas como el cambio climático, la pobreza, la salud, la educación y la sostenibilidad.

A continuación, se presentan los ODS más relevantes con los que se relaciona este estudio:

ODS 9: Industria, innovación e infraestructura

Este ODS se centra en la construcción de infraestructuras resilientes, la promoción de la industrialización inclusiva y sostenible, y el fomento de la innovación. El estudio de la comunicación V2V en entornos urbanos implica el uso de tecnologías innovadoras y el desarrollo de infraestructuras de transporte inteligentes, lo que contribuye al avance de la industria automotriz y las infraestructuras urbanas inteligentes. La investigación sobre protocolos de enrutamiento como AODV también fomenta la innovación en la optimización de redes de comunicación vehicular.

ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles

Este objetivo busca hacer que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. La implementación de sistemas de comunicación V2V juega un papel clave en la creación de ciudades inteligentes, donde los vehículos pueden comunicarse entre sí y con la infraestructura urbana (como semáforos y sensores de tráfico),

mejorando la movilidad y reduciendo la congestión del tráfico. Esto contribuye a la sostenibilidad urbana, la reducción de las emisiones de CO2 y la mejora de la calidad de vida en las ciudades.

ODS 13: Acción por el clima

La optimización del flujo de tráfico y la reducción de la congestión mediante el uso de tecnologías V2V contribuye a la disminución de las emisiones de gases contaminantes de los vehículos. Este ODS se enfoca en la necesidad de tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. La mejora de la eficiencia en el transporte y la reducción de las emisiones vehiculares son pasos importantes hacia la mitigación del cambio climático.

ODS 7: Energía asequible y no contaminante

La mejora de la eficiencia en los sistemas de transporte mediante la comunicación V2V puede contribuir a una reducción del consumo de combustible y, por lo tanto, a una menor huella de carbono del sector del transporte. Esto está alineado con el ODS 7, que busca garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles en el sector del transporte.

ODS 12: Producción y consumo responsables

Este objetivo tiene como meta asegurar modalidades de consumo y producción sostenibles. El uso eficiente de los recursos de comunicación y la optimización de las rutas en las redes V2V permiten un consumo más eficiente de los recursos energéticos y de infraestructura, minimizando los desperdicios y promoviendo un uso más racional y responsable de los recursos disponibles.

ODS 17: Alianzas para lograr los objetivos

La colaboración entre diversos actores, como autoridades gubernamentales, empresas tecnológicas y universidades, es fundamental

para el desarrollo de soluciones efectivas en comunicación V2V y la implementación de redes vehiculares inteligentes. El ODS 17 promueve la cooperación global para alcanzar los ODS, y la investigación en redes V2V puede ser un ejemplo de cómo la colaboración interinstitucional y multidisciplinaria contribuye al progreso hacia los objetivos globales.

El estudio sobre la simulación de la comunicación vehículo a vehículo en escenarios urbanos con el protocolo AODV no solo aborda desafíos técnicos relacionados con el enrutamiento de datos en redes vehiculares, sino que también tiene un impacto directo en varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Al mejorar la seguridad vial, optimizar el flujo de tráfico, reducir las emisiones de CO₂ y fomentar la innovación tecnológica, este estudio contribuye al avance de las ciudades sostenibles, la salud pública y la lucha contra el cambio climático, lo que resalta la importancia de integrar tecnologías inteligentes en la infraestructura urbana.

1.5 Marco teórico

En el contexto de las ciudades modernas, el avance de las tecnologías ha llevado a la implementación de sistemas avanzados de transporte, donde la comunicación vehículo a vehículo (V2V) desempeña un rol fundamental en tener vías más seguras, la optimización del tráfico y la sostenibilidad en el transporte.. Para entender cómo se implementan estas tecnologías en entornos urbanos, es necesario explorar algunos de los conceptos clave y protocolos que facilitan esta interacción entre vehículos. A continuación, se desarrolla el marco teórico relacionado con el protocolo AODV, las redes vehiculares (VANETs) y su aplicación en entornos urbanos.

Comunicación vehículo a vehículo

El sistema V2V permite el intercambio inalámbrico de información entre vehículos, facilitando la transmisión en tiempo real de datos como ubicación, velocidad, dirección y las condiciones del entorno. El intercambio de información entre vehículos les permite coordinar sus desplazamientos, lo que contribuye a mejorar tanto la

seguridad como la eficiencia del tráfico. En la figura 1.1 a continuación se presenta un ejemplo de Comunicación V2V.

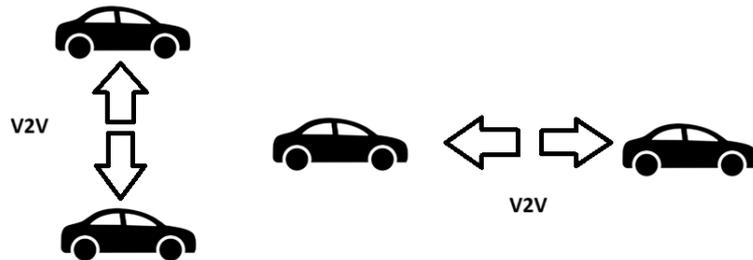


Figura 1.1 Comunicación V2V

La comunicación V2V es especialmente importante en la prevención de accidentes, ya que permite la detección temprana de situaciones peligrosas, como una colisión inminente, y facilita la respuesta rápida ante estas situaciones. Asimismo, facilita que los vehículos ajusten sus rutas para bajar el tráfico vehicular reduciendo la congestión.

Los sistemas V2V utilizan tecnologías de comunicación inalámbrica como el DSRC (Dedicated Short Range Communication) y el C-V2X (Cellular Vehicle to Everything) [2], que proporcionan las bases para el intercambio de datos entre vehículos. Sin embargo, la implementación de V2V enfrenta varios desafíos, como la gestión eficiente de los recursos de comunicación, la interferencia en entornos urbanos y la constante variabilidad de la topología de la red debido al movimiento de los vehículos [3].

En la Figura 1.2 se observa los escenarios en comunicación V2V Y CV2X

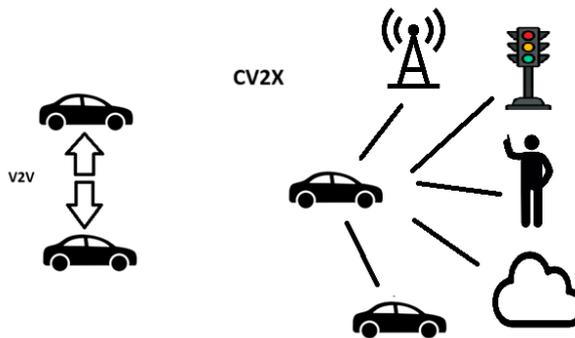


Figura 1.2 Comunicación V2V vs CV2X

Protocolos de enrutamiento

En una red vehicular, los protocolos de enrutamiento son cruciales para asegurar que los datos se transmitan de forma eficiente entre los vehículos. Estos protocolos definen el proceso mediante el cual los datos se transmite del vehículo de origen al vehículo de destino, estableciendo rutas óptimas para su transmisión. Hay varios tipos de protocolos de enrutamiento: híbridos, reactivos y proactivos.

El protocolo de carácter proactivo mantiene rutas actualizadas de manera continua, incluso si no se están utilizando, mientras que el protocolo de carácter reactivo, como el AODV, crean rutas únicamente cuando son requeridas, lo que optimiza el uso de recursos al evitar mantener rutas activas de forma constante. El AODV es particularmente adecuado para redes móviles como las VANETs, donde la topología cambia constantemente debido al movimiento de los vehículos. En este protocolo, los vehículos envían solicitudes de ruta (RREQ) cuando necesitan una ruta, y los vehículos que conocen la ruta envían una respuesta (RREP), estableciendo una comunicación directa [4].

Uno de los importantes beneficios de AODV se centra en su habilidad para ajustarse rápidamente a los cambios en la red sin depender de una infraestructura fija, convirtiéndolo en una alternativa óptima para redes vehiculares. No obstante, su rendimiento puede verse afectado en entornos urbanos, donde la elevada densidad de vehículos y los obstáculos físicos, como edificios o puentes, pueden interferir con las señales de comunicación, lo que incrementa la latencia y disminuye la fiabilidad de las rutas establecidas.

Redes Vehiculares Ad Hoc (VANETs)

Las VANETs se crean de forma dinámica entre vehículos y entre vehículos e infraestructuras, sin depender de una infraestructura centralizada o fija. Estas redes se fundamentan en la idea de que los vehículos pueden intercambiar información directamente entre sí mediante dispositivos de comunicación inalámbrica, con el objetivo de compartir datos importantes sobre el tráfico, las condiciones viales y otros factores ambientales. Las VANETs son esenciales para la implementación de sistemas de transporte inteligentes (ITS) y para la realización de aplicaciones como el control de tráfico en tiempo real, la conducción autónoma y la asistencia a la conducción [5].

