

Evaluación de Protocolos de Enrutamiento usados en las Redes Móviles AdHoc (MANET), utilizando el software Network Simulator NS2.

Luis Rodríguez P., Gonzalo Olmedo, Román Lara

Departamento de Eléctrica y Electrónica Escuela Politécnica del Ejercito

Resumen

En este artículo se estudia y evalúa mediante la herramienta de simulación *Network Simulator NS2*, los principales protocolos de enrutamiento utilizados sobre Redes Móviles AdHoc (MANET), en base a los parámetros de Tiempo de Convergencia y Sobrecarga de Paquetes de Enrutamiento.

I. INTRODUCCIÓN

Las Redes Móviles AdHoc (MANET) fueron creadas para proporcionar comunicación y ser implementadas de una manera rápida y eficiente, en lugares carentes de una infraestructura de red, puesto que son redes descentralizadas¹. Sin embargo, para que esto sea posible se hace necesaria la introducción en la red de protocolos de enrutamiento específicos, debido a que los protocolos tradicionales propios de redes fijas no se adaptan a este tipo de ambientes móviles [1].

II. PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO

Básicamente los protocolos de enrutamiento se pueden clasificar en dos grandes grupos [2][3][4]:

- Proactivos o basado en tablas y
- Reactivos o sobre demanda

Protocolos Proactivos

Son aquellos en los que los algoritmos mantienen en cada nodo información actualizada acerca de la topología de la red, la cual es almacenada en tablas de enrutamiento que son actualizadas de forma periódica u originada por eventos.

Este tipo de protocolos están basados en los protocolos de vector distancia y de estado de enlace.

Un protocolo característico dentro de este grupo es; DSDV (*Destination Sequenced Distance Vector*).

Protocolos Reactivos

Son aquellos en los cuales se usan algoritmos, donde solo se crean rutas únicamente cuando un nodo fuente desea enviar información hacia un nodo destino, utilizan mecanismos de Descubrimiento y Mantenimiento de Ruta.

Descubrimiento de Ruta: Este procedimiento comienza con el envío de un paquete llamado petición de ruta RREQ (*Route Request*), que es enviado de modo *broadcast* a toda la red. En el caso de que un nodo recibiera este paquete y sea el destino o conozca la ruta hacia él, este enviará un paquete denominado petición de respuesta RREP (*Route Reply*) al nodo fuente con la información de ruta requerida.

Mantenimiento de Ruta: Este proceso únicamente se da durante el envío de datos y se origina cuando un nodo que se encuentra involucrado en la transmisión, detecta la pérdida del enlace, emitiendo un mensaje denominado error de ruta RERR (*Route Error*) al nodo que esta originando la transmisión (nodo fuente), el cual al recibir este mensaje, buscará una ruta alterna que pueda tener almacenada o comenzará un nuevo proceso de descubrimiento de ruta. Los nodos intermedios que reciban el mensaje RERR eliminar la ruta con problemas de su registro o tabla de enrutamiento según sea el caso.

Los protocolos reactivos a su vez se pueden clasificar en:

- Basados en la fuente y
- Salto a Salto

Dentro de los protocolos reactivos los principales son:

- DSR (*Dynamic Source Routing*).
- AODV (*Ad-Hoc On-Demand Distance Vector*).

¹ Son aquellas donde los dispositivos de red no solo son equipos terminales, sino que también realizan retransmisión de paquetes:

Basados en la fuente.

En este tipo de protocolos los paquetes de datos transportan la ruta completa de la fuente al destino.

Salto a salto

Los protocolos basados en este concepto, únicamente llevan en la cabecera de los paquetes de datos la dirección del destino y la dirección del próximo salto.

DSDV

En este protocolo los paquetes de señalización son intercambiados entre nodos vecinos a intervalos regulares de tiempo o emitidos por eventos.

DSDV [1][2] proporciona básicamente la obtención de rutas sin bucles mediante la introducción de números de secuencia, suministrando una sola ruta para cada destino, siendo esta la ruta con la trayectoria más corta posible.

Este protocolo utiliza dos tipos de mensajes de señalización.

