

# Modificación del Mecanismo de Intercambio de Mensajes para Redes Vehiculares ad-hoc

## ***Alejandra Mendoza Carreón***

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.  
Av. Del Charro #450 Norte  
C.P. 32310 Cd. Juárez, Chih. México.  
*alemendo@uacj.mx*

## ***Víctor Manuel Hinostrza Zubia***

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.  
Av. Del Charro #450 Norte  
C.P. 32310 Cd. Juárez, Chih. México.  
*vhinostr@uacj.mx*

## ***Mildred Daniela Álvarez Torres***

*Instituto de Ingeniería y Tecnología*  
*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.*  
Av. Del Charro #450 Norte  
C.P. 32310 Cd. Juárez, Chih. México.  
(656)688-4800 x 4672  
*al125279@alumnos.uacj.mx*

## **Resumen**

En este documento se describe la modificación y evaluación de un mecanismo de intercambio de mensajes para redes vehiculares. Con esta modificación se pretende reducir la sobrecarga de bytes generada en la búsqueda de rutas en los paquetes de ruteo. Para llevar a cabo este objetivo se realizaron simulaciones de diversos escenarios vehiculares en la plataforma NS2. Se comparó el desempeño del mecanismo de mensajes modificado con el mecanismo de mensajes de protocolos de ruteo ya existentes, permitiendo determinar las ventajas y desventajas que las modificaciones al mecanismo generarán en la búsqueda de rutas el

entorno de redes vehiculares. Asimismo, se evaluaron en forma independiente el tiempo de retardo y la tasa de error en los paquetes enviados.

**Palabras Claves:** AODV, DSDV, DSR, Mecanismo de Intercambio de Mensajes, Protocolos de enrutamiento, Redes Vehiculares, VANETs.

## 1. Introducción

Una de las nuevas tecnologías que van a tener impacto en nuestras vidas en un futuro próximo son las redes Ad-Hoc vehiculares. Estas redes nos permiten establecer comunicación del vehículo con una red en tierra de varios nodos que pueden o no contar con un punto de acceso. Las redes Ad-hoc vehiculares proveen comunicaciones a vehículos en movimiento, permitiéndoles intercambiar información entre; usuarios, vehículos o con algún proveedor de servicios. Por ejemplo; las condiciones climatológicas e información de seguridad vial. Esto podría realizarse con éxito siempre y cuando existan protocolos de ruteo que den un buen rendimiento en las plataformas de comunicación entre vehículos en movimiento. El objetivo de este proyecto es modificar el mecanismo de intercambio de mensajes de los protocolos utilizados en redes ad-hoc convencionales y adecuarlo a las características de las redes ad-hoc vehiculares, disminuyendo la deficiencia del alto número de bits que los protocolos convencionales agregan a los paquetes de las redes ad-hoc vehiculares.

En redes inalámbricas Ad-hoc, los dispositivos finales deben cooperar entre sí, para mover o enrutar la información de un origen a un destino y de esta forma se puede extender el rango de cobertura del servicio. Esto es posible implementando un protocolo de ruteo inalámbrico. La comunicación en redes se lleva a cabo mediante el uso de protocolos. Un protocolo es un conjunto de reglas que se deben seguir para llevar a cabo la comunicación, en términos más claros, es el software que utilizan los dispositivos para llevar a cabo la comunicación entre ellos. Existen distintos escenarios donde podría ser necesario desplegar una red en forma rápida, como pueden ser cuando existen catástrofes naturales, operaciones de rescate, guerras. etc.

El propósito de esta investigación es el de codificar e implementar en un entorno de simulación un mecanismo de intercambio de mensajes para un protocolo de ruteo que cumpla con las características necesarias en el entorno vehicular y cubra las deficiencias de los protocolos de enrutamiento inalámbricos utilizados en redes Ad-hoc convencionales [1, 5].

