



## XVII SIMPOSIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA (SIE-2017)

### **Título**

**Comparación de protocolos de ruteo en redes móviles Ad hoc (MANET).**

### ***Title***

***Comparison of Routing Protocols in mobile Ad hoc Network (MANET).***

**Julio César Pérez García<sup>1</sup>, Erik Ortiz Guerra<sup>2</sup>, Vitalio Alfonso Reguera<sup>3</sup>, Daniel Iglesias de la Torre<sup>4</sup>.**

1-Julio César Pérez García. UCLV, Cuba. [juliocpg@uclv.cu](mailto:juliocpg@uclv.cu)

2- Erik Ortiz Guerra. UCLV, Cuba. [erik@uclv.edu.cu](mailto:erik@uclv.edu.cu)

3-Vitalio Alfonso Reguera. UCLV, Cuba. [vitalio@uclv.edu.cu](mailto:vitalio@uclv.edu.cu)

4- Daniel Iglesias de la Torre. UCLV, Cuba. [danielit@uclv.cu](mailto:danielit@uclv.cu)

### **Resumen:**

Las redes MANET tienen amplias aplicaciones en las comunicaciones inalámbricas modernas. Las redes MANET se definen como el conjunto de nodos móviles que comparten un canal inalámbrico. La comunicación entre los nodos puede realizarse a través de nodos intermedios que actúan como enrutadores. Los protocolos de ruteo se encargan de descubrir y mantener la ruta entre el nodo fuente y el destino a través de la red. En una red MANET la movilidad de los nodos es uno de los problemas que deben afrontar los protocolos de ruteo debido a las pérdidas de enlaces que puede provocar la misma. Varios protocolos de ruteo se han propuesto para redes MANET, los cuales se dividen en tres grupos fundamentales: proactivos, reactivos e híbridos. En el presente trabajo se compara el desempeño de los protocolos de ruteo seleccionados dos de tipo reactivo (AODV y DSR) y dos proactivos (OLSR y DSDV). Los protocolos seleccionados son comparados en términos de demora promedio, razón de pérdida de paquetes y tiempo promedio de restablecimiento de la ruta perdida, utilizando el software NS3 para la simulación de la red MANET.

Palabras claves: MANET; AODV; DSR; DSDV; OLSR; NS3.



***Abstract:***

MANET networks have wide applications in modern wireless communications. MANET networks are defined as the set of mobile nodes that share a wireless channel. Communication between nodes can be done through intermediate nodes that act as routers. Routing protocols are responsible for discovering and maintaining the route between the source node and the destination through the network. In a MANET network the mobility of the nodes is one of the problems that routing protocols must face due to the loss of links that can mobility causes. Several routing protocols have been proposed for MANET networks, which are divided into three fundamental groups: proactive, reactive and hybrid. In the present paper, the performance of two reactive routing protocols (AODV and DSR) and two proactive (OLSR and DSDV) were compared. The selected protocols are compared in terms of average delay, packet loss ratio and average lost path restoration time, using the NS3 software for the MANET network simulation.

***Keywords:*** MANET; AODV; DSR; DSDV; OLSR; NS3.



## I. Introducción

En las últimas décadas las redes inalámbricas se han expandido de forma exponencial y especialmente las redes que no poseen infraestructura o redes .ad hoc, debido a los atractivos de fácil montaje y movilidad que permiten dichas redes [1]. Las redes ad hoc móviles por su sigla en inglés MANET (*Mobile Ad Hoc Networks*), se definen como el conjunto de nodos móviles que comparten un canal inalámbrico para comunicarse. La comunicación entre dos nodos en una red MANET puede efectuarse a través de otros nodos intermedios que encaminan los paquetes desde el origen hasta el destino, los protocolos de ruteo son los encargados de establecer la ruta para dichos paquetes a través de la red [2].

En una red MANET los nodos se pueden mover en cualquier dirección y velocidad, por lo que resultan ser muy dinámicas debido a esta ubicuidad de los nodos. Los protocolos de ruteo tienen retos adicionales en una red MANET dado que la movilidad de los nodos provoca la pérdida de enlaces de forma impredecible generalmente, lo cual dificulta el encaminamiento de los paquetes [3].

