

## **8. Evaluación de los protocolos de enrutamiento en NS-2**

En este apartado se van a evaluar los protocolos de enrutamiento implementados en el entorno NS-2. En concreto se van a evaluar los protocolos reactivos “on-demand” DSR y AODV. Se ha realizado una comparación de ambos protocolos teniendo en cuenta diversas métricas de rendimiento. Estos protocolos se van a evaluar bajo condiciones de un escenario real, en que los nodos se mueven en paralelo emulando trenes viajando por las vías del tren.

Numerosas comparativas entre protocolos de enrutamiento pueden ser encontradas en la literatura **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. En los **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** los autores tienen en cuenta nodos móviles, pero consideran que los nodos no están continuamente moviéndose, ya que consideran un tiempo de pausa entre dos movimientos consecutivos. En **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** los autores realizan un estudio en el que los nodos son completamente móviles, es decir sin pausas, ya que consideran que en aplicaciones móviles reales los nodos están continuamente moviéndose.

En este estudio se pretende realizar un nuevo estudio de comparación pero teniendo en cuenta un escenario de una aplicación real, ya que en general en las aplicaciones móviles los nodos siguen unos patrones de movimiento. Por ejemplo en aplicaciones de transporte como puede ser aplicaciones ferroviarias o comunicaciones entre vehículos, los nodos se mueven siguiendo direcciones fijas.

### **8.1. Descripción del escenario**

En la siguiente imagen, Figura 1 se representa la composición del escenario sobre el que se va a simular los protocolos de enrutamiento.

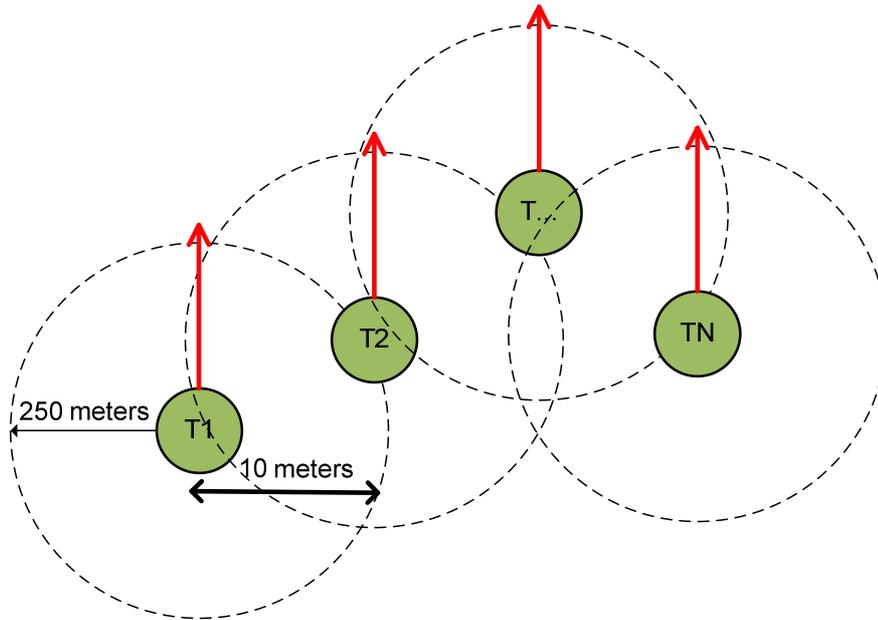


Figura 1: Escenario de evaluación de protocolos de enrutamiento.

