



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



Máster Universitario
en Tecnologías, Sistemas y
Redes de Comunicaciones

Estudio comparativo de protocolos de enrutamiento de WMSN (Wireless Multimedia Sensor Network) atendiendo a QoS y propuesta de mejora

Autor: Pablo Fernando Guerrero Loaiza

Director 1: Jaime Lloret Mauri

Fecha de comienzo: 26/04/2021

Lugar de trabajo: Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de Zonas Costeras

Estudio comparativo de protocolos de enrutamiento de WMSN.

Objetivos — Realizar un estudio comparativo de los protocolos de enrutamiento ampliamente usados en redes de sensores como AODV, DSR, OLSR mediante escenarios de simulación con tráfico multimedia en una red de sensores. Analizar cuál de los protocolos presentan mejores métricas de calidad de servicio (QoS) frente al tráfico multimedia (video) del escenario y proponer una mejora para su optimización y eficiencia.

Metodología — En el presente trabajo se ha usado una metodología de carácter descriptivo y explicativo, ya que se realiza una descripción de los protocolos de enrutamiento escogidos, luego se explica tanto las modificaciones hechas en los protocolos como los resultados obtenidos mediante el uso del simulador de ingeniería Opnet Modeler Academic (vers. 17.5). Los datos de los resultados que nos brinda el simulador hacen que este trabajo tenga un enfoque cuantitativo.

Desarrollos teóricos realizados — Se hace un estudio de los fundamentos teóricos de cada uno los protocolos para conocer su funcionamiento en relación a un entorno de red de sensores. Se analizan las estrategias de enrutamiento que emplean con el fin de definir los cambios que se pueden realizar y que ayuden a la optimización de los protocolos en cuanto a las métricas relacionadas a la QoS en una red de sensores que transporta tráfico multimedia.

Desarrollo de prototipos y trabajo de laboratorio — Se han desarrollado diferentes simulaciones en Opnet Modeler para evaluar y comparar las métricas de cada uno de los protocolos. Se inicia con una simulación que permite elegir el protocolo que presenta mayor rendimiento para la propuesta de mejoras, para esto se compara los tres protocolos (AODV, DSR, OLSR) usando la configuración de sus parámetros por defecto. Luego se realizan simulaciones con las modificaciones hechas y se compara con las realizadas al inicio en las que se emplea la configuración por defecto de los protocolos de enrutamiento. Se establecen dos escenarios base, uno con 50 nodos y otro con 70 nodos cada uno con un nodo sink o sumidero.

Resultados — Mediante la comparación y evaluación de las simulaciones realizadas entre los protocolos de enrutamiento con sus parámetros originales y modificados, se verifica que los cambios mejoran la optimización de los mismos en cuanto a las métricas de QoS seleccionadas.

Líneas futuras — Es importante que los cambios propuestos y aplicados en el simulador se los lleven a un entorno físico, con dispositivos reales con lo que permitiría evaluar y corroborar la mejora en la eficiencia de los protocolos. Además, se debe seguir en la investigación en cuanto a que otros parámetros se puede hacer modificaciones para optimizar y mejorar algún protocolo de enrutamiento de acuerdo al escenario en donde vaya a ser empleado y a las métricas relevantes en cada escenario.

Abstract — Wireless Multimedia Sensor Networks (WMSN's) collect data for multimedia applications in real time using wireless sensors that are implemented for long-term use. The quality of service (QoS) in these types of networks is paramount and they present new challenges due to the traffic they are carrying. As it is a different traffic than the one commonly carried by WSNs, they need other additional requirements such as greater bandwidth, minimum end-to-end delay, low packet loss rate, low latency and high reliability. The protocols initially designed for sensor networks such as AODV, DSR, OLSR that are widely used, try to meet the QoS requirements demanded by the application for which they are implemented. This work analyzes and evaluates the impact on the performance of these routing protocols when they transport multimedia traffic (video), allowing us to identify which of the protocols present the best results for the QoS metrics to be evaluated. Then, the protocol that provides the highest performance is chosen to make modifications to its configuration parameters in order to improve its performance compared to its default parameters.