Full dump: Este tipo de mensajes envía toda la información contenida en la tabla de enrutamiento de cada nodo. El uso de este tipo de mensaje es reducido y se dan cuando existen grandes cambios en la topología de red.

Incremental: Este tipo de mensaje es enviado con mayor frecuencia debido a que transporta únicamente la información contenida en la tabla de enrutamiento de un nodo que ha variado desde que el último paquete *full dump* fue enviado. Este tipo de mensaje optimiza el uso de ancho de banda debido a que no es enviado de forma periódica con información de las tablas de enrutamiento enteras.

DSR

DSR [2] es un protocolo reactivo basado en la fuente, esencialmente crea las rutas únicamente en el caso de que un nodo fuente necesite enviar datos hacia un nodo destino (Descubrimiento de Ruta). Se diseñó para optimizar el uso del ancho de banda dentro de una red AdHoc, al eliminar los mensajes de actualización periódica que usan los protocolos proactivos. Previene los lazos de enrutamiento a través del identificador de RREQ (*Route Request*).

Este protocolo hace que los nodos no posean una tabla de enrutamiento, debido a que la ruta viaja en el paquete de datos, y solo mantiene un registro de rutas.

Cada nodo asocia un temporizador a la ruta con el fin de poderla eliminar en el caso de que esté inactiva por un cierto periodo tiempo.

Mediante un único proceso de descubrimiento de ruta, el nodo origen puede aprender varias formas de llegar hacia el mismo destino (uso de múltiples rutas).

Los nodos poseen una función denominada "*Promiscuous Listening*" que permite recibir y procesar paquetes de datos o de información a nivel de capa 2 que no estén dirigidos particularmente a ellos, con el fin de que los nodos pueden actualizar las rutas almacenadas en su registro con la información contenida en estos paquetes.

Utiliza el proceso de Mantenimiento de Ruta en el caso de ocurrir algún problema en la comunicación entre nodos durante la transmisión de datos.

AODV

Es un protocolo reactivo salto a salto y establece rutas bajo demanda, es decir, no mantiene actualizaciones periódicas entre nodos, sino que descubre y mantiene rutas solamente cuando son necesarias, a través de los procesos de Descubrimiento y Mantenimiento de Ruta. La característica principal de AODV [5][6] es el uso de tablas de enrutamiento en cada nodo para de esta manera evitar transportar las rutas en los paquetes de datos.

Utiliza números de secuencia para evitar los lazos de enrutamiento que pudieran darse.

Además, cada cierto intervalo de tiempo se envían paquetes Hello² a los vecinos para informarles que el nodo sigue activo, de esta forma los vecinos actualizan los temporizadores asociados a dicho nodo o en su defecto, deshabilitan las rutas que utilicen el nodo suprimido.

Una particularidad de AODV es la reparación a nivel local de un enlace caído que forma parte de una ruta activa. En este caso, el nodo que detecta la caída de un enlace que está siendo utilizado, procede a intentar repararlo comenzando un proceso de descubrimiento de ruta hacia el destino y encola los paquetes de datos recibidos para el destino, hasta localizar una nueva ruta. En el caso de que este intento resulte fallido, se dará lugar al proceso normalmente establecido, con el envío del mensaje de error RERR hacia el nodo origen.

III. SIMULACIÓN

Para la simulación fue utilizado *Network Simulator* [7][8][9][10], el cual puede ser ejecutado sobre Windows o Linux, para este artículo, NS fue ejecutado sobre *Cygwin* el cual emula un ambiente de Linux sobre Windows, este emulador puede ser

² Hello, se lo llama así, a un tipo de mensaje de señalización utilizado por AODV.

conseguido en la pagina www.cygwin.com[11] o directamente puede ser descargado conjuntamente con NS2 versión 2.27 de la pagina http://140.116.72.80/~smallko/ns2/video/setup_video.htm [12].

Se evaluó mediante simulación a los protocolos: AODV, DSR y DSDV, que son los más representativos y difundidos dentro de las MANETs, además de encontrarse por defecto en NS2.