En la figura 1.3 observamos topología de una red VANET sin infraestructura intermedia

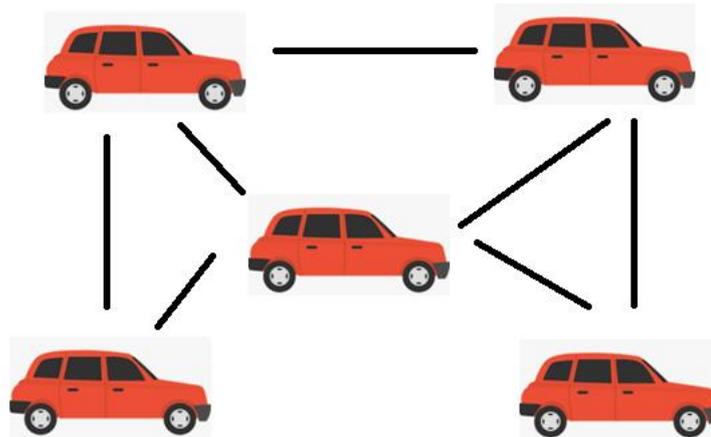


Figura 1.3 Red Vanet sin infraestructura intermedia

La principal característica de las VANETs es su naturaleza dinámica y móvil. Los vehículos se mueven a alta velocidad y sus posiciones cambian constantemente, lo que genera una topología de red altamente variable. Esta movilidad hace que los protocolos de enrutamiento como AODV sean fundamentales para mantener la eficiencia y la fiabilidad de la comunicación, ya que deben adaptarse continuamente a los cambios en la red [6].

Escenarios Urbanos y Desafíos para la Comunicación V2V

El estudio de las redes V2V y los protocolos de enrutamiento, como AODV, en ****escenarios urbanos**** presenta una serie de desafíos únicos. Las ciudades están caracterizadas por una alta densidad de vehículos, infraestructuras complejas (edificios, puentes, túneles, semáforos inteligentes) y un tráfico dinámico, lo que puede interferir significativamente con la comunicación entre vehículos.

La latencia es uno de los aspectos más críticos en estos escenarios, ya que, en situaciones de tráfico intenso, la necesidad de transmitir información de manera rápida y precisa es fundamental para evitar accidentes y optimizar el flujo del tráfico. Los protocolos de enrutamiento como AODV deben ser capaces de minimizar la latencia y establecer rutas de manera eficiente, incluso en condiciones de alta movilidad y congestión [7].

Un desafío significativo en entornos urbanos es la interferencia en las comunicaciones. Las señales de radio utilizadas para la comunicación V2V pueden ser bloqueadas o reflejadas por edificios y otras estructuras, entregando una mala calidad en la señal aumentando la probabilidad de pérdida de paquetes. Esta interferencia puede comprometer la fiabilidad de las rutas generadas por AODV, particularmente en áreas con alta densidad de edificaciones o gran circulación vehicular.

Eficiencia en el Uso del Espectro

El espectro de comunicación es un recurso limitado y finito que se utiliza para las transmisiones inalámbricas. En escenarios urbanos densos, donde múltiples vehículos están transmitiendo datos simultáneamente, el uso eficiente del espectro se vuelve crucial para evitar la aglomeración de la red y perfeccionar la calidad de la comunicación. Los protocolos de enrutamiento, como AODV, deben ser capaces de gestionar de manera óptima las conexiones entre vehículos para reducir la interferencia y mejorar la capacidad de la red.

Latencia y Fiabilidad en la Red Vehicular

La latencia hace referencia al tiempo que usan los paquetes de datos para llegar de un vehículo a otro. En áreas urbanas, donde los vehículos se desplazan constantemente y el tráfico varía, es crucial mantener una latencia baja para asegurar la efectividad de la comunicación V2V. Protocolos como AODV, que operan de forma reactiva, deben ser capaces de establecer rutas de manera rápida en momentos de alta demanda.

La fiabilidad de la red en un escenario urbano también es fundamental. Los vehículos deben ser capaces de mantener la comunicación, incluso cuando la topología de la red cambia constantemente debido al movimiento de los vehículos o a la presencia de obstáculos que bloquean las señales. Un protocolo confiable como AODV debe ser capaz de adaptarse rápidamente a estos cambios, asegurando que los mensajes lleguen de manera efectiva y sin pérdida de datos [8].

En resumen, el marco teórico presentado establece las bases para el análisis de la comunicación V2V en escenarios urbanos y el uso del protocolo AODV en redes vehiculares. A medida que las ciudades se transforman en entornos más complejos y cambiantes, es esencial entender cómo los protocolos de enrutamiento como AODV pueden optimizar la comunicación entre vehículos, lo que resulta crucial para el avance de los sistemas de transporte inteligentes que buscan mejorar la seguridad, eficiencia y sostenibilidad del tráfico urbano. Este marco teórico ofrece una perspectiva integral para enfrentar los retos técnicos que presenta la implementación de la comunicación V2V en entornos urbanos, allanando el camino para investigaciones futuras y avances en la tecnología de redes vehiculares

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 INFRAESTRUCTURA DEL DISEÑO

En un estudio de simulación de comunicación vehículo a vehículo (V2V) en entornos urbanos, la infraestructura de diseño hace referencia a la disposición y los elementos tecnológicos necesarios para analizar cómo los vehículos interactúan entre sí utilizando el protocolo AODV. En este tipo de investigación, el diseño de la infraestructura debe tener en cuenta tanto los componentes físicos, como los vehículos, como los aspectos lógicos, que incluyen los protocolos y las redes de comunicación.

2.1.1 Elementos de la Infraestructura

Vehículos (Nodos móviles)

Los vehículos actúan como nodos dentro de la red de comunicación. En la simulación, cada vehículo se equipa con dispositivos que permiten compartir y cambiar información entre sí, como su ubicación, velocidad, direcciones, sentido de la vía. Los vehículos también utilizan el protocolo AODV para establecer rutas de comunicación en tiempo real.

Infraestructura Urbana (Estaciones Base y Sensores)

Las estaciones base, ubicadas en puntos estratégicos de la ciudad (como semáforos, señales de tráfico, o postes de luz), pueden ayudar a gestionar la comunicación entre vehículos y brindar información adicional, como condiciones de tráfico y alertas de seguridad. Estos elementos se integran para ofrecer soporte y mejorar la cobertura de la red V2V.

Protocolo AODV

El protocolo AODV es el corazón del diseño de la comunicación. AODV se utiliza para establecer rutas entre los vehículos cuando lo necesitan (de manera reactiva), optimizando así el uso de la red al reducir el tráfico de

control. Este protocolo permite a los vehículos solicitar rutas cuando no las tienen y obtener respuestas de otros vehículos o estaciones base para establecer una conexión eficiente.

2.1.2 Componentes del Diseño de la Red V2V

Red Ad Hoc

La red vehicular es ad hoc, es decir, no requiere una infraestructura fija para operar, lo que significa que los vehículos y las estaciones base forman una red dinámica que se adapta de acuerdo con el movimiento de los vehículos. Esta estructura flexible es fundamental en entornos urbanos, donde los vehículos se mueven constantemente y las rutas de comunicación cambian rápidamente.

Enrutamiento V2V

En este diseño, los vehículos utilizan AODV para descubrir rutas de comunicación. Si un vehículo necesita enviar datos a otro, pero no tiene una ruta predefinida, envía una solicitud de ruta (RREQ) a los vehículos cercanos. Una vez que se establece la ruta, la información puede transmitirse eficientemente. Este diseño de enrutamiento es crucial para garantizar una comunicación eficiente en una red altamente dinámica [9].

2.1.3 Simuladores

Para implementar este diseño en un entorno controlado, se utilizan simuladores y herramientas de modelado, como OMNeT++, y SUMO (Simulation of Urban MObility). Estas herramientas permiten modelar la dinámica de los vehículos, las condiciones de la red, y simular las interacciones entre los nodos dentro del entorno urbano [10].

- OMNeT++ se utilizan para modelar la comunicación entre los vehículos y gestionar los protocolos de enrutamiento como AODV, evaluando aspectos como la latencia, productividad de la red y el ancho de banda

usado. En la figura 2.1 observamos el IDE que uso para la implementación de la red.



Figura 2.1 IDE software OMNET

- SUMO puede integrarse para simular el comportamiento del tráfico y los patrones de movilidad de los vehículos en una ciudad, proporcionando datos de movilidad que se alimentan a los simuladores de red.

Es crucial mejorar la cobertura y el desempeño de la red V2V para asegurar que los vehículos puedan intercambiar información de manera efectiva, incluso en situaciones de alta congestión vehicular y con obstáculos urbanos, lo cual es esencial en el entorno dinámico de las ciudades. Además, se debe enfocar en optimizar la efectividad en el tráfico mediante el uso del protocolo AODV, que permita establecer rutas de comunicación dinámicas para detectar peligros tempranamente y mejorar las rutas, contribuyendo así a disminuir la congestión y los accidentes. Finalmente, el diseño de la red debe ser escalable, es decir, capaz de ajustarse eficazmente mientras crece el número de vehículos y la complejidad del entorno urbano, garantizando que el sistema continúe siendo eficiente frente a un crecimiento continuo del tráfico.

El diseño de la infraestructura para un estudio de simulación de comunicación V2V en escenarios urbanos basados en AODV involucra varios componentes interrelacionados: los vehículos como nodos móviles, la infraestructura urbana para soportar la red de comunicación, el protocolo AODV para el enrutamiento

eficiente y el uso de herramientas diseñadas para modelamiento para evaluar el comportamiento de la red. Este enfoque permite realizar un análisis detallado de la efectividad de la comunicación V2V en contextos urbanos, considerando tanto la dinámica del tráfico como las limitaciones tecnológicas.

