

Redes vehiculares Ad-hoc: aplicaciones basadas en simulación

Vehicular Ad-hoc networks: simulation-based applications

COLCIENCIAS TIPO 3. ARTÍCULO DE REVISIÓN

RECIBIDO: ABRIL 17; ACEPTADO: MAYO 11, 2012

Ana María Orozco

ana.orozco@correo.icesi.edu.co

Gonzalo Llano, Ph.D

gllano@icesi.edu.co

Roger Michoud

roger.michoud@epfl.ch

Universidad Icesi, Cali-Colombia

Resumen

Recientes esfuerzos de investigación de la academia, la industria automotriz y el sector gubernamental de transporte señalan a los sistemas de transporte inteligente (STI) como la tecnología clave tanto en el mejoramiento de la seguridad en las carreteras, como en la eficiencia en el tráfico y el confort al conducir. Las redes vehiculares ad hoc (VANET) tienen un gran potencial para generar aplicaciones dirigidas a aumentar la seguridad en el tráfico. La interacción entre los vehículos y la infraestructura permite la comunicación en tiempo real, lo que a su vez permite proveer información a los conductores en situaciones peligrosas y evitar accidentes. Este artículo provee una visión general de las redes vehiculares Ad-hoc, describe sus conceptos fundamentales, los estándares de comunicación y las aplicaciones vehiculares, y presenta además, una evaluación de simuladores VANET.

Palabras Clave

Aplicaciones en seguridad; VANET; V2X; WAVE.

Abstract

Recent research efforts of academia, automotive industry and transport government sector point to intelligent transportation systems (ITS) as a key technology for improving road safety, traffic efficiency and comfort driving. Vehicular ad hoc networks (VANET) have significant potential to enable applications in order to enhance traffic safety. The interaction among vehicles and infrastructure allows real-time communications that provide information to drivers in hazardous situations, avoiding accidents. This article provides an overview of vehicular ad hoc networks; describes the fundamental concepts, communication standards and vehicular applications. In addition, this paper presents an evaluation of VANET simulators.

Keywords

Safety applications; VANET; V2X; WAVE.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de transporte inteligente, particularmente las comunicaciones vehiculares (IVC, *Inter-vehicular communications*) ofrecen servicios y aplicaciones orientados a la seguridad y eficiencia vial. El crecimiento acelerado de los centros urbanos, a nivel demográfico y económico, demanda mecanismos efectivos para la planeación estratégica, la reducción y manejo de accidentes de tráfico y la toma de decisiones acertadas que conduzcan al mejoramiento de la movilidad de los conductores y transeúntes.

En este contexto, las redes vehiculares permiten la gestión del tráfico, mediante el intercambio de mensajes entre automóviles en tiempo real; los conductores son notificados con información sobre el estado del tránsito, accidentes y otras eventualidades en carretera, permitiendo la toma de decisiones con respecto a las rutas óptimas, evitando congestiones e incidentes de tráfico. La implementación de los servicios en ambientes vehiculares requiere de una evaluación rigurosa del desempeño, la arquitectura y el funcionamiento de la aplicación. La validación de las aplicaciones en VANET emplea técnicas de simulación y recae sobre dos (2) aspectos: el diseño de la arquitectura de la red vehicular y el acoplamiento adecuado con un modelo de movilidad realista en un entorno simulado.

El presente artículo se organiza de la siguiente manera: La Sección II describe las características generales de las VANET y revisa los estándares de comunicación IEEE 802.11p e IEEE 1609. La sección III presenta una clasificación de las aplicaciones para redes V2X y describe las técnicas y herramientas de simulación de VANET y finalmente, la sección V presenta algunas conclusiones.

II. PERSPECTIVA HISTÓRICA

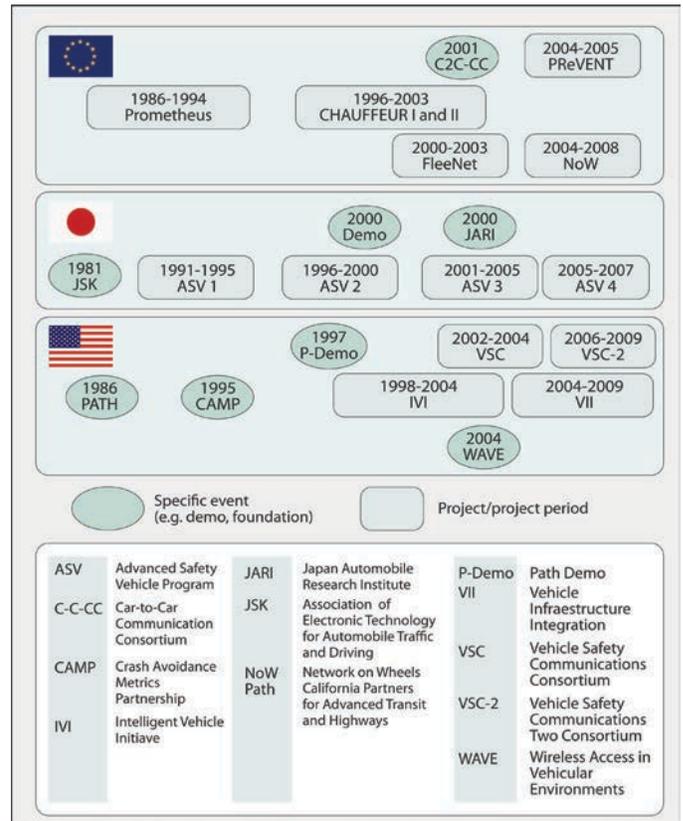
El uso de diversas tecnologías inalámbricas en ambientes vehiculares ha sido objeto de estudio desde la década de 1970. La Figura 1 muestra algunos proyectos y eventos sobresalientes en relación con la investigación de VANET en los últimos años (Hartenstein & Laberteaux, 2008).

Uno de los proyectos pioneros fue el Sistema Integral Automovilístico de Control de Tráfico (CACs, *Comprehensive Automobile Traffic Control System*) desarrollado por el Ministerio de Industria y Comercio Internacional (MITI, *Ministry of International Trade and Industry*) de Japón en 1973, cuyo objetivo fue reducir la congestión del tráfico

vehicular y disminuir el número de accidentes de tránsito, brindando a los conductores información sobre las rutas y asistencia en caso de emergencias (Long, Festag, Baldessari, & Wenhui, 2009; Kenney, 2009; Bishop, 2000).