Diversos protocolos de ruteo se han propuesto para funcionar en redes MANET, estos protocolos se pueden clasificar en tres grupos diferente: proactivos, reactivos e híbridos. En los protocolos reactivos tales como el AODV y el DSR, la ruta entre la fuente y el destino se determina en el momento que es requerido por la fuente, utilizando un proceso de descubrimiento de ruta [4]. Por otra parte en los protocolos de ruteo de tipo proactivo, como el DSDV y el OLSR, la ruta para todos los destinos posibles se determinan en el estado de iniciación de los nodos y posteriormente se actualizan periódicamente a través del proceso de actualización de ruta, en la que los nodos intercambian información de topología de red. Los protocolos de tipo híbridos combinan las propiedades básicas de los anteriores [1].

Con la presente investigación se pretende evaluar el impacto de la movilidad de los protocolos de ruteo proactivos y reactivos en una red MANET, para lo cual se seleccionan los protocolos AODV [5], DSR [6], OLSR [7] y DSDV [8] debido a que son representativos de cada grupo. Se implementan y simulan los protocolos seleccionados en el software de simulación NS3. En los diferentes escenarios simulados se evalúa el desempeño de los protocolos en términos de demora promedio, razón de pérdidas de paquetes y tiempo promedio de restablecimiento de las rutas que se pierden, las cuales han sido utilizados en trabajos recientes [1-4, 9-12].



### 1.1 Descripción de los protocolos de ruteo reactivos

Los protocolos de tipo reactivo seleccionados son el AODV (*Ad Hoc OnDemandDistance Vector*) y el DSR (*DynamicSourceRouting*). El AODV es uno de los protocolos de ruteo reactivos más extendidos en redes MANET. En redes donde se utiliza el protocolo AODV cuando un nodo fuente requiere iniciar la transmisión de datos, se comienza el proceso de descubrimiento de ruta, en el cual se envía a todos los nodos vecinos (*broadcast*) un mensaje de solicitud de ruta RREQ (*RouterRequest*) el cual contiene un número de secuencia, cuando cada nodo intermedio recibe el paquete RREQ, en caso de tener enlace directo o una ruta activa con el nodo destino envía una respuesta de ruta RREP (*RouteReply*) hacia el nodo del cual recibió el paquete RREQ y en caso de no poseer ruta activa con el destino, genera un nuevo paquete RREQ con su dirección como fuente y un número de secuencia que es el número de secuencia que posee el paquete RREQ recibido del nodo anterior incrementado en una unidad, luego actualiza su tabla de ruta para en el caso de recibir un paquete RREP encaminar los paquetes hacia la fuente. Si en la fuente se reciben varios paquetes RREP significa que existen varias rutas hasta el destino entonces selecciona la ruta con que mayor número de secuencia posea. La ruta permanece en la tabla de ruta mientras se estén transmitiendo datos, luego es eliminada de la misma. Si la transmisión de datos es interrumpida mientras la ruta está activa, significa que se perdió el enlace entre algunos de los nodos intermedios de la ruta, entonces se envía un paquete de error de ruta RERR (*Route Error*) a todos los vecinos y se comienza desde el principio con el proceso de descubrimiento de ruta [5].

Por su parte el protocolo DSR es de tipo reactivo y se basa en dos procesos principales el descubrimiento de ruta y el mantenimiento de ruta, que funcionan de forma conjunta para establecer y mantener las rutas a cualquier destino alcanzable en la red MANET. Cuando un nodo fuente de la red requiere enviar datos a algún destino, se comienza el proceso de descubrimiento de ruta enviando a todos sus vecinos un paquete RREQ que al ser recibido por estos le agregan al paquete su propia dirección y reenvían el paquete a todos sus vecinos exceptuando el nodo del cual lo recibieron. Al alcanzar el destino el paquete RREQ posee todos los nodos intermedios que contendrá la ruta de retorno a diferencia de AODV que el paquete solo contiene el destino, la fuente y el próximo salto.



Cada nodo mantiene en una tabla cache las rutas descubiertas, así al recibir un paquete RREQ antes de difundirlo a sus vecinos se comprueba que no exista en la tabla cache una ruta hasta el destino, en el caso que exista una ruta, el paquete RREQ se transmite directamente al destino por la ruta encontrada en la tabla cache, con lo cual se disminuye el tráfico innecesario de paquetes con información de ruteo en la red.