2.2 INTEGRACION DE SOFTWARE Y MODELAJE

Se uso el simulador híbrido de VEINS, que unifica las redes de OMNET con las redes de tráfico vehicular de SUMMO, este simulador híbrido ofrece la ventaja de una comunicación bidireccional entre ambos simuladores otorgando un escenario mas acercado a la realidad. Esta comunicación bidireccional lo realizan mediante protocolo TCP, a continuación en la figura 2.1 se visualiza lo mencionado

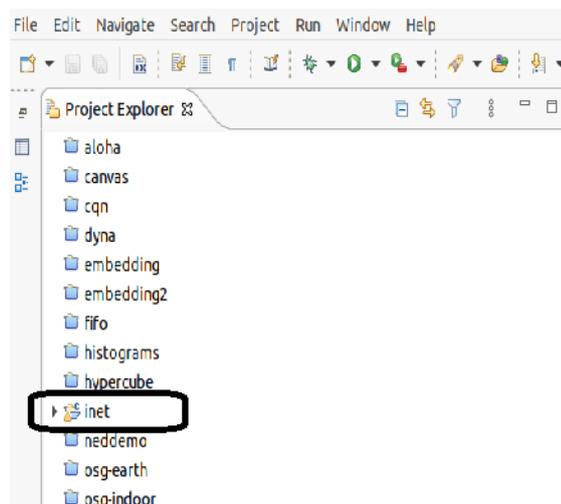


Figura 2.2 Integración OMNET++ e INET

Descripción de Módulos

Los escenarios de las redes diseñadas para OMNET++ están formados por modelos compuestos de componentes que se conocen como módulos, que interactúan entre sí intercambiando mensajes. Los módulos presentes en este software tienen la capacidad de anidarse, lo que permite agrupar varios de ellos en un solo módulo más robusto.

El módulo general y más robusto se denomina RoutingScenario como se detalla en la Figura 2.3, que nos permite la simulación del escenario.

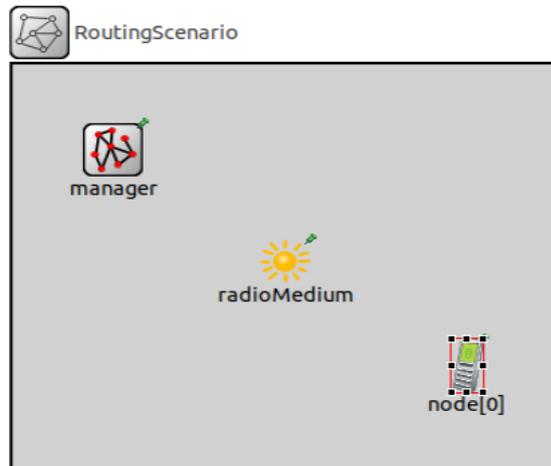


Figura 2.3 Módulo RoutingScenario

Este módulo RoutingScenario, es subdivido por 3 submódulos, detallados a continuación.

Sub módulo Manager.- Es el módulo de gestión que controla la simulación, donde se configuran los diferentes parámetros, recolección de gráficas, y como es nuestro caso implementa el algoritmo de enrutamiento AODV.

Sub módulo radioMedium.- Representa el medio de transmisión empleado para la simulación, en este caso inalámbrico, modela las características del medio como la atenuación, ruido, interferencias. En la figura 2.4 definimos sus componentes a usar

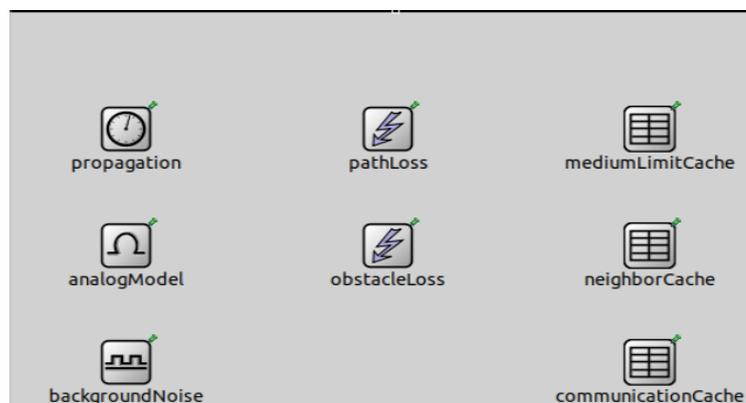


Figura 2.4 Componente del sub modulo radio Medium

Sub módulo Node.- Módulo conformado por más componente, en nuestra simulación representa a cada de los autos que se movilizan comunicándose inalámbricamente, a continuación en el Figura Se observa los componentes que contiene:

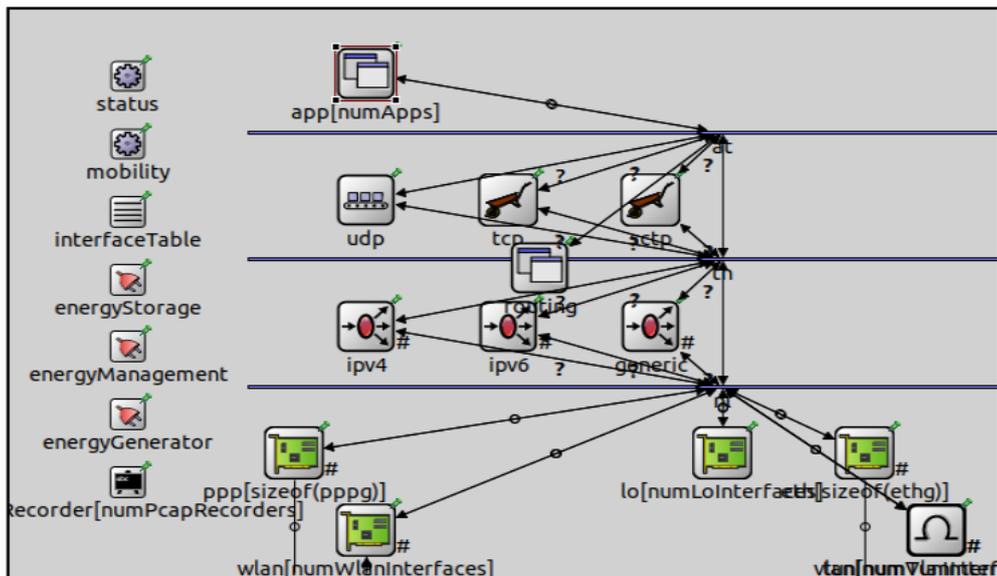


Figura 2.5 Componente del submódulo Node

Escenarios del protocolo AODV

A continuación, se realizará la simulación del tráfico vehicular usando tanto OMNET++ como SUMMO, se podrá observar los mensajes de intercambio que se producen en el protocolo AODV entre nodos (vehículos), mensajes tales como mensajes RREQ (Solicitud de ruta), mensajes RREP (respuesta de ruta), mensajes RERR (Error de ruta). Se toma como muestra un área urbana donde se simulará tráfico, y al transcurrir el tiempo en segundos aparecerá un nuevo nodo o vehículo que formará parte de la nueva red que empezará a realizar nuevamente la comunicación entre sí usando el protocolo AOVD.

Inicialmente en la figura 2.6, ingresa el primer vehículo, al momento no se observa mensajes a transmitir en la red OMNET ++.

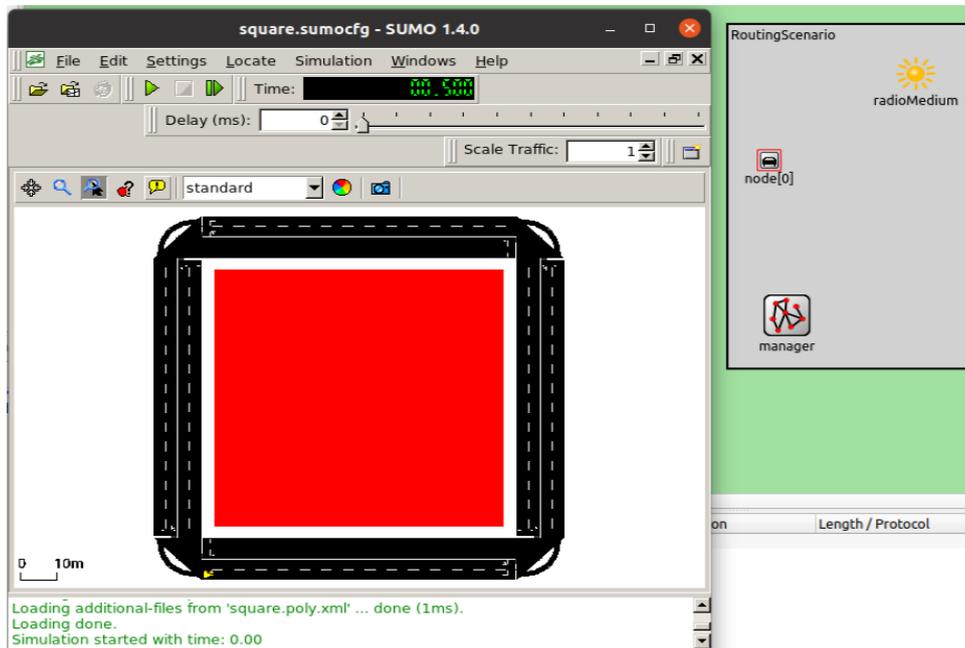


Figura 2.6 Inicio simulación implementación protocolo AODV

En la figura 2.7, durante el 6to segundo ingresa un nuevo nodo o vehículo, ya se observa mensajes de RREQ del protocolo AODV, en OMNET se observa intercambio de información como se observa mediante las fechas azules.