La separación entre nodos es de 10 m. Es decir, esto equivale a que las vías del tren estén separadas a dicha distancia. Todos los nodos tienen un rango de cobertura de 250m, por lo que en principio un nodo puede comunicarse con todos los nodos que estén dentro de su rango de cobertura. Los nodos se mueven a una velocidad uniforme, la cual es diferente para cada nodo. Las velocidades de los nodos están comprendidas en el intervalo 0 km/h - 126 km/h. Todos los nodos parten de una misma posición inicial, pero conforme la simulación va avanzando los nodos se van alejando, debido a la diferencia de velocidad. Esto hace que los nodos tengan que descubrir rutas de comunicación para comunicarse con los nodos que no están dentro del rango de cobertura, pero que sí están al alcance mediante el uso de nodos intermedios. Este uso de nodos intermedios es lo que se va a evaluar con las siguientes simulaciones. Se considera que los nodos están continuamente moviéndose. Es decir, no se llega a ningún punto en el que éstos se paran. El número de nodos varía en cada simulación.

## 8.2. Parámetros de Simulación

A continuación se detallan los parámetros de simulación.

- Tecnología inalámbrica WiFi 2.54 GHz.
- Capa MAC 802.11.
- Protocolos de enrutamiento utilizados AODV y DSR.
- Capa de enlace LL.
- El modelo de cola utilizado "Queue/DropTail/PriQueue". El número máximo de paquetes en cola es de 50 paquetes.
- Las dimensiones de escenario 400 x 6000 m.

- El tiempo de simulación 150 s.
- Las simulaciones han sido realizadas bajo el modelo de propagación “two-ray propagation model”.

Modelo de tráfico:

- El tipo de tráfico utilizado es “File Transfer Protocol” (FTP).
- El agente de aplicación es “Transmission Control Protocol” (TCP).
- El tamaño de los paquetes es 1024 bits.
- Tasa de transmisión 4096 bits/s.

Parámetros de los nodos:

- El rango de cobertura de los nodos es de 250 metros.
- Velocidad constante.

### **8.3. Métricas**

A continuación se describen las métricas utilizadas para comparar los distintos protocolos de enrutamiento. Estas métricas son consideradas en números artículos que abordan esta temática.

- **Throughput [kb/s]:** Número total de paquetes recibidos dividido por el tiempo de simulación.
- **Average End-to-End delay [s]:** Tiempo de retardo de nodo a nodo. Esta métrica tiene en cuenta todos los posibles retardos causados por buffering, tiempo de retardo en cola, retransmisión de paquete en la capa MAC, y tiempos de propagación y transmisión de los paquetes.
- **Packet Delivery Fraction (PDF) [%]:** Representa la tasa de paquetes enviados por la capa de aplicación dividido entre el número de paquetes recibidos por los destinos correctamente. Con esta métrica se obtiene una idea de la tasa de paquetes que se pierden.
- **Normalised Routing Load (NRL) [%]:** Representa la tasa de paquetes enviado por la capa de enrutamiento dividido por el número de paquetes recibidos correctamente por la capa de aplicación. En protocolos donde el número de paquetes utilizados por la capa de enrutamiento es muy elevado, el rendimiento de la red se ve penalizado.
- **Dropped packets:** Número total de paquetes perdidos.

### **8.4. Resultados de simulación**

En las siguientes gráficas se representan los resultados de simulación obtenidos, Figura 2, Figura 3, Figura 4, Figura 5, Figura 6.