La sobrecarga se define como la relación entre el número de paquetes de ruteo transmitidos y el número de paquetes de datos recibidos en el destino. Cada paquete de ruteo retransmitido por un nodo se cuenta como válido. El análisis de esta sobrecarga, permite encontrar el número promedio de paquetes de ruteo enviados por cada paquete de datos que llega a destino [28]. En un estudio previo [2] se observó que los protocolos convencionales mostraban un 30% de sobrecarga de bits en los paquetes enviados durante las distintas pruebas que se realizaron. Lo anterior sucede debido la manera en que el mecanismo de intercambio de mensajes de cada protocolo realiza la búsqueda de rutas para su funcionamiento, ya que los protocolos convencionales no están diseñados para topologías con un alto movimiento de nodos

## 2. Mecanismo de Intercambio de Mensajes

Los mensajes que existen dentro de los protocolos de enrutamiento, son utilizados para establecer comunicación entre nodos vecinos que conforman una red. Los mensajes que se requieren dentro de los protocolos de ruteo en las redes Ad-Hoc, son los siguientes:

RREQ. *Route Request*. El mensaje RREQ (petición de ruta) es utilizado para establecer comunicación entre nodos, inician con un descubrimiento de ruta, el nodo que recibe un RREQ, actualiza la ruta hacia donde está el nodo vecino que le transmitió el mensaje.

Después de transmitir un RREQ, un nodo espera por un RREP. Si para dicha ruta no se recibe el RREP dentro de un *roundtrip* en milisegundos, el nodo puede intentar descubrir la ruta de nuevo, transmitiendo un RREQ hasta que se llega a un máximo de intentos al valor de TTL máximo. Los paquetes RREQ son transmitidos en un anillo de nodos creciente reduciendo la sobrecarga causada por la inundación de la red completa. Los paquetes inundan una pequeña área la cual está definida por el TTL inicial, que a su vez es determinado en la cabecera IP. Si

este RREQ no recibe un RREP, entonces vuelve a producir la inundación en la red, esta vez aumentando el número de TTL. Este procedimiento se repite una y otra vez hasta que el nodo originador de RREQ recibe un RREP, es decir que la ruta ha sido encontrada [29].

RREP. *Route Reply*. Es la respuesta al mensaje RREQ, éste mensaje se genera cuando el destino del mensaje RREQ es correcto o bien contiene información actualizada para llegar a algún destino. Este tipo de mensajes es encauzado de manera correcta gracias a las rutas inversas que fueron creadas con anterioridad por RREQ y de esta manera se logra un enrutamiento de paquetes que vaya dirigido al mensaje. En caso contrario, si el nodo que genera el RREP (respuesta de ruta) no es el nodo de destino al cual se pretende llegar, sino el que lo contesta en un punto intermedio a lo largo de la trayectoria de su generador hasta el destino. Entonces, copia su número de secuencia conocida por el destino en el campo de número de secuencia de destino en el mensaje RREP. El nodo intermedio también actualiza la entrada de su tabla de ruteo para el nodo de origen del RREQ, mediante la colocación del siguiente salto hacia el destino en la lista de precursores para la entrada de una ruta inversa.

RRER. *Route Error*. Utilizados para notificar que un destino es inalcanzable. Esto puede suceder en tres casos:

1. Cuando un nodo detecta pérdida de conectividad con un vecino que es el siguiente salto de una ruta activa.
2. Un nodo tiene que enviar un paquete el cual su destino es desconocido.
3. Cuando un nodo recibe RERR de un nodo vecino anunciando pérdidas de conectividad con nodos vecinos utilizados como salto siguiente [24].

Un mensaje de error de ruta (RRER) puedes ser de emisión *broadcast*, *unicast* o iterativamente *unicast* a todos los vecinos.

HELLO. Su principal propósito es actualizar las tablas de enrutamiento. Son mensajes utilizados por los nodos que son parte de las rutas activas, para enviar información de conectividad a nodos vecinos. Estos serán enviados si los vecinos no responden durante un periodo determinado de tiempo. Una vez establecida la conexión con un vecino el mensaje HELLO es responsable de establecer, mantener y asegurar la comunicación bidireccional entre

vecinos. Los mensajes HELLO son enviados a todos los nodos que conforman la red, la comunicación bidireccional se corrobora cuando un nodo se ve él mismo en la lista de algún nodo vecino que se incluye en el mensaje HELLO. En redes multi-acceso como Ethernet, el mensaje HELLO elige un ruteador designado, el cual tiene entre otras funciones, además de elegir la información a propagar hacia otras redes.