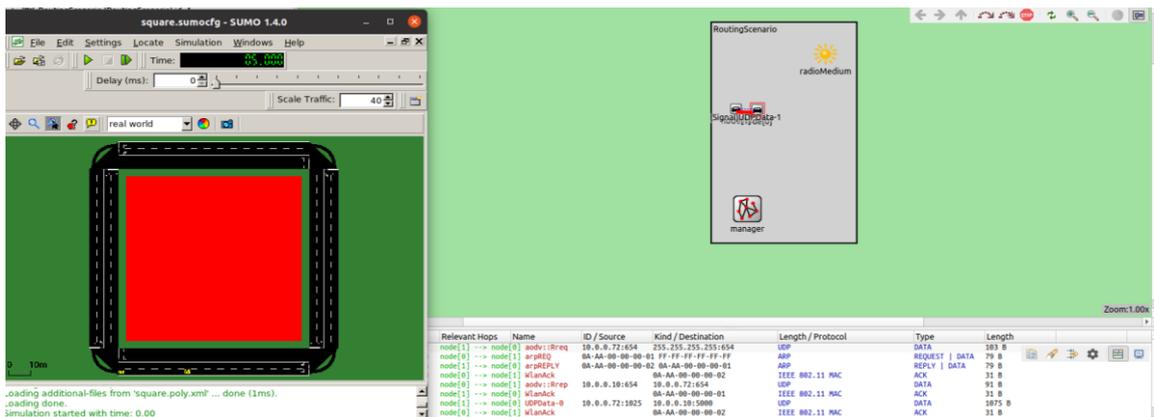


Figura 2.7 Protocolo AODV entre dos nodos

En la figura 2.8 el nuevo nodo 2, realiza una solicitud de mensajes aodv RREQ, hacia el nodo 0 y el nodo 1.

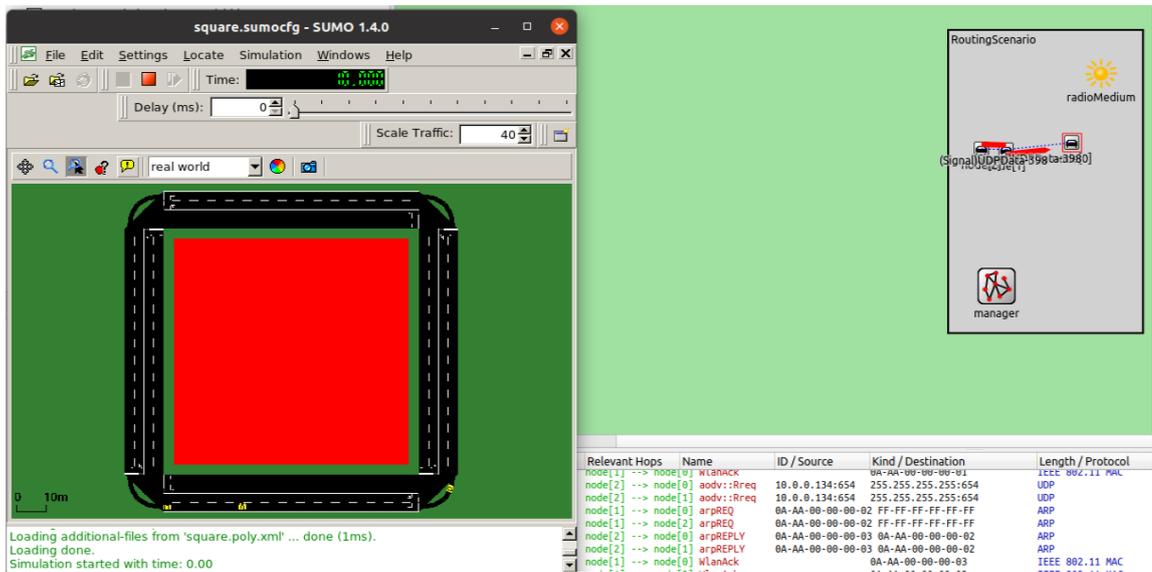


Figura 2.8 Protocolo AODV entre tres nodo

Continuando con la simulación, los nodos seguirán ingresando, formarán una nueva red y el protocolo de enrutamiento Aodv entrará en funcionamiento. En la figura 6 se muestra el protocolo corriendo con 6 nodos o automóviles

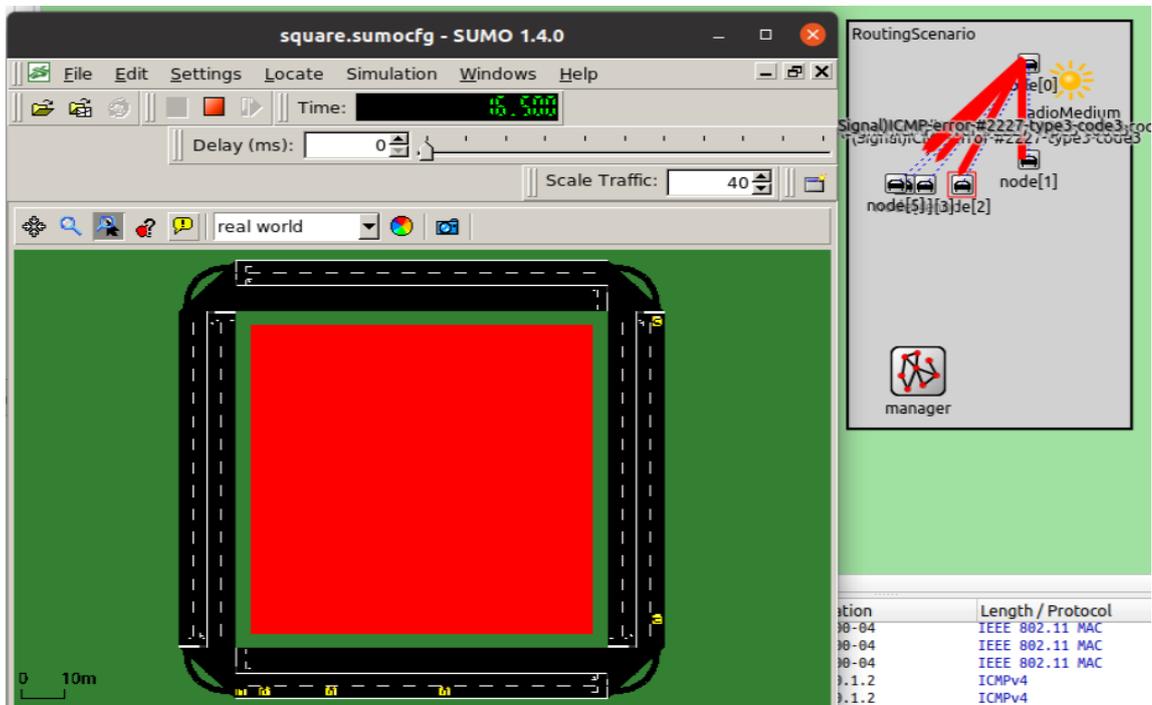


Figura 2.9 Protocolo AODV entre 6 nodos

Esta simulación se desarrolla en milisegundos, entrega una gran cantidad de eventos por todo el proceso de comunicación V2V que realiza, y el funcionamiento de cada mensaje AODV que se envían entre sí. Es recomendable realizar la extracción de data y filtrar de acuerdo con nuestras necesidades y estudio. En la Figura 2.10 se observan 8 nodos en funcionamiento.

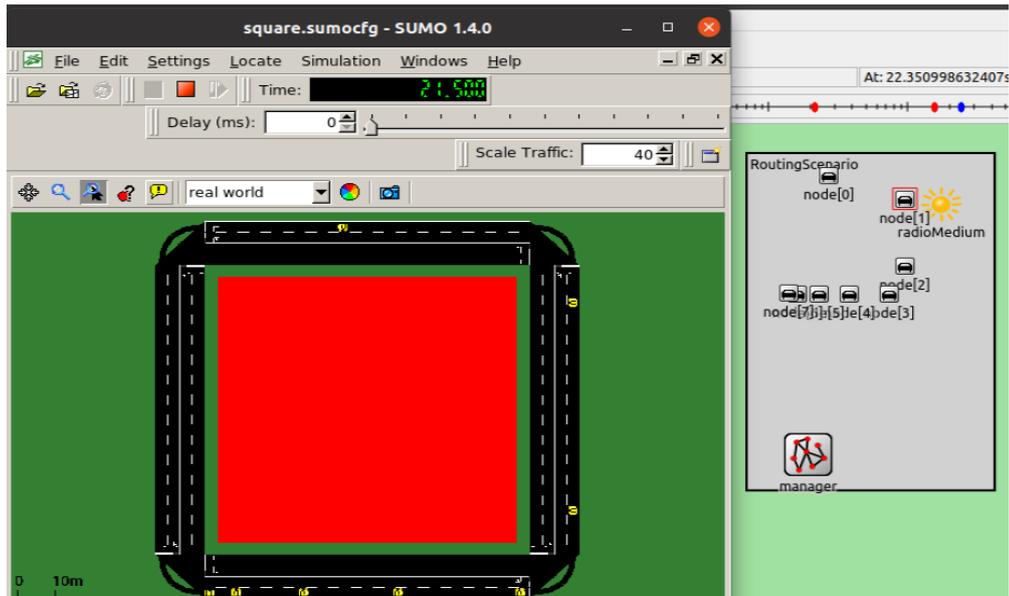


Figura 2.10 Proctolo AODV con 8 nodos

La tabla 2.1 muestra el filtrado de los diferentes mensajes que Protocolo AODV muestra interactuando con los 8 vehículos.

