

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA ELECTRÓNICA**

**TEMA:
ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE REDES HETEROGÉNEAS VANET, CON LA
VARIACIÓN DE TECNOLOGÍA INALÁMBRICA SEGÚN LA CAPACIDAD DE
USUARIOS EN ZONAS URBANAS DE VARIOS SECTORES DE LA CIUDAD**

**AUTORA:
MARÍA JOSÉ ANDRADE TENÉN**

**TUTOR:
JOSÉ RENATO CUMBAL SIMBA**

Quito, febrero del 2017

Cesión de derechos de autor

Yo María José Andrade Tenén, con documento de identificación N° 1723705651, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado/titulación intitulado: ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE REDES HETEROGÉNEAS VANET, CON LA VARIACIÓN DE TECNOLOGÍA INALÁMBRICA SEGÚN LA CAPACIDAD DE USUARIOS EN ZONAS URBANAS DE VARIOS SECTORES DE LA CIUDAD, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Electrónica, 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 mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
María José Andrade Tenén


1723705651

Quito, febrero del 2017

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE REDES HETEROGÉNEAS VANET, CON LA VARIACIÓN DE TECNOLOGÍA INALÁMBRICA SEGÚN LA CAPACIDAD DE USUARIOS EN ZONAS URBANAS DE VARIOS SECTORES DE LA CIUDAD, realizado por María José Andrade Tenén, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Febrero del 2017



Ing. José Renato Cumbal Simba

CI: 1714663760

ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE REDES HETEROGÉNEAS VANET, CON LA VARIACIÓN DE TECNOLOGÍA INALÁMBRICA SEGÚN LA CAPACIDAD DE USUARIOS EN ZONAS URBANAS DE VARIOS SECTORES DE LA CIUDAD

María José Andrade¹ y Renato Cumbal Simba², *Universidad Politécnica Salesiana*

Abstracto—En este artículo se presenta un escenario vehicular el cual busca obtener un rendimiento adecuado al implementar una red heterogénea en varios sectores de la ciudad de Quito. Este tipo de redes presentan características y desafíos únicos, debido a la cobertura, la alta movilidad de los vehículos, y el cambio frecuente de topología, encontrándose con varias desconexiones, es por ello que se analiza la red aplicando tecnologías de acceso inalámbrico en cada escenario permitiendo la difusión de las comunicaciones en escenarios reales. Este artículo proporciona una visión general de las Redes vehiculares Ad-Hoc (Vehicular Ad-Hoc Network, VANET); describe los conceptos fundamentales y se enfoca en la aplicación de las tecnologías de Redes Inalámbricas de Área Local (Wireless Fidelity, WIFI) y Comunicaciones Dedicadas de Corto Alcance (Dedicated Short Range Communications, DSRC), donde se evalúa el throughput de la red con parámetros basados en la cantidad de paquetes generados, perdidos y recibidos, obteniendo como resultado aproximadamente el 60% de rendimiento con redes heterogéneas, en comparación de escenarios enfocados en una sola tecnología.

Abstract—This paper presents a vehicle scenario where seeks to obtain an adequate performance implementing a heterogeneous network in several sectors of the Quito city. This type of network presents unique features and challenges in its application due to the coverage, cars high mobility, and the frequent change of topology producing several disconnections, because we have to analyze the network applying wireless access technologies in each scenario allowing the dissemination of communications in real scenarios. This study provides an overview of Ad-Hoc Vehicle Networks (VANET), describes the fundamental concepts and focuses on the application of Wireless Fidelity (WIFI), and Dedicated Short Range Communications (DSRC), which evaluate the network throughput with parameters based on the number of packets generated, lost and received, resulting in approximately 60% efficiency with heterogeneous networks, compared to scenarios focused on a single technology.

IndexTerms—Coverage, heterogeneous, throughput, VANET, WIFI, DSRC.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la congestión vehicular, los accidentes de tránsito y la contaminación ambiental causados por el tráfico junto a la necesidad de conexión y uso de aplicaciones en tiempo real se han convertido en temas de interés global. Varios actores como fabricantes de vehículos, la academia y agencias de gobierno han empezado a poner mucho esfuerzo en conjunto hacia la realización del concepto de comunicaciones vehiculares a gran escala. Uno de los principales planteamientos en este tipo de redes es el desarrollo de tecnologías inalámbricas y sus diversos despliegues, enfocándose en la conexión a Internet a través de redes WiFi, redes celulares o redes vehiculares ad hoc. Las VANET son principalmente diseñadas para proveer intercambio de información mediante comunicaciones Vehículo a Vehículo (Vehicle to vehicle, V2V) y Vehículo a Infraestructura (Vehicle to infrastructure, V2I), permitiendo conectividad continua y siendo especialmente utilizadas para la comunicación de corto alcance, con alta velocidad de transmisión mediante las cuales se pretende que los usuarios mantengan conexión y detecten eventos sobre congestión o condición de las vías[1][2][3].

