

## **EVALUACIÓN DE REDES VANET ORIENTADA AL TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.**

### **EVALUATION OF NETWORKS VANET VEHICULAR ORIENTED TRAFFIC IN THE CITY OF BOGOTA.**

**Anderson Fabián Sánchez Marín.\* Rosa Adriana Pineda Samacá.\*\***

**Resumen:** El artículo a continuación presenta un análisis y estudio de las Redes vehiculares Ad Hoc (VANET) la cual es una tecnología dirigida al mejoramiento de las condiciones de los vehículos en las vías, se describe sus conceptos fundamentales, característicos y estándares de comunicación. En base de diferentes artículos y estudios sobre esta tecnología se toma la información más relevante y se establece una posible aplicación de estas redes enfocadas en mejorar la movilidad del tráfico vehicular en la ciudad de Bogotá, ya que al poderse suministrar información entre vehículos y usuarios, se pueden reportar situaciones peligrosas en la vía o situaciones de alerta de gran ayuda.

**Palabras clave:** AD-HOC, movilidad de tráfico vehicular, VANET, Estándares.

---

\* Tecnólogo en Electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Estudiante Ingeniería en Telecomunicaciones y Diplomado en Gestión de proyectos en Telecomunicaciones y Control. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. E-mail: [fabian.sanchez.30@hotmail.com](mailto:fabian.sanchez.30@hotmail.com)

\*\* Tecnólogo en Telecomunicaciones SENA. Estudiante Ingeniería en Telecomunicaciones y Diplomado en Gestión de proyectos en Telecomunicaciones y Control. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. e-mail: [adrip2328@gmail.com](mailto:adrip2328@gmail.com)

**Abstract:** The following article presents an analysis and study of Vehicular Ad Hoc Networks (VANET) which is a technology aimed at improving the conditions of vehicles on roads, their fundamental characteristic concepts and communication standards described. Based on different articles and studies on this technology the most relevant information is taken and possible implementation of these networks focused on improving the mobility of vehicular traffic in the city of Bogota is established, since by being able to provide information between vehicles and users, they can report dangerous situations on the road or alert situations of great help.

**Key Words:** AD-HOC, mobility of vehicular traffic, VANET, Standards.

## **1. Introducción**

Cada vez es mayor la necesidad de utilizar los beneficios que ofrecen las nuevas tecnologías para contribuir al mejoramiento de aspectos como la seguridad vial y el intercambio de información de las vías de Bogotá, donde se busca un buen desempeño en la movilidad y el impacto que genera la gestión inteligente del tráfico vehicular a través de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC).

La congestión y el tráfico vehicular en las vías de la ciudad de Bogotá es una gran problemática que ha ido incrementando con el pasar de los años y cada vez se hace más compleja la búsqueda de alternativas o soluciones debido al crecimiento desproporcionado de vehículos en las vías y al poco mantenimiento de su malla vial.

Como parte inicial del artículo se dará un preámbulo sobre las redes VANET, estándares que intervienen en las comunicaciones inalámbricas (IEEE 802.11p), análisis y estudios de tráfico vehicular en Bogotá.

El problema de tráfico que actualmente posee la ciudad puede mejorar con la implementación de las Redes Inalámbricas Ad-Hoc (VANETs) ya que a través de la aplicación se puede tener un control del tráfico urbano dado que por las características y usos de esta tecnología se puede establecer la comunicación entre vehículos; con esta conexión en conjunto se podría ofrecer información sobre el estado de las vías a los demás integrantes de la red y así poder llegar a tener un control vial urbano por parte de todos los usuarios.

