

# Evaluación y Simulación de Algoritmos de Enrutamiento en Redes Ad-Hoc

Darwin Alulema Flores<sup>1</sup>

**Resumen**— Este artículo trata sobre la evaluación de la eficiencia de los algoritmos de enrutamiento reactivos y proactivos en redes inalámbricas Ad-Hoc, mediante la simulación de tres de los más reconocidos, como son AODV, DSDV y DSR. Para lo cual se ha desarrollado una herramienta específica de simulación en Java, con lo que se determinó de manera práctica que los algoritmos reactivos presentan mejores resultados que los algoritmos proactivos en redes dinámicas y con gran número de nodos.

**Palabras clave**— Algoritmos de Enrutamiento, Java, Redes Ad-Hoc, Simulación.



## Introducción

El objetivo de este artículo se centra en el estudio de los algoritmos de enrutamiento de redes inalámbricas Ad-Hoc, y la simulación de los algoritmos más reconocidos, para lo cual se realiza una introducción de las redes inalámbricas y los diferentes tipos de algoritmos de enrutamiento y sus clasificaciones. Finalmente se realiza la simulación de redes Ad-Hoc implementando AODV, DSDV y DSR, para establecer una comparativa entre la eficiencia de los algoritmos reactivos y proactivos.

## Redes Inalámbricas

En los últimos años se ha presenciado el rápido crecimiento de las redes inalámbricas, las cuales se las puede encontrar en universidades, aeropuertos, centros comerciales,

etc. Estas se pueden clasificar en redes de Infraestructura, redes Ad-Hoc, redes Malladas y redes Híbridas.

### Redes de Infraestructura.-

Este tipo de redes se distinguen por hacer uso de un punto de acceso, que se encarga de proporcionar conexión entre nodos móviles dentro de la red inalámbrica o hacia Internet. De esta manera, siempre se requieren de al menos dos saltos para establecer comunicación entre dos nodos.

La ventaja de este tipo de redes radica en que reduce la complejidad de los nodos móviles, dado que las estaciones no necesitan mantener información de los nodos vecinos. Por otro lado, la principal desventaja de este tipo de redes es que se requiere que todos los nodos estén dentro del área de cobertura del punto de acceso (Figura 1).

<sup>1</sup> Darwin Alulema Flores, Magister en Teleinformática y Redes de Computadoras, 098622881, afd035223@ute.edu.ec



Figura 1. Red inalámbrica de infraestructura

### Redes AD-HOC

Este tipo de redes se compone de un conjunto de nodos móviles donde no existe un punto de coordinación central, por lo tanto no se necesita de ningún tipo de infraestructura previamente desplegada; este tipo de redes puede surgir de forma espontánea.

Las comunicaciones inalámbricas dentro de la red ad-hoc pueden realizarse de forma directa o a través de varios saltos, esto dependerá del alcance de transmisión en el que el receptor es capaz de recibir e interpretar correctamente la señal que envió el emisor. Si el receptor se encuentra fuera del alcance de transmisión (cobertura de la señal de radio) del nodo fuente, no podrá interpretar adecuadamente los paquetes destinados a él; pero debido a que en las redes ad-hoc todos los nodos pueden colaborar en el envío de paquetes, el destino puede ser alcanzado salto a salto a través de los nodos vecinos (Figura 2).

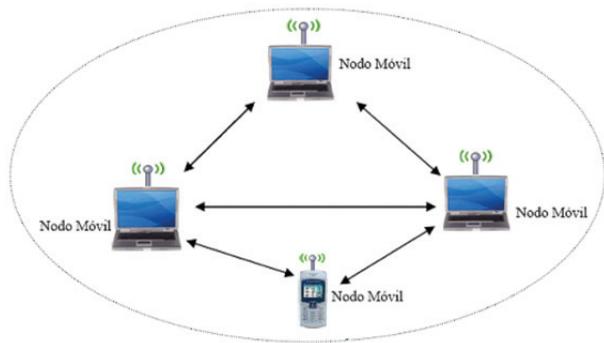


Figura 2. Red inalámbrica Ad-Hoc

### Redes Malladas

Este tipo de redes son una extensión de las redes Ad-Hoc, éstas se componen de nodos malla, estaciones móviles y portales de acceso hacia la red cableada. Los nodos malla forman el backbone de la red inalámbrica, generalmente tienen poca o nula movilidad. Por otro lado, las estaciones pueden ser móviles o estáticas. Este tipo de redes se organizan y se

configuran de manera autónoma.