La tendencia de las VANET es alejarse desde el enfoque de una sola tecnología hacia el diseño de sistemas construidos por diversas tecnologías. Debido a la alta movilidad de vehículos y los cambios dinámicos de este tipo de topologías se pretende integrar diferentes redes de acceso inalámbrico tales como WIFI, DSRC, Evolución a Largo Plazo (Long Term Evolution, LTE) y otras tecnologías celulares para soportar aplicaciones y satisfacer varios requerimientos de la demanda de comunicaciones de servicios de Sistema de Transporte Inteligente (Intelligent Transportation Systems, ITS). El gran interés en la investigación de estas redes se debe a la variedad de tecnologías y aplicaciones que van desde sistemas de apoyo al conductor, coordinación autónoma del vehículo y sistemas de transporte inteligentes[4][5].

El objetivo principal de este trabajo es realizar un estudio de WIFI y DSRC comparándolos en términos de confiabilidad, eficiencia y soporte de movilidad, además se da una visión

¹M. J. Andrade estudiante de la carrera de Ingeniería Electrónica en la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, Ecuador (e-mail: mandradet@est.ups.edu.ec)

²J. R. Cumbal estudiante de Doctorado en Telecomunicaciones – Universidad Pontificia Bolivariana Medellín Colombia, miembro del Grupo de Investigación de las Telecomunicaciones GIETET (e-mail: jcumbal@ups.edu.ec)

general de las aplicaciones de redes de vehiculares y sus requisitos de conexión y se contribuye para otros desafíos que influyen el futuro de las VANET sobre todo en la aplicación de nuevas tecnologías como LTE prometiendo una alta transferencia de datos y brindando mayor escalabilidad a la red, aún se esperan varias ofertas de aplicaciones de información para su implementación [6][7].

Basados en los retos mencionados anteriormente este artículo se centrará en el rendimiento de la red particularmente con la implementación de tecnologías inalámbricas bajo el estándar 802.11b y 802.11p implementados en mapas georeferenciados, donde se colocarán las coordenadas para asignar la posición real de los nodos obtenida en OpenStreetMap.

Este documento se encuentra estructurado de la siguiente manera: en la sección 2 se presenta una descripción general de las redes VANET integrando tecnologías inalámbricas en un entorno vehicular heterogéneo, en la sección 3 se explicará las variables del problema y las simulaciones aplicadas en las herramientas generadoras de tráfico como: Simulador de Movilidad Urbana (Simulation of Urban Mobility, SUMO), Generador de Modelos de Movilidad para Redes de Vehículos (Mobility Model Generator for Vehicular Networks, MOVE) y Simulador de Red (Network Simulator, NS2), en la sección 4 se revisarán los resultados obtenidos de las simulaciones comparando los valores del Throughput de la red en diferentes escenarios. Finalmente se culminará el artículo presentando las conclusiones y futuros trabajos.

2. REDES HETEROGÉNEAS VANET (HETVNETS)

Las redes heterogéneas son el actual desafío en comunicaciones inalámbricas ya que permiten a los nodos de las redes comunicarse directamente entre ellos, usando transmisores inalámbricos sin la necesidad de infraestructuras fijas ya que los vehículos sirven como nodos de la red. Para la conexión incorporan diferentes tecnologías de acceso que contienen capacidades potencialmente altas para la transmisión, además son aptas para aprovechar de manera eficaz dichas tecnologías ya que proporcionan una amplia variedad de áreas de cobertura en entornos geográficamente densos y por este motivo se están convirtiendo en un componente importante de los futuros sistemas de transporte inteligentes. Sin embargo, debido a que su topología por ser altamente dinámica, es inevitablemente imposible causar la interrupción de la conexión de red y fallo en la transmisión de paquetes[8][9].

Las redes heterogéneas vehiculares permiten la comunicación V2V y V2I, de la misma manera que las redes vehiculares tradicionales soportadas por una sola tecnología. V2V permite comunicaciones para corto y medio alcance entre los usuarios, ofreciendo costos de despliegue bajos y el apoyo a la entrega de mensajes de baja latencia. V2I permite conectar a los vehículos a la infraestructura para luego entre uno de varios servicios conectarse a Internet para conseguir la difusión de la información y entretenimiento a través de una estación base en carretera (Road Side Unit, RSU) figura 1[4].