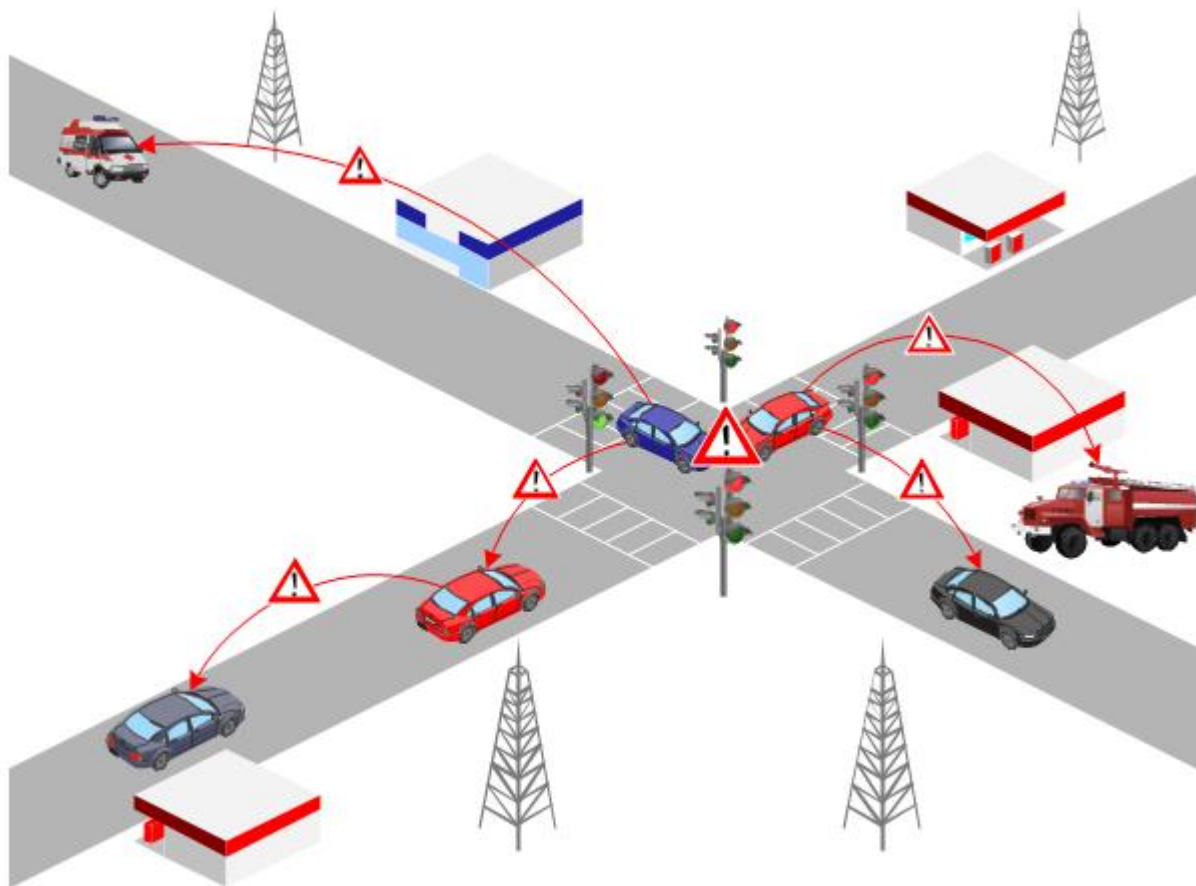
Al analizar datos de simulaciones y estudios realizados de esta tecnología se planteará un punto de vista y posible aplicación enfocada a proporcionar una potencial solución al gran problema de congestión de la ciudad de Bogotá

## **2. Redes VANET**

Las redes VANET's son redes inalámbricas que no dependen de una infraestructura física desplegada para su funcionamiento, se denomina como una red flexible que solo requiere de dos o más nodos. Una de las grandes características es que cada uno de los nodos puede

actuar como transmisor, receptor o enrutador sin necesidad de un punto de acceso centralizado.

Estas redes pueden llegar a proporcionar información sobre el tráfico vehicular donde los nodos son los vehículos y cualquier nodo puede actuar como estación, nodo central o un Router, el movimiento arbitrario de los nodos hace que la topología de red permute afectando la comunicación debido a la velocidad de los mismos, aunque esta comunicación contribuye a eludir la congestión en la vía y ayuda a la seguridad de los pasajeros de los vehículos. [1]



**Figura 1. Diagrama VANET [10]**

## **2.1. Características de las redes VANET**

Las redes VANET (Vehicular ad hoc networks) hace parte de las redes móviles ad hoc MANET (Mobile ad hoc networks) el propósito de estas es suministrar flexibilidad y autonomía, donde no hay un nodo central o estación central, los nodos móviles utilizan una interface inalámbrica para enviar datos. [3]

En las redes VANET's una de sus características es que los vehículos son los nodos, su topología es variable debido a la movilidad de estos, por el movimiento vehicular su velocidad hace que esto sea un inconveniente en este tipo de red. Cuando los vehículos van en la misma dirección su velocidad es similar y pueden tener una comunicación por un periodo largo de tiempo. Pero estas velocidades están regidas por las normas de tránsito, y dependen de las rutas, zonas o escenarios en que se encuentran. Esto contribuye a que la topología de red y los parámetros de movilidad sean predecibles. [13]

En este tipo de redes la fidelidad de la información y a que es en tiempo real es de gran importancia. Este sistema de comunicación es de gran ayuda para evitar congestiones en una vía como de prevenir accidentes de tránsito, además de ayudar a mecanismos de emergencias a ser oportunos en casos de siniestros. [2]

Se definen dos tipos de comunicación en las redes vehiculares: V2V y V2I hacen parte de V2X orientada a prevenir accidentes y salvar vidas

- ✓ La comunicación Inter-vehículo o vehículo-a-vehículo (V2V), en este tipo los autos intercambian mensajes directamente entre ellos, se conoce como OBU (OnBoard Unit) unidades abordo.