### 3. Clasificación de Protocolos de Ruteo

#### Protocolos proactivos

La clasificación de los protocolos de enrutamiento en redes MANET se realiza en función de la estrategia de enrutamiento y estructura de la red.

Los protocolos de la familia de proactivos mantienen la información de enrutamiento incluso antes de que sea necesaria. En este tipo de protocolos todos los nodos de la red mantienen la información de enrutamiento para los demás nodos en la red, intercambiando información de rutas periódicamente y/o cuando la topología cambia.

Los protocolos que son clasificados como proactivos no proporcionan un buen rendimiento en redes con un número grande de nodos, ya que es necesario mantener las entradas para cada nodo, causando que haya un mayor consumo en el ancho de banda. Los proactivos tienden a que ser variantes en el estado de enlace, exigen respuestas rápidas, el que una ruta sea modificada afecta a cualquier nodo que es parte de la red.

Algunos protocolos que están dentro de esta categoría de proactivos son:

- DSDV (*The Destination-Sequenced Distance-Vector Routing Protocol*)
- CGRS (*Clusterhead Gateway Switch Routing*)
- WRP (*The Wireless Routing Protocol*)

#### Protocolos reactivos

En este tipo de protocolos no se mantiene la información de enrutamiento en los nodos de la red si no existe comunicación entre ellos. Lo que significa que la ruta sólo es calculada cuando es necesaria, sin mantener rutas innecesarias en las tablas. El mecanismo de descubrimiento de ruta, se divide en descubrimiento y mantenimiento de rutas. Este proceso se inicia cuando una fuente requiere llegar a un destino, reiniciando el proceso de descubrimiento en el caso de que existiera un cambio en la topología. Su enfoque principal es latencia alta para el primer paquete, la ruta individual se mantiene activa durante un cierto tiempo aun habiendo cambios en la topología e independencia entre las rutas. Los protocolos que son de tipo reactivo son:

- *AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing)*
- *DSR (Dynamic Source Routing), LMR (Lightweight Mobile Routing)*
- *TORA (Temporary Ordered Routing Algorithm), ABR (Associative-Based Routing)*
- *SSR (Signal Stability Routing) [22][23] .*

### **Protocolos híbridos**

Este tipo de protocolos combina las características de los dos tipos de protocolos anteriores. Su funcionamiento consiste en dividir la topología de la red en diferentes zonas, utilizando un tipo de protocolo determinado según convenga. Se basan en las ventajas e inconvenientes que presenta cada uno. Si el emisor y el receptor se encuentran dentro de la misma zona, entonces se utiliza un protocolo proactivo, para evitar retrasos en las comunicaciones locales. De otra manera si el emisor y el receptor están en diferentes zonas se utiliza entonces un protocolo reactivo, el cual elimina así la necesidad de tener que guardar la topología de la red [8].

Los protocolos que pertenecen a la familia de los híbridos son:

- *CEDAR (Core Extraction Distributed Ad Hoc Routing).*
- *STARA (Source-Tree Adaptive Routing)*
- *ZRP (Zone Routing Protocol) [9].*

## **4. Simulaciones de Escenarios**

Para la realización de las simulaciones se utilizaron diversos escenarios implementando el mecanismo de intercambio de mensajes para comprobar su funcionamiento y ver de qué manera se comportaba dentro del software NS2. Una vez obtenido estos resultados, se comparó su desempeño con los protocolos AODV, DSR y DSDV. Se usó el simulador NS2 en la versión de LINUX utilizando OPEN SUSE (version11.2) [11] [12]. Para la comparación del desempeño se simularon 5 escenarios en los cuales se observan diferente número de nodos, así como movilidad y velocidades reales que se manejan dentro de un entorno vehicular. Así como también el tratar de imitar el movimiento de peatones con dispositivos móviles.