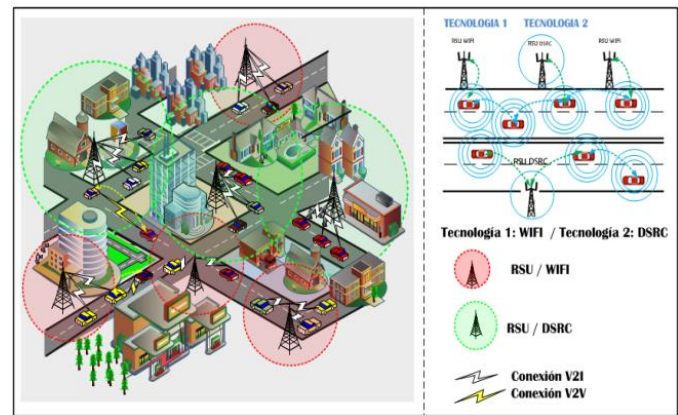


Figura 1. Red Heterogénea VANET.

Varias tecnologías de acceso inalámbrico candidatas pueden ser usadas para soportar este tipo de comunicaciones. La ISO y US DOT actualmente están investigando las funciones complementarias de IEEE 802.11, 802.11p, LTE y otras tecnologías celulares para mejorar la eficiencia de la red [4].

2.1 TECNOLOGÍAS DE ACCESO INALÁMBRICO PARA VANET

Hoy en día existen numerosas tecnologías de acceso inalámbrico que principalmente son utilizadas para proporcionar una interfaz de radio requerido por los vehículos para una conexión adecuada.

WiFi basada en el estándar 802.11b es principalmente utilizada para crear redes vehiculares debido a su bajo costo, facilidad de despliegue y compatibilidad con dispositivos inalámbricos, opera en la banda de frecuencia sin licencia 2.4 GHz y logra velocidades de datos de hasta 11 Mbps [10]. Es utilizada para crear un conjunto de servicios básicos de comunicación en tiempo real especialmente para comunicaciones orientadas a seguridad, proporcionan una manera rentable y sencilla para las redes vehiculares inalámbricas y crea un entorno verdaderamente integrado ya que fomenta la conexión entre los RSUs y los vehículos, sin embargo el número de vehículos aumenta significativamente y afecta el rendimiento de la red WiFi por lo tanto son susceptibles a la interferencia con otros estándares y tecnologías, además presenta alta vulnerabilidad a las interferencias de aire. En general, WiFi necesita más puntos de acceso y proporciona comunicaciones menos seguras y poco confiables para las VANET, sin embargo su implementación abre camino para futuras aplicaciones[11][12].

Por otro lado DSRC bajo el estándar de comunicación vehicular 802.11p, fue desarrollada exclusivamente para satisfacer los requisitos de VANET, tales como auto organización, autoconfiguración, alta movilidad y topología dinámica. Esta es otra tecnología que constituye la base para comunicaciones dedicadas de corto alcance, trabaja utilizando un espectro de 75 MHz en la banda de frecuencia de 5,9 GHz en Estados Unidos mientras que en Europa y Japón opera en espectro de 30 MHz en la banda de 5,8 GHz. Puede proporcionar servicios de conexión V2V y V2I a una distancia de 200 m en el documento

[13] y hasta 400 m según el estudio [14] además soporta una velocidad de datos de hasta 27 Mbps [10][15]. Para la adaptación de IEEE 802.11b a 802.11p, se han introducido algunas mejoras en cuanto a eficiencia para evitar interferencias y brindar conexiones con mayor rendimiento. La integración de WiFi y DSRC puede proporcionar cobertura con una alta velocidad de transmisión a bajo costo proporcionando una amplia gama de información a conductores y viajeros mediante conexiones en tiempo real [16][17]. La tabla 1 presenta una descripción de las principales características de las tecnologías antes mencionadas.

Tabla 1. Características de Tecnologías de Acceso Inalámbrico.