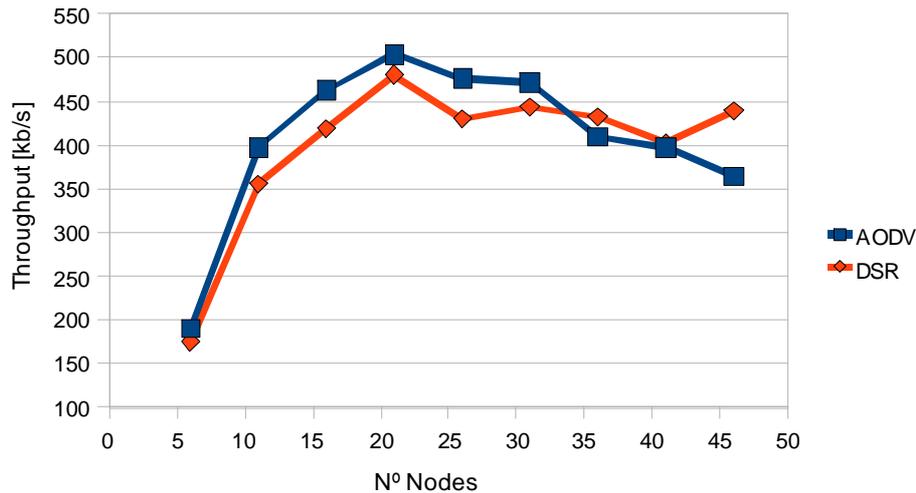


Figura 2: Rendimiento de la red en función del número de nodos.

En la anterior figura se puede observar el rendimiento de la red en función del número de nodos que componen la red. El rendimiento de la red va aumentando conforme el número de nodos aumenta, esto es cierto para ambos protocolos de enrutamiento. Cuando el número de nodos es 22, el rendimiento llega a su máximo en ambos casos. El rendimiento máximo para AODV es de 475,9 kb/s, siendo el máximo de DSR ligeramente inferior 443,4 kb/s. Los rendimientos obtenidos para el protocolo AODV son mejores que para el protocolo DSR hasta que el número de nodos es superior a 30. A partir de ese punto el rendimiento obtenido con DSR supera al obtenido con AODV. Como ya sabemos, DSR es un protocolo orientado a redes Ad-hoc con gran número de nodos, es por ello que cuando el número de nodos comienza a ser muy elevado, sus ventajas en cuanto a almacenamiento de rutas salen a relucir.

Con respecto al retardo de transmisión nodo a nodo, los resultados muestran un comportamiento parecido al caso anterior. El protocolo AODV presenta mejores hasta que el número de nodos es 25. A partir de este punto DSR supera claramente a AODV. Para ambos protocolos conforme el número de nodos aumenta, el tiempo de retardo aumenta también. Hay que tener en cuenta que conforme se aumenta el número de nodos en el escenario, se aumenta también la distancia entre el primer nodo y el último nodo de la red, por lo que los paquetes provenientes del nodo uno tienen que dar más salto a través de los nodos intermedios hasta llegar a su nodo destino. Este efecto se ve reflejado en los resultados obtenidos. Es claro que aunque AODV es ligeramente superior para pocos nodos, los resultados son muy parejos para ambos protocolos.

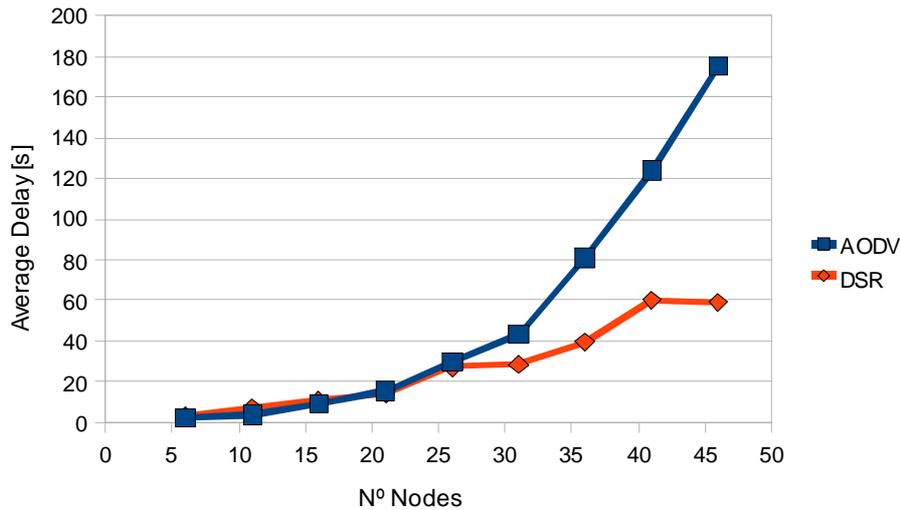


Figura 3: Tiempo de retardo de comunicación entre nodos.

En lo que se refiere a la tasa de entrega de paquetes (PDF), el protocolo AODV es sólo ligeramente superior al protocolo DSR para un número de nodos bajo. Esto es, mientras el número de nodos es inferior a 15 nodos. Una vez se supera esta cantidad, los resultados obtenidos para el protocolo DSR son considerablemente mejores. Esto indica que el número de paquetes perdidos en AODV es más elevado que el número de paquetes perdidos en DSR.

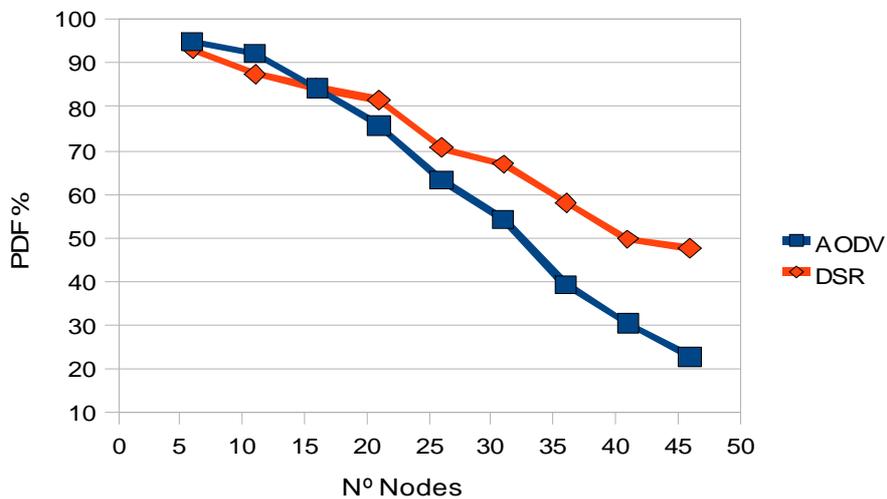


Figura 4: Tasa de entrega de paquetes.

En la siguiente Figura 5 a se representa la carga normalizada de paquetes provenientes de la capa de enrutamiento. Esta métrica representa relación de paquetes de la capa de red dividido por el número de paquetes de la capa de aplicación. En protocolos donde el número de paquetes de la capa de red es muy elevado, el rendimiento de las

comunicaciones se ve penalizado, ya que esos paquetes afectan aumenta el flujo de paquetes entre nodos, aumentando el número de colisiones en la red.

Se puede observar que el valor de NRL es más elevado para el protocolo de comunicaciones AODV, lo que implique el número de paquetes de la capa de red es más elevado en el protocolo AODV. Conforme el número de nodos aumenta la diferencia entre los dos protocolos se hace mayor. Solamente para un número de nodos entre 5 y 10 los resultados son parecidos.