En 1986, la iniciativa PROMETHEUS (PROgramme for European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety) constituida por 19 países de Europa, impulsó la investigación en comunicaciones móviles inalámbricas con la propuesta Prometheus SR-MRN (Short-Range Mobile Radio Network) (Heister, Hellmich, Rokitansky, Walke, & Zhu, 1991) y sentó un precedente en el desarrollo de sistemas de conducción vehicular automatizado (Hofflinger, Conte, Esteve, & Weisglas, 1990).

Figura 1. Una visión no exhaustiva de los proyectos de VANET (Hartenstein & Laberteaux, 2008).



En la década de 1990, el concepto de VANET tomó relevancia en la comunidad científica en informática y telecomunicaciones; la disponibilidad de sistemas de posicionamiento global (GPS, Global Positioning System) y dispositivos inalámbricos de bajo costo favoreció el avance de las redes vehiculares; surgieron proyectos como PATH (California Partners for Advanced Traffic and

Highways), ASV (Advanced Safety Vehicle) y PROMOTE CHAUFFEUR (Europa) que conformaron un *framework* en distintas áreas de las redes vehiculares tales como: estándares para las comunicaciones vehiculares, arquitectura y diseño de la red, protocolos de enrutamiento, desarrollo de aplicaciones y aspectos de seguridad (Zeadally, Hunt, Chen, Irwin, & Hassan, 2010).

III. REDES VANET

A. Definición y componentes de las VANET

Las redes vehiculares se pueden considerar como una derivación de las redes móviles Ad-hoc (MANET, Mobile Ad hoc Network); en una VANET cada vehículo se define como un nodo de la red y está equipado con una unidad de comunicación a bordo OBU (OnBoard Unit). La función de la OBU es intercambiar información con otros vehículos o con puntos de acceso estacionarios ubicados en las vías de circulación, denominado RSU (Road Side Units) (Karagiannis, Altintas, Ekici, Heijenk, Jarupan, Lin, & Weil, 2011).

Por otro lado, el monitoreo de datos sobre la red y las condiciones del entorno es llevado a cabo por sensores (Bhattacharyya & Bhattacharyya, 2010), éstos dispositivos conforman una red denominada red de sensores vehiculares (VSN, Vehicular Sensor Network); la VSN registra información en tiempo real, relacionada con el tráfico y algunas situaciones ambientales (Ej.: polución, temperatura, vibración, presión, movimiento, etcétera.), posteriormente las aplicaciones vehiculares procesan los datos y generan los mensajes que serán difundidos por la VANET (Lee, Cheung, & Gerla, 2009).

B. Características de las redes vehiculares

Se han definido dos (2) tipos de comunicación en las redes vehiculares: La comunicación inter-vehicular ó vehículo-a-vehículo (V2V), donde los automóviles intercambian mensajes directamente, y la comunicación vehículo-a-infraestructura (V2I) donde el intercambio se realiza con dispositivos fijos, como peajes y puntos de acceso a Internet. En conjunto, las comunicaciones V2V y V2I se conocen como V2X, sus principales características se describen a continuación (Kenney, 2009; Lee, Cheung, & Gerla, 2009; Pachón, Nieto, & Velasco, 2010).

- *Topología variable*: Debido a las altas velocidades y al continuo desplazamiento de los automóviles la topología de la red es altamente variable.

Figura 2. Comunicaciones V2X en ambientes vehiculares



- *Red sin infraestructura fija*: En las comunicaciones V2V la arquitectura de la red es *ad hoc* y no existe una autoridad central que administre los nodos.
- *Red frecuentemente desconectada*: La topología dinámica de la red ocasiona desconexiones frecuentes de los nodos; el enlace entre los vehículos puede perderse fácilmente ocasionando la pérdida de paquetes en la comunicación.
- *Nodos autoconfigurables*: No existe un coordinador para las comunicaciones, por lo que los nodos deben auto-organizarse y autoadministrarse.
- *Suministro de energía ilimitado*: Los nodos no tienen restricciones en el consumo de energía, dado que la batería de los vehículos proporciona una cantidad suficiente para la operación de la OBU.
- *Aspectos de radio comunicación*: La radio comunicación en las VANET es compleja debido a diferentes factores: interrupción frecuente del radioenlace, condiciones desfavorables para la propagación de la señal (atenuación y reflexión) e interferencia con otros enlaces.

C. Estándares para redes vehiculares (IEEE 802.11p, 1609)

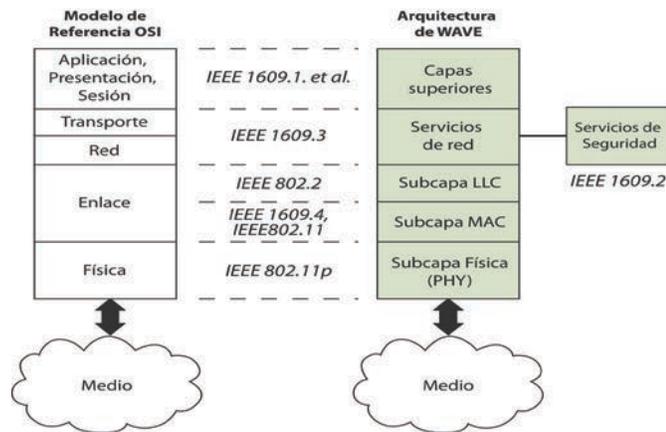
La demanda de movilidad, de cobertura geográfica y el alto grado de variabilidad de las redes vehiculares son factores determinantes en la elección de los protocolos y de los estándares adecuados para la comunicación V2X.

En el año 1999 la Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos (FCC, *Federal Communications Commission*) asignó 75 MHz de ancho de banda en la frecuencia 5,9

GHz para los servicios del sistema inteligente de transporte denominado *DSRC (Dedicated Short-Range Communication)*. Posteriormente, 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 consecuencia, en el año 2004 se consolidó 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 IEEE 802.11p. Más adelante, 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).

Los estándares IEEE 802.11p e IEEE 1609 definen el acceso inalámbrico en ambientes vehiculares, este conjunto de protocolos se denomina *WAVE (Wireless Access in the Vehicular Environment)*. WAVE proporciona una arquitectura para las comunicaciones V2X, destinada al uso aplicaciones de seguridad y eficiencia vial. La Figura 2 muestra la pila de protocolos de la arquitectura WAVE siguiendo el modelo de referencia OSI (Khijniak, 2008).

Figura 3. Estándares pertenecientes al modelo WAVE



D. IEEE 802.11p

El estándar IEEE 802.11p define las características de la capa física y MAC necesarias para operar en un ambiente vehicular (Rubio, Reig, & Fernández, 2011).

Capa física (PHY): al igual que el protocolo IEEE 802.11a, el estándar IEEE 802.11p utiliza la transmisión multiportadora OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) (IEEE, 2010).