Las simulaciones se realizaron usando transmisión de paquetes FTP mediante una conexión TCP y emulando un ambiente de radio propagación lo más real posible a través del modelo *Shadowing*. El análisis de los protocolos de enrutamiento se realizó en base a dos parámetros principales:

- Tiempo de convergencia y,
- Cantidad de paquetes de enrutamiento introducidos a la red.

Se observó el comportamiento de los protocolos sobre tres topologías de red, las que fueron llamadas etapas de simulación. La primera etapa se ejecuta modificando el número de nodos de la red desde 2 hasta 7 nodos, esforzando a los protocolos a encontrar una ruta a través de todos los nodos intermedios, la segunda etapa se ejecuto en una red poblada de 15 y 50 nodos y por último se recreo una red con movilidad de 5 nodos.

IV. RESULTADOS OBTENIDOS

Primera Etapa

En esta etapa de la simulación los resultados obtenidos son congruentes con la teoría, ya que por ejemplo observamos la naturaleza proactiva de DSDV que actualiza la información de las rutas mediante el intercambio de las tablas de enrutamiento entre los nodos vecinos a intervalos regulares, por lo que este protocolo obtiene una respuesta más lenta en la convergencia de la red como lo observado en la figura. 4. y figura. 5. en relación a los protocolos de naturaleza reactiva como lo son AODV y DSR que por el contrario, la respuesta presentada para la obtención de una ruta es rápida ya que estos protocolos trabajan sobre demanda, proporcionando una alta convergencia a las redes con movilidad.

En la figura. 6. vemos particularmente el comportamiento de AODV y DSR, los cuales presentan conductas similares en relación al tiempo que se demoran en el descubrimiento de una ruta.

La figura. 4. y figura. 5. muestra que DSDV comienza a presentar una pobre respuesta en relación al tiempo de convergencia a partir de “tres saltos” entre el nodo emisor y el nodo receptor, mientras que AODV y

DSR presenta esta deficiencia a partir de los “seis saltos” como lo mostrado en la figura. 4.

En la figura. 1. observamos que el número paquetes de enrutamiento incrementa de acuerdo al número de nodos que presenta la red, lo cual es lógico debido a que para que la ruta sea descubierta, el intercambio tanto de las tablas de enrutamiento como de los paquetes de petición de ruta y replica de ruta es generado por un mayor número de nodos, además observamos que en los protocolos reactivos, mientras mas rápido se descubre la ruta más son los paquetes de enrutamiento generados por este, por lo que el tiempo de convergencia depende del número de paquetes de señalización utilizados, sacrificando de esta manera el ancho de banda a costa de conseguir una convergencia mas rápida de la red.

La figura. 2. nos indica que los protocolos AODV y DSR siguen teniendo mejor rendimiento que el protocolo proactivo DSDV, especialmente si hablamos de DSR, que proporciona un mayor número de paquetes TCP en relación a los paquetes de señalización generados, debido también, a que descubre la ruta más rápido, poseyendo mayor tiempo en la simulación para la transmisión de los paquetes de datos.

Cabe mencionar que la falta de datos observada a partir de los 6 nodos en las figuras presentadas en relación a DSDV, se da debido a que este protocolo presenta una pobre respuesta en la convergencia de la red a partir de los 3 saltos de distancia entre el nodo emisor y receptor, lo cual no es dable en este tipo de topologías de alta movilidad.

La figura. 3. y figura. 4. muestra la relación existente entre los paquetes de enrutamiento generados por los diferentes protocolos vs. los paquetes TCP originados para el envío de datos, para 2 y 4 saltos de distancia entre el nodo fuente y el nodo destino.