Evento	Time	Relevant Hops	Name	Id_Source	King_Destination	Length_Protoc	Type	Leng
#792448	25.515.744.317.879	node[5] --> node[4]	aodv::Rrep	10.0.1.64:654	10.0.1.250:654	UDP	DATA	91 B
#792448	25.515.744.317.879	node[5] --> node[6]	aodv::Rrep	10.0.1.64:654	10.0.1.250:654	UDP	DATA	91 B
#792448	25.515.744.317.879	node[5] --> node[7]	aodv::Rrep	10.0.1.64:654	10.0.1.250:654	UDP	DATA	91 B
#792448	25.515.744.317.879	node[5] --> node[8]	aodv::Rrep	10.0.1.64:654	10.0.1.250:654	UDP	DATA	91 B
#848292	26.212.525.095.307	node[7] --> node[1]	aodv::Rerr	10.0.1.188:654	255.255.255.255:654	UDP	DATA	91 B
#848292	26.212.525.095.307	node[7] --> node[2]	aodv::Rerr	10.0.1.188:654	255.255.255.255:654	UDP	DATA	91 B
#848292	26.212.525.095.307	node[7] --> node[3]	aodv::Rerr	10.0.1.188:654	255.255.255.255:654	UDP	DATA	91 B
#848292	26.212.525.095.307	node[7] --> node[4]	aodv::Rerr	10.0.1.188:654	255.255.255.255:654	UDP	DATA	91 B
#848292	26.212.525.095.307	node[7] --> node[5]	aodv::Rerr	10.0.1.188:654	255.255.255.255:654	UDP	DATA	91 B
#848292	26.212.525.095.307	node[7] --> node[6]	aodv::Rerr	10.0.1.188:654	255.255.255.255:654	UDP	DATA	91 B
#848292	26.212.525.095.307	node[7] --> node[8]	aodv::Rerr	10.0.1.188:654	255.255.255.255:654	UDP	DATA	91 B
#848712	26.232.684.693.912	node[7] --> node[1]	aodv::Rreq	10.0.1.188:654	255.255.255.255:654	UDP	DATA	103 B
#848712	26.232.684.693.912	node[7] --> node[2]	aodv::Rreq	10.0.1.188:654	255.255.255.255:654	UDP	DATA	103 B

Tabla 2.1 Mensajes enrutamiento AODV con 8 nodos

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se analizará ciertas métricas presentes en cada nodo de la simulación, compararlos entre ellos y verificar el comportamiento de la comunicación, transmisión de datos, los errores en dichas redes AD-HOC vehiculares.

3.1 Métricas

Se visualizará mediante gráficas distintas métricas referentes a la transmisión de mensajes de v2v, se mostrará los resultados de:

- Paquetes enviados y recibidos en cada nodo de la simulación
- Comunicación loopback de transferencia de datos
- El Paquet Error Rate (Rango de Paquetes perdidos)

3.2 Resultados Obtenidos por nodo

La simulación tuvo una duración de 30 segundos, donde intervinieron 9 vehículos realizando comunicación V2V y aplicando protocolo de enrutamiento AODV, los vehículos se encontraban etiquetados de la siguiente manera: nodo0, nodo1, nodo, nodo3, nodo4, nodo5, nodo6, nodo7, nodo8.

Ahora visualizaremos las gráficas en cada nodo referentes a los paquetes enviados y recibidos UDP.