La Tabla 1 muestra las características asociadas al canal físico de IEEE 802.11p (Emmelmann, Bochow, & Kellum, 2010).

Tabla 1. Información del canal inalámbrico V2X, IEEE 802.11p

Indicative wireless data link characteristic	802.11p WAVE
Bit rate	3 – 27 Mb/s
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

Capa MAC: El propósito de la capa MAC es establecer los mecanismos de acceso al canal de comunicación, de manera que un conjunto de estaciones puedan compartir eficientemente el medio inalámbrico; el estándar IEEE 802.11p define el uso de CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance*) para las comunicaciones V2X (Stancil, Bai, & Cheng, 2010). La capa MAC también considera aspectos de la transmisión como la probabilidad de recepción de paquetes, el tiempo de acceso al canal, el control de congestión y la priorización de los mensajes (Hartenstein & Laberteaux, 2008).

Operación multicanal: una de las funciones de las capa MAC consiste en la priorización de los mensajes generados por aplicaciones de seguridad (sensibles a retardos elevados). Con el propósito de coordinar los diferentes tipos de mensajes, el estándar IEEE 802.11p establece un esquema de acceso al canal mejorado (EDCA, *Enhanced Distributed Channel Access*), EDCA especifica cuatro (4) categorías de acceso, cada una asociada a un canal independiente y con una prioridad diferente (Uzcategui & Acosta-Marum, 2009). En la arquitectura de comunicación V2X se establecen dos (2) tipos de canal: canal de control y el canal de servicio (Emmelmann, Bochow, & Kellum, 2010; Uzcategui & Acosta-Marum, 2009). Se recomienda al lector que desee profundizar en los tipos de canal referirse a IEEE (2010) y Uzcategui & Acosta-Marum (2009).

- *Canal de control (CCH, Control Channel):* Es un canal de radio fijo, usa comunicación tipo *broadcast*, dedicado para paquetes de alta prioridad y baja latencia. Las aplicaciones de seguridad críticas hacen uso de él.
- *Canal de servicio (SCH, Service Channel):* Se establece para la comunicación en dos vías entre la OBU y la RSU. El canal SCH es usado por aplicaciones específicas y éstas pueden ser ejecutadas en paralelo en diferentes canales

de servicio. Es necesario el establecimiento de un conjunto de servicios denominados WBSS (*WAVE Basic Service Set*) que establece la comunicación *ad hoc* entre las unidades OBU y RSU.

E. El estándar IEEE 1609

La familia de estándares IEEE 1609 define los aspectos de operación y gestión de la capa de red, de transporte y de aplicación de la arquitectura WAVE. A continuación se describe brevemente cada estándar:

- IEEE 1609.0: Define la arquitectura general de WAVE, el modelo de la comunicación, los mecanismos de acceso al medio inalámbrico en ambientes vehiculares, la estructura general de los componentes como OBUs, RSUs e interfaces WAVE (IEEE, 2007a).
- IEEE 1609.4: Describe la operación multicanal (SCH y CCH) que debe implementar 802.11p, incluyendo los parámetros para la priorización de mensajes, temporizadores, conmutación del canal y primitivas diseñadas para el funcionamiento multicanal, se recomienda al lector referirse al estándar (IEEE, 2006a).
- IEEE 1609.3: Describe los servicios de la capa de red para entornos vehiculares, especifica las funciones de enrutamiento y direccionamiento basados en el nivel 3 del modelo de referencia OSI y de los protocolos IP, UDP y TCP, se recomienda al lector referirse al estándar (IEEE, 2007b).
- IEEE 1609.2: Especifica los servicios de seguridad en los sistemas WAVE, define los formatos de los mensajes y su procesamiento, se recomienda al lector referirse al estándar (IEEE, 2006b).
- IEEE 1609.1: Describe el administrador de recursos (RM, Resource Manager) en los sistemas WAVE, que permite a una unidad a bordo (OBU) con capacidad de computo limitada ejecutar procesos de manera remota, se recomienda al lector referirse al estándar (IEEE, 2006c).
- IEEE 802.2: Especifica la capa lógica de control (LLC, Logical Link Control) (IEEE, 1998; Kenney, 2009).

F. Servicios de red y disseminación de la información

El modelo de referencia OSI asigna a la capa de red la función de envío de paquetes entre la fuente y el destino, mediante el uso de protocolos de enrutamiento encargados de la selección de rutas óptimas entre los nodos de la red.

El uso de técnicas de enrutamiento en las redes vehiculares está condicionado por la cantidad de saltos de los paquetes sobre los nodos; es decir, si la transmisión se lleva a cabo en un único salto (*single-hop*) o si requiere múltiples saltos (*multi-hop*) antes de alcanzar el destino.

El estándar IEEE 1609.3 define un protocolo para la capa de red en VANET denominado Protocolo de Mensajes Cortos de WAVE o WSMP (*WAVE Short Message Protocols*) (Ho, Kang, Hsu, & Lin, 2010).

Los paquetes enviados por WSMP son denominados Mensajes Cortos de Wave ó WSM (*WAVE Short Message*); debido a la cantidad reducida de bytes de sobrecarga en cada mensaje: 20 bytes de sobrecarga por mensajes WSM frente a los 52 bytes mínimos de sobrecarga en paquetes UDP/IPv6.

Los mensajes WSM contienen la información asociada a la transmisión, incluyendo:

- Versión del protocolo WSMP (*WSMP version field*).
- Identificador de proveedor de servicios, PSID (*Provider services identifier*).
- Velocidad de los datos (*data rate field*).
- Potencia de transmisión (*transmit power used field*).
- Número de canal (*channel number field*).

El formato de WSM consiste en un encabezado de longitud variable seguido de la carga útil (*payload*) Figura 3.

Figura 4. Formato de WSM

Versión WSMP	PSID	Campo de extensión	WSM ID	Longitud WSM	Datos WSM (<i>payload</i>)
1 byte	4 bytes	variable	2 bytes	2 bytes	variable

Num. canal	Velocidad de datos	Potencia de Tx
3 byte	3 bytes	3 bytes

La diversidad de aplicaciones en las redes vehiculares sugiere la adopción de un conjunto de mensajes comunes que facilite el intercambio de información a nivel de aplicación.

El estándar SAE J2735 *Dedicated Short Range Communications (DSRC) Message Set Dictionary* (Hedges & Perry, 2008; SAE, 2006) (ver Tabla 2) define la

interoperabilidad de las aplicaciones en VANET mediante la implementación de mensajes en un formato preestablecido de acuerdo al propósito de la aplicación.