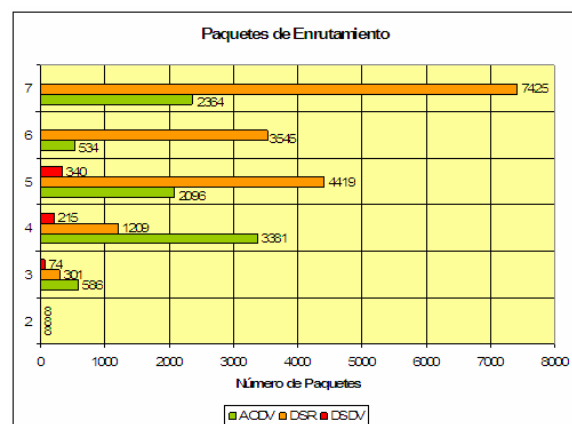


Figura. 1. Paquetes de Enrutamiento (1 Etapa)

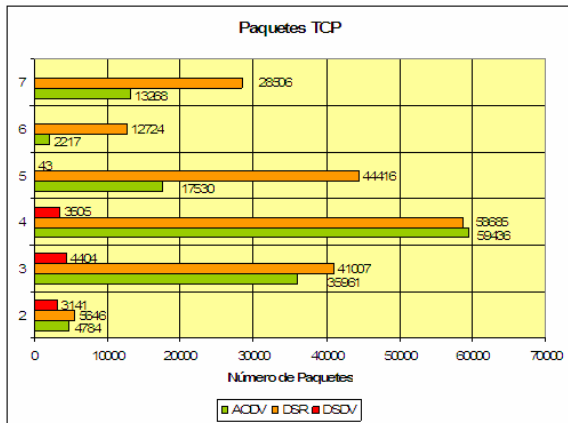


Figura. 2. Paquetes TCP (1 Etapa)

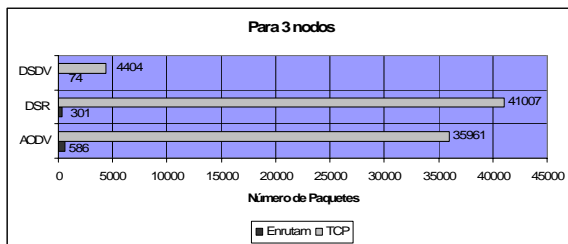


Figura. 3. Paquetes de Enrutamiento vs. TCP (1 Etapa)

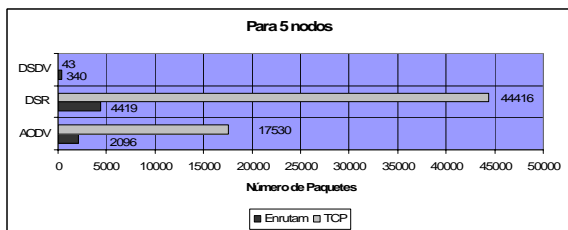


Figura. 4. Paquetes de Enrutamiento vs. TCP (1 Etapa)

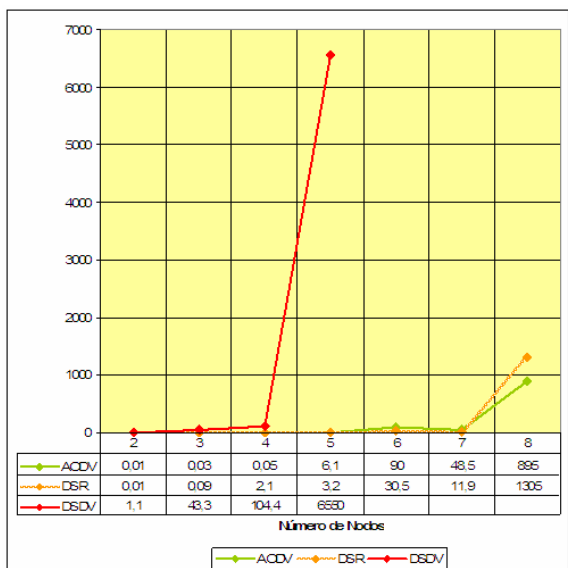


Figura. 4. Tiempo de convergencia en segundos (1 Etapa)

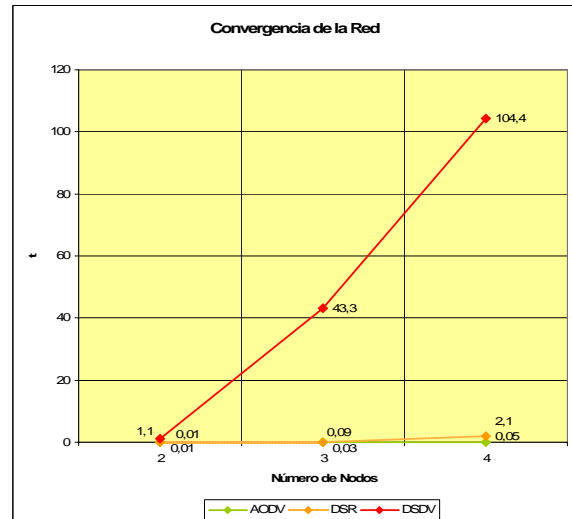


Figura. 5. Tiempo de convergencia en segundos (1 Etapa)

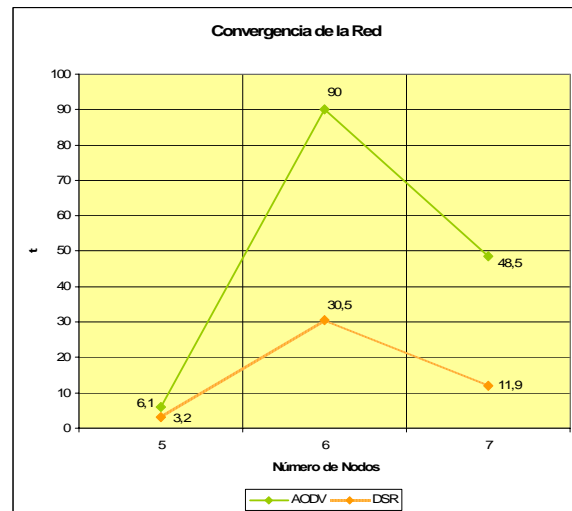


Figura. 6. Tiempo de convergencia en segundos (1 Etapa)

Segunda Etapa

Si nos basamos en los datos obtenidos en la figura 4., figura. 6. y tabla. 1., particularmente por DSR, observamos que el tiempo en que el protocolo encuentra una ruta en una topología de 50 nodos es similar al de una topología de 15 y de 6 nodos, esto se debe a que en una red altamente poblada el protocolo puede elegir entre más nodos, una mejor ruta con el menor número de saltos, a diferencia de una red pequeña, en la que por lo general la ruta elegida atraviesa la mayoría de los nodos, ocasionando un mayor número de saltos entre el nodo emisor y receptor.

La figura. 7. y figura. 8., muestra el comportamiento de los tres protocolos sobre una red de 15 y 50 nodos, donde podemos observar que, DSDV por tratarse de un protocolo proactivo, introduce mucha señalización en el intercambio de las tablas de enrutamiento con sus nodos vecinos, en relación al porcentaje de

paquetes TCP generados, lo que ocasiona ineficiencia en la red.

AODV también introduce una gran cantidad de paquetes de enrutamiento para la búsqueda de una ruta, sin embargo el porcentaje es menor en relación a los paquetes TCP generados, debido a que se trata de un protocolo reactivo. También podemos observar en la tabla. 1. que AODV comienza a ser deficiente en el tiempo de convergencia de la red, con el aumento en el número de nodos.

Por último DSR permanece más estable ante los otros protocolos y es más eficiente en topologías grandes, ya que puede encontrar una ruta dentro de un tiempo aceptable para una red móvil, introduciendo sobrecarga moderada de señalización en relación a los paquetes TCP emitidos.

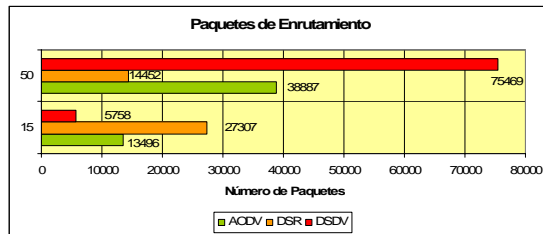


Figura. 7. Paquetes de Enrutamiento (2 Etapa)

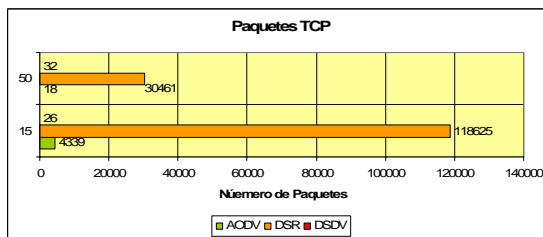


Figura. 8. Paquetes de TCP (2 Etapa)

Tabla. 1. Tiempo de convergencia (2 Etapa)

Número de Nodos	AODV	DSR
15	187,3s	18,5s
50		19s

Tercera Etapa

Con los resultados obtenidos en las etapas anteriores, sabemos que AODV y DSR presentan un mejor rendimiento que DSDV, por lo que para esta etapa se analizo únicamente a estos dos protocolos sobre una red de gran movilidad compuesta por 5 nodos.

Los paquetes generados por los nodos dentro de la red en un proceso de transmisión de datos son los siguientes:

- De enrutamiento
- ARP

- RTS (*Request To Send*)
- CTS (*Clear To Send*)
- TCP
- ACK

Como ya sabemos los paquetes de enrutamiento encuentran una ruta para poder establecer una comunicación entre un nodo emisor y otro receptor. Los paquetes ARP ayudan a este proceso ya que asocian una dirección IP conocida a una dirección MAC, es decir asocian la dirección física del nodo con una IP asignada, una vez encontrada la ruta, los nodos manejan un mecanismo para contrarrestar las colisiones en el medio compartido y evitar los problemas presentados por el nodo oculto y el nodo expuesto, este mecanismo hace que el nodo que desee emitir datos, previamente envíe un paquete RTS al nodo destino, para lo que el este contesta enviando un paquete CTS, de esta manera los nodos vecinos sabrán que el medio estará ocupado el tiempo necesario para intercambiar una trama de datos. Tras el intercambio satisfactorio de los paquetes RTS y CTS, se envía los paquetes de datos TCP, que se confirman mediante un paquete ACK. El proceso anteriormente expuesto se refleja congruentemente en la figura. 9.

La figura. 10. nos indica en el eje X los eventos que presenta la red, y en el eje Y el tiempo en el que ocurre dicho evento, así podemos observar que a 0.5 segundos de comenzada la simulación, la red sufre el movimiento de sus nodos perdiendo la ruta que estaba siendo utilizada para la transmisión de datos, esto origina que tanto AODV como DSR busquen una nueva ruta, logrando encontrarla a 2.9 segundos y 1.9 segundos respectivamente, tiempo en que la red se estabiliza nuevamente.

En esta figura también podemos observar que tanto AODV como DSR presentan el mismo comportamiento, ya que estamos hablando de protocolos de similares características (protocolos reactivos).

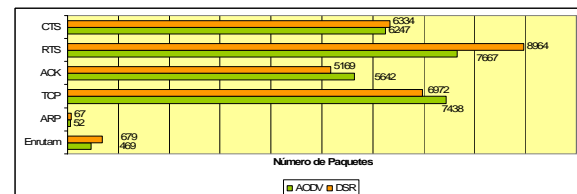


Figura. 9. Paquetes que circulan en la red (3 Etapa)

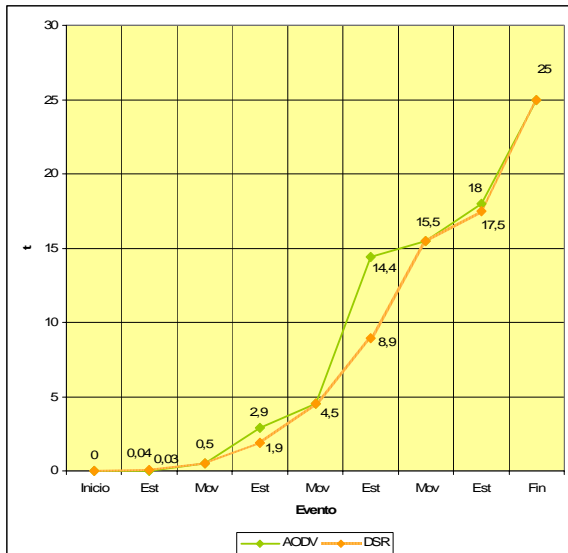


Figura. 10. Tiempo de convergencia en segundos (3 Etapa)