	WIFI	DSRC
Frecuencia	2.4 – 2.497GHz	5.470– 5.925 GHz
Cobertura	100 m	>200m
Capacidad	Baja	Media
Aplicaciones	Redes de datos	Redes vehiculares

Cabe resaltar que en VANET se prevé otro modo de transmisión con el uso de la conectividad de largo alcance por medio de un enlace de acceso inalámbrico en una infraestructura de red pre-existente, en la cual surgen las tecnologías inalámbricas heterogéneas, tales como los sistemas celulares 3G y 4G LTE con una amplia cobertura y capacidad, arquitectura centralizada y alta penetración en el mercado. La próxima generación de estas tecnologías, a menudo referida como la quinta generación (5G) es esperada para que con su futura implementación brinde un mayor apoyo al tráfico vehicular [5][18].

Actualmente existen varios estudios y propuestas para la implementación de redes vehiculares en el mundo para determinados fines, sobre todo para proporcionar información eficiente, en situaciones de tráfico o emergencia donde el énfasis principal es la difusión oportuna de alertas de seguridad a vehículos cercanos bajo diferentes aplicaciones y tecnologías inalámbricas [19].

2.2 PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO

La utilización de protocolos en redes VANET es un factor importante para gestionar la comunicación entre los vehículos y los RSUs, el objetivo de estos protocolos es alcanzar el tiempo de comunicación más corto y seguro para la transmisión de paquetes. Se clasifican en proactivos como: Enrutamiento de Vector de Distancia (Destination-Sequenced Distance-Vector Routing, DSDV), reactivos como Ad hoc Distancia Vector Bajo Demanda (Ad hoc on Demand Distance Vector, AODV) y Encaminamiento Dinámico de la Fuente (Dynamic Source Routing, DSR) [19]. AODV es el protocolo reactivo más eficiente y más utilizado en VANET ya que presenta en promedio una mayor transferencia de paquetes. Además se caracteriza por combinar técnicas de los protocolos DSR y DSDV, dando lugar a un algoritmo más utilizado y eficiente debido a que adquiere y mantiene rutas sólo bajo demanda brindando mayor estabilidad en la transmisión [20][21].

2.3 PARÁMETRO DE RENDIMIENTO VANET

Para comprobar el rendimiento y eficacia de la red vehicular se calcula el throughput, el cual proporciona información de los datos entregados con éxito en el nodo de destino. El rendimiento puede variar por factores como la carga en el sistema, la movilidad del vehículo y la variación de protocolos. Este parámetro se mide normalmente en bytes/segundo o paquetes de datos por segundo. Dado que el rendimiento depende de los paquetes recibidos, el tamaño del paquete y el tiempo de simulación se obtienen mediante la siguiente ecuación[22]:

$$TH = \frac{\text{Total packets received} * \text{size of packet}}{\text{time}} \quad (1)$$

Donde;

TH = Throughput promedio en la red (bytes/seg)

Total packets: Número de paquetes recibidos en el destino

size of packet: tamaño de los paquetes

time: Tiempo total de simulación

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se pretende determinar el comportamiento de las redes móviles en entornos urbanos y evaluar aspectos relevantes de este tipo de redes, para lo cual se establece un sistema vehicular para brindar la conexión V2I y V2V, en el cuál han utilizado diferentes densidades de tráfico donde se colocará un número N de vehículos por cada escenario para brindar el servicio mediante diferentes tipos de tecnologías, cada una con un radio de cobertura entre 100 y 300 metros aproximadamente.

Se utilizará como velocidad promedio 50 km/h, según el límite permitido para vehículos livianos en la ciudad, para la conexión se trabajará bajo los parámetros propios de la tecnologías inalámbricas WIFI y DSRC cada una de las cuales definirá las especificaciones de la Capa Física (Physical Layer, PHY) y de Control de Acceso al Medio (Media Access Control, MAC) necesarias para transmitir información en una red variable. Se obtiene información geográfica de los escenarios con mapas reales previamente obtenidos de OpenStreetMap, además se hace uso del simulador de tráfico MOVE para crear el flujo vehicular el mismo que será visualizado en el simulador SUMO en función del modelo de movilidad.

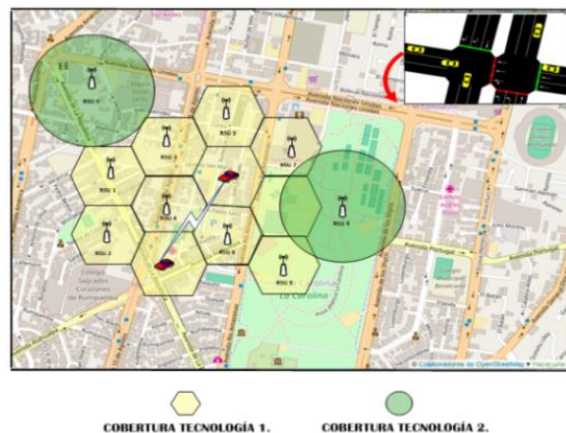


Figura 2. Escenario vehicular OpenStreetMap y SUMO.