Autor: Guerrero Loaiza Pablo, email: pgueloa@teleco.upv.es

Director 1: Lloret Mauri Jaime, email: jlloret@ocom.upv.es

Fecha de entrega: 12-09-2021

ÍNDICE

1. Introducción.....	4
2. Objetivos.....	5
3. Marco teórico.....	5
3.1 Protocolos de enrutamiento.....	5
3.1.1 AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector).....	7
3.1.2 DSR (Dynamic Source Routing).....	11
3.1.3 OLSR (Optimized Link State Routing).....	12
3.2 Otras comparativas.....	13
4. Implementación y simulación de protocolos de enrutamiento	15
4.1 Métricas de evaluación de rendimiento.....	15
4.1.1 Rendimiento.....	15
4.1.2 Retardo.....	15
4.1.3 Carga.....	16
4.1.4 Intentos de retransmisión.....	16
4.2 Desarrollo y configuración de escenarios de simulación.....	16
4.2.1 Escenario 1 (50 nodos).....	16
4.2.2 Escenario 2 (70 nodos).....	18
4.3 Comparación de resultados de métricas de rendimiento.....	19
4.3.1 Comparación de rendimiento.....	19
4.3.2 Comparación de retardo.....	22
4.3.3 Comparación de carga.....	24
4.3.4 Comparación de intentos de retransmisión.....	26
4.4 Resumen de resultados.....	29
5. Optimización de protocolo.....	29
5.1 Propuesta de mejora OLSR.....	29
5.2 Simulación y resultados.....	31
5.2.1 Rendimiento.....	31
5.2.2 Retardo.....	32
5.2.3 Carga.....	33
5.2.4 Intentos de retransmisión.....	34
6. Conclusiones y Trabajo Futuro.....	36
6.1 Conclusiones.....	36
6.2 Trabajo futuro.....	36
BIBLIOGRAFÍA.....	37

1. Introducción.

En los últimos años es evidente el crecimiento de dispositivos conectados a la red, entre estos los IoT que son cada vez más comunes y necesarios en nuestro diario vivir. Muchos de estos cumplen determinada función de acuerdo al campo para el cual fueron desarrollados, algunos poseen cámaras y pequeños micrófonos que ayudan a capturar contenido multimedia de un ambiente físico. Las diferentes técnicas de codificación han ido mejorando cada vez más con el fin de diseñar y construir pequeños dispositivos que tengan una buena eficiencia energética además de que el hardware sea pequeño y de costo bajo. Todo esto hace que el desempeño y mejora de la red de sensores multimedia inalámbrica o WMSN (Wireless Multimedia Sensor Network) vaya creciendo y teniendo más interés.

La diferencia que existe entre una red de sensores o WSN y WMSN es que, las primeras son usadas para medir u obtener datos escalares como temperatura, humedad, presión, radiación ultravioleta, ruido entre otros, mientras que las segundas proporcionan información mediante video, transmisiones de audio e imágenes.

Las WMSN's no solo mejoran la existencia de las WSN's también generan nuevas aplicaciones y campos de trabajo en este tipo de dispositivos y redes como vigilancia multimedia, monitoreo del medio ambiente, casas inteligentes (smart homes), servicio de localización de personas y aplicaciones en telemedicina, etc [1].

Al tratarse de un tráfico diferente al que comúnmente transporta las WSN's necesitan otros requerimientos adicionales como mayor ancho de banda (AB), retardo mínimo entre el origen y el destino (end-to-end delay), baja tasa de pérdida de paquetes, baja latencia y alta fiabilidad. Estos requisitos exigen más recursos, que en muchos casos son limitados como la energía del dispositivo, el espacio de almacenamiento, memoria y las capacidades de procesamiento. Algo importante que se debe tener en cuenta en este tipo de redes es la calidad de servicio (QoS) debido al tipo de tráfico que manejan, tornándose en un aspecto y requerimiento fundamental en las WMSN's.

Los protocolos de enrutamiento juegan un papel importante en cualquier tipo de red, los mismos que se van modificando y acoplando al tipo de tráfico y entorno en cual son usados. Los protocolos diseñados inicialmente para redes de sensores como AODV, DSR, OLSR, entre otros son ampliamente usados y tratan de suplir los requisitos de QoS que exige la aplicación. Es por esto que, en el presente trabajo se evalúa el impacto que se tiene sobre el rendimiento de los protocolos de enrutamiento "clásicos" cuando transportan tráfico multimedia (video) permitiendo identificar cuál de los protocolos presentan mejores resultados para las métricas de QoS elegidas.