Nodo 0

En la figura 3.1 se observan los paquetes enviados y recibidos del nodo 0

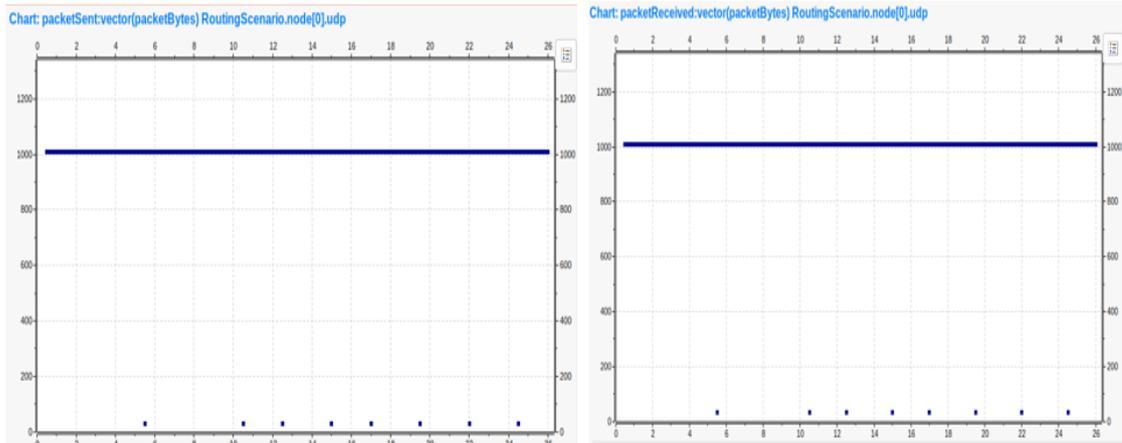


Figura 3.1 Paquetes recibidos/enviados nodo 0

Nodo 1

En la figura 3.2 se observan los paquetes enviados y recibidos del nodo 1

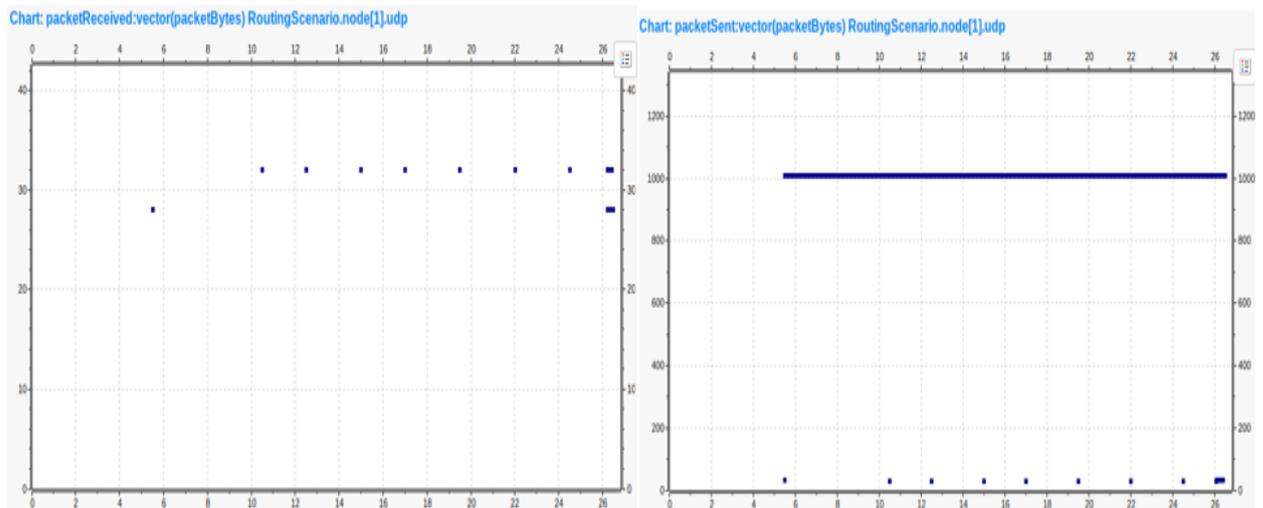


Figura 3.2 Paquetes recibidos/enviados nodo 1

Nodo 2

En la figura 3.3 se observan los paquetes enviados y recibidos del nodo 2

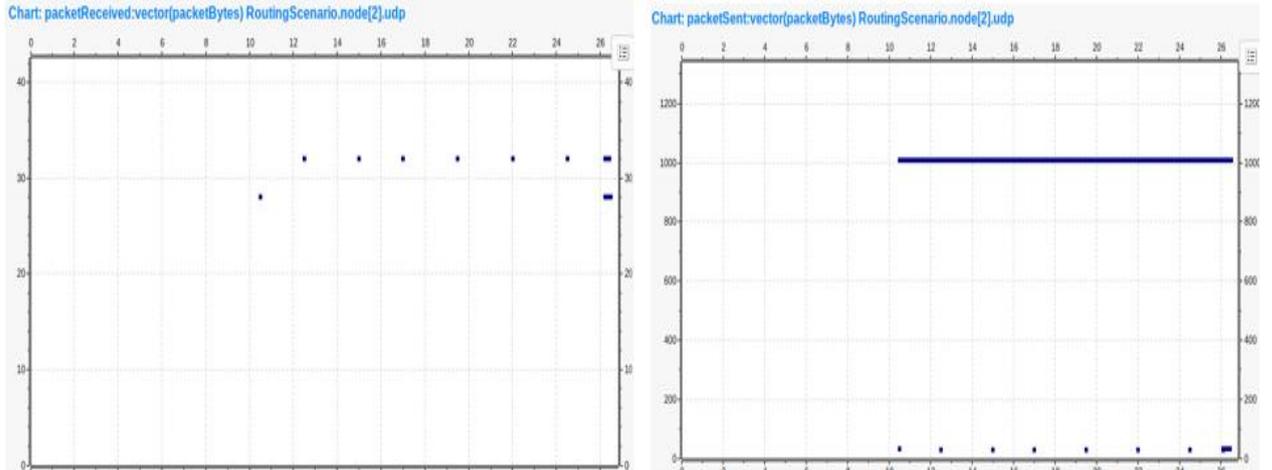


Figura 3.3 Paquetes recibidos/enviados nodo 2

Nodo 3

En la figura 3.4 se observan los paquetes enviados y recibidos del nodo 3

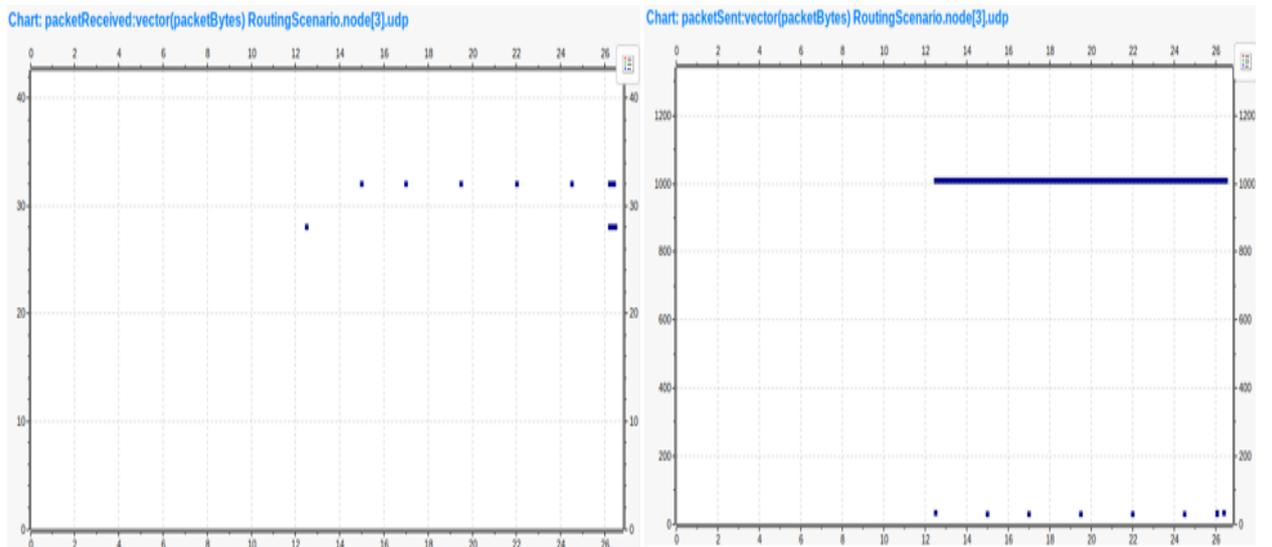


Figura 3.4 Paquetes recibidos/enviados nodo 3

Nodo 4

En la figura 3.5 se observan los paquetes enviados y recibidos del nodo 4

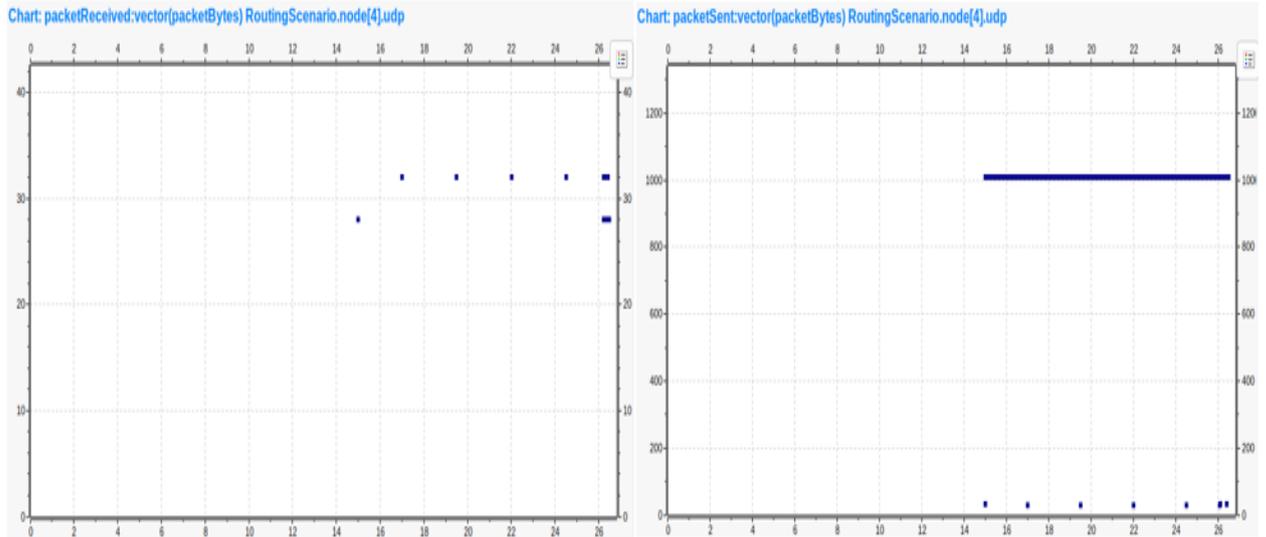


Figura 3.5 Paquetes enviados/recibidos nodo 4

Nodo 5

En la figura 3.6 se observan los paquetes enviados y recibidos del nodo 5

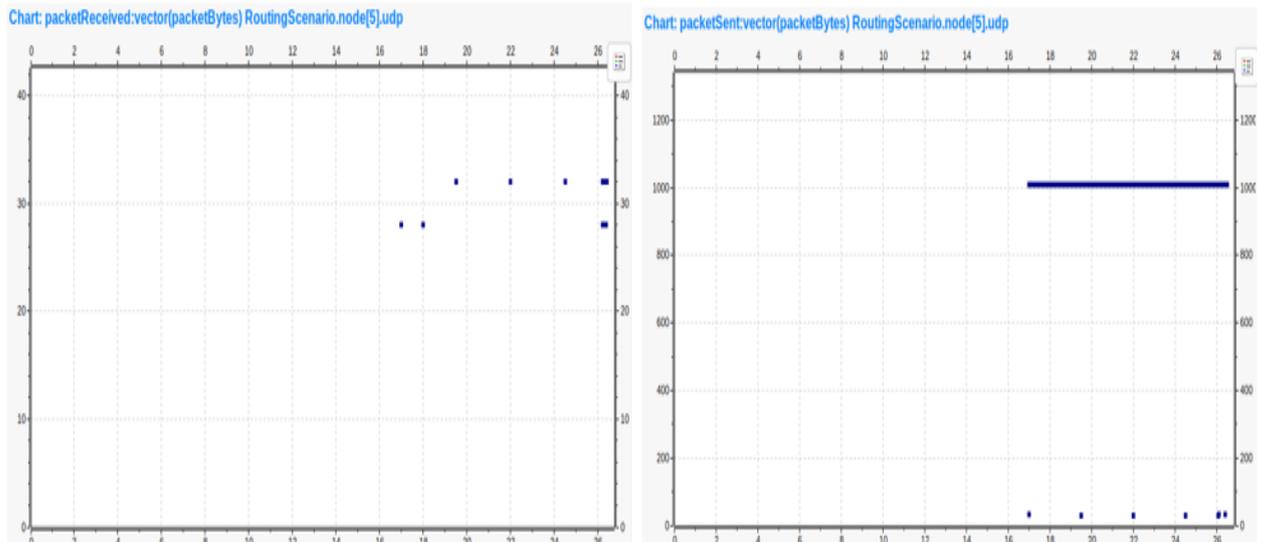


Figura 3.6 Paquetes enviados/recibidos nodo 5

Nodo 6

En la figura 3.7 se observan los paquetes enviados y recibidos del nodo 6

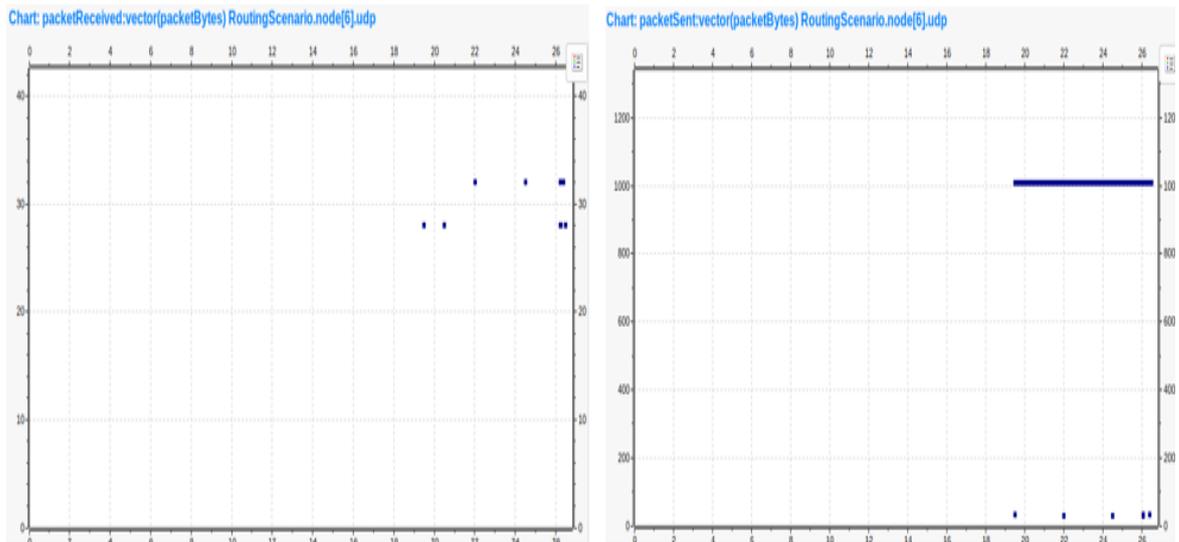


Figura 3.7 Paquetes enviados/recibidos nodo 6

Nodo 7

En la figura 3.8 se observan los paquetes enviados y recibidos del nodo 7

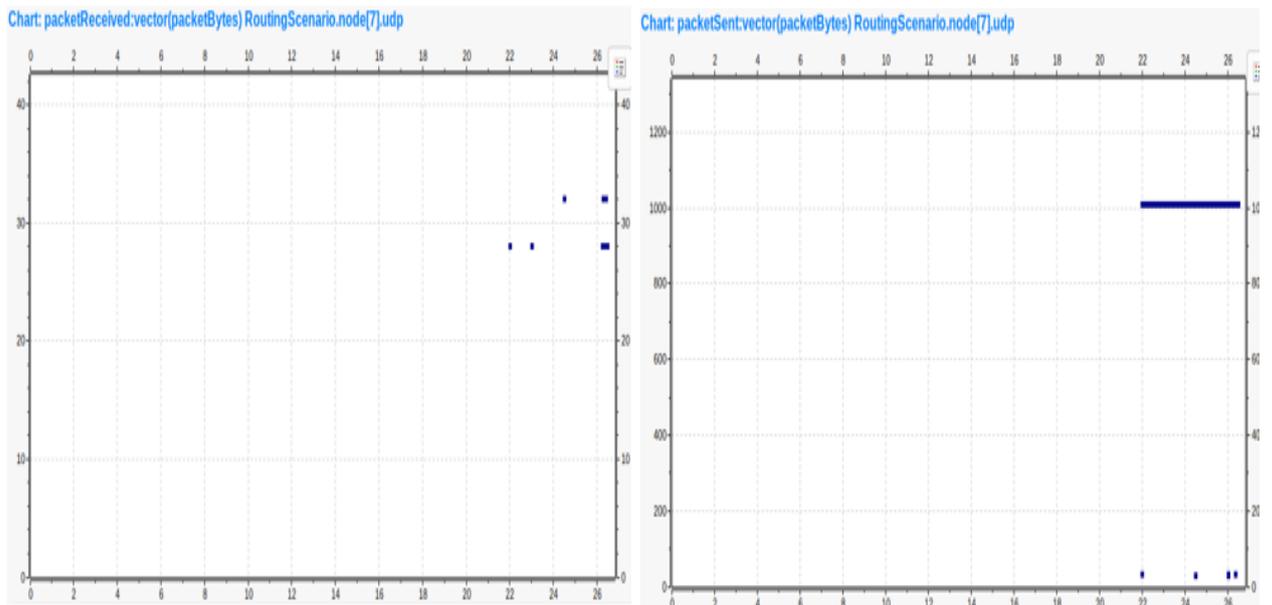


Figura 3.8 Paquetes enviados/recibidos nodo 7

Nodo 8

En la figura 3.9 se observan los paquetes enviados y recibidos del nodo 8

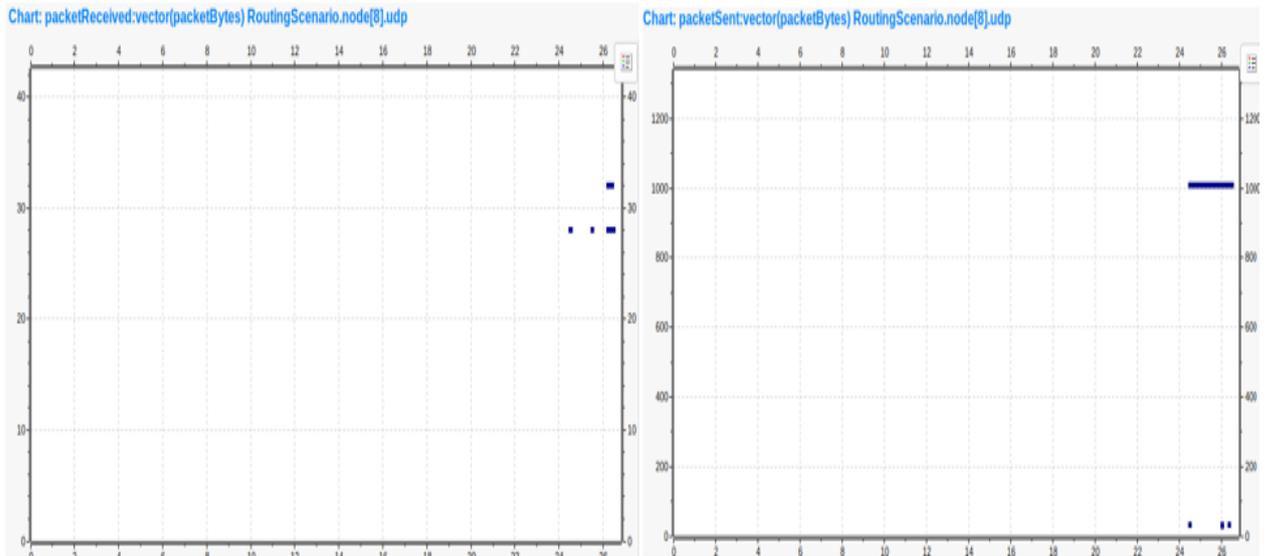


Figura 3.9 Paquetes enviados/recibidos nodo 8