Los parámetros de cada tecnología serán modificados en el script .tcl que es el archivo resultante de la configuración de MOVE y SUMO. En este archivo se encuentran las variables para la transmisión de información, en donde se crearán todas las rutas de los nodos de la simulación, la posición en los ejes X, Y de los RSUs y la velocidad de los nodos, además se creará el archivo resultante de las trazas mediante el script .nam y .tr.

Para la ejecución de la simulación se creará el script .nam donde se visualizarán las conexiones obtenidas en el archivo.tcl que serán presentadas por el simulador de red NS-2.35 como se verifica en la figura 3. Para la obtención de resultados se ejecutará el script .tr donde se encuentran las trazas generadas por el tráfico vehicular que serán interpretados gráficamente con el software NS2 Visual Trace Analyzer 0.2.72.

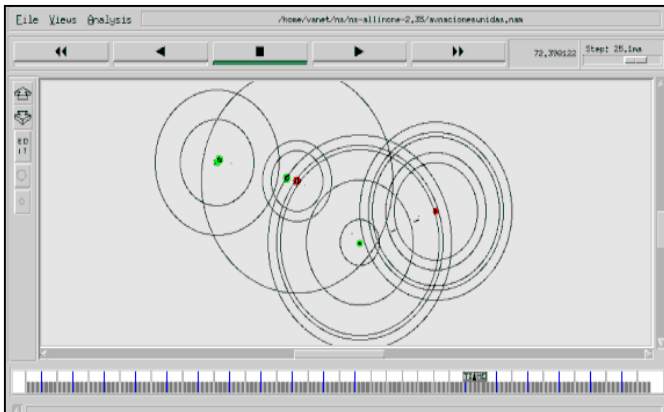


Figura 3. Simulación de conexiones V2V y V2I en NS-2.35.

Para las simulaciones hemos considerado diferentes escenarios en los cuales se han ubicado hasta 5000 nodos para la conexión entre vehículos de transporte privado y radio bases, durante 60 segundos de simulación con un rango de transmisión de 200 m. Los tipos de paquetes a transmitir son tcp por ser un protocolo orientado a la conexión que garantiza mayor entrega de datos. Además se utiliza el protocolo de enrutamiento Ad-hoc AODV y el radio de cobertura de una antena omnidireccional como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Variables para la simulación.

VARIABLES	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Sector	Norte	Centro	Sur
Número de Vehículos	5000	3000	4000
Nodos móviles	260	174	224
Número de RSUs	12	8	10
Tecnología	WIFI/DSRC	WIFI/DSRC	WIFI/DSRC
Antena	OmniDi_reccional	OmniDi_reccional	OmniDi_reccional
Protocolo de enrutamiento	AODV	AODV	AODV
Protocolo de Transporte	Tcp	Tcp	Tcp

Cabe mencionar que se ha elegido el número de RSUs de acuerdo a la necesidad de cada escenario de manera que se brinde la mayor cobertura con las tecnologías mencionadas anteriormente.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para evaluar el comportamiento de las tecnologías en VANET se han analizado distintos escenarios, por lo tanto en la tabla 3 se aprecian los valores obtenidos en cada sector con la variación de las tecnologías propuestas anteriormente.

Tabla 3. Resultados obtenidos en NS2 Visual Trace Analyzer0.2.72.

TECNOLOGÍA		WIFI	DSRC	WIFI/DSRC
Número de paquetes generados	Sector 1.	5685	35666	60560
	Sector 2.	2588	33701	39364
	Sector 3.	16066	93472	102765
Número de paquetes perdidos	Sector 1.	982	1972	2369
	Sector 2.	529	1079	1512
	Sector 3.	791	1477	1869
Número de paquetes recibidos	Sector 1.	4667	33650	58161
	Sector 2.	2002	32558	37801
	Sector 3.	15135	91904	100862

Se evalúa en los 60 primeros segundos de la simulación la cantidad de paquetes generados, perdidos y recibidos por ser resultados relevantes para calcular y comparar que tecnología brinda el mejor rendimiento de la red o throughput. Se puede apreciar una diferencia sustancialmente importante entre la aplicación de las tecnologías de manera individual y su combinación de manera heterogénea que podemos observar en la tabla 3, obteniendo una mayor transferencia de paquetes en los escenarios implementados con WIFI y DSRC.