Tabla 2. Mensajes definidos en el estándar SAE J2735

Message Set	Propósito
<i>A La Carte Message</i>	Mensaje genérico con contenido flexible.
<i>Basic Safety Message</i>	Información del vehículo para habilitar aplicación de seguridad V2V.
<i>Emergency Vehicle Alert Message</i>	Alerta al conductor sobre la presencia de un vehículo de emergencia en el área.
<i>Intersection Collision Avoidance</i>	Brinda información sobre intersecciones en la carretera.
<i>Roadside Alert</i>	RSU alerta a los vehículos de la zona sobre condiciones peligrosas en la vía.
<i>Common Safety Request</i>	Un vehículo obtiene información del estado de otro vehículo próximo.
<i>Map Data</i>	RSU transmite información geográfica de un punto específico.
<i>NMEA Corrections</i>	Encapsula información de GPS (correcciones) – NMEA (<i>National Marine Electronics Association</i>).
<i>Probe Data Management</i>	RSU administra la veracidad de los datos de los vehículos.
<i>Probe Vehicle data</i>	Los vehículos reportan su estado a una RSU para comprobar las condiciones viales.
<i>RTCM Corrections</i>	Encapsula información de GPS (correcciones) – RTCM (<i>Radio Technical Commission for Maritime services</i>).
<i>Signal Phase and Timing Message</i>	RSU emite información de la señalización de una intersección.
<i>Signal Status Message</i>	RSU transmite información del estatus de una señal requerida.
<i>Traveler Information</i>	RSU envía información de interés a los vehículos de una zona determinada.

IV. APLICACIONES Y HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN PARA REDES VEHICULARES

A. Aplicaciones vehiculares

Las VANET suponen una oportunidad para el desarrollo de aplicaciones que permiten mejorar las condiciones de transporte y tráfico vehicular mediante sistemas colaborativos basados en comunicaciones V2X.

Según la función, las aplicaciones vehiculares se clasifican en tres (3) categorías: seguridad vial, eficiencia vial y servicios comerciales y de información (Kosch, Kulp, Bechler, Strassberger, Weyl & Lasowski, 2009).

1) Aplicaciones en seguridad vial

Estas aplicaciones tienen como objetivo reducir la probabilidad de accidentes de tránsito y disminuir los daños y lesiones causadas por siniestros de tráfico. En éste escenario, los conductores son notificados con mensajes de alarma asociados a eventos en las carreteras, información sobre vehículos cercanos y manejo de incidentes. Las aplicaciones de seguridad se pueden agrupar en tres (3) sub-categorías (Dar, Bakhouya, Gaber, Wack, & Lorenz, 2010)

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.
- Advertencia precolisión.
- Advertencia de cambio de línea.
- Alarma de ubicación peligrosa.

– *Notificación de señales de tránsito* (RSN, *Road Sign Notifications*): La función de éste 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 emergencias ante un accidente de tránsito. Entre éste tipo de aplicaciones se destacan:

- Alarma de vehículo de emergencia.
- Advertencia postcolisión/choque.

2) Aplicaciones de eficiencia vial

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 de circulación. De acuerdo a su función, las aplicaciones de eficiencia se dividen en dos subcategorías:

– *Gestión del tráfico*: Estas aplicaciones procesan información sobre el flujo vehicular y controlan desde las RSU 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.
- Control de velocidad.

- Guía de ruta y navegación mejorada.
- *Monitoreo del tráfico*: Las aplicaciones monitorean los vehículos y las condiciones de las carreteras, en caso de irregularidades notifican a los conductores y a las autoridades de tránsito. Algunas de éstas aplicaciones son:
 - Monitor de condiciones viales.
 - Agente de seguimiento y localización vehicular.

3) Aplicaciones comerciales y de información (*infotainment*)

Este tipo de aplicaciones se enfocan en brindarle a los conductores y a los pasajeros servicios de entretenimiento e información.

- *Entretenimiento*: Estas aplicaciones ofrecen a los ocupantes de los vehículos la posibilidad de hacer uso de los recursos de la VANET para fines de recreación; a través de puntos de acceso *WiFi* dispuestos en la carretera o a través de la red de datos de la telefonía celular, los usuarios pueden navegar en internet, jugar en línea, ver contenidos multimedia, entre otras actividades (Papadimitratos, La Fortelle, Evenssen, Brignolo, & Cosenza, 2009).
- *Información del contexto*: Estas aplicaciones le ofrecen a los conductores información sobre sitios de interés, atracciones locales y servicios basados en localización. Algunos ejemplos se nombran a continuación:
 - Actualización y descarga de mapas.
 - Ubicación y reserva de estacionamiento.
 - Información de sitios de interés.

B. Herramientas de simulación

La simulación en redes vehiculares constituye una herramienta valiosa para analizar y evaluar la viabilidad, los beneficios y las bondades de la implementación de las aplicaciones en los sistemas de transporte inteligentes. El grado de realismo y confiabilidad de los resultados de la simulación dependen fundamentalmente de dos aspectos: la integración de un simulador de red con un simulador de movilidad y el uso de métricas adecuadas para la evaluación de los resultados (Dressler, Sommer, Eckhoff & Tonguz, 2011).

El objetivo de integrar un simulador de red y uno de movilidad es crear un escenario realista, en el cual estén consideradas las condiciones de la transmisión de datos a través del canal radio y la interacción de los vehículos bajo un modelo de tráfico real (Sommer, Yao, German, & Dressler, 2008).

El simulador de red constituye una herramienta para modelar y evaluar el desempeño de ciertos componentes de los sistemas de comunicación (como estándares, protocolos, algoritmos, configuraciones, etcétera.), con el fin de realizar pruebas del diseño sin efectuar la implementación real (Sommer, Dietrich, & Dressler, 2007).

Por otra parte, la función del simulador de tráfico es generar un modelo de movilidad en un escenario topográfico real, donde se muestran las posibles trayectorias de los nodos, teniendo en cuenta parámetros como la velocidad de los vehículos, la densidad del tráfico, la topología vial, entre otros (Fiore, Haerri, Filali, & Bonnet, 2007).