Uno de los principales objetivos de este tipo de redes es extender el área de cobertura, sin sacrificar la capacidad de canal, por esta razón los nodos malla están normalmente equipados con interfaces múltiples, las cuales pueden ser incluso de diferentes tecnologías de acceso inalámbrico (Figura 3).

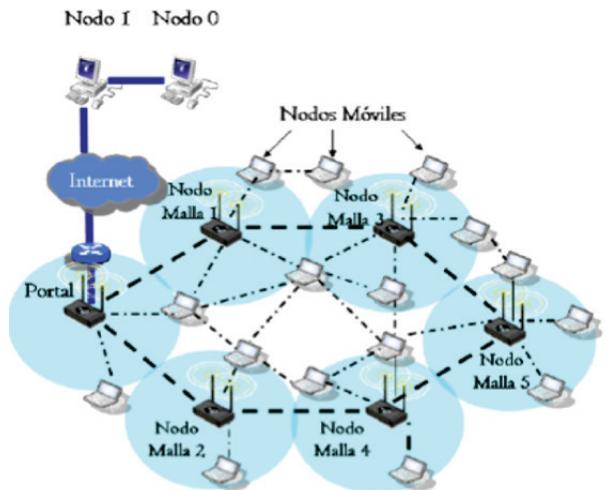


Figura 3. Red Inalámbrica Mallada

### Redes Híbridas

Este tipo de redes son la combinación de las redes de infraestructura y las redes Ad-Hoc. Estas redes solucionan el problema de las limitaciones de cobertura de las redes inalámbricas de infraestructura y proveen conexión de Internet a redes Ad-Hoc, de esta manera se puede ampliar el uso de las redes inalámbricas, ya que las trayectorias multisaltos entre nodos móviles y enrutadores de acceso pueden extender el área de cobertura de una red, además los usuarios pueden tomar ventaja de las conexiones Ad-Hoc para enviar datos locales y por lo tanto disminuir la carga de tráfico a través del enrutador de acceso e incrementar la capacidad de la red (Figura 4).

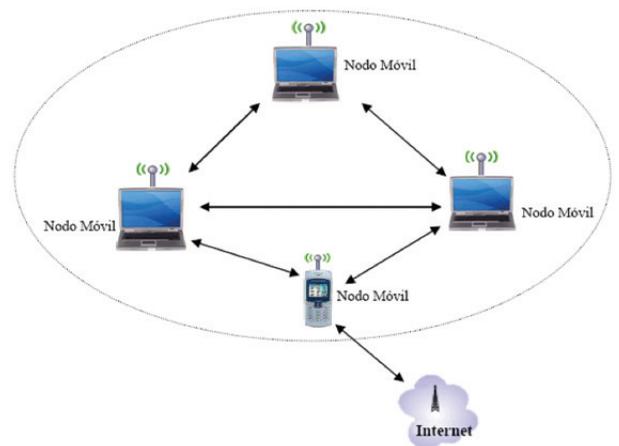


Figura 4. Red Inalámbrica Híbrida

## Redes AD-HOC

Ad-Hoc es una expresión latina que significa literalmente “para esto”. En sentido amplio, podría traducirse Ad-Hoc como específico o específicamente. En el caso que atañe al presente documento, una red Ad-Hoc, es una red específica cuya infraestructura solo tiene sentido en ese instante o situación, es decir, su topología es variante en el tiempo.