En la Fig. 1 se observa un ambiente de redes vehiculares similar a uno real. En este ambiente muestra una colisión entre automóviles y se pretende que los dispositivos que transitan por la carretera propaguen información al respecto, utilizando una red ad-hoc y haciendo uso de un protocolo de enrutamiento. En la Fig. 1 se observa que cerca del percance ocurrido entre dos automóviles, se encuentran algunos dispositivos móviles de los usuarios, los cuales pueden ser teléfonos celulares y/o computadoras que se encuentran dentro de los vehículos o que portan los peatones que se encuentran cerca de la carretera. Estos dispositivos se pueden usar para alertar a los demás usuarios de lo acontecido. Para ser capaces de pertenecer a este tipo de redes, los dispositivos deben manejar el protocolo IEEE 802.11, es decir la tecnología WiFi.

En la Fig. 2 se observa de qué manera se visualizan los nodos en el software de simulación NS2. Donde cada uno de los nodos emite los mensajes correspondientes y genera actualizaciones en cada tabla de enrutamiento.

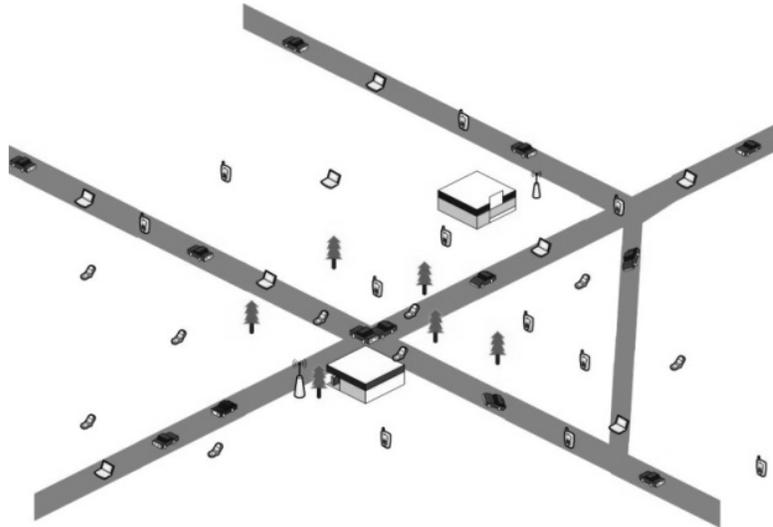


Fig. 1. Escenario de 40 nodos en plano real.

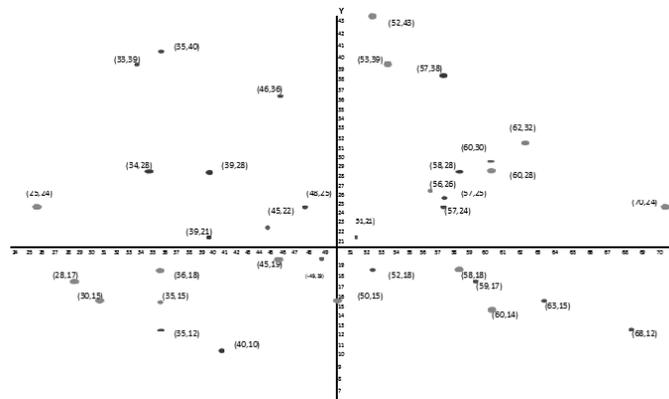
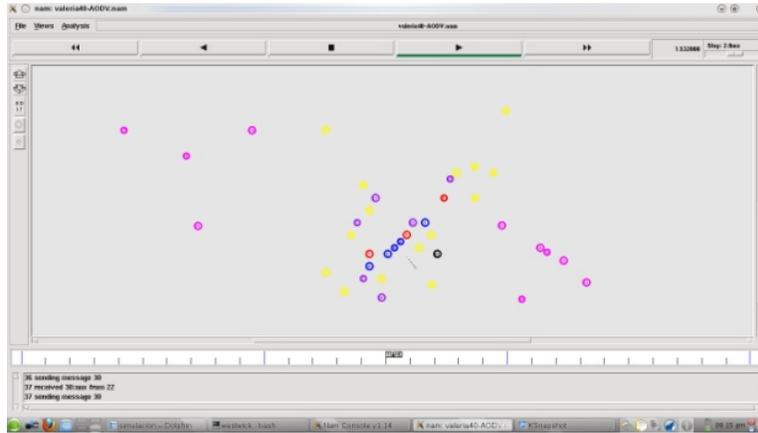


Fig. 2. Escenario de 40 nodos en plano cartesiano.