- ✓ La comunicación vehículo-a-infraestructura (V2I) allí el intercambio se efectúa con dispositivos fijos, como peajes y puntos de acceso a Internet, denominada RSU (Roadside Unit) unidades en puntos específicos.

### **Características**

- ✓ Topología variable: de acuerdo a la velocidad vehicular y la movilidad de estos, la topología cambia constantemente.
- ✓ Red sin infraestructura fija en la comunicación V2V no posee un dominio central de administración de nodos.
- ✓ Red frecuentemente desconectada: porque es fácil perder comunicación entre los vehículos ocasionando pérdida de paquetes.
- ✓ Nodos autoconfigurables: no existe un coordinador para las comunicaciones debido a esto los nodos se auto-organizan y auto-administran.
- ✓ Suministro de energía ilimitada: los nodos no tienen restricciones en el consumo de energía, la batería de los vehículos suministra una capacidad suficiente para el funcionamiento. [3]
- ✓ Escalabilidad: el número de nodos puede crecer hasta llegar a miles, pero la incorporación y descarte de nodos es un proceso sencillo y transparente.
- ✓ Aspectos de radiocomunicación: la radio comunicación es compleja debido a factores como: interrupciones frecuentes en el radio enlace, condiciones contraproducentes para la propagación de la señal (reflexión, atenuación) e interferencias debido a otros

enlaces a altas velocidades que podrían alcanzar los vehículos, la distribución de las vías, edificios o estructuras que afectan a señal y objetos que se convierten en una obstrucción en la variable del tiempo.

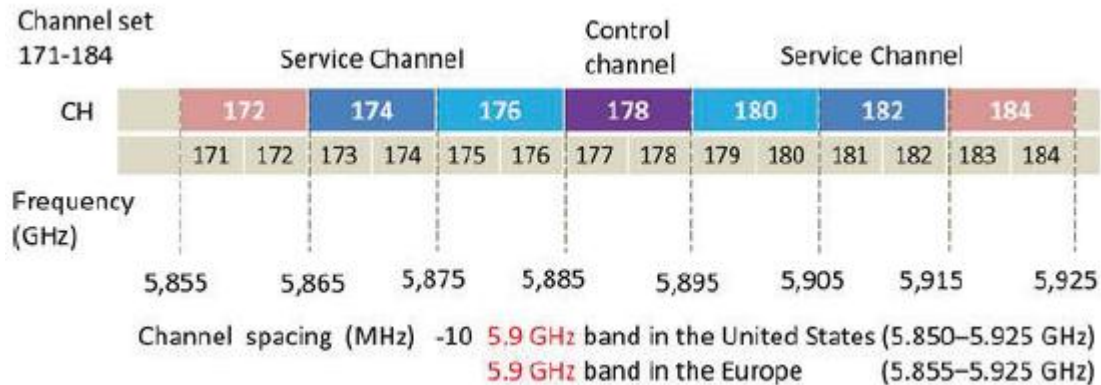
- ✓ Ancho de banda limitado: dispone de un ancho de banda limitado, no puede aprovechar suficientemente las capacidades de esta debido a la atenuación e interferencias.
- ✓ Seguridad: debido a que es una red utiliza un medio inalámbrico hace que cualquiera tenga acceso, se debe garantizar que la información sea confiable. [13]

### **3. Estándar 802.11p**

El estándar 802.11 es la norma creada para las comunicaciones inalámbricas, el grupo de trabajo del estándar IEEE 802.11 trabaja en el 802.11p que es la base de las comunicaciones de corto alcance (DSRC) Dedicated Short Range Communications. En el año 2002 la Sociedad Americana de Transporte Inteligente (ITSA, Intelligent Transportation Society of America) recomendó la adopción de un único estándar para la capa física y para la capa de acceso al medio (MAC, Medium Access Control) propio de las VANET. En el año 2004 se consolida el grupo de trabajo IEEE TFp (Task Force p) con el objetivo de especificar una arquitectura de comunicación para entornos vehiculares, basada en la tecnología inalámbrica para redes de área local IEEE 802.11, denominada IEEE802.11p. [7] Posterior a esto, el grupo de trabajo IEEE 1609 desarrolló un conjunto de especificaciones de las capas de red, transporte y aplicación para las comunicaciones Vehiculares (Hartenstein & Laberteaux, 2008; Jian & Delgrossi, 2008). Estos estándares definen el acceso inalámbrico

en ambientes vehiculares en un conjunto de protocolos llamados WAVE (Wireless Access in the Vehicular Environment).

El estándar IEEE 802.11p define el uso de las capas interiores, la capa física y capa MAC de la pila de WAVE y las capas superiores se definen en el estándar IEEE 1609, donde se definen un grupo de normas para la arquitectura, el modelo de comunicación la estructura de gestión, seguridad y el acceso físico para el entorno WAVE. [5]



**Figura 2. Los canales disponibles para 802.11p [5]**

Indicative wireless data link characteristic	802.11p WAVE
Bit rate	3 – 27 Mbps
Communication range	< 1000 m
Transmission power for mobile (maximum)	760 mW (US) 2 W (EU)
Channel bandwidth	10 MHz
Allocated spectrum	75 MHz (US) 30 MHz (EU)
Frequency bands	5.86 – 5.92 GHz

**Tabla 1. Información del canal inalámbrico V2X, IEEE 802.11p [6]**



En la capa física (PHY) utiliza la transmisión multiportadora OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

La capa MAC establece los mecanismos de acceso al canal de comunicación permitiendo que el conjunto de estaciones compartan el medio inalámbrico, además tiene en cuenta aspectos en la transmisión como la probabilidad de recepción de paquetes, tiempo de acceso al canal, control de congestión y priorización de mensajes. [3]

#### **4. Protocolos de enrutamiento**

Un protocolo de enrutamiento es aquel que define la comunicación entre routers, este permite compartir información con otros routers, además de las redes que conoce y su proximidad con otros routers. [8]

En este tipo de protocolos se debe tener en cuenta algunos criterios para la optimización de la red como es: el alcance, modo de descubrimiento de rutas y tipos de algoritmos que implementan, se menciona solo dos de ellos en este artículo.

Los protocolos geocast se definen en dos tipos de envío de paquetes, de entrega de paquetes geounicast entrega de paquete a un solo nodo y entrega de paquetes geobroadcast, donde encamina los paquetes hacia la región geográfica de destino donde y los envía a todos los nodos de esa zona, ambos basados en GPRS. [12]

En este caso particular de los multicast es muy usado en redes VANETs porque es un protocolo de multidifusión donde se logra enviar paquetes a múltiples receptores de forma simultánea, es como realizar una conferencia. Los protocolos geocast son protocolos multicast donde los grupos están organizados en función de la posición geográfica de los

nodos de la red. Se usan protocolos geocast cuando se desea enviar un mensaje a un grupo de vehículos de una determinada zona. [9]

El protocolo AODV, es un protocolo reactivo unicast para redes ad-hoc que establece la ruta por demanda, quiere decir, que la ruta no se encuentra preestablecida, ya que el nodo receptor valida las rutas comparando su número de secuencia. Si un nodo quiere establecer comunicación con otro nodo, y la ruta no está establecida, envía un mensaje broadcast de solicitud de ruta ROUTE REQUEST (RREQ). Los nodos por los que tiene que pasar este mensaje registran la información sobre la ruta inversa hacia el nodo de inicio.

A cada nodo se le asocia una tabla de encaminamiento que contiene el identificador de origen, el identificador de destino, el número de secuencia de origen, el número de secuencia de destino, el identificador de emisión, el tiempo de vida y un contador de salto. Al llegar a un nodo y encontrar la ruta válida se comprueba el número de secuencia (DestSeqNum). Si este número es mayor al número de secuencia guardado, se considera que la ruta es válida, y este nodo envía un mensaje tipo ROUTE REPLY (RREP), con la información sobre la ruta inversa hacia el nodo de inicio.

Una vez establecida la ruta, esta se mantiene por un tiempo, para no tener que realizar todo el proceso cada vez que se envía un paquete. Si un nodo intermedio se mueve, la topología cambia, por lo que este nodo ya no será utilizado y el nodo inmediatamente anterior, de fuente a destino, notifica, mediante un mensaje de error en la ruta (Router Error - RERR), el

movimiento del nodo, y así el nodo de inicio deberá volver a comenzar el descubrimiento de ruta. También podría darse el caso del movimiento del nodo de inicio, en este caso el mismo nodo debe reiniciar el descubrimiento de ruta.

Por otra parte, debido a que muchos nodos están transmitiendo se pueden recibir números de secuencia de destino repetidos, en ese caso los números repetidos se eliminan. Este protocolo tiene como ventaja que puede ser utilizado en redes altamente escalables. Una desventaja es el incremento del número de secuencia y el decremento de número de saltos, de una manera engañosa, que puede generar errores en la ruta [11].

Es importante mencionar que el protocolo AODV se caracteriza porque los nodos solo envían información de control siempre y cuando cuenten con información para enviar, de no poseer información simplemente no transmiten y de esta forma la red no se congestiona

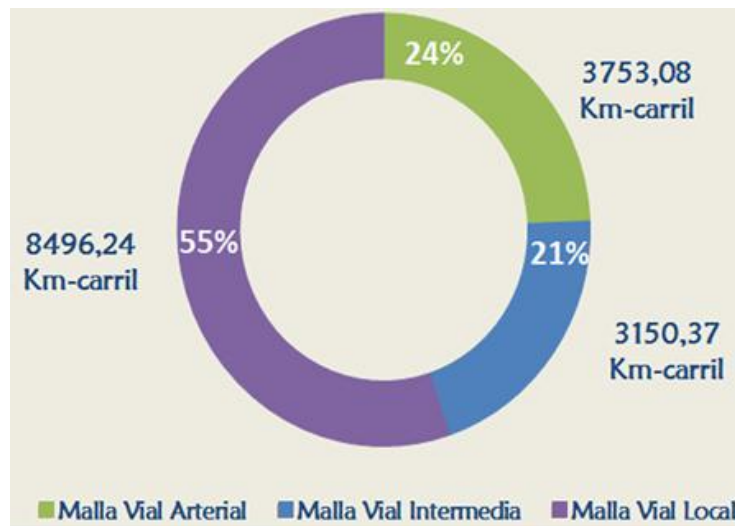
## **5. Análisis de tráfico y congestión vehicular**

La congestión vehicular se define como la acción de obstruir o entorpecer el paso de la circulación o el movimiento de los vehículos en alguna vía de la ciudad, en esta congestión influyen varios aspectos como es la distribución de la malla vial, el estado de la misma y factores climáticos entre otros.

La Malla Vial Urbana de Bogotá D.C. está compuesta por la Malla Arterial, Intermedia y Local; a 31 de Diciembre de 2013, esta Malla alcanzó aproximadamente 15.399,69

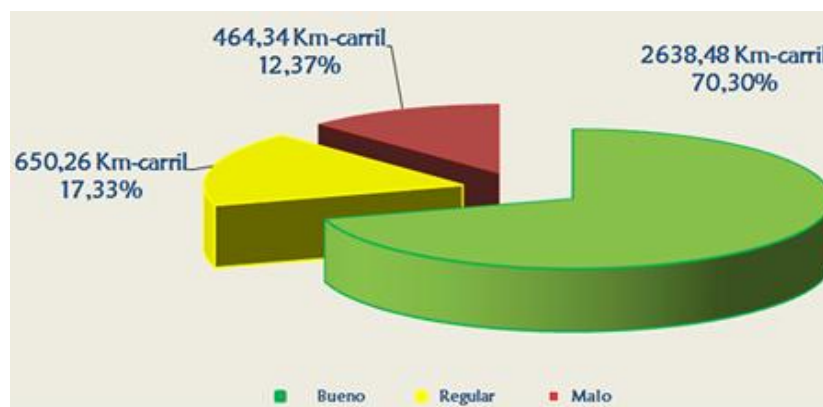
Kilómetros carril, discriminados de la siguiente grafica se muestran los porcentajes de estas.

[16].



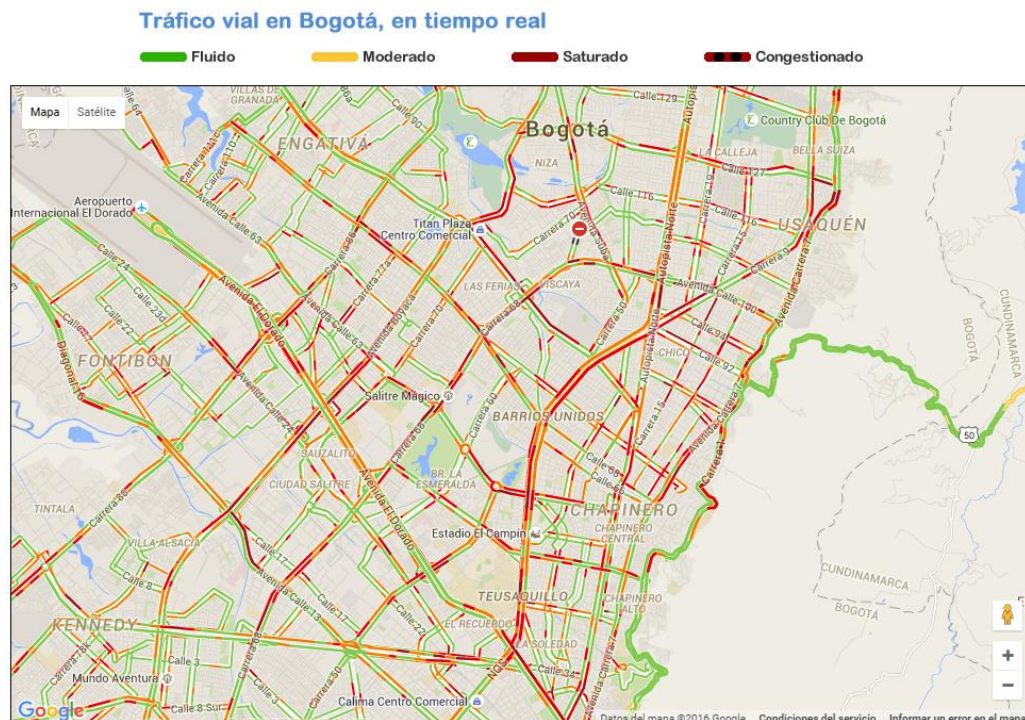
**Figura 3. Composición de la malla vial en Bogotá 2013 [16]**

Estos datos son de gran influencia en la información para las redes VANET porque de acuerdo a la distribución de las vías y estado de las mismas, se transmite información para la movilidad vehicular y de esto depende en gran parte la movilidad en la ciudad de Bogotá.



**Figura 4. Estado Malla Vial Arterial Bogotá 2013 [16]**

El estado de la malla vial influye de gran manera en la congestión vehicular debido a las fallas que esta tiene a lo largo de un recorrido, con las redes VANET se puede transmitir información de cuales vías se encuentran con mayor falla para evitarlas y así contribuir al mejoramiento de la movilidad.



**Figura 5. Estado Malla Vial Arterial Bogotá 2013 [17]**

## 6. Aplicaciones de redes VANET

El poder brindar un mejor escenario de conocimiento de las carreteras a los conductores es uno de los principales objetivos de los Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT) y de esta forma reducir el número de accidentes y también ayuda a que la conducción sea más cómoda y fluida. Las redes que permiten la comunicación vehículo a vehículo como son las redes VANETs, sus aplicaciones pueden ir desde un simple intercambio de información entre sus nodos, hasta el poder tener acceso a contenidos multimedia e internet. [14]

Las VANET proporcionan una oportunidad para el desarrollo de aplicaciones que mejoren las condiciones de transporte y tráfico vehicular mediante sistemas colaborativos basados en comunicaciones V2X. Según la función, las aplicaciones vehiculares se clasifican en diferentes categorías y específicamente la relacionada con seguridad vial y eficiencia vial son en las que se profundizará. [6]

### **6.1. Aplicaciones en seguridad vial**

Estas aplicaciones tienen como función monitorear y recolectar continuamente información acerca del estado de las vías con el fin de prevenir accidentes y percances. Son el soporte primordial para el estudio y evaluación de técnicas y procedimientos a implementar en redes vehiculares y se pueden agrupar en tres sub-categorías [15]:

*Prevención de colisiones (Collision Avoidance)*: En este tipo de aplicaciones la RSU detecta el riesgo de una colisión entre dos vehículos y advierte a los conductores mediante la OBU.

Entre las aplicaciones se encuentran:

- ✓ Advertencia de colisiones en intersecciones.
- ✓ Alertas por vehículos en sentido contrario.
- ✓ Advertencia de cambio de carril.
- ✓ Alarma de conducción peligrosa.

Notificación de señales de tránsito (RSN, Road Sign Notification): La función de este tipo de aplicaciones es advertir a los conductores sobre la señalización vial y brindar asistencia durante el recorrido. Algunos ejemplos de aplicaciones RSN son:

- ✓ Advertencia de velocidad en curva.
- ✓ Advertencia de violación de señal de tránsito.

Gestión de incidentes (Incident Management): estas aplicaciones se emplean en situaciones de emergencia ante un accidente de tránsito. Entre este tipo de aplicaciones se destacan:

- ✓ Alarma de vehículo de emergencia.
- ✓ Advertencia post-colisión/choque.

## **6.2. Aplicaciones de eficiencia de tráfico**

El propósito de estas aplicaciones es mejorar las condiciones del tráfico mediante la gestión y el monitoreo del tránsito de vehículos y las condiciones de las vías. Es necesario destacar que las dos aplicaciones propuestas para el desarrollo futuro del estudio de investigación recaen en esta clasificación, dado que están enfocadas hacia el mejoramiento de la movilidad y la eficiencia energética. De acuerdo a su función, las aplicaciones de eficiencia se dividen en dos sub-categorías:

Gestión del tráfico: Estas aplicaciones procesan información sobre el flujo vehicular y controlan desde las RSU hasta elementos del sistema de transporte como las luces de los semáforos y el cobro de peajes. Entre este tipo de aplicaciones se encuentran:

- ✓ Control inteligente del tráfico.
- ✓ Peajes libres de tráfico.

- ✓ Aviso de velocidad óptima (OSA).
- ✓ Guía de ruta y navegación mejorada.
- ✓ Notificación de congestión vial (CRN).

Monitoreo del tráfico: las aplicaciones monitorean los vehículos y las condiciones de las carreteras y en caso de irregularidades notifican a los conductores y a las autoridades de tránsito. Algunas de estas aplicaciones son:

- ✓ Monitor de condiciones viales.
- ✓ Agente de seguimiento y localización vehicular.
- ✓ Placas/Licencias de conducción electrónicas. [6]

## **7. Planteamiento posible solución**

Con base en el análisis de los datos y el estado actual de la congestión de Bogotá, un buen punto de partida para el desarrollo e implementación de esta tecnología es a través de la funcionalidad y posibles usos de las redes VANETs, es así como se identifica que una posible aplicación es a través de la comunicación V2I utilizada para tener una comunicación en tiempo real del estado de la congestión vehicular, por medio el protocolo de encaminamiento reactivo AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol).

### **7.1. Ventajas de las redes VANETs en la aplicación**

- ✓ Información en tiempo real concerniente a lugares comerciales o de establecimientos de seguridad como policía, hospitales, bomberos entre otros.



- ✓ Ayuda a los mecanismos de emergencia como Bomberos, policía, grupos de salvamento etc., a mejorar sus sistemas de comunicación que benefician a usuarios y grupos a coordinar más eficientemente las tareas de salvamento.

Teniendo en cuenta las ventajas mencionadas, las redes VANET contribuyen con el envío de información del estado de las vías, información que puede ayudar a entidades como el IDU para administrar y controlar las fallas presentadas en las diferentes vías y de esta manera mejorar la efectividad en la reparación de la malla vial por parte de este organismo.

Adicionalmente la comunicación V2I con el uso de la infraestructura ya conformada por la empresa de transporte público masivo del distrito capital Transmilenio S.A. debido a que su ubicación en la malla vial se encuentra distribuida a lo largo de la ciudad por las principales trocales viales, haciendo uso de las estructuras de las estaciones de este sistema transporte se puede incorporar unidades de administración de información RSU que sirven a su vez como proveedor de servicios a cada OBU incorporado en los vehículos.

Dentro de las aplicaciones que inicialmente se deberían tener en cuenta es la prevención de colisiones que a su vez va de la mano con la implementación de las RSN las cuales tendría como información de alertas y avisos relacionados con la velocidad de los vehículos, maniobras peligrosas y notificaciones de las señales de tránsito. Sumado a lo anterior y a través del uso de las RSU que serían cada estación de Transmilenio, donde se podría implementar la gestión de incidentes por medio de aplicación eCall (implementada

inicialmente en Europa) que constituye un sistema de llamado de emergencia incorporado en cada vehículo, con la capacidad de conectarse a un punto de atención de llamadas de emergencia de forma automática o manual por el conductor en casos de accidentes. Como consecuencia de la aplicación de estas tecnologías, las notificaciones pueden brindar información específica y concreta de la ubicación, sentido y grado del accidente.

Sumado a lo anterior, pero no menos importante, como solución al tráfico de Bogotá se puede hacer uso de la implementación de las aplicaciones de gestión de tráfico, con las centrales RSU en cada semáforo que permita tener el control inteligente de tráfico, que por medio de información recibida relacionada con el flujo vehicular en tiempo real ofrezca la oportunidad de tomar decisiones en su funcionamiento para mejorar significativamente el tráfico.

En resumen, las redes VANET son una herramienta que contribuye a mejorar la movilidad, porque permite evaluar varios aspectos como sus procesos de diseño y planeación, siendo un sistema de comunicación eficiente y seguro que brinda beneficios en muchos campos a la ciudad a través de las aplicaciones en el tráfico vehicular.

## **8. Conclusiones**

- El estudio de las redes VANET nos brindó un enfoque general de esta tecnología, para dar una posible solución de optimizar el tráfico de la ciudad mejorando directamente la calidad de vida de los bogotanos.
- Se estudió y analizó la información de los diferentes artículos que se recopilaron sobre la funcionalidad y aplicación de las redes VANET.

- Es de suma importancia al momento de realizar la implementación de esta tecnología que diferentes organismos de la ciudad trabajen de la mano para crear una red que intercambie información primordial.

## **9. Glosario**

DSRC: Base de las comunicaciones de corto alcance (Dedicated Short Range Communications).

ITSA: Sociedad Americana de Transporte Inteligente (Intelligent Transportation Society of America).

MAC: Capa de acceso al medio (Medium Access Control).

MANET: Redes móviles ad hoc (Mobile ad hoc networks).

OBU: Unidades abordo (OnBoard Unit).

OFDM: Transmisión multiportadora (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

PHY: Capa física de comunicación.

Router: enrutador.

RSU: Unidades en puntos específicos (Roadside Unit).

SIT: Sistemas Inteligentes de Transporte.

TIC: Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

V2I: Comunicación vehículo-a-infraestructura.

V2V: Comunicación vehículo-a-vehículo.

VANET: Redes vehiculares Ad Hoc (Vehicular ad hoc network).

WAVE: (Wireless Access in the Vehicular Environment).

## 10. Referencias

- [1] M. R. Serrano, y M. F. Martínez “Inteligencia en comunicación entre vehículos”. It. uc3m.es. disponible en: <http://www.it.uc3m.es/jvillena/irc/practicass/13-14/05.pdf>
- [2] G. J. Pinto, D. López y L. F. Pedraza “Protocolos Unicast para redes VANET”, Revista Tecnura, Volumen 16, Número 3, pp. 66 – 65, Enero – Marzo 2012.
- [3] A. M. Orozco y G. Llano, “Redes vehiculares Ad-hoc: aplicaciones basadas en simulación”, Revista Ingenium., Vol. 6, Núm. 12, pp. 11-22, Mayo 2012.
- [4] Flickernger, Rob (ED.) Libro “Redes Inalámbricas en los países desarrollados” Tercera Edición, cap. 3 “Redes inalámbrica ad hoc”.
- [5] E. Eze, y Zhang y E. Liu “Estimation of Collision Probability in a Saturated Vehicular Ad-Hoc Networks”, IEEE FGCT, Núm. 15554056, pp. 1–7, Julio 2015.
- [6] O. O. Sarasti, G. Z. Ramirez, “Aplicaciones para redes vanet enfocadas en la sostenibilidad ambiental, una revisión sistemática”, Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 24-2. 2014, pp. 111 - 132.
- [7] N. F. Nafi, J. Y. Khan, “A VANET Based Intelligent Road Traffic Signalling System”, IEEE Conference Publications, Núm.13229679, pp. 1-6, 2012.
- [8] J. L. Garzón. “Estudio y simulación de los protocolos de enrutamiento más utilizados en redes vanets”, Universidad Católica de Pereira, 2013.
- [9] J.M. García, “Evaluación de Protocolos de Encaminamiento Para Redes Vehiculares (VANET)”, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, Proyecto final de carrera Ingeniería en Telecomunicaciones, 2014.
- [10] Imagen de la página web "Seguridad y Privacidad en MANETs basados en la localización / VANETs", Escuela Donald Bren, Ciencias Informáticas de la Información, Universidad de California, Irvine. [[ics.uci.edu/~keldefra/manet.htm](http://ics.uci.edu/~keldefra/manet.htm)]
- [11] G. J. Pinto, E. F. Santos, J. O. Navas, “Comparación de protocolos unicast y geocast para redes VANET” Revista Tecnura, vol. 17, Junio 2013.
- [12] V. S. Consuegra, “Estudio y desarrollo de un protocolo de encaminamiento geográfico y su integración con ipv6”
- [13] I. L. Díaz, “Evaluación de protocolo Unicast para redes VANETs” Universidad de la Habana, trabajo finalización de carrera, 2013. Disponible en:

<http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/728/Iraida%20Luisa%20Diaz%20Cruz.pdf>.

- [14] M. A. Torres “Estudio y simulación de redes Ad-Hoc Vehiculares VANETs”, Universidad Católica de Pereira, Colombia, Mayo 2013
- [15] Dar, K. et al. “Wireless Communication Technologies for ITS Applications. Topics in Automotive Networking”, IEEE Communications Magazine, 48(5), pp.156-162.
- [16] Base de Datos del Inventario y Diagnóstico de la Malla Vial - IDU - Diciembre de 2013 PDF en Bogotá. Disponible en: <https://www.idu.gov.co/atencion-al-ciudadano/conservacion/inventario-malla-vial>
- [17] Fuente página de Bogotá Digital, aplicación tráfico vial en Bogotá en Tiempo real. Disponible en: <http://www.bogotadigital.net/page/servicios>