### Características de las Redes AD-HOC

A continuación se enlistan las características particulares de una Red Ad-Hoc:

- **Nodos Autónomos:** Los nodos pueden realizar tareas de enrutamiento, y se ven involucrados tanto en procesamiento de datos, así como de descubrimiento y mantenimiento de rutas.
- **Topología Dinámica de la red:** Estas redes por sí solas agregan dispositivos en medida en que los usuarios entran a la red, así como también los elimina de la misma, todo esto de manera dinámica, por lo tanto las rutas de estas cambian sin previo aviso y por tanto su topología.
- **Funcionamiento no centralizado:** El control y la administración de la red no se encuentran en un nodo central, en este caso se encuentra distribuido en cada uno de los nodos, cada nodo actúa de manera que se acople a las necesidades de la red.
- **Nodos con capacidades limitadas:** Los nodos en este tipo de redes son dispositivos con limitaciones de energía y capacidad de procesamiento, debido a esto se debe hacer uso de algoritmos que permitan a estos nodos optimizar los recursos.
- **Enrutamiento multi-salto:** Los paquetes que son mandados de un nodo fuente pueden alcanzar el nodo destino mediante múltiples saltos entre varios nodos intermedios.

### Algoritmos de Enrutamiento

El enrutamiento en Redes Ad-Hoc debe satisfacer ciertos objetivos:

- **Minimización de costos inherentes:** Debido a la escasez de recursos energéticos y ancho de banda, se debe reducir la cantidad de mensajes de control intercambiados, así como la carga computacional de las operaciones.
- **Capacidad multisalto:** Debe asegurarse el reenvío de paquetes a través de los nodos de la red dado que habitualmente el destino no se encuentra dentro del alcance de la fuente.
- **Mantenimiento dinámico de topología:** Debido a las características cambiantes de la red, las rutas establecidas

deberán ser actualizadas constantemente.

- **Eliminación de bucles:** Evitar la posibilidad de que un nodo sea visitado más de una vez por un paquete en su trayecto hacia el destino, ya que esto implica un costo inaceptable de ancho de banda y recursos de procesamiento y transmisión.

De acuerdo a la forma que realizan el descubrimiento de la ruta a establecer y su mantenimiento, la clasificación más habitual de los algoritmos de enrutamiento es:

- **Proactivos:** Este tipo de algoritmos basa su funcionamiento en tablas, creadas a partir de una fase original de descubrimiento de ruta, que alberga la información referente a los caminos en la red con base a distintos criterios. Esta información es de ámbito global y por tanto, todos los nodos conservan caminos posibles hacia el resto. Para la diseminación de la misma, los nodos intercambian estos datos periódicamente.
- **Reactivos:** En este tipo de algoritmos las rutas se construyen únicamente en el momento en que un nodo necesita establecer una comunicación. Es en ese preciso instante cuando se desencadena una fase de descubrimiento de ruta que concluye una vez que la fuente recibe la respuesta del destino que incluye el camino elegido para el envío de datos.
- **Híbridos:** Este tipo de algoritmos incluye los dos procedimientos anteriores en distintos niveles del enrutamiento. Así, se consigue reducir la sobrecarga de la red con mensajes de control presentada por los algoritmos proactivos, mientras que se disminuye la latencia de las operaciones de búsqueda mostrada entre los reactivos.

Los algoritmos seleccionados para realizar las evaluaciones se describen brevemente a continuación.

**AD HOC On-Demand Distance Vector (AODV).**- En AODV los nodos mantienen una tabla de enrutamiento para los destinos conocidos, empleando el algoritmo vector de distancia. Inicialmente esta tabla está formada por los nodos vecinos. Solamente se agregan destinos nuevos cuando es necesario, es decir, cuando un nodo necesita comunicarse con otro que no está en su tabla. En ese momento inicia un proceso de descubrimiento de ruta hacia el destino, para ello se emiten mensajes de descubrimiento de ruta RREQ que se van propagando entre todos los nodos. En cambio, los nodos generan una tabla de encaminamiento inversa para que puedan regresar las contestaciones RREP a las solicitudes de ruta al nodo que la originó.