Posterior a la visualización de gráficas se observa que los tamaños de los paquetes recibidos (alrededor de 28-32 bytes) en cada escenario se encuentran dentro del rango típico para paquetes UDP, especialmente si se trata de paquetes de control o señalización. Esto se debe a la aplicación del protocolo que coinciden con el tamaño de paquetes de descubrimiento de vecinos o mensajes de mantenimiento de rutas. Ambas gráficas de envío y recepción de mensajes confirman que se trata de un escenario de simulación de enrutamiento, donde los paquetes pequeños serían paquetes de control o señalización en forma de solicitud para posterior responder con un mensaje más grande de 1000 bytes (una vez ya conocida la ruta según AODV envía datos).

El gráfico muestra un flujo constante de paquetes de 1000 bytes en la interfaz loopback del nodo node[0]. Esto sugiere una comunicación interna dentro del nodo, posiblemente para pruebas o comunicación entre procesos. El tamaño constante de los paquetes indica un tipo de dato o protocolo específico. El contexto de la simulación es crucial para determinar la razón exacta de este tráfico.

De acuerdo a la figura 3.10 se observa un flujo constante en paquetes de 1000 bytes en la interfaz loopback del node[0]. Esto representa una comunicación interna dentro del nodo, para pruebas o comunicación entre procesos. Al ser un tamaño constante de los paquetes indica un tipo de dato o protocolo específico que se está transmitiendo, en nuestro caso Protocolo AODV.

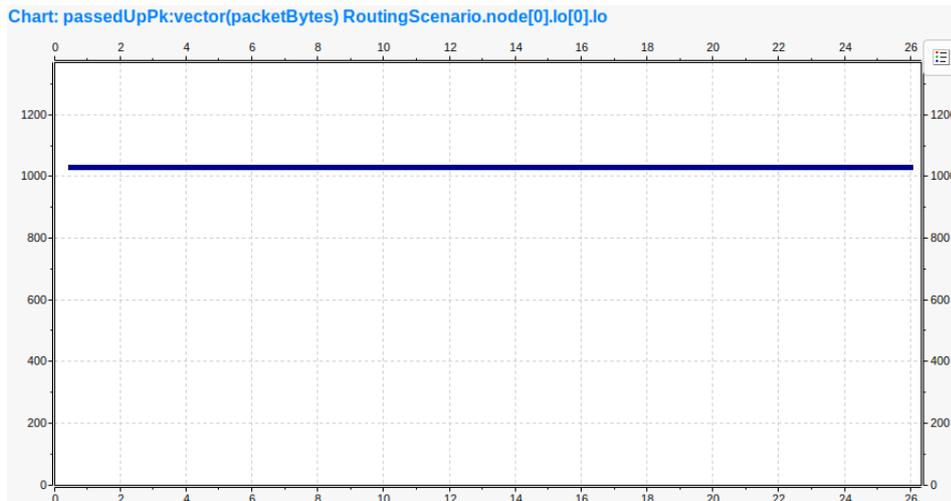


Figura 3.10 Comunicación loopback constante de transferencia de datos

Ahora analizaremos las gráficas representadas en histograma de la tasa de error de paquetes (packetErrorRate) para el radio de la interfaz inalámbrica wlan. En la figura 3.11 se observan errores de paquetes del nodo0.