Para determinar la tecnología inalámbrica que se ajusta mejor al entorno vehicular y favorece al comportamiento de la red se hace la comparación en un escenario con diferentes tecnologías, para lo cual se implementan RSUs como puntos de acceso, ubicados de manera aleatoria pero en lugares críticos es decir donde existe más densidad de tráfico. Para la verificación en el escenario 1, se colocan un total de 12 RSUs de acuerdo a la investigación realizada sobre movilidad vehicular según el estudio [23], bajo las características propias del estándar 802.11b y 802.11p como se aprecia en la figura 4 y 6, cabe resaltar que se toma en cuenta el mismo escenario y la misma posición del nodo para la evaluación del rendimiento de la red.

Con respecto a la figura 4, se presenta la configuración de la red bajo la tecnología WIFI es importante tomar en cuenta que en este tipo de tecnología se debe tener especial cuidado cuando la densidad de red aumenta debido a que puede existir gran interferencia en la transmisión de paquetes por lo que su difusión es realizada en una banda libre actualmente saturada. En la siguiente figura se toma en cuenta el resultado en el nodo 1 para la evaluación del throughput.



Figura 4. Cobertura Escenario 1. Tecnología WiFi.

En relación al throughput de la figura 4 se puede apreciar que el valor resultante evaluado en el nodo 1 implementado la tecnología WIFI, se obtiene un valor de: 83 KB/s (85280 B/s).

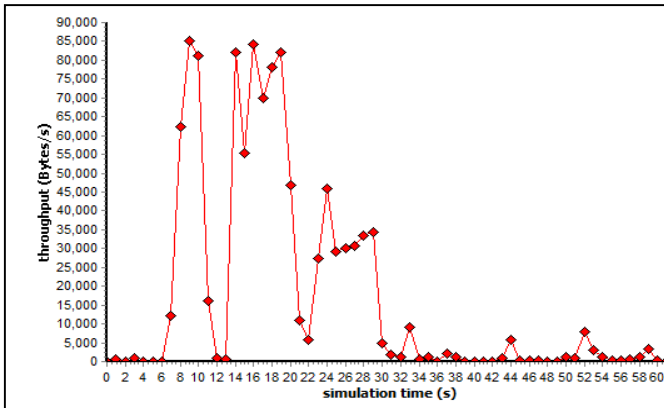


Figura 5. Throughput vs tiempo de simulación. Escenario 1. Nodo1, tecnología WiFi.

En la figura 6 se visualiza la configuración de la red bajo la tecnología DSRC, el diseño del estándar 802.11p está enfocado para VANET permitiendo interoperabilidad con distintas tecnologías. De la misma manera que en la figura 4, se toma el resultado en el nodo 1 para la evaluación del throughput.

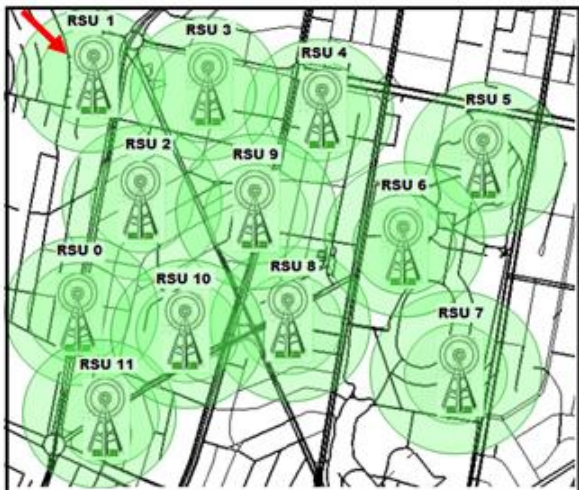


Figura 6. Cobertura Escenario 1. Tecnología DSRC/WAVE.

Por consiguiente en la figura 6 se puede evaluar el rendimiento de la red con respecto al nodo 1 en el cuál se ha implementado DSRC obteniendo un valor de 530 KB/s (542880 B/s).

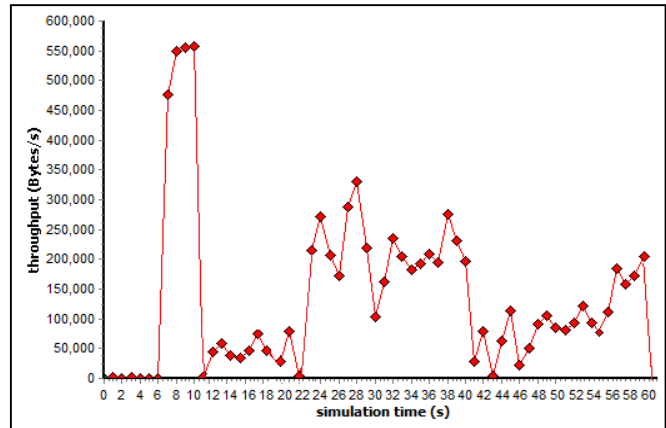


Figura 7. Throughput vs tiempo de simulación. Escenario 1. Nodo1, tecnología DSRC.