**Destination Sequenced Distance Vector (DSDV).**- DSDV es esencialmente una modificación del algoritmo de Bellman-Ford, bien conocido por su utilidad en redes fijas. En este algoritmo, los nodos vecinos intercambian periódicamente

sus tablas de encaminamiento enteras para estimar la distancia a la que se encuentran los demás nodos no vecinos. Las modificaciones introducidas por DSDV proporcionan básicamente la obtención de rutas sin bucles mediante la introducción de números de secuencia para la determinación de las rutas más nuevas. Aunque DSDV sólo proporciona un camino para cada destino, siempre elige el camino más corto basándose en el número de saltos hacia este destino. DSDV utiliza dos tipos de mensajes de actualización, uno más grande (full-dump) y otro mucho más pequeño (incremental).

**Dynamic Source Routing (DSR).**- DSR se fundamenta en el encaminamiento desde el origen, es decir, los paquetes de datos incluyen una cabecera de información acerca de los nodos exactos que deben atravesar. No requiere ningún tipo de mensajes periódicos, disminuyendo así la sobrecarga de mensajes de control. Además ofrece la posibilidad de obtener, con la solicitud de una ruta, múltiples caminos posibles hacia el destino. Para poder realizar el encaminamiento en el origen, a cada paquete de datos se le inserta una cabecera DSR de opciones que se colocará entre la cabecera de transporte y la IP. Entre dichas opciones se incluirá la ruta que debe seguir el paquete nodo a nodo. En los procesos de descubrimiento de rutas se generan mensajes de solicitud, respuesta y error siendo estos mensajes ROUTE REQUEST, REPLY y ERROR respectivamente.

### Simulaciones

El simulador desarrollado ha sido trabajado en el lenguaje de programación Java (Figura 5), utilizando Netbeans como herramienta de desarrollo; utiliza el programa NS-2 para realizar los cálculos de los ambientes a simular y NAM para presentar de manera visual el escenario; además se utilizan las librerías TraceGraph desarrolladas para Matlab para evaluar los resultados.

**Análisis del Throughput.**- El objetivo del primer escenario es determinar cómo es afectado el Throughput de una red con los diferentes tipos de algoritmos. Para la simulación se plantea dos nodos (A, B), el nodo A envía información B, a través de una red formada por varios nodos más.

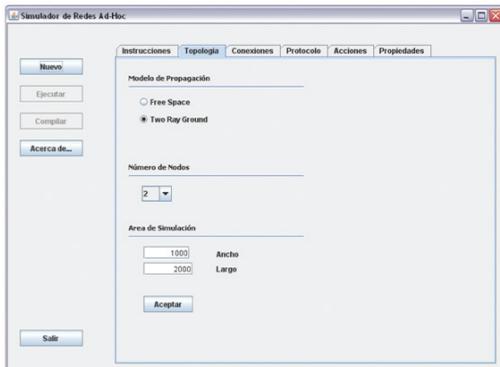


Figura 5. Simulador

Para el caso del algoritmo AODV el desempeño es alto hasta el cuarto nodo, a partir del cual el throughput cae casi en forma lineal hasta el noveno nodo donde el comportamiento tiende a estabilizarse. Para el caso de DSR, el desempeño decae de forma más rápida que en el caso anterior, pero tiende a estabilizarse un poco antes. Por último el desempeño de DSDV es el peor ya que su rendimiento cae de manera rápida por lo que para el noveno nodo la comunicación es nula. Esta degradación se produce por el incremento del número de colisiones y pérdida de paquetes (Figura 6).