2. Objetivos.

En este trabajo de fin de máster tiene los siguientes objetivos:

- Realizar un estudio comparativo de los protocolos de enrutamiento ampliamente usados en redes de sensores como AODV, DSR, OLSR mediante escenarios de simulación con tráfico multimedia en una red de sensores.
- Diseñar los escenarios de simulación que permitan comparar las métricas QoS de cada uno de los protocolos.
- Evaluar y analizar los resultados obtenidos verificando el protocolo que presenta mejor rendimiento en las métricas de QoS frente al tráfico multimedia (video) del escenario.
- Evaluar una propuesta de mejora para el protocolo elegido comparando los resultados con las configuraciones por defecto de los mismos.

3. Marco teórico.

En esta parte del trabajo se presentan los fundamentos teóricos de las WMSN que en sí forman parte o es una extensión de WSN y de los protocolos de enrutamiento a evaluar.

Una WSN es un sistema que coordina nodos sensores de forma autónoma para facilitar la obtención de datos de un ambiente de aplicación [2] . Los nodos sensores son capaces de recolectar, procesar y transmitir datos entre sí de forma inalámbrica hasta el destino.

Las WSN cada vez van teniendo mayor importancia, y es que ahora no solamente existen dispositivos encargados de tomar datos escalares como temperatura, humedad, radiación ultravioleta, nivel de ruido, sino que con el avance de la tecnología van apareciendo dispositivos inalámbricos más pequeños con capacidades de transmitir video y audio formando así una WMSN. El tráfico multimedia que atraviesa por este tipo de redes demanda del cumplimiento de ciertos parámetros de QoS para que los datos sean entregados con éxito. Es aquí en donde intervienen diversos factores que influyen en la QoS, uno de ellos son los protocolos de enrutamiento.

3.1 Protocolos de enrutamiento.

En la actualidad existen muchos protocolos de enrutamiento encargados de que los datos vayan de un origen hacia un destino, pero no todos los protocolos creados tienen el mismo rendimiento, esto dependerá del medio o entorno y el ambiente de aplicación en donde sean usados. En una red de sensores inalámbrica se usa el aire como medio de comunicación el mismo que se ve afectado por diferentes factores, además de ciertas características del dispositivo que también intervienen en el rendimiento de la red. Es por ello que los protocolos usados en WSN y en este caso en una WMSN son diferentes a los usados por ejemplo en una red cableada en donde existe ventajas con respecto a capacidades y rendimiento.

Los protocolos que se usan en este trabajo son los principales protocolos de enrutamiento ad-hoc que se han venido usando en las WSN. Estos protocolos han sido creados especialmente para este tipo de redes debido a las limitaciones que presentan los dispositivos.

De acuerdo al funcionamiento de los protocolos de enrutamiento para WSN se clasifican en tres tipos: proactivos, reactivos e híbridos. Esta clasificación se muestra en el diagrama de la Fig. 1.

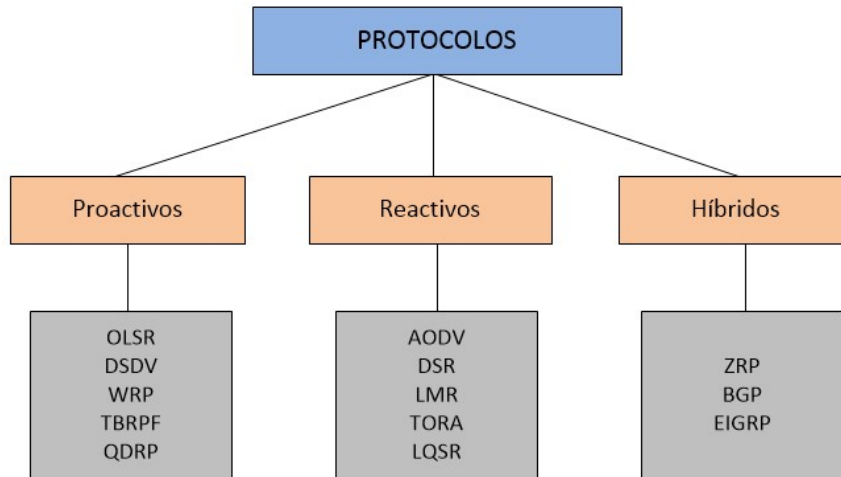


Fig. 1. Clasificación de protocolos de enrutamiento.