V. CONCLUSIONES

- El desempeño proporcionado por los protocolos reactivos es superior al presentado por los protocolos proactivos en base al tiempo de convergencia de la red y paquetes de enrutamiento introducidos.
- DSR es el protocolo que mejor rendimiento de los tres simulados. Presenta seis saltos de distancia, uso de múltiples rutas y desempeño satisfactorio en redes grandes.
- AODV es semejante a DSR, por lo que presenta las mismas respuestas ante la red a diferencia de no aceptar múltiples rutas, ocasionando bajo rendimiento en redes grandes, además de no presentar optimización de energía de los nodos, por no ser reactivo puro.
- DSDV a diferencia de los anteriores protocolos señalados, es un protocolo proactivo y presenta un bajo rendimiento ante topologías de red grandes y de alta movilidad, se obtuvo que el número de saltos máximo presentado es 3.
- Cabe mencionar que debido a que Network Simulator es un software de código abierto, puede ser modificado, al igual que los módulos de enrutamiento existentes en este simulador, lo que puede ocasionar que las respuestas presentadas por estos protocolos en la simulación de este artículo, puedan variar.

VI. REFERENCIAS

- [1] Subiela, Roberto, Simulación de protocolos de encaminamiento en redes móviles adhoc con SN-2,30/04/2007.
- [2] Domingo, Mari, Diferenciación de servicios y mejora de la supervivencia en redes adhoc conectadas a redes fijas, 2005.
- [3] Royer, Elizabeth, A Review of Current Routing Protocols for AdHoc Mobile Wireless Networks, 30/04/2007.
- [4] Mohapatra, Prasant, *Ad Hoc Networks Technologies and Protocols*, Springer Science, Boston 2005.
- [5] Triviño, Javier, WALC 2004 Práctica 4 AODV, 09/05/2007.
- [6] Guerrero, Manel, Securing and Enhancing Routing Protocols for Mobile AdHoc Networks, 09/05/2007.

- [7] Tamer, Alan, Simulação de Redes de Computadores utilizando o Network Simulator, 2004.
- [8] Fall, Kevin, The ns Manual (formerly ns Notes and Documentation), 21/05/2007.
- [9] Herrera, Jose, NS2 - Network Simulator, 12/05/2004
- [10] The Network Simulator, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/index.html>, 2005.
- [11] Cygwin, www.cygwin.com
- [12] Cygwin con NS versión 2.27, http://140.116.72.80/~smallko/ns2/vid eo/setup_video.htm.

VII. BIOGRAFIAS

Luis Rodríguez P. recibió el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica del Ejército, en Agosto de 2007. Sus intereses investigativos incluyen AdHoc Network, Sensor Network y desempeño de las redes de telecomunicaciones.

Gonzalo F. Olmedo C. recibió el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Escuela Politécnica del Ejército, en 1998, el grado de Master en Ciencias en Ingeniería Eléctrica y Computación en el área de Telecomunicaciones y Telemática, Universidad Estatal de Campinas (UNICAMP), Campinas - Brasil, 2003. Doctor en Ingeniería Eléctrica y Computación en el área de Telecomunicaciones y Telemática, Universidad Estatal de Campinas (UNICAMP), Campinas - Brasil, (título por obtener en el 2006 - 2007). Sus intereses investigativos incluyen las AdHoc networks, sistemas de comunicación Sem Fio CDMA, Desempeño de las redes de Telecomunicaciones.

Román A. Lara C. recibió el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, en agosto de 2001 y el grado de Master in Wireless Communications and Related Technologies de la Facultad di Ingegneria del Politecnico di Torino, Italia. Sus intereses investigativos incluyen las AdHoc networks, sensor networks, mesh networks y el desempeño en comunicaciones inalámbricas.