Luego de establecida la ruta se comienza el proceso de mantenimiento de ruta, para el cual se utilizan dos paquetes el ACK (*Acknowledgement*) y el RERR, el primero se envía cuando se ha recibido correctamente el paquete desde el nodo vecino anterior en la ruta. En caso de existir problemas en la comunicación (no se recibe el ACK de nodo siguiente en la ruta), un paquete RERR es transmitido al nodo vecino anterior en la ruta, el cual lo retransmite a al nodo que le precede en la ruta y así sucesivamente hasta llegar al nodo fuente, el cual al recibir el paquete RERR inicia nuevamente el proceso de descubrimiento de ruta [6].

## 1.2 Descripción de los protocolos de ruteo proactivos

Los protocolos DSDV y OLSR son los protocolos proactivos seleccionados para la simulación. En redes que utilicen el protocolo DSDV, los nodos intercambian periódicamente información de ruteo con todos sus vecinos. Cada nodo mantiene en su tabla de ruta todos los posibles destinos y el número de saltos para alcanzarlos, luego emplea el algoritmo de Bellman Ford [13] para seleccionar la ruta a utilizar en caso de existir más de una disponible. Para disminuir el tráfico con información de ruteo en la red se emplean dos tipos de paquetes para intercambiar, paquetes *full update*, el cual contiene íntegramente la tabla de ruta del nodo que lo envía y por otra parte paquetes *incremental update*, en el cual solo se envía la información que haya variado desde el último paquete *full update* [8].

En las redes que emplean el protocolo OLSR cada nodo tiene bien definidas las rutas a todos los demás nodos (alcanzables) de la red. Esto es posible mediante la información de ruteo que periódicamente intercambian los nodos de la misma manera que ocurre con el protocolo DSDV y los demás protocolos proactivos. En el protocolo OLSR cada nodo selecciona de entre sus vecinos nodos MPRs (*multipoint relays*), los cuales garantizan la comunicación con todos los nodos que se encuentran a dos saltos del nodo fuente y son los encargados de difundir la información de ruteo del mismo, con lo cual se evitan los lazos entre los nodos vecinos al nodo fuente y los que se encuentran a dos saltos de este, reduciendo de esta manera el tráfico de información de ruteo en la red.



Periódicamente cada nodo envía a todos sus vecinos mensajes de HELLO con el cual se mantiene actualizado el estado de los enlaces en la tabla de ruta y el resto de la topología de la red es aprendida de la información de ruteo que recibe de sus MPRs [7].

## II. Simulación y discusión de los resultados

Para la simulación se utiliza el software NS3 (*Network Simulator v3*) el cual posee implementaciones de los protocolos de ruteo seleccionados. En todos los casos se simula un escenario donde los nodos se encuentran en un área cuadrada de 1000 x 1000 unidades. Al inicio se ubican de forma aleatoria y posteriormente su posición se determina utilizando el modelo *RandomWaypoint* [14], en el cual cada nodo se desplaza en línea recta y con velocidad constante entre dos puntos elegidos al azar dentro del espacio limitado para los movimientos. En los escenarios se varía la velocidad máxima de cada nodo y la cantidad de nodos que conforman la red MANET. La Tabla1 muestra los parámetros fundamentales de la simulación.

|                               |                                  |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Simulador de red              | NS3                              |
| Protocolos de ruteo           | DSDV, OLSR, AODV, DSR            |
| Tiempo de simulación          | 300 segundos                     |
| Área de simulación            | 1000u x 1000u                    |
| Número de nodos               | 5, 10, 20, 50, 100               |
| Velocidad máxima de los nodos | 0, 5, 20 u/s                     |
| Protocolos MAC                | IEEE 802.11 b                    |
| RTS/ CTS                      | Paquetes superiores a 2200 Bytes |
| Modelo de propagación         | Modelo de pérdidas de Friis      |

**Tabla1.** Parámetros de la simulación. Elaboración propia.

Para comparar el desempeño de los protocolos se utilizaron tres métricas fundamentales, la razón de pérdidas de paquetes promedio, la demora promedio y el tiempo de restablecimiento de ruta.



La razón de pérdida de paquetes, por su sigla en inglés PLR (*PacketLoss Ratio*) se define como [3]:

$$PLR = \frac{T_s - T_R}{T_s}$$

Donde  $T_s$  es el total de paquetes enviados y  $T_R$  el total de paquetes recibido.

Además del PLR se determinó la demora promedio de los paquetes, la cual se define como [10]:

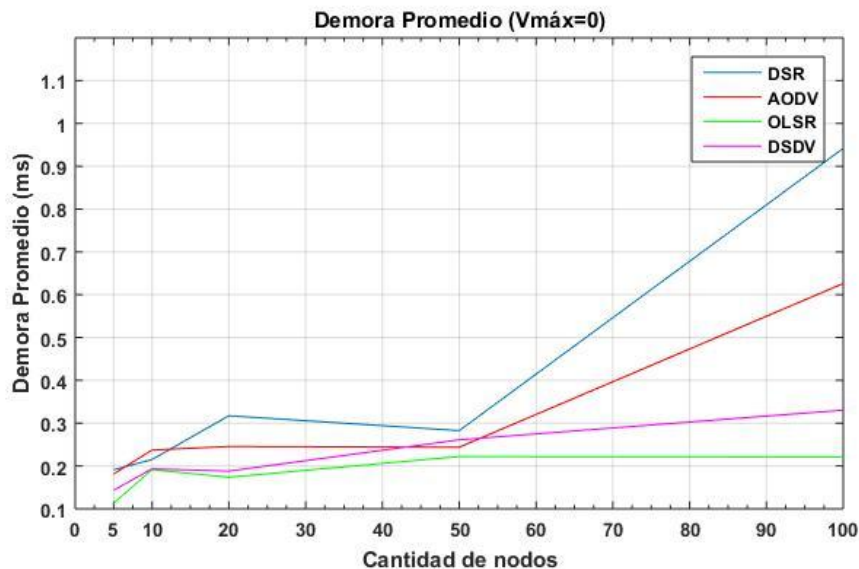
$$Demora Promedio = \frac{\sum (tiempodearribo - tiempodeenvío)}{Total de conexiones}$$

Por último, se determinó el tiempo de restablecimiento promedio (TRP) de la ruta que es el tiempo promedio que transcurre entre la pérdida de la comunicación entre dos nodos y el restablecimiento de la misma por otra ruta, se define como:

$$TRP = \sum_{n=1}^n (TP_n - TR_n)/n$$

Donde  $TP_n$  es el tiempo en que se perdió la ruta  $n$  y  $TR_n$  es el tiempo en el que se restableció la comunicación por otra ruta alternativa.

La figura 1 muestra los resultados en términos de demora promedio de los escenarios donde los nodos permanecen estáticos (velocidad máxima de 0 u/s).

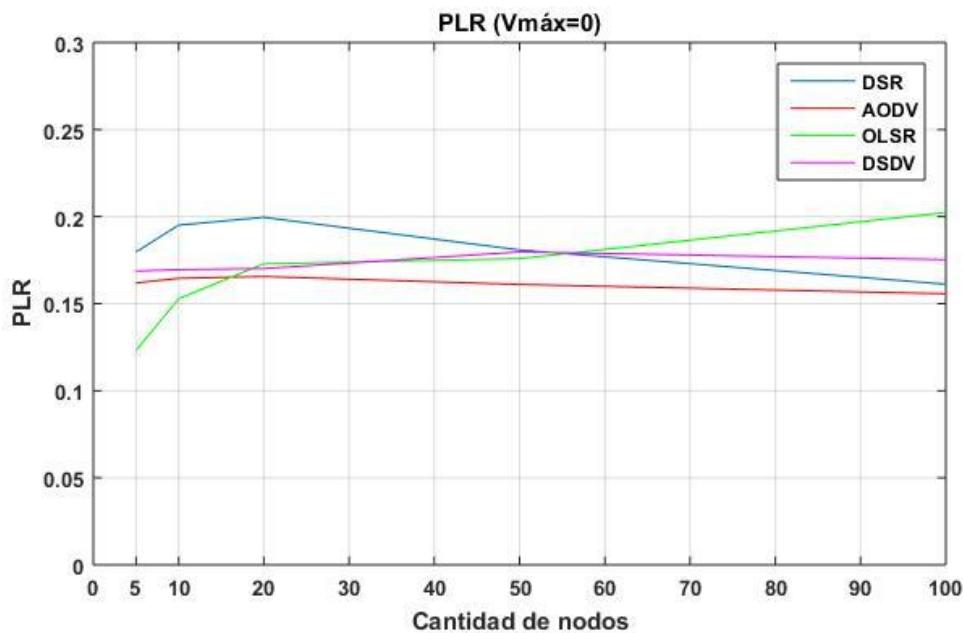


**Figura 1.** Demora promedio en escenario estático. Elaboración propia.



Como se aprecia en la figura 1, para todos los protocolos de ruteo en la medida que aumenta el número de nodos la demora promedio es cada vez mayor. Esto se debe fundamentalmente al incremento en el diámetro de la red MANET producto del incremento del número de nodos. En la figura 1 se puede notar también que los protocolos proactivos (OLSR y DSDV) poseen menores (mejores) valores de demora promedio que los protocolos de tipo reactivo esto se debe a que las rutas en los protocolos proactivos están definidas antes de ser requeridas, por otra parte los protocolos de tipo reactivo (AODV y DSR) establecen la ruta cuando se requiera, lo cual resulta en una demora en el proceso de descubrimiento de ruta.

En cuanto a los resultados en términos de pérdida de paquetes promedio (PLR), la figura 2 muestra como luego que la red supera los 50 nodos aproximadamente el protocolo OLSR presenta el mayor promedio de pérdida de paquetes esto se debe a que este protocolo no tiene control de congestión como el resto.



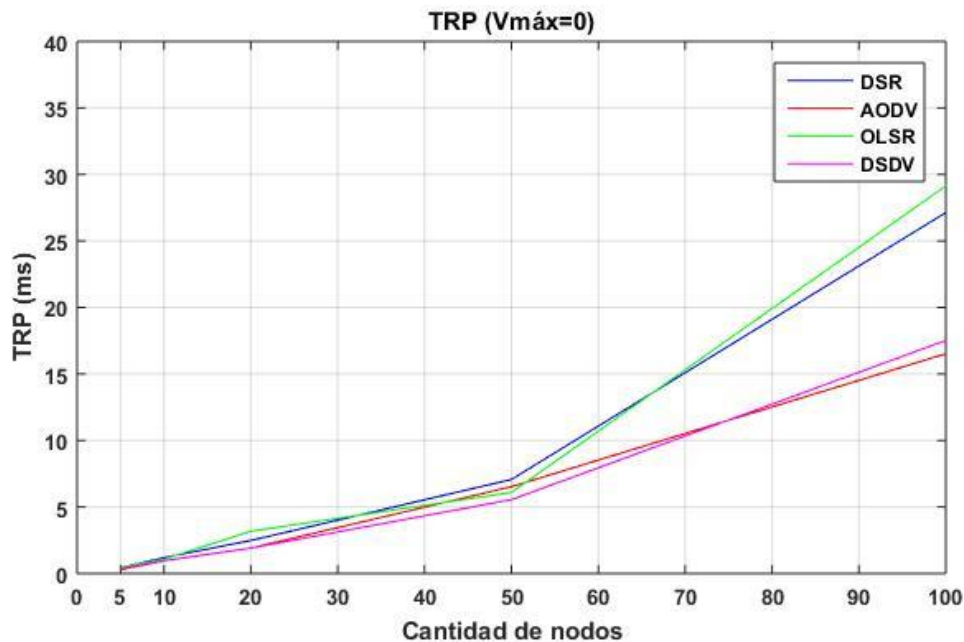
**Figura 2.** PLR escenario estático. Elaboración propia.

Además se muestra que el protocolo DSR al aumentar el número de nodos tiende a disminuir en pequeña medida, esto se deba a que los paquetes poseen en la cabecera todos los nodos intermedios que contiene la ruta y al existir congestión, debido al aumento del número de nodos, cuando el paquete este en un nodo intermedio, dicho nodo puede enviar el paquete por una ruta alternativa hasta el destino final, y dado que los nodos se encuentran estático al aumentar la cantidad de nodos aumenta la cantidad de rutas alternativas para cada destino.





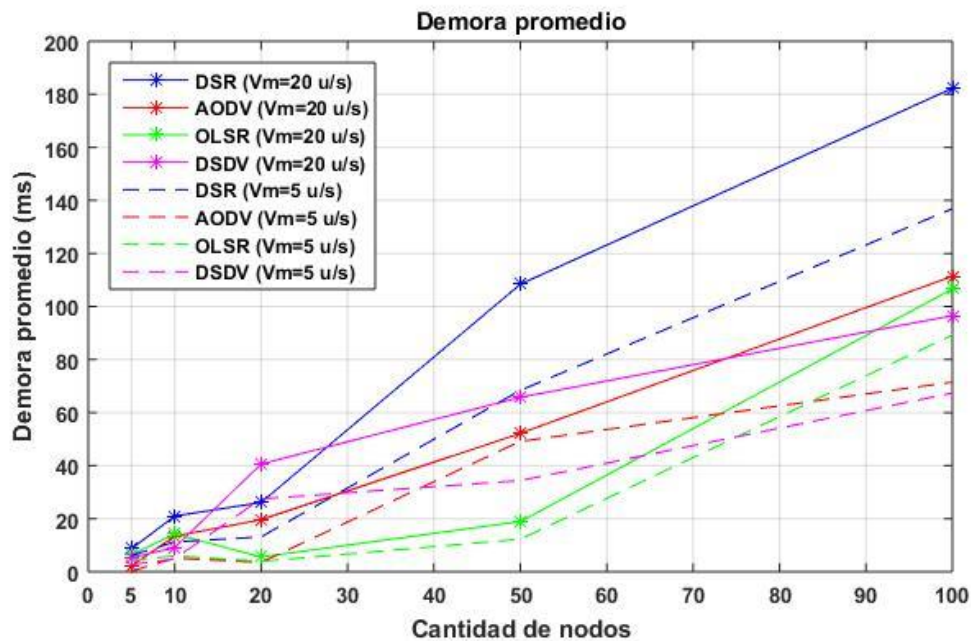
Los resultados de la medición del parámetro de tiempo promedio de restablecimiento de ruta (TPR) se muestran en la figura 3. Cuando el número de nodos supera el valor de 50, el protocolo DSR presenta menores tiempos de restablecimiento de las rutas que el resto de los protocolos, esto se debe a que como ya se mencionó al incrementar el número de nodos en un escenario estático aumenta el número de rutas alternativas.



**Figura 3.** TRP escenario estático. Elaboración propia.

Además se puede apreciar que los protocolos reactivos (DSR y AODV) se recuperan en menos tiempo de las rupturas de los enlaces en los escenarios donde los nodos se encuentran estáticos.

La figura 4 muestra los resultados de los escenarios en los cuales los nodos se mueven a razón de 5 y 20 u/s respectivamente. Como muestra la figura 4 en la medida que crece la cantidad de nodos aumenta (empeora) la demora promedio de todos los protocolos de ruteo, de la misma forma que ocurre en el escenario estático. Por otra parte al aumentar la velocidad empeora los valores de demora para todos los escenarios, esto se debe a que la cantidad de enlaces que se cortan es mayor, producto de que al moverse más rápido los nodos salen de la regiones de coberturas de los demás nodos con los que mantenía un enlace.



**Figura 4.** Demora promedio en escenarios con movilidad de los nodos. Elaboración propia.

De igual forma que en el escenario estático los protocolos de tipo proactivo (DSDV y OLSR) presentan valores de demora promedio menor que los de tipo reactivo, lo cual se debe, como ya se explicó, a que los protocolos de tipo reactivo encuentran la ruta en el momento que se demande y los proactivos ya la tienen identificada antes de ser requerida. Por otra parte en los escenarios móviles los valores de demora respecto al escenario estático son mayores debido a la ruptura de enlaces que provoca la movilidad de los nodos.

En cuanto a la razón de pérdida de paquetes promedio, como se muestra en la figura 5, al igual que en los escenarios estáticos, para todos los protocolos el incremento en el número de nodos provoca un incremento en el PLR, aunque dicho aumento es menos abrupto en la medida que aumenta el número de nodos debido a que dicho aumento provoca que se creen rutas alternativas entre los destinos, mitigando en cierta medida el efecto de la movilidad. Por otra parte el aumento de la velocidad máxima de los nodos empeora el desempeño de todos los protocolos en términos de PLR.