Como resultado de la figura 5 y 7 se tiene que en este escenario el throughput correspondiente a la tecnología DSRC tiene mayor eficiencia con respecto a WIFI alcanzando aproximadamente el 86% de rendimiento, esto se debe a que es un estándar propio para la aplicación de redes vehiculares brindando mayor eficiencia a la red, este análisis se lo realiza tomando en cuenta el 100% de eficiencia con los valores obtenidos del escenario 1 únicamente en el nodo1 aplicando las tecnologías de manera individual.

Finalmente para un análisis general en la tabla 4 se muestran los resultados del rendimiento de la red en los tres escenarios. Confirmando que la tecnología DRSC en estos escenarios es hasta 46% más eficiente en que WIFI, además se puede verificar que la combinación de tecnologías inalámbricas proporciona mayor estabilidad por lo tanto se tiene un mejor nivel de throughput en cada escenario.

Tabla 4. Resultados del throughput promedio en escenarios vehiculares.

	WIFI	DSRC	WIFI/DSRC
Escenario 1.	76 KB/s (77847,21 B/s)	557 KB/s (570491,80 B/s)	966 KB/s (989187,5 B/s)
Escenario 2.	33 KB/s (33882,71 B/s)	559 KB/s (572073,22 B/s)	649 KB/s (664407,46 B/s)
Escenario 3.	260 KB/s (266159,32 B/s)	2 MB/s (1618646,78 B/s)	2 MB/s (1776736,95 B/s)

Como resultado final se grafican los datos obtenidos de la tabla 4, comprobando que al implementar una red heterogénea se tiene hasta un 59,3% más de rendimiento y eficiencia en la red en comparación de las tecnologías aplicadas de manera individual como se verifica en la figura 8.

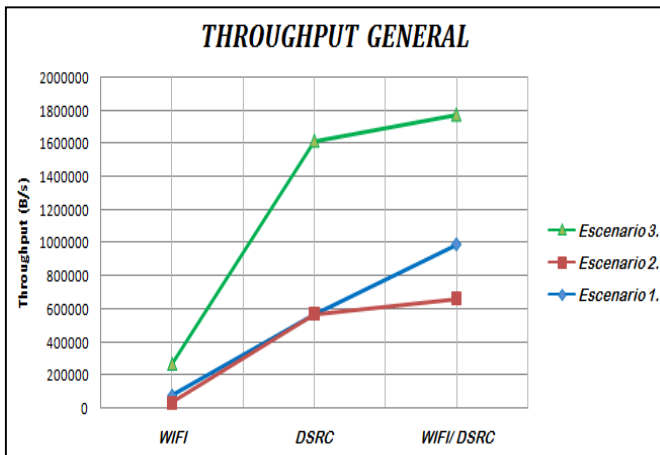


Figura 8. Gráfica del throughput promedio en escenarios vehiculares.

5. CONCLUSIONES

Este artículo propone la aplicación de redes VANET demostrando sus múltiples implementaciones en escenarios vehiculares con diferentes tecnologías de acceso inalámbrico proponiendo diversos desafíos para mejorar la movilidad urbana.

En la investigación de este documento se han evaluado varias herramientas de simulación para redes VANET, optando por la implementación de SUMO, MOVE y NS-2.35 como herramientas complementarias para la implementación de escenarios obtenidos de mapas reales con la posibilidad de crear nodos móviles y apreciar el comportamiento vehicular, aportando para próximas implementaciones de movilidad en NS3.

Los resultados de las simulaciones realizadas validan la eficacia de los esquemas propuestos verificando que en el escenario 1, 2 y 3 la integración de redes heterogéneas con el protocolo AODV implementando dos tecnologías se obtiene un rendimiento superior obteniendo el 60,41%, 52,29% y 48,52% respectivamente en cada escenario.

Se verifica que al implementar cada tecnología por separado, DSRC presenta un mejor rendimiento en la red obteniendo un 34,83%, 45,04% y 44,21% mientras que WIFI tiene solamente el 4,75%, 2,66% y 7,27% en cada escenario.