- **Protocolos Proactivos**

Este tipo de protocolos se caracterizan por mantener actualizadas las tablas de enrutamiento en todos los nodos de la red en todo momento, tal que, si se produce algún cambio en la red la información de la tabla de enrutamiento se actualiza y calcula la mejor ruta para enviar la información. Este procedimiento se realiza mediante el intercambio de mensajes de control, lo que conlleva un aumento tanto en el número de paquetes de la red como en el consumo de energía.

- **Protocolos Reactivos**

En estos protocolos la información de rutas está disponible en las tablas de enrutamiento solamente cuando un nodo origen tiene que establecer una conexión hacia un nodo destino. Cuando los protocolos reactivos empiezan una comunicación en la red y no tienen ninguna ruta en el nodo que permita la conexión, envían un mensaje de descubrimiento de ruta con la que obtienen información de la ruta del origen al destino y la agregan a su tabla de enrutamiento. En este proceso de descubrimiento de ruta el nodo origen deberá conocer por lo menos el salto siguiente o sus vecinos mediante los cuales obtendrá la información requerida y elegirá una ruta.

Cuando se realiza la solicitud de descubrimiento de ruta y la elección de la misma, se produce un retraso o latencia que se añade al primer paquete que se transmite por la nueva ruta, sin embargo,

Estudio comparativo de protocolos de enrutamiento de WMSN.

no necesita generar y transportar demasiada información de enrutamiento, como sucede en los reactivos, con lo cual ayuda a la mejora en el consumo de batería.

- **Protocolos Híbridos**

En esta clase de protocolos, como su nombre lo indica, son una mezcla de los proactivos con los reactivos, utilizan las mejores características de cada uno de ellos. Básicamente la estrategia de enrutamiento en este tipo de protocolos es dividir la red en zonas o clústers, entonces, aquellos nodos que se encuentren más distantes del destino o requieren una comunicación entre clústers usan enrutamiento reactivo mientras los nodos que están más cerca del destino o necesitan enrutamiento dentro del clúster utilizan el proactivo. Este tipo de protocolos son utilizados en grandes redes.

Descritos los aspectos más relevantes de las estrategias de enrutamiento de los protocolos a continuación se hace una descripción de tres de los protocolos más usados en WSN.

3.1.1 AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector).

El protocolo AODV es la versión mejorada de su predecesor DSDV (Destination-Sequenced Distance Vector). El DSDV inundaba la red con mensajes de difusión llegando a congestionar la misma. El protocolo AODV, es uno de los más utilizados de los protocolos reactivos, se caracteriza por ser bajo demanda y de vector distancia, es decir que proporciona información de enrutamiento cuando se produce algún cambio debido a condiciones de enlace, si existe algún enlace caído el protocolo notifica únicamente a los nodos que son afectados por ese fallo.

Al ser un protocolo reactivo, AODV crea y mantiene rutas solamente cuando se requiera establecer una comunicación entre un nodo origen y destino, el nodo origen envía mensajes a sus vecinos para obtener la información de cada ruta y realizar el cálculo de elección de la ruta hacia el destino. Algunas características de AODV son:

- Prevención de bucles
- Señalización de control bajo
- Tráfico de enrutamiento mínimo
- Usa únicamente enlaces bidireccionales

Los nodos poseen una tabla de enrutamiento usada para establecer la comunicación entre un origen y el destino, esta tabla tiene algunos campos como:

- Dirección IP origen y destino, usados para identificar el origen y el destino de los datos o paquetes.
- Tiempo de vida (TTL), se utiliza para evitar bucles en la red debido a paquetes perdidos que pueden estar dando vueltas en la red sin encontrar su destino que se puede deber a fallos de enlace en alguna ruta hacia su destino.

- Número de secuencia destino, usado para diferenciar entre información de enrutamiento nueva y antigua.
- Contador de saltos, este campo se utiliza para verificar si existe alguna ruta caída o con falla y así dar paso al mantenimiento de ruta y actualizar la tabla de enrutamiento.

A continuación, se describe la estrategia de enrutamiento que sigue AODV:

Descubrimiento de rutas

En el momento en que un nodo necesita enviar datos hacia un destino, lo primero que realiza es buscar la ruta en su tabla de enrutamiento a ver si se encuentra registrada o calculada, si la ruta deseada se encuentra almacenada en su tabla entonces el nodo no realiza ningún proceso de descubrimiento de ruta, caso contrario iniciará dicho proceso para encontrar la ruta hacia el destino requerido.