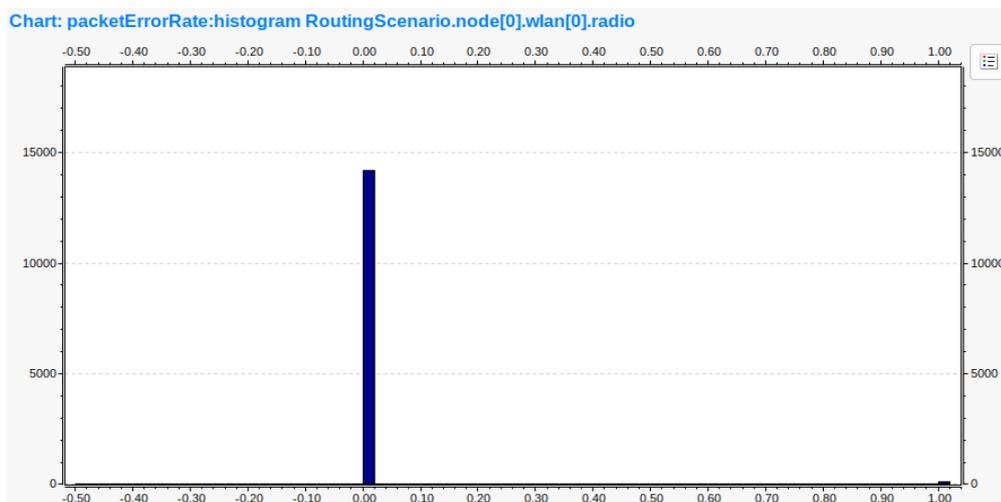


Figura 3.11 Paquet Error Rate nodo 0

Finalmente analizaremos los eventos de descartes de paquetes en la capa MAC, analizaremos 3 gráficas, el nodo1, node3, nod5, nodo8. A continuación se detalla en la figura 3.12 los eventos donde los paquetes se descartan.

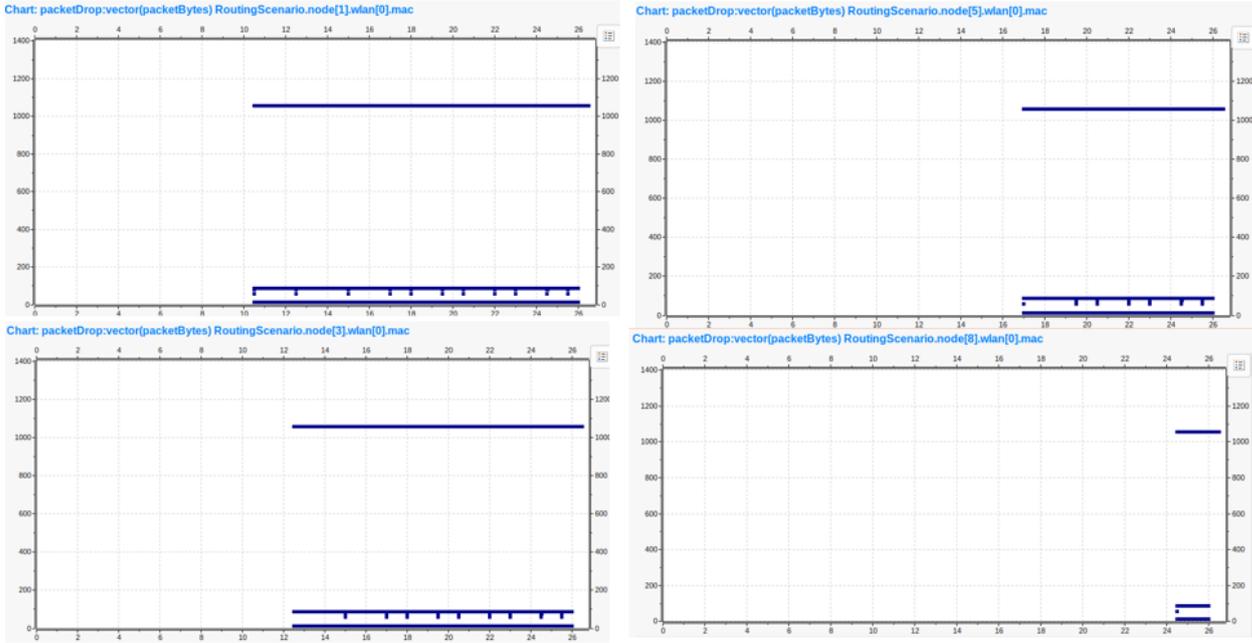


Figura 3.12 PaquetDrop en capa MAC nodo 1, 3, 5 y 8.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Este componente concluye el análisis de la simulación de la comunicación vehículo a vehículo (V2V) en entornos urbanos utilizando el protocolo AODV revela el gran potencial de esta tecnología optimizar la seguridad vial, optimizar la afluencia de tráfico y mitigar la congestión en áreas urbanas con alta densidad vehicular. Al ser un protocolo reactivo, AODV permite la creación dinámica de rutas según la demanda, lo cual es esencial en ciudades con tráfico variable. Los resultados obtenidos muestran una tasa mínima de pérdida de paquetes, una correcta respuesta a los mensajes enviados y la capacidad de la simulación para ofrecer métricas detalladas de cada nodo.

El protocolo a pesar de los desafíos inherentes a los escenarios urbanos, como la presencia de obstáculos físicos y las interferencias electromagnéticas, el protocolo muestra ser una opción viable para mantener comunicaciones eficientes entre vehículos. La mejora en la comunicación V2V tiene el potencial de disminuir considerablemente el riesgo de accidentes y mejorar las respuestas ante emergencias, al facilitar en tiempo real la comunicación de información entre vehículos. Asimismo, optimizar rutas contribuye a disminuir los tiempos de viaje, lo que mejora la eficiencia del tráfico y favorece la sostenibilidad ambiental al reducir el consumo de combustible como las contaminaciones con los emisiones de gases

4.2 Recomendaciones

Se recomienda continuar investigando y optimizando el protocolo AODV para mejorar su rendimiento en entornos urbanos complejos. En particular, sería beneficioso adaptar el protocolo para que maneje de manera más eficiente la alta densidad de tráfico y las interferencias generadas por obstáculos físicos en las ciudades. Además, es importante

seguir desarrollando y desplegando infraestructuras de soporte, como estaciones base y sensores urbanos, que permitan mejorar la cobertura y fiabilidad de la red V2V.

La incorporación de tecnologías adicionales, como C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything), podría optimizar la interoperabilidad entre los vehículos y la infraestructura urbana. También sería beneficioso llevar a cabo pruebas y simulaciones en escenarios urbanos más realistas y dinámicos para detectar posibles limitaciones del protocolo y ajustar los parámetros de enrutamiento conforme a las variaciones del entorno. En términos de sostenibilidad, es fundamental impulsar políticas que favorezcan la adopción de sistemas de transporte inteligente, con el objetivo de mitigar la congestión y reducir las emisiones de CO₂, contribuyendo al uso correcto de los Objetivos (ODS) de Desarrollo Sostenible. Finalmente, se debe fomentar la colaboración entre gobiernos, empresas tecnológicas y entidades de investigación para crear estándares comunes que faciliten la implementación a gran escala de redes V2V.

BIBLIOGRAFÍA

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. Feng, Z. Hongzi, C. Nan, Z. Haibo, X. Wenchao y L. Minglu, «Characterizing Urban Vehicle-to-Vehicle Communications for Reliable Safety Applications,» *Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 21, nº 6, pp. pp. 2586-2602, 2020.
- [2] V. N. Tien, S. Patil, S. Baghel, K. Gulati, J. Libin y W. Zhibin, «A comparison of cellular vehicle-to-everything and dedicated short range communication,» de *2017 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, Turin, 2017.
- [3] C. Shanzhi, H. Jinling, Z. Li, Z. Rui, F. Jiayi, S. Yan y H. Xu, *Cellular Vehicle-to-Everything (C-V2X)*, Springer, 2023.
- [4] Y. Di, «Routing and Security in Vehicular Networking,» WashU Computer Science & Engineering, St. Louis, 2013.
- [5] «Securing DSR against wormhole attacks in multirate ad hoc networks,» *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 36, nº 2, pp. pp. 582-592, 2013.
- [6] E. Wille y J. Alves, «Routing in Vehicular Ad Hoc Networks:Main Characteristics and Tendencies,» *Journal of Computer Networks and Communications*, vol. 2018, pp. pp. 1 - 10 , 2018.
- [7] K. Neelanshu, S. Anurag y P. Manish, «A Low Latency AODV Routing Protocol,» de *5th International Conference and Computational Intelligence and Communication Networks*, Mathura, 2013.
- [8] K. Yogha y T. Kuntoro, «Learning Automata-Based AODV to Improve V2V Communication in A Dynamic Traffic Simulation,» *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, vol. 17, nº 1, pp. pp. 666 - 678, 2023.
- [9] S. Dhaya Kanthavel y K. Sangeetha, «An empirical study of vehicle to infrastructure communications - An intense learning of smart infrastructure for safety and mobility,» *International Journal of Intelligent Networks*, vol. 2, pp. pp. 77 - 82, 2021.

[10] R. Saghir, T. Karunathilake y A. Forster, «Comparative study of simulators for vehicular networks,» 2024.