La simulación de redes vehiculares en escenarios realistas basados en modelos de movilidad, permitió verificar que las tecnologías utilizadas son las más adecuadas debido a su actual desarrollo y eficiencia al ser propias de VANET, se espera que para el transporte de nueva generación el desarrollo de sistemas celulares 3G y 4G brinden futuras comunicaciones.

6. REFERENCIAS

[1] E. C. Eze, S. Zhang, and E. Liu, "Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs): Current State, Challenges, Potentials and Way Forward," no. September, pp. 12–13, 2014.

[2] W. Zhu, D. Li, and W. Saad, "Multiple Vehicles Collaborative Data Download Protocol via Network Coding," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 64, no. 4, pp. 1607–1619, Apr. 2015.

[3] H. Zhang, "Heterogeneous Vehicular Wireless Networking: A Theoretical Perspective," pp. 1936–1941, 2015.

[4] L. Zhang, Heterogeneous Vehicular Networks. .

[5] Y. Zhang, K. Xiong, F. An, X. Di, and J. Su, "Mobile-service based Max-Min Fairness Resource Scheduling for Heterogeneous Vehicular Networks."

[6] G. Chandrasekaran, "VANETs: The Networking Platform for Future Vehicular Applications."

[7] Z. H. Mir and F. Filali, "LTE and IEEE 802.11p for vehicular networking: a performance evaluation," pp. 1–15, 2014.

[8] S. Shao, A. Khreishah, and M. Ayyash, "Delay Analysis of Hybrid WiFi-LiFi System Delay Analysis of Heterogeneous Wireless Access Network: The Case of WiFi and VLC Coexistence," no. October, 2015.

[9] Y. Cheng, S. Kao, and F. Chang, "A Fast Safety Message Transmission Mechanism for Heterogeneous Vehicular Networks," vol. 228, no. 1, pp. 219–228, 2015.

[10] M. S. Anwer and C. Guy, "A Survey of VANET Technologies," vol. 5, no. 9, pp. 661–671, 2014.

[11] M. À. G. Échelle, "Universite paris-sud," vol. 6, 2015.

[12] S. Al-Sultan, M. M. Al-Doori, A. H. Al-Bayatti, and H. Zedan, "A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc network," Journal of Network and Computer Applications, vol. 37, pp. 380–392, Jan. 2014.

[13] A. Mabrouk, A. Kobbane, E. Sabir, J. Ben-Othman, and M. El Koutbi, "Meeting Always-Best-Connected paradigm in heterogeneous vehicular networks: A graph theory and a signaling game analysis," Vehicular Communications, vol. 5, pp. 1–8, Jul. 2016.

[14] D. Tian, H. Luo, J. Zhou, Y. Wang, and G. Yu, "A Self-Adaptive V2V Communication System with DSRC," 2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing, pp. 1528–1532, Aug. 2013.

[15] E. Ndashimye, S. K. Ray, N. I. Sarkar, and J. a. Gutiérrez, "Vehicle-to-Infrastructure Communication over Multi-Tier Heterogeneous Networks: A Survey," Computer Networks, Nov. 2016.

[16] C. M. D. Viegas, F. Vasques, and R. Moraes, "Real-time communication in IEEE 802.11s mesh networks: simulation assessment considering the interference of non-real-time traffic sources," pp. 1–15, 2014.

[17] S. N. Lokhande and S. D., "Design and Simulation of Wireless Ad Hoc Network Using NS2 Simulator," vol. 9, no. 12, pp. 30–33, 2014.

[18] N. M. Sadek, H. H. Halawa, R. M. Daoud, and H. H. Amer, "A Robust Multi-RAT VANET / LTE for Mixed Control & Entertainment Traffic," no. April, pp. 113–121, 2015.

[19] C. Englund, L. Chen, A. Vinel, and S. Y. Lin, "Vehicular ad hoc Networks," pp. 525–544, 2015.

[20] N. Garg and P. Rani, "An improved AODV routing protocol for VANET (Vehicular Ad-hoc Network)," vol. 4, no. 6, pp. 1885–1890, 2015.

[21] M. Kaur, "An Improved Multicast AODV Routing Protocol for VANETs," vol. 121, no. 6, pp. 14–23, 2015.

[22] N. R. Araga, "Study on Reliable Vehicular Communication for Urban and Highway Traffic Mobility," 2016.

[23] C. D. E. I. Civil, "Estudio de Tráfico vehicular y soluciones de movilidad en la ciudad de Quito," 2014.