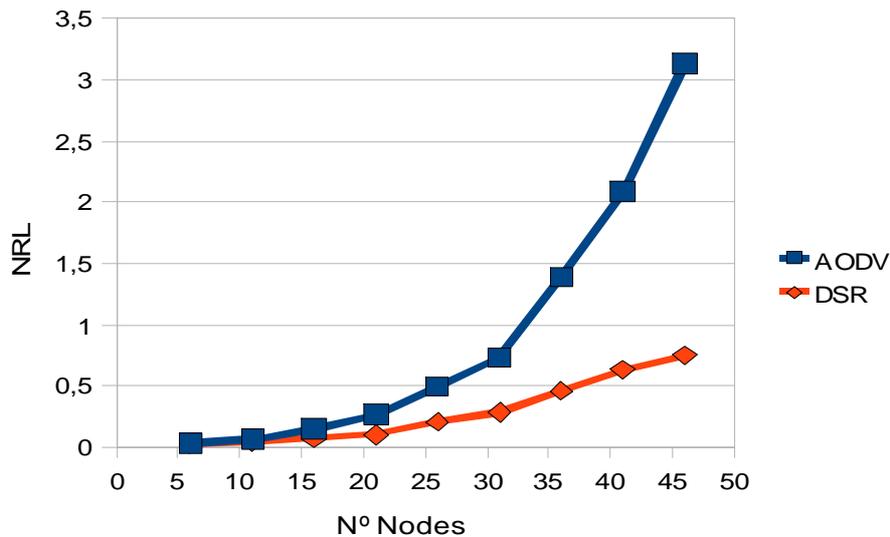


Figura 5: Carga normalizada de la red.

La siguiente gráfica, Figura 6 muestra el número de paquetes perdidos. Este número incluye todas las posibles causas por las que un paquete puede ser perdido. Claramente se puede ver que el número de paquetes es mayor conforme el número de nodos aumenta. Esto es debido a que el flujo de mensajes en la red aumenta, este flujo está compuesto por paquetes de descubrimiento y mantenimiento de rutas, y mensajes de aplicación. Cuando este flujo es elevado la probabilidad de colisión de paquetes también aumenta. Cuando el número de nodos es inferior a 20, los resultados son semejantes para ambos protocolos. A partir de esa cantidad las dos curvas se van separando.

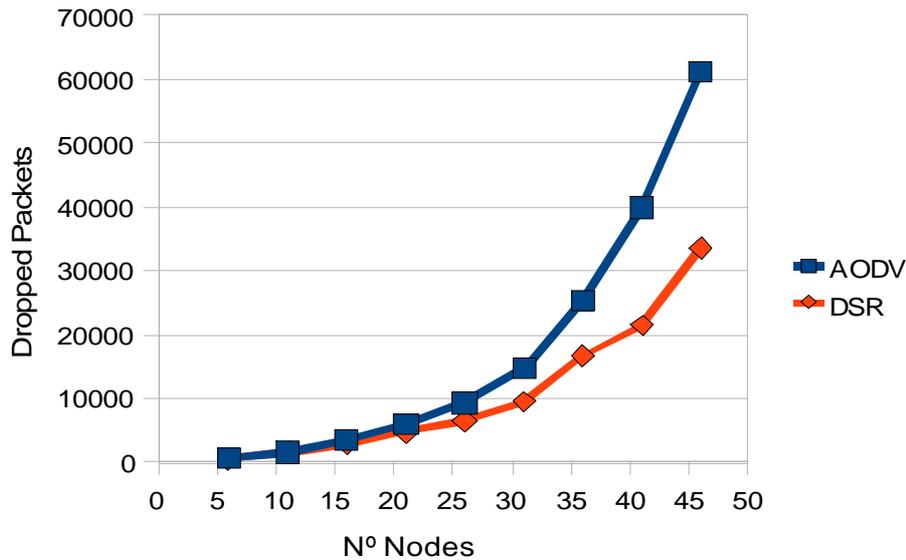


Figura 6: Número total de paquetes perdidos.

## 8.5. Conclusiones

Las conclusiones más importantes de la comparativa entre protocolos de enrutamiento son:

- Cuando el número de nodos es bajo, los resultados son parecidos para ambos protocolos en casi todas las métricas.
- En cuanto al rendimiento, el protocolo AODV supera al protocolo DSR hasta que el número de nodos es superior a 30 nodos.
- Todas las métricas empeoran conforme el número de nodos aumenta. Esto es debido a que el flujo de mensajes aumenta considerablemente, por lo que la probabilidad de colisiones entre paquetes es más elevada. Esto se ve reflejado en todas las métricas.
- El protocolo DSDV no ha sido tenido en cuenta en esta comparativa debido a que se han encontrado problemas de procesamiento de información cuando el número de nodos es muy elevado.