## 5. Resultados

En la tabla 1 se compara la sobrecarga que se obtuvo en los protocolos de ruteo AODV, DSD, DSR, y así observar de qué manera va cambiando la sobrecarga de bits.



**Fig. 3. Escenario de 40 nodos en el simulador NS2.**

Escenarios (# de nodos)	Protocolos (Sobrecarga de bits)			
	AODV	DSDV	DSR	Propuesta
4	10120	53920	1000	6960
8	28040	138500	3000	25380
15	65300	467160	6000	65300
30	698300	2012440	10800	255560
40	618840	3823640	16100	618840

**Tabla 1. Medición de sobrecarga para cada protocolo y la propuesta.**

En la tabla 1 y Fig. 4 se puede observar que en la propuesta hay una baja considerable en la sobrecarga de bits en los paquetes de ruteo, esto se da porque se han eliminado los mensajes HELLO. Estos mensajes se envían periódicamente cada 30 segundos, aun cuando no hay cambios en la red. Esto se hace con el fin de tener establecidas las conexiones con sus vecinos. Al eliminar los mensajes HELLO eliminamos periodicidad y de esta manera se puede bajar la sobrecarga dentro de las simulaciones en los diferentes escenarios.

El mecanismo de intercambio de mensajes no solo influye en la sobrecarga en paquetes de ruteo, sino también en la tasa de error. En la Fig. 5 se muestra el resultado que se observa en la tasa de error cuando se compara la propuesta del mecanismo de intercambio de mensajes. Se observa que los paquetes perdidos durante cada una de las simulaciones se reducen conforme aumenta el número de nodos en comparación a los protocolos AODV, DSDV y DSR.

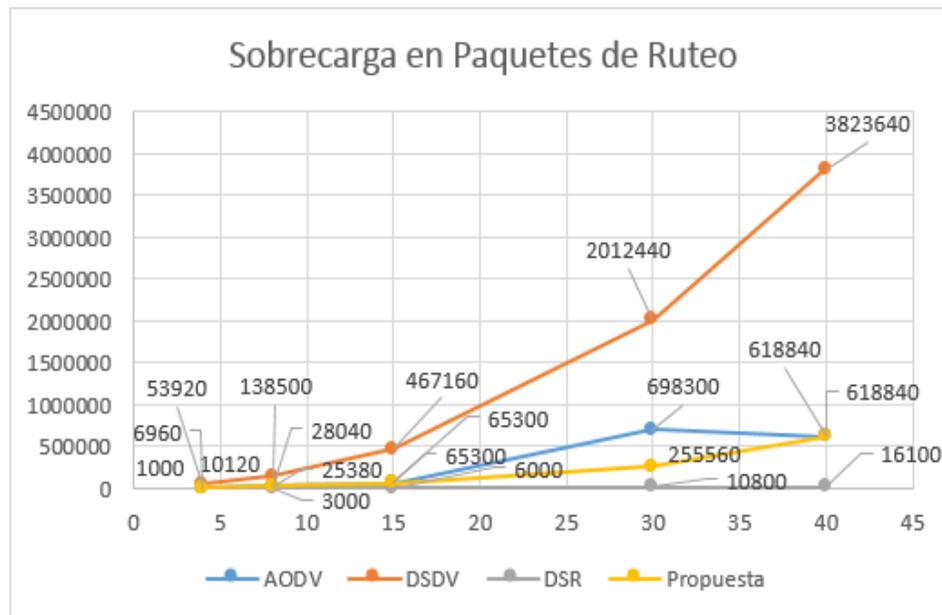


Fig. 4. Gráfica de sobrecarga para cada protocolo de ruteo y propuesta.

En la tabla 2 se muestra la tasa de error para cada protocolo de ruteo. En esta tabla, el protocolo AODV presenta la menor pérdida de paquetes enviados y/o recibidos, ya que este protocolo forma sus tablas de enrutamiento conforme se van demandando las rutas.

También se puede observar que conforme aumentan los nodos en las simulaciones, el protocolo DSDV presenta una pérdida mayor, debido a que este protocolo requiere de actualización constante; como primer procedimiento forma las tablas de ruteo. Si la red presenta mucho movimiento, es probable que las rutas establecidas con anterioridad se pierdan y esto sea la causa principal por la cual el protocolo tiene la mayor pérdida de paquetes en los envíos.

En las tablas 1 y 2, se puede observar que aunque el algoritmo DSR presenta menor sobrecarga de bits, también presenta mayor pérdida de paquetes con respecto a la propuesta de modificación. Además, el algoritmo DSR no utiliza mensajes de ruteo. Asimismo, se observa en la tabla1, que el algoritmo AODV coincide en la sobrecarga de los escenarios de 15 y 40 nodos, esto es así debido a que el algoritmo AODV se usó como base para las modificaciones propuestas.

<b>Escenarios (# de nodos)</b>	<b>Protocolos</b>			
	<b>(paquetes perdidos)</b>			
	AODV	DSDV	DSR	Propuesta
4	18	4	31	20
8	267	88	225	92
15	217	676	606	217
30	1592	4646	4938	1592
40	3688	12700	18586	3688

**Tabla 2. Medición de pérdida de paquetes para cada protocolo y propuesta**

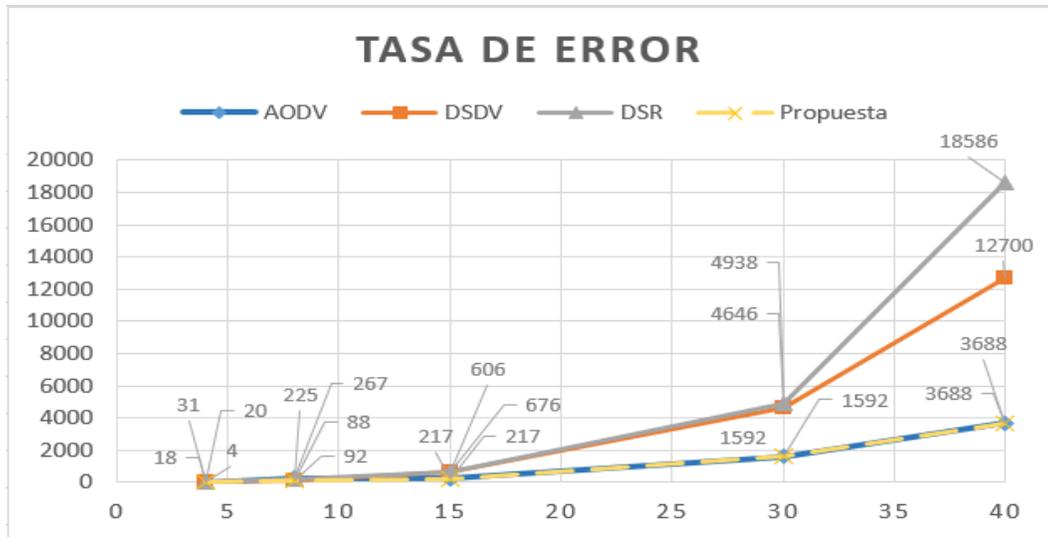


Fig. 5. Gráfica de tasa de error para cada protocolo de ruteo y propuesta.

Por otro lado el protocolo DSR es el que presenta mayor pérdida de paquetes, en comparación con los otros dos protocolos de ruteo mencionados anteriormente, esto se da porque el protocolo DSR no tiene tablas de ruteo, toda la información la almacena en los encabezados del paquete

## 5. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado una propuesta de mecanismo de intercambio de mensajes para un protocolo de redes vehiculares Ad-Hoc. Esto se consiguió mediante la combinación de características de protocolos de enrutamiento para redes Ad hoc ya existentes. El rendimiento para el enrutamiento de redes vehiculares ha bajado la sobrecarga de bits de paquetes de enrutamiento. Se realizaron una serie de experimentos con los protocolos AODV, DSDV y DSR; los cuales demostraron un rendimiento satisfactorio en redes pequeñas, medianas y grandes.

Se demostró que con las modificaciones propuestas, se puede reducir la sobrecarga de la red de forma considerable, comparada con otros algoritmos en uso. En conjunto con este trabajo

hay otro que se está haciendo en forma paralela, el otro trabajo ataca el problema de enrutamiento. La combinación de resultados de ambos trabajos permitirá reducir la sobrecarga de la red y el tiempo de retardo de envío de paquetes.

Para mejorar este proyecto se podría intentar simular con otro algoritmo de cálculo de rutas, diferente al algoritmo de Bellman-Ford, para comparar ambos algoritmos y observar si se obtienen mejores resultados en las mediciones de sobrecarga, tasa de error y tiempo de retardo.

El tratar de combinar ambos mecanismos (algoritmo de cálculo de rutas y mecanismo de intercambio de mensajes) con respecto a las características específicas de las redes vehiculares Ad hoc, se obtendría mejores resultados al momento de realizar las simulaciones.

## **7. Referencias**

- [1] CCNA Exploration, Capitulo 3, Formato html, Disponible en: [http://tech-freaks.net/wp-content/uploads/CCNA4.0- Capitulo03.pdf](http://tech-freaks.net/wp-content/uploads/CCNA4.0-Capitulo03.pdf) , 6 paginas
- [2] Alvarez Torres Mildred Daniela, Chavira Guerrero Blanca Valeria, “Protocolos de Ruteo para Redes Vehiculares”, Proyecto de Titulación para obtener el título de Ingeniero en Sistemas Digitales y Comunicaciones, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2011.
- [3] C-K Toh, “Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems”. Prentice Hall, 2001
- [4] ETSI EN 302 665 v1.1.1 European Standard Telecommunication Series, “Intelligent Transport Systems (ITS) Communications Architecture”, Francia, 2010.
- [5] Kosch Timo, Kulp Ilse, Bechler Marc, Strassberger Markus, Weyl Benjamin, BMW Group Lasowski Robert, “Communication Architecture for Cooperative Systems in Europe”, AUTOMOTIVE NETWORKING SERIES. Mayo 2009.

- [6] Martinez, Victor Manuel, "Introducción a los protocolos", Formato html, disponible en: <http://www.arqhys.com/construccion/protocolos-introduccion.html>
- [7] Network Working Group, C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das, "Request for Comments: 3561 Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing", Julio 2003, formato html disponible en: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>
- [8] Network Working Group, D. Johnson, D. Maltz, "Request for Comments: 4728 The Dynamic Source Routing Protocol", Febrero 2007, formato html disponible en: <http://www.ietf.org/rfc/rfc4728.txt>
- [9] Network Working Group, C. Hendrick "Request for Comments: 1058 Routing Information Protocol", Junio 1988, formato html disponible en: <http://tools.ietf.org/html/rfc1058>
- [10] Olifer, Natalia, Olifer, Victor, "Redes de Computadoras", México, McGraw Hill, 2009
- [11] Perkins, Charles, "Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for mobile computers", formato html disponible en: <http://people.cs.umass.edu/~mcorner/courses/691M/papers/perkins.pdf>
- [12] Santos Leiva, Raúl "Simulación de VANETS (Vehicular Ad-Hoc Networks)" 21 de Noviembre 2007.
- [13] W. Stallings, *Redes e Internet de Alta Velocidad. Rendimiento y Calidad de Servicio*, Segunda ed. Madrid, España: Pearson Educación, 2004.
- [14] Yacine Khaled, "Routing in Vehicular Ad hoc networks", Universite de Technologie de Compiegne France, March 03 2008.
- [15] Gil Jimenez, María Elena, "Estudio de la eficiencia de encaminamiento del protocolo AODV en redes ad hoc inalámbricas de gran escala", Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación, 2008-2009.
- [16] Belding-Royer E., "Ad hoc on-demand Distance Vector (AODV) Routing Protocol", University of Cincinnati, July 2003, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>

- [17] Robles Matías, Marrone Luis, Díaz Javier, Barbieri Andrés, “Comparación de protocolos de ruteo en redes ad-hoc”.
- [18] Maltz D. “The Dynamic Source Routing Protocol”, Rice University, February 2007, <http://www.ietf.org/rfc/rfc4728.txt>
- [19] Mercado Armando, Berríos F. Rafaelgil, Chan Ye Paul, “Redes inalámbricas ad hoc”, pdf.
- [20] Ghosekar,Pravin, Kathar Girish, Ghorpade, Dr. Pradip. “Mobile Ad Hoc Networking: Imperatives and Challenges”. 2010.
- [21] Schoch Elmar, Kargl Frank, “Communication Patterns in VANETs”. IEEE Communications Magazine, Noviembre, 2008.
- [22] Ramirez Rivera Ricardo, “Soluciones Tecnológicas en Informática”, formato html, Disponible en: <http://www.solticom.com/uts/protocolos.pdf>
- [24] Palma G. Antonio Manuel, “Análisis de Protocolo de Enrutamiento para Redes de Sensores Inalámbricas”, España: Diciembre 2009, 195 páginas.
- [25] Kurmanava Maryna, “Estudio de la eficiencia de encaminamiento del protocolo DSR en redes ad hoc inalámbricas de gran escala”, Universidad Rey Juan Carlos, 2008/2009.
- [26] Gálvez Serna, Juliana Andrea, Hincapié, Roberto Carlos, “Las Redes Inalámbricas Ad-Hoc en la Comunicación Vehicular”, Universidad Pontificia Bolivariana.
- [27] Hewer, Thomas David, “High Performance Simulation and Modelling of Wireless Vehicular ad hoc Networks, University College London, Agosto 2011.
- [28] Robles,Matias, Marrone,Luis, Díaz, Javier, Barbieri, Andrés, “Comparación de protocolos de ruteo en redes ad-hoc”, Universidad Nacional de la Plata, 2010.
- [29] Ros Muñoz, Francisco Javier, “Evaluación de Propuestas de Interconexión a Internet para Redes Móviles Ad Hoc Híbridadas”, Universidad de Murcia, 2004.

## **8. Autores**

Mtra. Alejandra Mendoza Carreón. M.S. Computer Science, University of Texas at Dallas, Dallas, TX. Experiencia docente de 8 años, maestra en la UACJ desde enero de 2006. Imparte clases en la Licenciatura de Ingeniería en Sistemas Digitales y Comunicaciones y en la Maestría en Ingeniería Eléctrica. Intereses de investigación: Algoritmos de ruteo para redes vehiculares Ad Hoc. Con más de 15 publicaciones académicas, tales como; artículos científicos, artículos de difusión, ponencias en congresos nacionales e internacionales, memorias en extenso, ponencias y conferencias.

Dr. Víctor Manuel Hinostraza Zubia. Doctor de Filosofía (PhD) en el área de telecomunicaciones por el Instituto de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Manchester (UMIST) en Manchester, Inglaterra en el 2002. Experiencia profesional de 10 años en la industria. Experiencia docente de 24 años, maestro en la UACJ desde enero de 1989. Imparte clases en la Licenciatura de Ingeniería en Sistemas Digitales y Comunicaciones y en la Maestría en Ingeniería Eléctrica. Intereses de investigación: Estimación del canal de comunicación con señales multi-portadora y de muy amplio ancho de banda. Aplicaciones de redes vehiculares en ambientes distribuidos. Con más de 50 publicaciones académicas, tales como; libros, capítulos de libros, artículos científicos, artículos de difusión, ponencias en congresos nacionales e internacionales, memorias en extenso, ponencias y conferencias.

Ing. Mildred Daniela Álvarez Torres. Alumna de la Maestría en Ingeniería Eléctrica de la UACJ.