Los modelos de movilidad determinan el comportamiento del flujo vehicular e indican la ubicación de los nodos (vehículos con equipados de una OBU) en la topología; la posición de los nodos en cada instante del tiempo es determinante en el desempeño de las VANET (conectividad, *throughput*, etc.). De acuerdo a las características, los modelos de movilidad se clasifican en las siguientes categorías (Harri, 2010; Harri, Filali, & Bonnet, C, 2009; Zeadally, Hunt, Chen, Irwin, & Hassan, 2010):

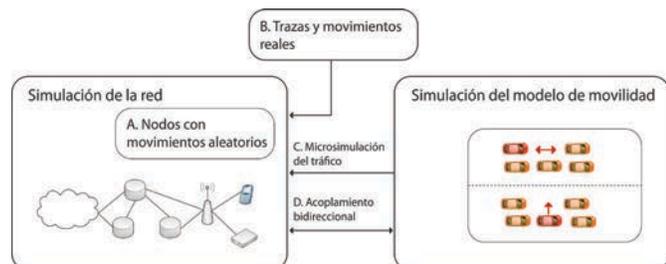
- *Modelos aleatorios (Random Models)*: La movilidad vehicular y los parámetros de la simulación, como la velocidad, la aceleración, los puntos de partida y destino, entre otros, se obtienen de procesos aleatorios. La implementación de este tipo de modelos es computacionalmente sencilla pero no refleja el comportamiento real del tráfico vial. Entre los modelos de movilidad aleatorios se destacan:
 - *Random Waypoint Model* (RWM)
 - *Random Walk Model* (RWalk)
 - *Reference Point Group Mobility Model* (RPGM)
- *Modelos de flujo (Flow Models)*: Con el fin de incrementar el nivel de realismo en los modelos de movilidad, los modelos de flujos consideran la interacción entre los vehículos y su entorno. Existe una subclasificación de acuerdo a la granularidad del modelo (Karnadi, Mo, & Lan, 2007):
 - *Microscópico (microscopic)*: Describe el comportamiento y los parámetros de movilidad de cada uno de los vehículos y la interacción entre ellos, como la distancia intervehicular, la velocidad, la aceleración, desaceleración, tiempo de reacción ante un evento, entre otros. Los

modelos microscópicos son los más apropiados para la simulación de redes vehiculares.

- *Macroscópico (macroscopic)*: Este modelo no considera la características de cada vehículo en particular y en lugar de ello, describe a nivel general el comportamiento del flujo, la densidad y la velocidad de un “bloque” o conjunto de vehículos.
 - *Mesoscópico (mesoscopic)*: Combina las propiedades de los modelos microscópico y macroscópico.
- *Modelos de tráfico (Traffic Models)*: Describen el comportamiento de los vehículos en función de la trayectoria y la interacción con los elementos que hacen parte de la misma, como semáforos, intersecciones, señales de parada, cruces, entre otros.
 - *Modelos de comportamiento (Behavioral Models)*: Son una aproximación a los patrones del movimiento humano, basados en teorías del comportamiento. Los patrones del tráfico se adaptan dinámicamente a las condiciones del escenario, influenciados por patrones sociales y procesos de aprendizaje mediante inteligencia artificial.
 - *Modelos basados en trazas (Trace-based Models)*: Se definen mediante movimientos (trazas) preestablecidos de los vehículos.

Debido a la funcionalidad independiente de los simuladores, se requiere la ejecución en paralelo del software de red y de tráfico, de manera que exista una interacción dinámica entre ambos simuladores y se generen cambios en los flujos de la red basados en los patrones de movilidad y viceversa; la retroalimentación entre los módulos de red y movilidad permite la evaluación de las aplicaciones de seguridad y eficiencia vial, puesto que se obtiene una respuesta en el comportamiento de la red y en el modelo de tráfico vehicular simultáneamente (Sommer & Dressler, 2008). La Figura 4 muestra la interacción entre los simuladores de red y de tráfico.

Figura 5. Técnicas para la simulación de VANET (Sommer, & Dressler, 2008)



Una de las características fundamentales de los simuladores de las VANET es el acoplamiento de los módulos de red y de movilidad, la elección del entorno de simulación debe considerar aspectos tales como el nivel de acoplamiento (red y movilidad), la distribución del software bajo licencia libre y la generación de entornos realistas a partir de mapas reales. En la Tabla 3 se observan algunos simuladores de VANET y se describen a continuación:

TraNS (Traffic and Network Simulation Environment) (Piorkowski, Raya, Lezama Lugo, Papadimitratos, Grossglauser, & Hubaux, 2008): entorno de simulación para redes vehiculares que integra el simulador de red ns-2 (*Network Simulator 2*) (Drakos & Moore, 2011) con el simulador de movilidad SUMO (*Simulation of Urban MObility*) (Krajzewicz, Behrisch, Bieker, & Erdmann, 2011). TraNS es un software *open source*, desarrollado en los lenguajes de programación Java y C++ para los sistemas operativos Linux y Windows. Entre las características de TraNS cabe mencionar:

- Soporte para el estándar IEEE 802.11p. generación automática de las mallas viales a partir de mapas TIGER (Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing system) y Shapefile.
- Visualización de la simulación en la herramienta *Google Earth*.
- Generación de rutas aleatorias y simulación de eventos de tráfico.
- Soporte para aplicaciones de seguridad y eficiencia vial.
- Soporta redes a gran escala, con un máximo de 3000 vehículos.

Veins (Vehicles in Network Simulation) (Sommer, Zheng, German, & Dressler, 2008): entorno de simulación compuesto por un simulador de red basado en eventos, OMNeT++ (Varga, 2001) y el simulador de tráfico SUMO (Krajzewicz, Behrisch, Bieker, & Erdmann, 2011). La ventaja de Veins frente a otros simuladores radica en la comunicación bidireccional que se establece entre ambos módulos, mediante el uso de una interfaz común.

TraCI (Traffic Control Interface) (Wegener, Piorkowski, Raya, Hellbruck, Fischer, & Hubaux, 2008) es la interfaz utilizada en el acoplamiento de OMNeT++ y SUMO; por medio de una arquitectura cliente-servidor sobre el protocolo TCP se intercambian mensajes entre ambos simuladores; el resultado se ve reflejado en cambios sobre

los patrones de movilidad y sobre el funcionamiento de la red. El ambiente de simulación Veins brinda las siguientes ventajas (Sommer & Dressler, 2011):

- Es una plataforma enteramente *open source*.
- Soporta los estándares IEEE 802.11p e IEEE 1609.4, incluyendo operación multicanal, calidad de servicio (QoS) en el acceso al canal y efectos de interferencia y ruido.
- Soporta la ejecución de las simulaciones en paralelo usando computación distribuida.
- Soporta mapas en formato TIGER y *Shapefile*.

iTetris (Rondinone, 2010): Plataforma de simulación de red y tráfico integrada, para soluciones en la administración del tráfico vehicular en tiempo real. Algunas de sus características son:

- Acoplamiento bidireccional de los simuladores ns-3 (*network simulador 3*) (Arbabi & Weigle, 2010) y SUMO.
- Soporte de aplicaciones de seguridad y eficiencia vial.
- Software de distribución libre.