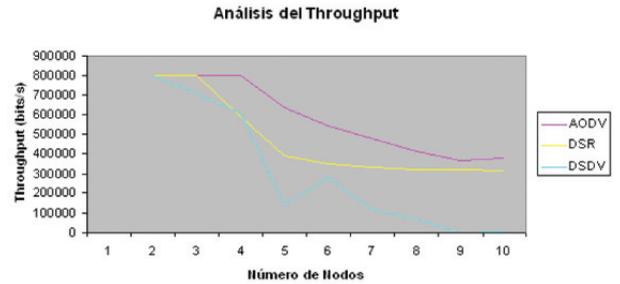


Figura 6. Análisis del Throughput

**Análisis del Tiempo de Establecimiento.**- El objetivo de esta simulación es determinar el tiempo que requiere cada algoritmo para establecer la comunicación entre dos nodos. El escenario consiste de dos nodos sin cobertura directa que intentan comunicarse sin éxito, para posteriormente establecer la comunicación por medio de un dispositivo intermedio.

Como se puede apreciar AODV es el algoritmo que de manera más rápida establece la comunicación con el nodo destino, alrededor de los 6 segundos, luego el algoritmo DSR, a los 11 segundos y por último DSDV que lo hace por encima de los 28 segundos (Figura 7).

**Análisis del Tiempo de Reestablecimiento.**- El objetivo de esta simulación es de determinar el tiempo que requiere cada algoritmo para reestablecer la comunicación entre dos nodos. El escenario consiste de dos nodos con conexión directa, que luego de un tiempo de dado pierden y deben reestablecerla a través de un nodo intermedio.

Análisis del tiempo de establecimiento de conexión (Primer escenario)

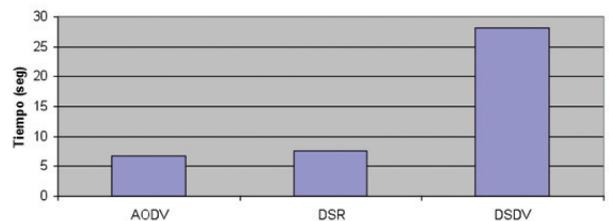


Figura 7. Análisis del tiempo de establecimiento de conexión

De la gráfica se puede ver cómo en un lapso de tiempo determinado para la transmisión, el algoritmo que mejores resultados presenta es DSR con 0,82 seg, para reestablecer la

conexión, mientras que AODV, demora 1,14 seg, por último está DSDV el cual una vez que pierde la comunicación logra reestablecerla al los 63,5 seg. (Figura 8).

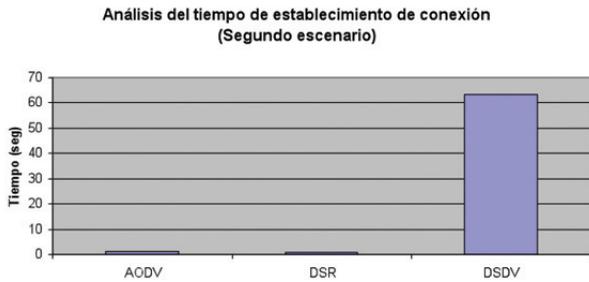


Figura 8. Análisis del tiempo de establecimiento de conexión

#### Análisis del Porcentaje de Pérdida de Paquetes.-

El objetivo de este escenario es determinar el porcentaje de paquetes perdidos en una red con los diferentes tipos de algoritmos. El escenario que se plantea para la simulación es el mismo que para el caso del análisis del Throughput.

Como se puede apreciar en la gráfica el algoritmo AODV es el que tiene un menor porcentaje de paquetes perdido, a medida que se incrementa el número de nodos. Para el caso de DSR se ve que a partir del tercer nodo empieza a incrementarse el porcentaje de pérdida de paquetes llegando un 70%. Para el último caso, DSDV, el porcentaje de pérdida de paquetes empieza a incrementarse antes que en los dos casos anteriores, llegando al 100% a partir del noveno nodo (Figura 9).

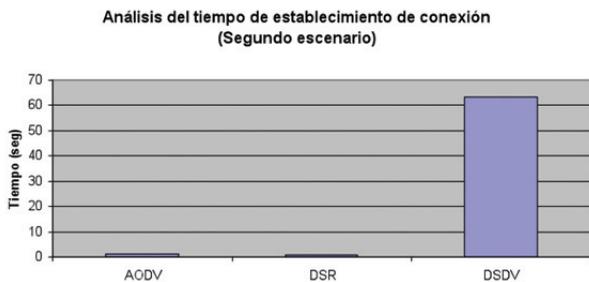


Figura 9. Análisis del Porcentaje de Pérdida de Paquetes

## Conclusiones

Las redes Ad-Hoc no están limitadas a un grupo homogéneo de computadores, sino a cualquier dispositivo capaz de transmitir por un medio inalámbrico.