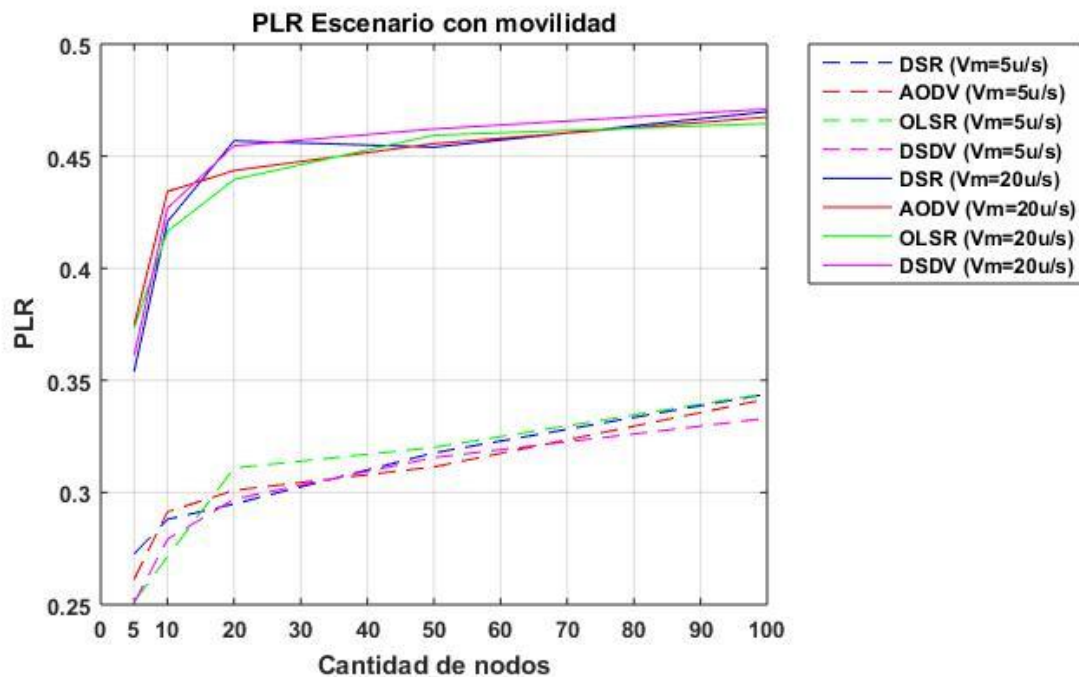


Figura 5. PLR en escenarios con movilidad de los nodos. Elaboración propia.

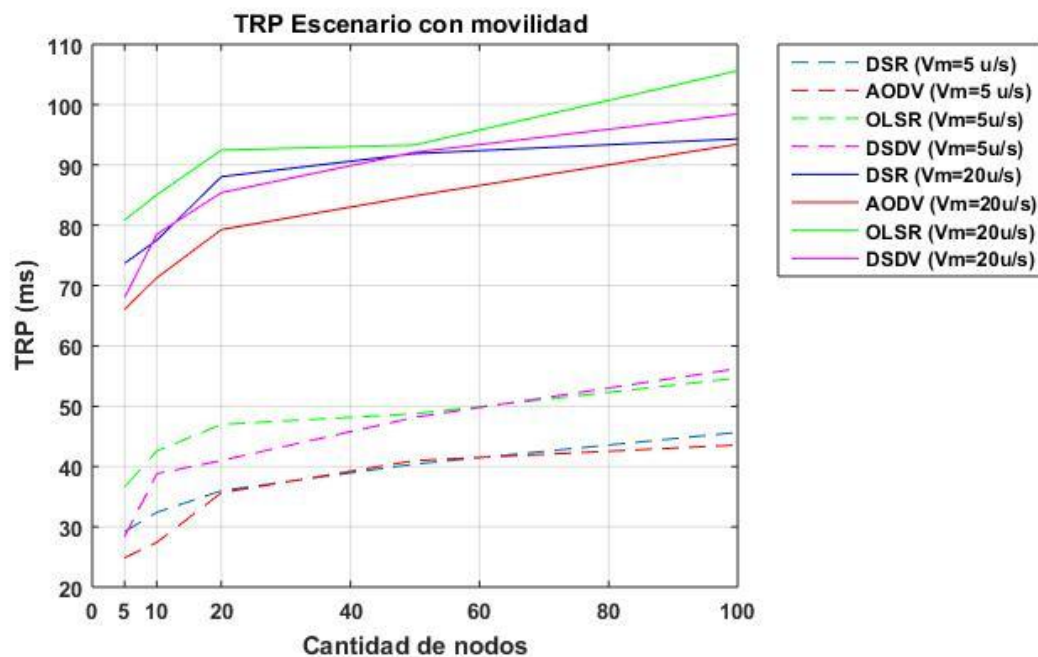


Figura 6. TRP en escenarios con movilidad de los nodos. Elaboración propia.

Los resultados en términos de TRP de los escenarios móviles se muestran en la figura 6. Como muestra la figura para todos los protocolos de ruteo el incremento en la velocidad de los nodos resulta en un incremento en el tiempo de restablecimiento de las rutas, además el incremento en el número de nodos provoca un aumento en el TRP.



Los protocolos de tipo reactivo presentan mejor desempeño en cuanto a TRP que los proactivos, y particularmente el protocolo AODV presenta los mejores tiempos de restablecimiento de las rutas.

### **III. Conclusiones**

En todos los protocolos simulados en la medida que aumenta la velocidad de los nodos aumenta la demora promedio, la pérdida de paquetes promedio y el tiempo promedio de restablecimiento de rutas. Por otra parte los protocolos de tipo reactivo presentan un mejor desempeño en términos de tiempo promedio de restablecimiento de las rutas pérdidas pero un peor desempeño en cuanto a la demora promedio. En todos los escenarios en la medida que aumenta el número de nodos el empeoramiento en términos de tiempo de restablecimiento de ruta y de la razón de pérdida de paquetes es menos abrupto.



#### IV. Referencias bibliográficas

- [1] A. K. BR, L. C. Reddy, and P. S. Hiremath, "Performance comparison of wireless mobile ad-hoc network routing protocols," *IJCSNS*, vol. 8, p. 337, 2008.
- [2] S. Mohapatra and P. Kanungo, "Performance analysis of AODV, DSR, OLSR and DSDV routing protocols using NS2 Simulator," *Procedia Engineering*, vol. 30, pp. 69-76, 2012.
- [3] S. Ade and P. Tijare, "Performance comparison of AODV, DSDV, OLSR and DSR routing protocols in mobile ad hoc networks," *International journal of information technology and knowledge management*, vol. 2, pp. 545-548, 2010.
- [4] S. Kaur, K. Bansal, and S. Bansal, "Performance analysis of aodv, dsr and olsr routing techniques for ad hoc mobile networks," *International Journal of Computer Science Engineering and Information Technology Research (IJCEITR)*, vol. 3, pp. 195-200, 2013.
- [5] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "RFC 3561-ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing," *Internet RFCs*, pp. 1-38, 2003.
- [6] D. Johnson, Y.-c. Hu, and D. Maltz, "The dynamic source routing protocol (DSR) for mobile ad hoc networks for IPv4," 2070-1721, 2007.
- [7] T. Clausen, C. Dearlove, P. Jacquet, and U. Herberg, "The optimized link state routing protocol version 2," 2070-1721, 2014.
- [8] A. Radwan, T. Mahmoud, and E. Houssein, "Evaluation comparison of some ad hoc networks routing protocols," *Egyptian Informatics Journal*, vol. 12, pp. 95-106, 2011.
- [9] A. Odeh, E. Abdelfattah, and M. Alshowkan, "Performance evaluation of aodv and dsr routing protocols in manet networks," 2012.
- [10] M. H. Purnomo, I. K. E. Purnama, and E. Setijadi, "Performance of the routing protocols AODV, DSDV and OLSR in health monitoring using NS3," in *Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), 2016 International Seminar on*, 2016, pp. 323-328.
- [11] A. Sharma and R. Kumar, "Performance comparison and detailed study of AODV, DSDV, DSR, TORA and OLSR routing protocols in ad hoc networks," in *Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC), 2016 Fourth International Conference on*, 2016, pp. 732-736.
- [12] Y. Yang, S.-Y. Hao, and H.-B. Cai, "Comparison and Evaluation of Routing Protocols Based on a Collaborative Simulation Using SUMO and NS3 with TraCI," in *Information System and Artificial Intelligence (ISAI), 2016 International Conference on*, 2016, pp. 253-257.
- [13] D. E. Comer and H. A. A. Soto, *Redes globales de información con Internet y TCP/IP* vol. 1: Prentice hall, 1996.
- [14] C. Bettstetter, G. Resta, and P. Santi, "The node distribution of the random waypoint mobility model for wireless ad hoc networks," *IEEE Transactions on mobile computing*, vol. 2, pp. 257-269, 2003.