VGSim (Bojin, Khorashadi, Haining, Ghosal, Chennee, & Zhang, 2009): Plataforma de simulación para VANET basado en el simulador de red JiST/SWANS (Barr, Haas, & Renesse, 2005); el comportamiento del tráfico vehicular es establecido por una variación del modelo Nagel-Schreckenberg y el acoplamiento es bidireccional. Entre las características cabe destacar:

- Soporte completo de los protocolos para la comunicación inalámbrica.
- Simulador orientado a eventos, basado en Java.

- Software de distribución libre.

VSimRTI (*V2X Simulation Runtime Infrastructure*) (Schuenemann, 2011): Entorno de simulación de VANET que integra JiST/SWAN (simulador de red) y VISSIM (simulador de tráfico). La arquitectura de software de VSimRTI permite la integración de módulos adicionales, como el simulador de condiciones ambientales *eWorld* y un simulador de aplicaciones (*VSimRTI App*).

- El acoplamiento de los módulos es bidireccional.
- El software es de distribución libre.

NCTUns (Wang, & Chou, 2009): Herramienta de simulación de redes para el diseño, la investigación y el aprendizaje de sistemas de comunicaciones. Es un software *open source*, cuenta con interfaz gráfica de usuario y está disponible para ambientes Linux. Se describen a continuación algunas características:

- Soporta simulación del estándar IEEE 802.11p y otros tipos de red, como GPRS (*General Packet Radio Service*), DVB-RCS (*Digital Video Broadcasting – Return Channel Satellite*) y comunicaciones *ad hoc*.

- Simula los componentes RSU y OBU de las VANET.

GrooveNET (Mangharam, Weller, Rajkumar, Mudalige, & Fan-Bai, 2006): Simulador híbrido de comunicaciones V2X. Soporta los estándares para VANET definidos por DSRC e integra el funcionamiento de los módulos de red y tráfico. Las características se describen a continuación:

- La arquitectura modular permite recrear escenarios en entornos vehiculares fácilmente escalables.
- Soporta múltiples modelos de movilidad.
- Bidireccionalmente acoplado.

Tabla 3. Comparación de simuladores para redes vehiculares

Simulador VANET	Simulador de red	Simulador tráfico (movilidad)	Escenario de simulación	Licencia de uso	Sitio web
Veins	OMNeT++	SUMO	Mapa real	Open source	http://veins.car2x.org/
TraNS	Ns-2	SUMO	Mapa real	Libre	http://trans.epfl.ch/
iTetris	Ns-3	SUMO	Mapa real	Open source	http://www.ict-itetris.eu/platform.htm
VGSim	JiST/SWANS	Modelo Nagel Schreckenberg	Mapa real	Open source	http://vgsim.sourceforge.net/
VSimRTI	JiST/SWANS	VISSIM	Mapa real	Libre	http://www.dcaiti.tu-berlin.de/research/simulation/
NCTUns	Propietario	Propietario	Trazas	Open source	http://nsl10.csie.nctu.edu.tw/
GrooveNET	Propietario	Roadnav		Free	http://www.seas.upenn.edu/~rahulm/Research/GrooveNet/

V. CONCLUSIONES

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha catalogado los accidentes de tránsito como un problema de salud pública (Peden, Scurfield, Sleet, Mohan, Hyder, Jarawan, & Mathers, 2004). Cada año, cerca de 1.3 millones de personas fallecen a raíz de un accidente de tránsito y 50 millones de personas más sufren traumatismos no mortales que constituyen una causa importante de discapacidad en todo el mundo (WHO, 2009).

Las aplicaciones de seguridad vial constituyen uno de los enfoques más importantes de las redes vehiculares y de los sistemas de transporte inteligentes; su objetivo principal es salvar vidas, disminuyendo el número de accidentes viales o reduciendo su impacto, evitando o minimizando el efecto de las colisiones entre vehículos o entre vehículos y peatones (Gallagher, Akalsuka, & Suzuki, 2006).

La simulación de redes vehiculares permite evaluar diferentes aspectos en el proceso de diseño y planeación de las VANET, tales como algoritmos y protocolos de red, eficiencia del canal de comunicación y viabilidad de la implementación. Mediante la simulación es posible definir los parámetros necesarios para el desarrollo de las aplicaciones V2X y estimar su rendimiento en escenarios realistas basados en modelos de movilidad.

La simulación de las redes VANET permiten definir los parámetros necesarios para el desarrollo de las aplicaciones en seguridad. Uno de los factores de éxito de estas aplicaciones es la arquitectura software, esta debe permitirle a la aplicación operar con otras aplicaciones, comunicarse oportunamente con el entorno y a su vez mantener la fiabilidad del sistema (Martínez, Keong, Cano, Calafate, & Manzini, 2009; Nuckelt & Kürner, 2012).

Las líneas de investigación en el área de transporte apuntan hacia los sistemas asistidos y automatizados con el fin de desarrollar sistemas inteligentes de transporte más seguros, eficientes y sustentables.

VI. REFERENCIAS

Arbabi, H., & Weigle, M. (2010). Highway mobility and vehicular ad-hoc networks in NS-3. B. Johansson, S. Jain, J. Montoya-Torres, J. Hagan, & E. Yücesan (Eds.). *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, (pp.2991-3003). Recuperado de <http://www.informs-sim.org/wsc10papers/277.pdf>

Barr, R., Haas, Z., & Renesse, R. (2005). Scalable wireless ad hoc network simulation. En *Handbook on theoretical and algorithmic aspects of sensor, ad hoc wireless, and peer-to-peer networks*, (pp. 297-311). Boca ratón, FL: CRC Press

Bhattacharyya, D., & Bhattacharyya, M.A. (2010). Architecture of vehicular ad hoc network. En M. Watfa (Ed.). *Advances in Vehicular Ad-Hoc Networks: Developments and Challenges*, (pp. 19-36)

Bishop, R. (2000). A Survey of Intelligent Vehicle Applications Worldwide. En *Proceedings IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2000*, (pp. 25-30). Piscataway, NJ: IEEE

Bojin, L., Khorashadi, b., Haining, D., Ghosal, D., Chen-nee, C., & Zhang, M., (2009). VGSim: An integrated networking and microscopic vehicular mobility simulation platform. *IEEE Communications Magazine*, 47(5), 134-141

Dar, K., Bakhouya, M., Gaber, J., Wack, M., Lorenz, P. (2010). Wireless communication technologies for ITS applications Topics in Automotive Networking. *Communications Magazine, IEEE*, 48(5). 156-162

Drakos, N., & Moore, R. (2011). *NS2. The manual. Formerly notes and documentation* [Online]. Recuperado de <http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/node215.html>

Dressler, F., Sommer, C., Eckhoff, D., & Tonguz, O. (2011). Towards Realistic Simulation of Inter-Vehicle Communication: Models, Techniques and Pitfalls. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 6(3), 43-51

Emmelmann, M., Bochow, B., & Kellum, C. (2010). Automotive Standardization of Vehicule Networks. En T. Schaffnit (Ed.), *Vehicular Networking: Automotive Applications and Beyond* (pp. 149-169). Chichester, UK: John Wiley & Sons

Fiore, M., Haerri, J., Filali, F., & Bonnet, C. (2007). Vehicular mobility simulation for VANETS. En *Proceedings of the 40th Annual Simulation Symposium (ANSS 2007)*, Norfolk, Virginia. Washington, DC: IEEE Computer Society

Gallagher, B., Akalsuka, H., & Suzuki, H. (2006). Wireless communications for vehicle safety: Radio link performance and wireless connectivity methods. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 1(4), 4-24

Harri, J. (2010). Vehicular Mobility Modeling for VANET. En *VANET Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies*, (pp. 107-156). Chichester, UK: John Wiley & Sons

Harri, J.; Filali, F.; Bonnet, C. (2009). Mobility models for vehicular ad hoc networks: a survey and taxonomy. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, 11(4), 9-41

Hartenstein, H., & Laberteaux, K.P. (2008). A tutorial survey on vehicular ad hoc networks. *Communications Magazine, IEEE*, 46(6), 164-171

Hedges, C. & Perry, F. (2008). *Overview and Use of SAE J2735 Message Sets for Commercial Vehicles*. SAE Technical Paper 2008-01-2650, 2008, doi:10.4271/2008-01-2650

Heister, B. Hellmich, T., Rokitansky, H., Walke, B., & Zhu, W. (1991). Implementation of Inter-Vehicle and Vehicle-Beacon Communications Protocols for Short-Range Mobile Radio Networks. En *5th PROMETHEOUS Workshop*, Germany

Ho, Kai-Yun., Kang, Po-Chun., Hsu, Chung-Hsien., & Lin, Ching-Hai. (2010). Implementation of WAVE/DSRC Devices for vehicular communications. *2010 International Symposium on Computer Communication Control and Automation (3CA) [Vol.2]* (pp.522-525). doi: 10.1109/3CA.2010.5533694

Hofflinger, B., Conte, G., Esteve, D., & Weisglas, P. (1990). Integrated Electronics for Automotive Applications in the EUREKA Program PROMETHEUS", *Solid-State Circuits Conference*, Germany

IEEE (1998). IEEE 802.2-1998, IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements—Part 2: Logical Link Control

IEEE (2006c). IEEE 1609.1, Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Resource Manager, IEEE Std. IEEE 1609.1, version 2006

IEEE (2007b). IEEE 1609.3, IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)-Networking Services, IEEE Std. IEEE 1609.3, v.2007

IEEE (2010). IEEE 802.11p, "Amendment to Standard for Information Technology Telecommunications and Information Exchange Between Systems-Local and Metropolitan Area Networks-Specific requirements, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications-Amendment 7: Wireless Access", in *Vehicular Environment*, IEEE Std. IEEE 802.11p, v.2010

IEEE. (2006a). IEEE 1609.4, Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) Multi-Channel Operation, IEEE Std. IEEE 1609.4, v.2006

IEEE. (2006b). IEEE 1609.2, Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular

- Environments (WAVE) Security Services for Applications and Management Messages, IEEE Std. IEEE 1609.2, v.2006
- IEEE. (2007a). IEEE P1609.0, Draft Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) Architecture, IEEE Std. IEEE 1609.0
- Jian, D. & Delgrossi, L. (2008). IEEE 802.1p: Towards an international standards for wireless access in vehicular environments. *IEEE Vehicular Technology Conference* (pp. 2036-2040). Piscataway, NJ: IEEE
- Karagiannis, G., Altintas, O., Ekici, E., Heijenk, G., Jarupan, B., Lin, K., & Weil, T., (2011). Vehicular Networking: A Survey and Tutorial on Requirements, Architectures, Challenges, Standards and Solutions. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE* 13(4), 584-616
- Karnadi, F.K., Mo, Zhi Hai; Lan, Kun-chan. (2007). Rapid Generation of Realistic Mobility Models for VANET. En *Wireless Communications and Networking Conference, 2007.WCNC 2007*. (pp.2506-2511). Piscataway, NJ: IEEE. doi: 10.1109/WCNC.2007.467
- Kenney, J. B. (2009) Standards and Regulations. En H. Hartenstein & K.P. Laberteaux (Eds.) *VANET: Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies*. Chichester, UK: John Wiley & Sons
- Kenney, J.B. (2009). *VANET: Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies*. Chichester, UK: John Wiley & Sons
- Khijniak, D. (2008). WAVE Prototype and Algorithms based on the IEEE 802.11p Standard. En *GLOBECOM 2008 Design and Developers Forum*. IEEE Communications Society
- Kosch, T., Kulp, I., Bechler, M., Strassberger, M., Weyl, B., & Lasowski, (2009). Communication architecture for cooperative systems in Europe, *Communications Magazine, IEEE*, 47(5), 116-125
- Krajzewicz, D., Behrisch, M., Bieker, L., & Erdmann, J. (2011). SUMO - Simulation of urban mobility - an Overview, (pp. 55-60). Red Hood, NY: Curran
- Lee, U., Cheung, R., & Gerla, M. (2009). Emerging Vehicular Applications, *Vehicular Networks: From Theory to Practice*, Boca Ratón, FL: CRC (Taylor & Francis)
- Long, L., Festag, A., Baldessari, R., & Wenhui, Z. (2009). Vehicular wireless short-range communication for improving intersection safety, *Communications Magazine, IEEE*, 47(11), 104-110
- Mangharam, R., Weller, D.S., Rajkumar, R., Mudalige., & Fan Bai. (2006). GrooveNet: a hybrid simulator for vehicle-to-vehicle networks. En *Second International Workshop on Vehicle-to-Vehicle Communications (V2VCOM)*, San Jose, USA
- Martinez, F., Keong, C., Cano, J., Calafate, C., & Manzini, P. (2009, Octubre). A survey and comparative study of simulators for vehicular ad hoc networks (VANETs). *Wireless Communications and Mobile Computing [en línea]*, 813–828. Wiley InterScience. doi: 10.1002/wcm.859
- Nuckelt, J., & Kürner, T. (2012). MRC performance benefit in V2V communication systems in urban traffic scenarios. En *EURO-COST European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research [COST IC1004 TD(12)03006]*
- Pachón, A., Nieto, C., & Velasco, M. (2010). Modelos de comportamiento de las redes vehiculares en sus escenarios más representativos, utilizando simulación en la herramienta NCTUns. *Sistemas y Telemática, S&T*, 8(15), 13-27
- Papadimitratos, P., La Fortelle, A., Evenssen, K., Brignolo, R., & Cosenza, S. (2009). Vehicular communication systems: Enabling technologies, applications, and future outlook on intelligent transportation. *Communications Magazine, IEEE*, 47(11), 84-95
- Peden, M., Scurfield, R., Sleet, D., Mohan, D., Hyder, D.A., Jarawan, E., & Mathers, C. (2004). *World report on road traffic injury prevention*. Ginebra, Suiza: World Health Organization
- Piorkowski, M., Raya, M., Lezama Lugo, A., Papadimitratos, P., Grossglauer, M., & Hubaux, J.P. (2008). TraNS: Realistic Joint Traffic and Network Simulator for VANETs. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 12(1)
- Rondinone, M. (2010). iTETRIS: The integrated wireless and traffic simulation platform for real-time road traffic management solutions. *COMeSafety Newsletter*, 8, 8
- Rubio, L., Reig, J., & Fernández, H. (2011). Propagation Aspects in Vehicular Networks. En M.Almeida (Ed.), *Vehicular Technologies: Increasing Connectivity*, (pp.376-414). Rijeka, Croacia: In Tech
- Schuenemann, B. (2011). V2X Simulation runtime infrastructure vsimrti: an assessment tool to design smart traffic management systems. En *Computer Networks*, 55(14), 3189-3198
- Society of Automotive Engineers [SAE] (2006)., *SAE J2735 Dedicated Short Range Communications (DSRC) Message Set Dictionary*. Recuperado de http://www.standards.its.dot.gov/fact_sheet.asp?f=71
- Sommer, C., & Dressler, F. (2011). Bidirectionally coupled network and road traffic simulation for improved IVC analysis. *IEEE Transactions on mobile computing*, 10(1), 3-15
- Sommer, C., Dietrich, I & Dressler, F. (2007). Realistic simulation of network protocols in VANET scenarios. IEEE Conference in computer communications INFOCOM 2007, IEEE Workshop on Mobile Networking for Vehicular Environments (MOVE 2007), (pp. 139-143). IEEE
- Sommer, C., Dressler, F. (2008). Progressing Towards Realistic Mobility Models in VANET Simulations. *IEEE Communications Magazine*, 46(11), 132-137
- Sommer, C., Yao, Z., German, R., & Dressler, F. (2008). On the need for bidirectional coupling of road traffic microsimulation and network simulation. En 9th ACM International Workshop on Mobility Models for Networking Research (MobilityModels'08), China, Mayo 2008. New York, NY: ACM
- Sommer, C., Zheng, Y. German, R., & Dressler, F. (2008). Simulating the influence of IVC on road traffic using bidirectionally coupled simulators. *INFOCOM Workshops 2008*, (pp.1-6). IEEE. doi: 10.1109/INFOCOM.2008.4544665
- Stancil, D., Bai, F., Cheng, L. (2010). Communication Systems for Car-2-X Networks. En T. Schaffnit (Ed.), *Vehicular Networking: Automotive Applications and Beyond*, (pp.46-81). Chichester, UK: John Wiley & Sons
- Uzcategui, R. & Acosta-Marum, G. (2009). Wave: A tutorial. *Communications Magazine, IEEE*, 47(5), 126-133
- Varga, A. (2001). The OMNeT++ discrete event simulation system. En *European Simulation Multiconference (ESM 2001)* Prague, Czech Republic. Ghent, Belgica: SCS Europe
- Wang, S.Y., & Chou, C.L. (2009). NCTUns 5.0 Network simulator for advanced wireless vehicular network researches. En *Tenth International Conference on Mobile Data Management: Systems, Services and Middleware*, pp.375-376. IEEE Conference Publications. doi: 10.1109/MDM.2009.59
- Wegener, A., Piórkowski, M., Raya, M., Hellbruck, H., Fischer, S., & Hubaux, J.P. (2008). TraCI: An interface for coupling road traffic and network simulators, En *Proceedings of the 11th communications and networking simulation symposium*, (pp. 155-163). New York, NY: ACM
- World Health Organization [WHO]- (2009). *Global status report on road safety: time for action*. Ginebra, Suiza: WHO
- Zeadally, S., Hunt, R., Chen, Y., Irwin, A., & Hassan, A. (2010). Vehicular ad hoc networks (VANETs): status, results, and challenges. *Telecommunication Systems*, (pp. 1-25)
- Zeadally, S., Hunt, R., Chen, Y., Irwin, A., & Hassan, A. (2010). Vehicular ad hoc networks (VANETs): status, results, and challenges. En *Telecommunication Systems*. Dordrecht, Holanda: Springer. doi: 10.1007/s11235-010-9400-5

VII. CURRÍCULO

Ana María Orozco. Ingeniera telemática de la Universidad ICESI (Cali, Colombia). Actualmente se desempeña como Joven Investigadora de Colciencias en el área de redes vehiculares (VANET, *Vehicular Ad hoc Networks*). Sus áreas de interés son: sistemas de comunicaciones inalámbricas, simulación y diseño de redes vehiculares.

Gonzalo Llano Ramirez. Doctor Ingeniero de Telecomunicación (2009) y Máster en Tecnologías, Sistemas y Redes de Comunicación (2008) de de la Universidad Politécnica de Valencia, España y Especialista en Gerencia en Informática Organizacional de la Universidad Icesi de Cali. Ha sido profesor de las Universidades Icesi, del Valle y Autónoma de Occidente.

Trabajó durante más de 19 de años en empresas de integración de servicios e infraestructuras de telecomunicaciones. Es Profesor Asociado e investigador del Departamento de Tecnologías de Información y Comunicaciones adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Icesi.

Roger Michoud. Candidato a Maestría en telemática (*Ms.C in Communication Systems*) con postgrado en administración de Tecnología (*Minor in Management of Technology*) de la *Swiss Federal Institute of Technology* (EPFL). Sus áreas de interés son: redes móviles, redes sociales, sistemas distribuidos, seguridad de redes y gestión humana. Practicante de investigación en el área de redes VANET (*Vehicular Ad hoc Networks*) en el Grupo de Investigación en Informática y Telecomunicaciones (i2T) de la Universidad Icesi.