El desempeño de un algoritmo de enrutamiento está dado por el uso de paquetes de control, lo cual tiene relación directa con el uso del ancho de banda disponible, el cual es limitado en las redes Ad-Hoc.

En redes Ad-Hoc con alta movilidad de los nodos, los algoritmos proactivos no presentan buenos resultados, ya que la actualización de sus tablas es en determinados períodos de tiempo lo que hace a la red vulnerable a la latencia.

Un algoritmo proactivo necesita mayor cantidad de paquetes de control para el mantenimiento de las tablas, pero la obtención de una ruta se realiza más rápido que un algoritmo reactivo, en el cual toma más tiempo el descubrimiento de una ruta pero no requiere de tantos paquetes de control para el mantenimiento de rutas.

El incremento del número de nodos en una red Ad-Hoc, provoca incremento en la carga ya que se agregan paquetes de control intercambiados entre los nodos, para mantener la ruta, esto consume el ancho de banda de la red por lo que desciende el Throughput.

El algoritmo DSDV es un algoritmo proactivo, que lo hace más lento para adaptarse a cambios en las rutas, mientras que AODV y DSR crean rutas nuevas de una manera más rápida, por lo que responden mejor ante variaciones en la red.

Aunque los algoritmos de enrutamiento de redes Ad-Hoc son valiosas herramientas no están habilitados para implementar el soporte de movilidad hacia redes externas.

Dada la topología dinámica y el ancho de banda limitado en las redes Ad-Hoc, las aplicaciones en tiempo real que puede soportar la red son aquellas que permiten flexibilidad en cuanto a sus requerimientos de ancho de banda y latencia.

Es recomendable tener presente que para la aplicación de un algoritmo de enrutamiento, es importante considerar el tamaño de la red y los recursos disponibles.

Es recomendable en caso de que se desee plantear un nuevo algoritmo de enrutamiento que este incorpore características reactivas, definiciones de clusters y pasarelas, de tal manera que a más de la posibilidad de comunicación interna en la red permita la interconexión con redes externas.

Las aplicaciones de este tipo de redes inalámbricas es muy variado, va desde entornos militares, para la comunicación de las unidades en batalla; aplicaciones de monitoreo, como en redes de sensores; redes vehiculares, para la coordinación del tráfico; domótica, para coordinación de los dispositivos del hogar, entre otras.

## Bibliografía

- S. Basagni, M. Copnti, S. Giordano, y Stojmenovic, "Mobile Ad-Hoc Networking". 2004.
- G. Casado, "Evaluación de criterios de elección de pasarelas en Manets Híbridas". España, Universidad de Málaga, 2007
- E. Costa, "Planificación y Compartición de Recursos en Redes Inalámbricas Malladas". España. Universidad de Vigo.
- C. Flores, "Mecanismos de enrutamiento para redes inalámbricas de área local de tipo malla". México. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 2007
- E. Morales, "Soporte de Calidad de Servicios (QoS) para Redes Móviles Ad-Hoc (Manets) con enrutamiento proactivo, utilizando el protocolo HOLSR". México. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 2004



### Autor. Darwin Omar Alulema Flores

Nació en Quito, Ecuador, el 28 de Septiembre de 1982. Recibió el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador en 2006, y el título de Magister en Teleinformática y Redes de Computadoras de la Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador en 2009, además realiza estudios de Jurisprudencia en la Universidad Católica Santiago de Guayaquil.

Actualmente ejerce como docente de las cátedras de Tecnologías Software para Electrónica I, Tecnologías Software para Electrónica II y Métodos Numéricos, en el Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador.