

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:
ASIGNACIÓN ÓPTIMA DE RECURSOS EN AMBIENTES MÓVILES
DINÁMICOS DESDE LA INFRAESTRUCTURA VANET**

**AUTORES:
CARLOS DAVID GUERRERO CABASCANGO
ANDRÉS SEBASTIÁN GUTIÉRREZ PÉREZ**

**TUTOR
JOSÉ RENATO CUMBAL SIMBA**

Quito, septiembre 2019

Cesión de derechos de autor

Nosotros, Carlos David Guerrero Cabascango, con documento de identificación N° 1718313883 y Andrés Sebastián Gutiérrez Pérez, con documento de identificación N° 1720976123 manifiestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “ASIGNACIÓN ÓPTIMA DE RECURSOS EN AMBIENTES MÓVILES DINÁMICOS DESDE LA INFRAESTRUCTURA VANET”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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



Andrés Sebastián Gutiérrez Pérez

C.I: 1720976123



Carlos David Guerrero Cabascango

C.I: 1718313883

Quito, septiembre 2019.

Declaratoria de coautoría del docente tutor/a

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo Académico “ASIGNACIÓN ÓPTIMA DE RECURSOS EN AMBIENTES MÓVILES DINÁMICOS DESDE LA INFRAESTRUCTURA VANET”, realizado por Carlos David Guerrero Cabascango y Andrés Sebastián Gutiérrez Pérez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre 2019.



José Renato Cumbal Simba

C.I. 1714663760

ASIGNACION ÓPTIMA DE RECURSOS EN AMBIENTES MÓVILES DINÁMICOS DESDE LA INFRAESTRUCTURA VANET

Renato Cumbal§, Sebastián Gutiérrez†, Carlos Guerrero‡

Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador

§Email: rcumbal@ups.edu.ec

†Email: sgutierrezp1@est.ups.edu.ec

‡Email: cguerrero@est.ups.edu.ec

Resumen—Esta investigación presenta un despliegue óptimo de recursos en una infraestructura de RSU a través de comunicaciones heterogéneas para proporcionar una cobertura eficiente a una red vehicular dinámica. Nuestro primer objetivo de este trabajo es configurar escenarios con un enfoque realista utilizando herramientas de software de movilidad para verificar el comportamiento del tráfico de vehículos en las carreteras. El tamaño óptimo de la RSU nos lleva a un segundo objetivo, que es determinar la ubicación de la infraestructura de comunicación heterogénea RSU a través de un modelo matemático de optimización para alcanzar una cobertura eficiente en una red vehicular dinámica simulada. Además, al establecer dinámicamente recursos basados en las restricciones de cobertura y la capacidad de la infraestructura de comunicación heterogénea RSU, así como las restricciones que además imponen la capacidad de los canales para lograr el uso óptimo de la red vehicular.

Abstract—This research presents an optimal deployment of resources in an RSU infrastructure through heterogeneous communications to provide efficient coverage to a dynamic vehicular network. Our first objective of this work is to configure scenarios with a realistic approach using mobility software tools to verify the behavior of vehicular traffic on the roads. The optimal sizing of the RSU leads us to a second objective, which is determine the location of the heterogeneous communication infrastructure RSU through mathematical modeling of optimization to reach an efficient coverage in a simulated dynamic vehicular network. Also, by dynamically establishing resources based on the coverage restrictions and the capacity of the heterogeneous communication infrastructure RSU, as well as the restrictions that additionally impose the capacity of the channels to achieve optimal use of the vehicular network.

Keywords— *Vanet Infrastructure; ILP; RSU; Optimization; Lagrange V2I; ITS.*

I. INTRODUCCIÓN

Las redes VANET, en la actualidad, buscan promover una conducción vehicular segura, brindando información sobre el tráfico, el estado de las carreteras o accidentes de tránsito, mediante el uso de redes de comunicaciones entre vehículos

y una infraestructura fija desplegada en las carreteras [1]. De esta manera, se puede disfrutar de las ventajas de la conducción mediante el desarrollo de sistemas de transporte inteligente (ITS), que en conjunto con las redes VANET pueden ofrecer servicios para gestionar el tráfico y mejorar la seguridad vial, ya que ITS soporta el uso de comunicaciones heterogéneas vehiculares que permiten combinar diferentes tipos de tecnologías y hacer uso de nodos o femtoceldas de baja potencia trabajando en conjunto con las celdas de mayor tamaño o microceldas, con el objetivo de mejorar la cobertura y la capacidad de la red [2][3]. La comunicación entre vehículos y las unidades de carreteras (RSU), conocida como conexión vehículo a infraestructura (V2I), en donde las unidades de carretera son colocadas estáticamente en lugares específicos, pueden facilitar la transmisión oportuna de datos a través de la red [4], y con esto brindar varios servicios en las vías como por ejemplo servicios de emergencia que se pueden difundir rápidamente en la infraestructura y luego transmitirse a los vehículos [5].

En la topología de la red vehicular como se observa en la Figura 1, se mantiene una movilidad dinámica en el mapa de planeación, con movimientos aleatorios de los vehículos y estos conectados a los sitios candidatos activos dentro de la infraestructura V2I. Por otro lado, el impacto potencial de las redes inalámbricas heterogéneas ha sido determinado por una cantidad cada vez mayor de tráfico de internet móvil, para así formar redes vehiculares heterogéneas con distintas tecnologías [6]. Estas redes incluyen redes celulares convencionales y el estándar VANET, por lo tanto, el cambio de modo de acceso y la asignación de recursos entre redes celulares y VANET se convierte en un problema difícil de diseñar y es recomendable modelar un algoritmo que permita la comunicación eficiente desde la infraestructura hacia los vehículos [7], en donde se busca un esquema óptimo para mejorar la capacidad de comunicación, una propuesta que se puede aplicar en varios escenarios prácticos, como comunicaciones de emergencia, servicios y aplicaciones de alta calidad para usuarios de vehículos, etc. El esquema óptimo de selección de modo de acceso y asignación de recursos para reducir la alta complejidad y proporcionar un algoritmo distribuido que

converge en una solución óptima a través de la técnica del Lagrangiano, con lo que se quiere demostrar resultados numéricos que logren notables ganancias de rendimiento, especialmente para redes a gran escala [8].

En la presente investigación se propone un despliegue óptimo de la infraestructura dinámica de VANET en una región de planeación fija y para esto se analizará un modelo de optimización lineal ILP, en el cual se considera el

despliegue de un número mínimo de unidades de carretera para cubrir a la mayor cantidad de vehículos situados en el área de planeación activa, así como el uso adecuado de la capacidad de la infraestructura. El análisis se realiza mediante el uso de mapas realistas geo-referenciados de Open Street Map (OSM) y el algoritmo Lagrangiano que permite optimizar los recursos de la red asignando los canales necesarios por medio de un controlador hacia la infraestructura VANET [2].

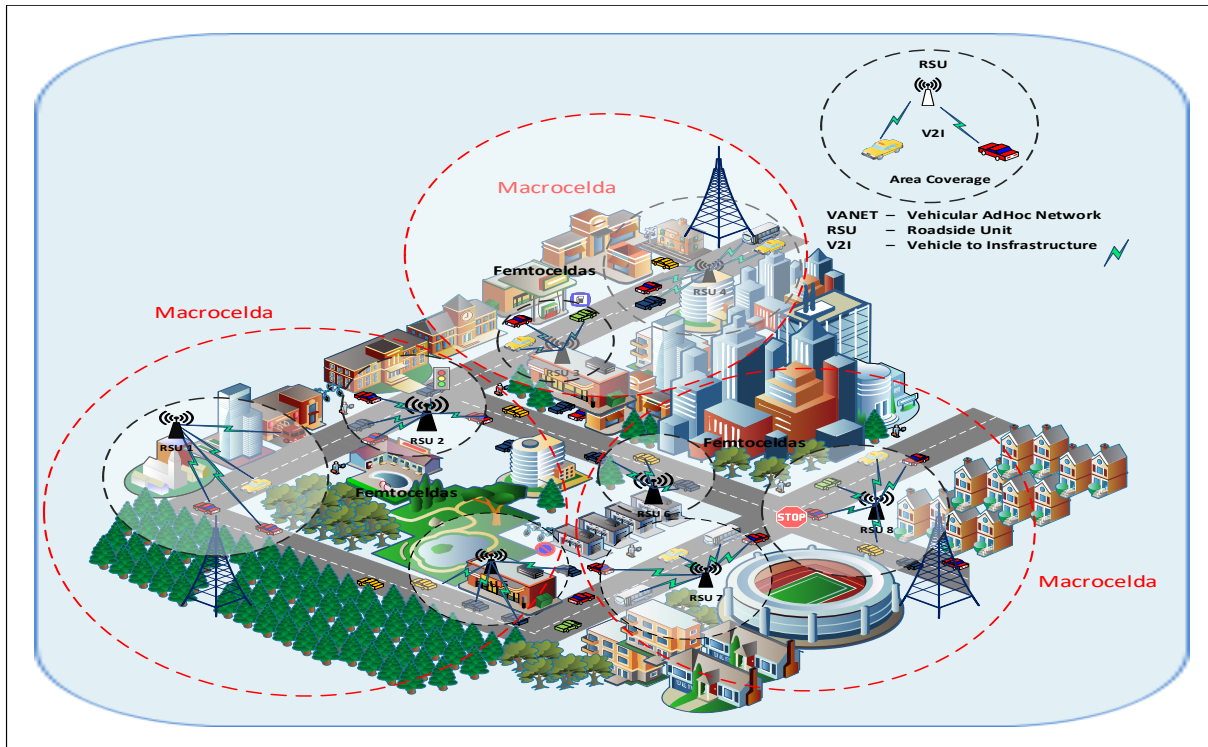


Figura. 1. Arquitectura VANET V2I.

En adelante este artículo se organiza de la siguiente manera. En la Sección II se expone la asignación de recursos en sistemas de comunicación V2I. En la Sección III se desarrolla la formulación del problema, para luego en la Sección IV presentar los resultados y su respectivo análisis, y finalmente se concluye este artículo en la Sección V.

II. ASIGNACIÓN DE RECURSOS EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES HETEROGÉNEAS

La simulación en [19] muestran los resultados similares a los obtenidos en el presente trabajo mediante el uso de las herramientas de software NS-2, SUMO y MOVE. Los resultados obtenidos en este estudio demuestran la efectividad del marco de optimización propuesto basado en un modelo ILP combinado con una simulación VANET. La optimización de la infraestructura permite el ahorro de recursos significativos debido a la determinación del número óptimo y las ubicaciones de la RSU requeridas para un despliegue de VANET dentro de los límites impuestos por el objetivo de cobertura.

En varias investigaciones se han tratado las características y problemas de la comunicación dinámica en la infraestructura VANET, como en [9], que presenta varios escenarios de tráfico sobre entornos relativamente simples y directos mientras que en las condiciones de la ciudad se vuelve mucho más complejo, debido a que sus calles por lo general

están separadas por edificios, árboles y otros obstáculos, en donde no existe una línea directa de comunicación [10], es pertinente realizar un despliegue óptimo de las RSUs, para conseguir una comunicación oportuna y en lo posible libre de obstáculos [11]. Además, el intercambio de recursos en V2I con redes heterogéneas donde se evalúa la ganancia en términos de pérdida de datos, velocidad de datos y retrasos, busca su efectividad ya que depende de la densidad y la ubicación en los respectivos sitios candidatos activos desplegados en el área de planeación [12].

Los autores en [2] definen la planeación y despliegue óptimo de una red de comunicaciones VANET iniciando con un modelo matemático ILP que permite determinar la mejor posición de las RSUs para reducir el uso de recursos que además permite obtener los mejores resultados en cuanto a la cantidad de vehículos que acceden a la infraestructura de red aprovechando la capacidad adicional de las RSUs aún disponibles, logrando obtener mayor alcance en la conectividad de vehículos que inicialmente no eran cubiertos por la infraestructura. Este es el punto de partida para presentar la opción de ubicar redes heterogéneas en la infraestructura mediante la configuración de ciertas tecnologías puntuales que logren activarse de acuerdo con el cambio dinámico del flujo vehicular, logrando tener una cobertura adaptable a las

condiciones de cualquier escenario vehicular y con esto conseguir un ahorro de recursos en toda la red [6][14].

En cuanto al rendimiento de VANET y la cobertura del entorno vehicular están altamente relacionados, uno de los objetivos de los investigadores, hoy en día, en [15][16] es encontrar ubicaciones ideales que tengan mayores impactos en las redes de vehículos para lo cual se presentó en [17] un método de optimización basado en programación de enteros binarios (BIP) para encontrar ubicaciones óptimas para la instalación de RSU en escenarios urbanos y de carreteras. Algunas de las características importantes de estos enfoques son las restricciones de los entornos urbanos y de carreteras, las limitaciones de red y los requisitos de la aplicación en el modelo planteado. Debido a la gran complejidad de tiempo del modelo, se aplicó un método heurístico para resolver el problema de colocación de RSU. Este método tiene una complejidad de tiempo más adecuada, mientras que los resultados están cerca de lo que podría obtenerse en el método de optimización. Las simulaciones muestran que el modelo propuesto ya tiene un tiempo real de simulación, ya que a través de la ubicación óptima de RSU se puede analizar la conexión en diferentes intervalos de tiempo. Además, al ubicar las RSU aleatoriamente y considerar las restricciones del entorno urbano y de carreteras, evita la instalación de RSU en muchas zonas; por lo tanto, en comparación con los otros modelos, utilizará menos RSU para la cobertura y tiene más escalabilidad.

Por otro lado en [20] se consigue optimizar proponiendo un enlace entre el Puntos de Agregación de Datos Universales (UDAP) con el mínimo despliegue de enlaces de fibra óptica a través de un modelo ILP y un algoritmo denominado Clustering Location Deployment Allocation Cost – CLDAC. En cuanto a la UDAP se considera diferentes tecnologías de comunicaciones, por lo tanto, esta situación permite que los servicios adicionales a VANET se estén considerando en el futuro, obteniendo así como resultado una escalabilidad dinámica, acorde a los parámetros como densidad poblacional, demandas de tráfico, mismos que orienten la próxima expansión de la red óptica.

III. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Se establece un sistema vial dinámico donde se realizarán escenarios dinámicos simulados y optimizados con infraestructura V2I en una red de comunicaciones VANET para brindar servicios mediante el despliegue adecuado de RSUs, los recursos de la infraestructura RSU se realiza mediante comunicaciones heterogéneas con tecnologías que son muy comunes en ambientes vehiculares como WiFi de 2,5 GHz y la tecnología 802.11p. Los vehículos pueden ubicarse aleatoriamente en las vías y busca enlazarse a una RSU que se encuentre disponible y que tenga la capacidad de admitirla.

Por otro lado para determinar la ubicación óptima de la infraestructura de comunicación RSU y asignar dinámicamente recursos en función de las restricciones de cobertura y capacidad de la infraestructura de comunicación, así como las restricciones que imponen la capacidad de los canales para lograr un uso óptimo de la red vehicular se realizó, un modelamiento matemático de optimización ILP para alcanzar una cobertura eficiente en una red vehicular dinámica simulada, definiendo conjuntos que representan los

vehículos que intervienen en la optimización y a la vez la cantidad de los sitios candidatos específicos donde se puede activar una RSU. La cantidad de vehículos cubiertos por las RSUs activas viene dado por el porcentaje de cobertura que ofrece el modelo a los vehículos. R_i son todos las RSU del modelo de optimización y R el radio de cobertura constante del modelo.

Finalmente, la demanda y los recursos que son parte de análisis del modelo mediante $\vec{\lambda}$ que interpreta el coeficiente lagrangiano.

Se utilizó la herramienta de software matemático MATLAB para realizar la codificación del modelo es en donde se crean las ecuaciones necesarias de optimización y distribución de las RSUs y vehículos respectivamente, así como para la resolución del problema de programación lineal planteado y el modelamiento Lagrangiano que sirve para la asignación óptima de recursos.

MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VANET EN ESCENARIOS DINÁMICOS

$$\min \sum_{i=1}^m R_i \quad (1)$$

La Ecuación 1 busca minimizar el número de RSUs mediante la función objetivo, teniendo en cuenta ciertas restricciones, como el límite de un mínimo porcentaje de vehículos que buscan la optimización de las RSUs mediante el análisis de cobertura, también el estudio de cada RSU y posible conexión de los vehículo a estos, en cada uno de los canales y por último se analiza de qué manera se puede garantizar que cada RSU no exceda la capacidad asignada, donde la sumatoria de los vehículos conectados a la misma RSU operan en un único canal que debe ser menor o igual a la capacidad de cada RSU.

El modelo de relajación Lagrangiano inicia con la variación de demanda en diferentes intervalos de tiempo teniendo en cuenta los recursos asignados en cada RSU y sigue con la maximización de la sumatoria de las variables de decisión y la Función de Reward o de recompensa, utilizada en el método Lagrangiano y partiendo por los recursos en diferentes tiempos r_1^t, r_2^t , hasta conseguir el valor máximo de optimización mediante el coeficiente de lagrange.

$$u = \begin{matrix} RSU1 \\ RSU2 \end{matrix} \begin{bmatrix} t=1 & t=2 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & t=8 \\ 0 & 2 & 1 & 0 & 4 & 3 & 2 & 1 \\ 0 & 2 & 4 & 1 & 4 & 7 & 2 & 3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

(u_1^t, u_2^t) Demanda

$$\max[\sum_t \mathbb{R}(r_1^t, u_1^t) + \sum_t \mathbb{R}(r_2^t, u_2^t)] \quad (3)$$

$$\max_r = \frac{\lambda^2}{4} - \lambda u \text{ Valor maximo} \quad (4)$$

TABLA I: VARIABLES Y COEFICIENTES EN EL MODELO DE OPTIMIZACIÓN

| Nombre | Dominio | Interpretación |
|-----------|-----------------------------|-------------------------------------|
| R_i | $Z > 0$ | RSU i-ésimo |
| u_i^t | $Z > 0; 1, 2, \dots, u_i^t$ | Demanda |
| r_i^t | $Z > 0; 1, 2, \dots, r_i^t$ | Recursos |
| R | $[0, 300]$ | Función de Reward (recompensa) |
| M | $Z > 0$ | Número máx de canales (controlador) |
| λ | $Z > 0$ | Coefficiente de Lagrange |

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Figura 2, se presenta la simulación de tráfico vehicular y ubicación de los sitios candidatos de las antenas o RSUs que en este caso son 42 sitios candidatos o posibles ubicaciones fijas de las RSU. Estos sitios candidatos son elegidos aleatoriamente, tratando de cubrir todo el escenario.

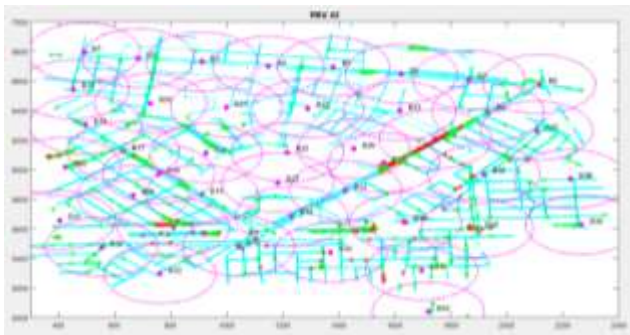


Figura 2. Simulación de tráfico vehicular y ubicación de los sitios candidatos de las antenas o RSUs.

En el escenario y optimización en la Figura 3 se muestra la optimización de la infraestructura VANET mediante ILP y las conexiones de los vehículos así como se indican las posiciones promedio de cada vehículo en un intervalo de tiempo o transiciones de la simulación y todos los sitios candidatos para las ubicaciones de las RSU, además se muestra los resultados obtenidos de la optimización de antenas o RSUs.

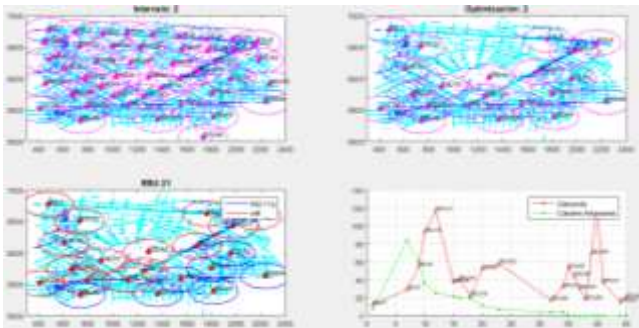


Figura 3. Escenario en el intervalo uno optimizado de la infraestructura VANET mediante ILP.

En la Figura 4, se muestran los sitios candidatos para las ubicaciones de cada RSU, las posiciones promedio de cada vehículo en un intervalo de tiempo o transición de la simulación, esto se hace para poder realizar la optimización de RSU que cumplan con un porcentaje de cobertura de vehículos establecido.

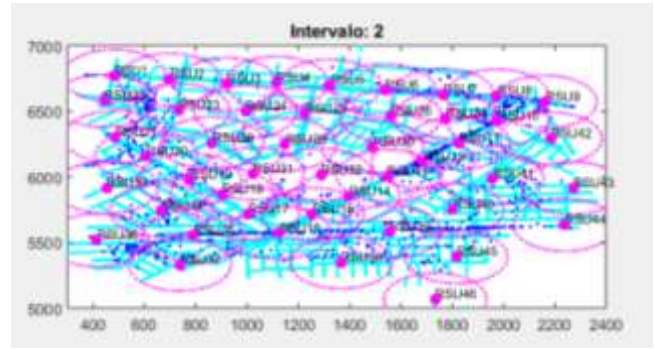


Figura 4. Posiciones promedio de cada vehículo en un intervalo de tiempo o transiciones.

En la Figura 5, se muestran los resultados obtenidos del despliegue óptimo de las RSUs, en donde se presentan solo las antenas necesarias para cumplir las condiciones de porcentaje de usuarios dentro del radio de cobertura de todas las RSU, que en este caso es el 90%, indicando la totalidad de vehículos que deben estar dentro del área de cobertura general de la infraestructura. El óptimo despliegue de RSUs concluye que de un total de 42 sitios candidatos la optimización basada en el tráfico vehicular en un período de tiempo solo se necesitará 21 RSUs.

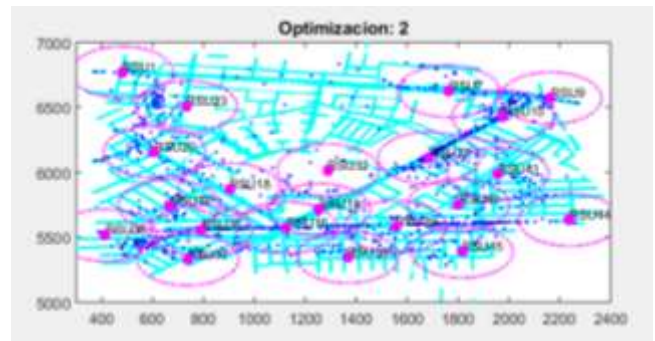


Figura 5. Resultados obtenidos de la optimización de antenas o RSUs.

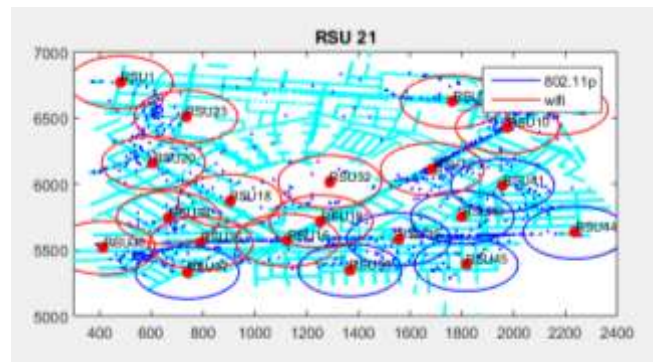


Figura 6. Tipos de tecnología asignada según la demanda en cada RSU.

En la Figura 6, se muestra la tecnología asignada dependiendo de la demanda vehicular en un período de tiempo y el número de cada RSU que se activaron en la optimización, la cantidad de vehículos que se encuentran dentro del radio de cobertura de cada RSU y la asignación de canales para cada RSU se realiza mediante el modelo matemático de la Relajación de Lagrange, teniendo en cuenta que el valor máximo del controlador de canales por radio de cobertura es de 145 canales. Las tecnologías elegidas son la 802.11p que utiliza canales de ancho de banda de 10 MHz en la banda de 5.9 GHz representadas de

color azul y la WiFi en la banda de 2,5 GHz, donde cada canal tiene 22 MHz de ancho de banda, representada de color rojo. Estas tecnologías manejan comunicaciones de corto alcance, amigables para redes de comunicación vehiculares; también exclusivas para diferentes aplicaciones, como servicios de seguridad vehicular.

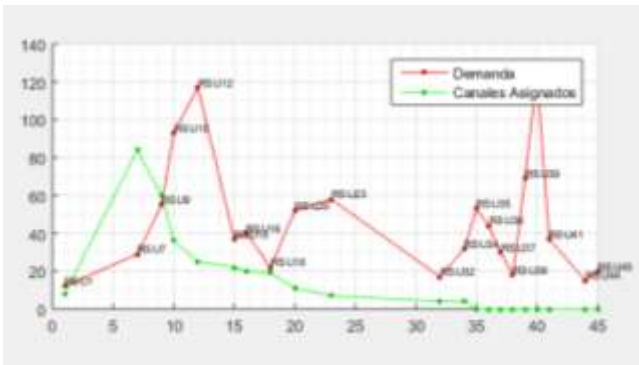


Figura. 7. Demanda vs. canales asignados.

En la Figura 7, se muestra la demanda de canales en cada RSU optimizada y la asignación de canales en los mismos, de esta manera se puede comparar la asignación antes y después de utilizar el método de Lagrange y así poder asignar un número de canales fijos al controlador y que estos sean distribuidos de manera eficiente.

En este caso, la demanda son las RSUs activas en un período de tiempo y graficadas de color rojo. Es mayor a los canales asignados por lo que el método Lagrangiano asigna recursos dependiendo del flujo vehicular. En este caso asigna canales hasta la RSU34, teniendo 12 RSUs activas y con canales asignados y 9 RSUs activas sin asignación de canales.

V. CONCLUSIONES

La presente investigación, en principio, obtiene la distribución de manera óptima de los recursos en una infraestructura RSU mediante comunicaciones V2I que brinda una cobertura eficiente a una red vehicular dinámica, iniciando con un modelo matemático ILP y un algoritmo Lagrangiano que ayuda a determinar la ubicación óptima de la infraestructura de comunicación heterogénea RSU. Esto para alcanzar una cobertura eficiente en una red VANET; así como asignar, dinámicamente, recursos en función de las restricciones de cobertura y la capacidad de los canales para lograr un uso óptimo de la red vehicular.

Se obtuvo sitios candidatos en una simulación dinámica realista para las ubicaciones de cada RSU, las posiciones promedio de cada vehículo en un intervalo de tiempo para poder realizar la optimización, obteniendo el 90% de cobertura; optimizando el despliegue de RSUs que de un total de 42 sitios candidatos, la optimización basada en el tráfico vehicular en un período de tiempo, solo se necesitará 21 RSUs en el escenario de planificación.

El método Lagrangiano donde se obtuvo los canales asignados en un período de tiempo, obtuvo como resultado un 57% de RSUs activas y con canales asignados; teniendo en cuenta que este método sigue una línea de optimización donde da preferencia a la primera conexión que tiene un vehículo a un sitio candidato.

REFERENCIAS

- [1] D. Mohan, "a Survey on Vanet Architecture," vol. 5, no. 5, pp. 603–609, 2016.
- [2] R. Cumbal, H. Palacios, and R. Hincapié, "Optimum deployment of RSU for efficient communications multi-hop from vehicle to infrastructure on VANET," *2016 IEEE Colomb. Conf. Commun. Comput. COLCOM 2016 - Conf. Proc.*, 2016.
- [3] S. Clouding P. M. Kumar, "Challenges on Mobility Models Suitable to Vanet," *J. Softw.*, vol. 12, no. 2, pp. 91–100, 2017.
- [4] X. Hou, Y. Li, D. Jin, D. O. Wu, and S. Chen, "Modeling the impact of mobility on the connectivity of vehicular networks in large-scale urban environments," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 65, no. 4, pp. 2753–2758, 2016.
- [5] J. Tang, D. K. C. So, E. Alsusa, K. A. Hamdi, and A. Shojaeifard, "Resource Allocation for Energy Efficiency Optimization in Heterogeneous Networks," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 33, no. 10, pp. 2104–2117, 2015.
- [6] A. Zekri and W. Jia, "Heterogeneous vehicular communications: A comprehensive study," *Ad Hoc Networks*, vol. 75–76, pp. 52–79, 2018.
- [7] A. Palaguachi, D. Alexandra, E. Tenempaguay, and E. Estuardo, "Diseño de una red de comunicación vehicular inteligente, integrando la tecnología Ad-Hoc con LTE, para la movilidad en la zona urbana de la ciudad de Cuenca," 2015.
- [8] Y. Qi, H. Wang, L. Zhang, and B. Wang, "Optimal access mode selection and resource allocation for cellular-VANET heterogeneous networks," *IET Commun.*, vol. 11, no. 13, pp. 2012–2019, 2017.
- [9] F. Li, Y. Wang, and N. Carolina, "Routing in Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey," no. June, pp. 12–22, 2007.
- [10] R. Z. Radzi *et al.*, "Interference-Aware Multipath Video Streaming in Vehicular Environments," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 47610–47626, 2018.
- [11] J. P. Singh, N. Bambos, B. Srinivasan, and D. Clawin, "Wireless LAN performance under varied stress conditions in vehicular traffic scenarios," pp. 743–747, 2003.
- [12] T. Yang, R. Zhang, X. Cheng, and L. Yang, "A graph coloring resource sharing scheme for full-duplex cellular-VANET heterogeneous networks," *2016 Int. Conf. Comput. Netw. Commun. ICNC 2016*, 2016.
- [13] T. S. J. Darwish, K. Abu Bakar, and K. Haseeb, "Reliable Intersection-Based Traffic Aware Routing Protocol for Urban Areas Vehicular Ad Hoc Networks," *IEEE Intell. Transp. Syst. Mag.*, vol. 10, no. 1, pp. 60–73, 2018.
- [14] M. Fogue, J. Sanguesa, F. Martinez, and J. Marquez-Barja, "Improving Roadside Unit Deployment in Vehicular Networks by Exploiting Genetic Algorithms," *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 1, p. 86, 2018.
- [15] M. Campaña, E. Inga, and R. Hincapié, "Optimal placement of universal data aggregation points for smart electric metering based on hybrid wireless," *CEUR Workshop Proc.*, vol. 1950, no. October, pp. 6–9, 2017.
- [16] [N. M. Balouchzahi, A. Akbari, and M. Fathy, "Optimal road side units placement model based on binary integer programming for efficient traffic information advertisement and discovery in vehicular environment," *IET Intell. Transp. Syst.*, vol. 9, no. 9, pp. 851–861, 2015.
- [17] T. Report, "Analytical Model for Connectivity Based IEEE802.11P in Vehicular Ad-Hoc Networks," no. March, 2017.
- [18] R. Cumbal, X. Calderon, R. Hincapié, L. Urquiza, and G. Arevalo, "Performance analysis of a VANET with optimal infrastructure location in setting urban," *2018 IEEE Colomb. Conf. Commun. Comput. COLCOM 2018 - Proc.*, 2018.
- [19] A. Peralta-Sevilla, E. Inga, R. Cumbal, and R. Hincapié, "Optimum deployment of FiWi Networks using wireless sensors based on Universal Data Aggregation Points," *2015 IEEE Colomb. Conf. Commun. Comput. COLCOM 2015 - Conf. Proc.*, 2015.