El descubrimiento de ruta inicia con el envío de un mensaje broadcast Route Request (RREQ) a todos sus vecinos que se encuentran a un salto, estos a su vez reenvían el mensaje a sus vecinos hasta llegar al destino. El nodo que conozca la ruta hacia el destino informa al nodo origen mediante un mensaje Route Reply (RREP) [3]. En la Fig. 2 se muestra el proceso de descubrimiento de ruta entre un nodo origen y destino.

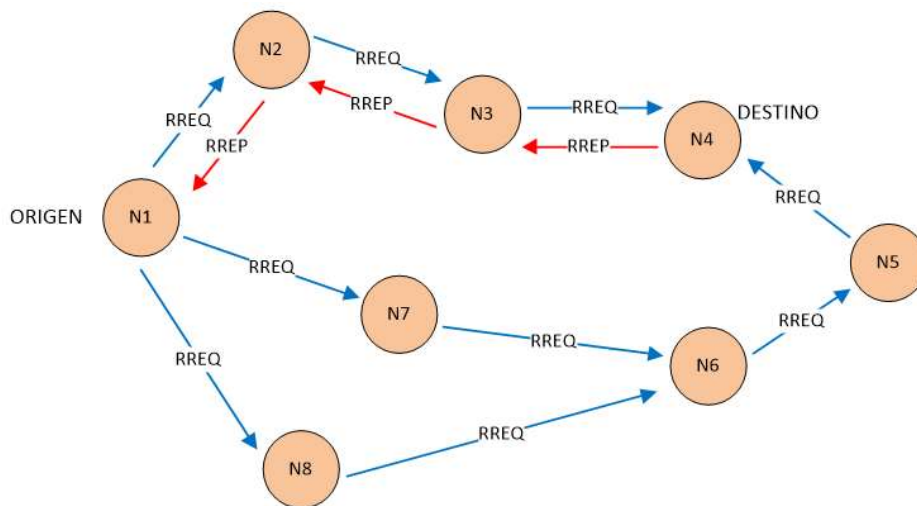


Fig. 2. Proceso de solicitud (RREQ) y respuesta (RREP) de ruta.

Mientras se va ejecutando el proceso de descubrimiento de ruta, los nodos que intervienen van actualizando su tabla de enrutamiento, esto facilita la respuesta de destino en el enrutamiento de regreso.

En la Fig. 3 se muestran los campos que contiene un mensaje RREQ. Aquí se encuentra el campo RREQ ID, que es un identificador del mensaje el cual va cambiando conforme se va generando los

mensajes RREQ. Se utiliza para que los nodos intermedios identifiquen si un mensaje es igual a uno anterior recibido entonces será descartado, si el ID es distinto entonces es retransmitido [3].

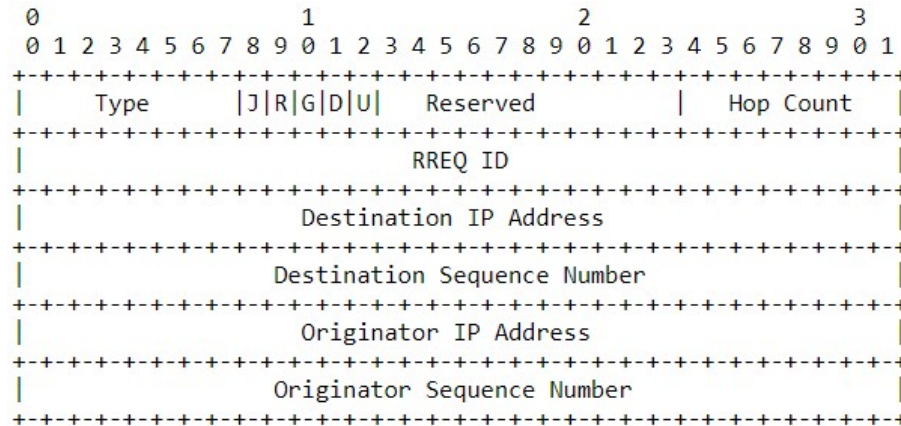


Fig. 3. Campos del mensaje RREQ [4].

En la Fig. 4 se muestra los campos que conforman el mensaje de respuesta RREP ante una solicitud de requerimiento de ruta.

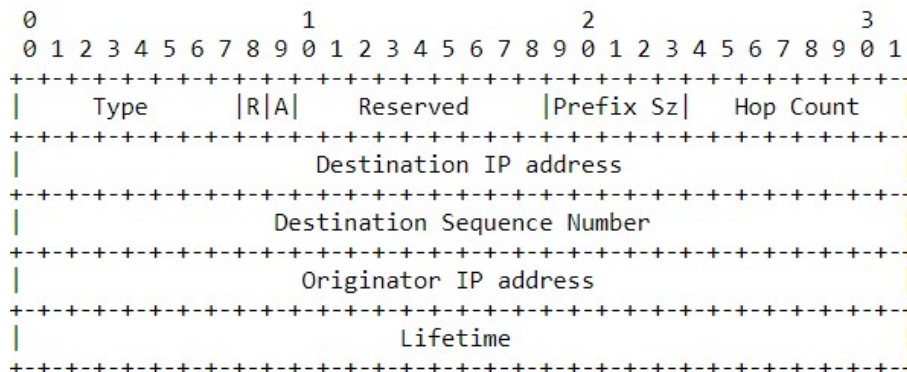


Fig. 4. Campos del mensaje RREP [4].

Mantenimiento de rutas

Una vez que el proceso de descubrimiento de ruta finalice con la ruta del destino deseada se le asigna un tiempo de vida útil a esta ruta con el fin de que no se tenga que realizar el descubrimiento de ruta cada vez que un nodo origen envíe datos hacia un destino.

Si en la red existe algún fallo con la conexión entre los nodos, se generará un mensaje de error de ruta (RERR), este mensaje es similar a un RREQ pero con un número de saltos infinito con esto el nodo que detecta el fallo informa a los nodos vecinos afectados sobre la caída de la ruta con lo que deben de actualizar su tabla de enrutamiento para buscar y elegir otra ruta alterna.

El nodo origen deberá decidir si termina la comunicación hacia el nodo destino o realiza un nuevo proceso de descubrimiento de ruta [3].

En la Fig. 5 se muestra los campos que contiene un paquete de error RERR.

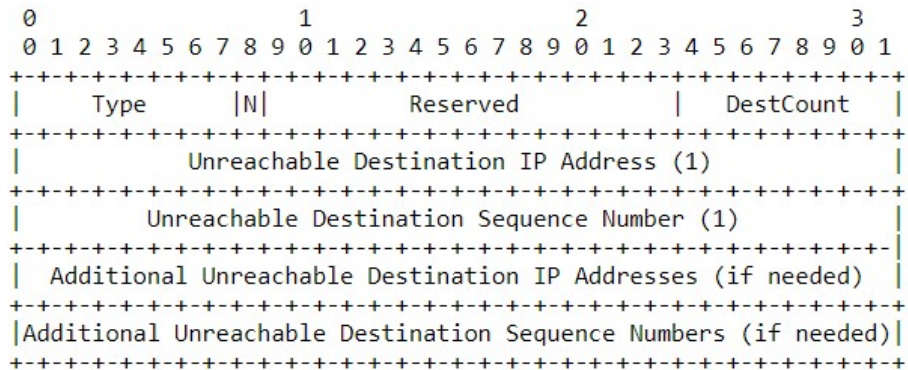


Fig. 5. Campos del mensaje RERR [4].

Reparación de ruta

Cuando existe un fallo en una ruta y antes de que el nodo que detecta el problema envíe el mensaje de error al nodo origen este puede intentar repararlo localmente. El proceso trata de que en lugar de que el nodo que detecta el fallo envíe un mensaje RERR al origen, este envíe un mensaje RREQ con un número de secuencia del destino incrementado en uno hacia el destino. Así, los datos se quedan guardados en este nodo a la espera de un mensaje RREP con una nueva ruta al nodo destino. Si este proceso no consigue obtener una nueva ruta, entonces el nodo reportará al nodo origen sobre la caída del enlace o ruta.

Mensajes de saludo (HELLO)

AODV utiliza mensajes HELLO periódicamente entre los nodos vecinos para monitorear el estado de sus enlaces. Cuando el enlace a lo largo de la ruta presenta algún problema, el nodo intermedio más cercano al nodo de origen informa que un enlace se encuentra caído enviando un mensaje de RERR hacia el nodo de origen, este nodo al recibir el mensaje RERR puede reiniciar el proceso de descubrimiento de ruta utilizando el proceso de mantenimiento de ruta [3].

El mensaje HELLO es generado con un tiempo de vida igual a 1 con esto se evita el reenvío masivo de mensajes llegando a causar problemas de congestión. Una vez que recibido el mensaje de saludo entre los nodos, se actualiza la tabla de enrutamiento. En caso de que un nodo no reciba ningún mensaje HELLO de uno de sus nodos vecinos, el enlace se considera como caído y se informará a los nodos afectados por medio del mensaje RERR.

3.1.2 DSR (Dynamic Source Routing).

El protocolo DSR al ser de carácter reactivo envía información solamente cuando un nodo origen necesita enviar datos a un nodo destino, con lo cual se minimiza el tráfico de enrutamiento en la red y mejorando el consumo de energía en los nodos. La desventaja de este protocolo es el retardo que se genera cuando se inicia el proceso de descubrimiento de ruta ya que se basa en el enrutamiento origen, es decir, la información de la ruta por donde va recorriendo el paquete es guardada en su cabecera, esto hace que aumente su tamaño y se produzca una latencia. Al igual que en AODV a continuación se describe la estrategia de enrutamiento que sigue DSR:

Descubrimiento de ruta

El proceso de descubrimiento de ruta, similar a AODV, solamente se realiza cuando el nodo origen necesita enviar datos a un destino y en su tabla de enrutamiento no se encuentra ninguna ruta válida hacia ese destino. Entonces el nodo origen empieza el proceso de descubrimiento de ruta enviando mensajes RREQ a través de la red. Los nodos intermedios que reciben este mensaje y que no esté duplicado en su tabla agrega su dirección a la cabecera del paquete. Una vez que el paquete RREQ llega al nodo destino, este envía un mensaje de respuesta RREP al nodo origen. La ruta que sigue este mensaje es el mismo que se encuentra en el mensaje RREQ, pero en sentido contrario.

Una vez que el nodo origen conoce la ruta hacia el destino este guarda la ruta temporalmente en caché, el tiempo asignado para que permanezca disponible es de 300 segundos, transcurrido este tiempo y en caso de no ser usada la ruta es eliminada. Si la ruta es utilizada dentro del tiempo asignado el temporizador empieza nuevamente el conteo de los 300 segundos.

Cuando el nodo mantiene las rutas en caché se minimiza la sobrecarga en la red generada por el descubrimiento de ruta. Si una ruta hacia un destino está almacenada en caché de un nodo intermedio este enviará un mensaje de RREP y no un RREQ. En la Fig. 6 se observa gráficamente el proceso de descubrimiento de ruta en DSR de un nodo origen al destino.

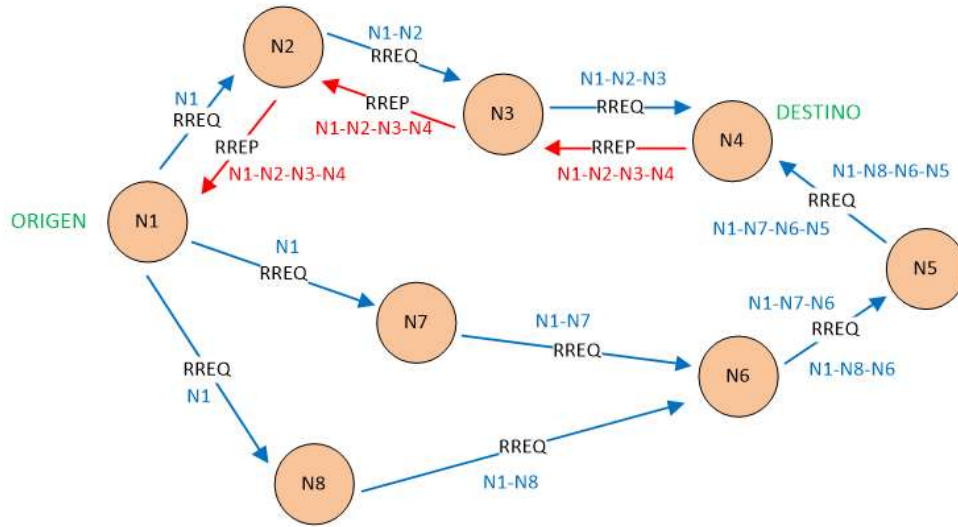


Fig. 6. Proceso de solicitud (RREQ) y respuesta (RREP) de ruta.

Mantenimiento de ruta

Si algún enlace en una ruta del nodo origen al destino presenta alguna falla, el nodo origen realiza un procedimiento de mantenimiento de ruta basado en mensajes RERR. El nodo origen elimina cualquier ruta de su caché que utilice este enlace para luego empezar un nuevo proceso de descubrimiento de ruta siempre y cuando esta ruta aún sea necesaria. La ventaja del protocolo DSR es que cada paquete de datos transmite información de ruta que permite a los nodos intermedios agregar nuevas rutas en sus cachés que permiten soportar el enrutamiento de datos en enlaces asimétricos [3].

3.1.3 OLSR (Optimized Link State Routing).

Este protocolo de tipo proactivo es considerado uno de los más óptimos en cuanto a los protocolos de estado de enlace. Si existe algún cambio en la topología de la red OLSR inunda de mensajes de información a todos los nodos que se vean afectados por este cambio. Las rutas siempre se encuentran disponibles en la tabla de enrutamiento, por lo que se pueden producir menos demoras en el descubrimiento de rutas [3].

La inundación directa de información por toda la red (flooding) suele generar congestión en la red debido al tráfico de inundación de información que producen los nodos. Para esto el protocolo OLSR utiliza un mecanismo eficiente de inundación de información basado en el esquema de los Multipoint Relays (MPR) [5].

Este mecanismo consiste en que, en lugar de permitir que cada nodo reenvíe cualquier mensaje que reciba, todos los nodos de la red seleccionen un conjunto de nodos vecinos simétricos como MPR o retransmisores. Solo los nodos seleccionados, serán los encargados de difundir la información de topología a través de la red en el proceso de inundación. Los MPR ayudan a reducir el tráfico de

sobrecarga en la red y minimizar las transmisiones duplicadas. Se debe tener en cuenta que el nodo seleccionado como MPR pueda alcanzar a todos los nodos vecinos que se encuentran a una distancia de 2 saltos del nodo que realiza el cálculo [3][5].

En la Fig. 7 (a) se puede apreciar gráficamente como se realiza la inundación de información sin uso de un nodo MPR, mientras que, en la Fig. 7 (b) se observa que hay nodos seleccionados como MPR los cuales se encargan de difundir la información.

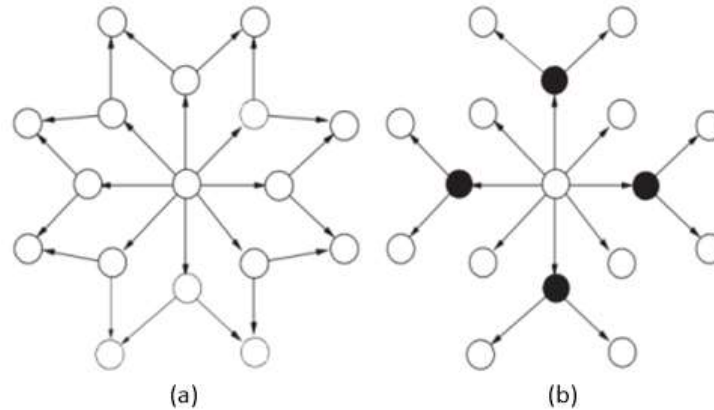


Fig. 7. (a) Inundación de información sin MPR, (b) Inundación de información con MPR [3].

El protocolo OLSR está caracterizado por dos tipos de mensajes de control, el primero es el mensaje de saludo o HELLO y el segundo es el de control de topología (TC).

Los mensajes HELLO se utilizan para obtener información del estado del enlace entre vecinos, mediante el intercambio de estos mensajes se puede determinar información sobre los vecinos que se encuentran a una distancia de dos saltos.

Los mensajes TC se envían a todos los nodos de la red, permitiendo obtener un mapa topológico completo de la red con rutas a cualquier nodo destino en la red. Además, los mensajes TC poseen información acerca de cuál es el nodo MPR seleccionado en la red. También realizan el cálculo de tablas de enrutamiento para cada nodo de la red.

La ventaja de OLSR es que presenta menos retardo promedio de extremo a extremo, por lo que es idóneo para aplicaciones en donde el tiempo es primordial.

3.2 Otras comparativas.

En la literatura existen muchas comparativas de protocolos de enrutamiento tanto reactivos como proactivos que se han realizado con el fin de verificar el desempeño que tienen estos frente a distintos escenarios o entornos de simulación en redes MANET y WSN. En esta sección se realiza un breve resumen de algunos de los trabajos publicados.

T. I. P. Darsini [6], en su trabajo realizado analizan el rendimiento de los protocolos de enrutamiento DSDV, DSR, AODV, AOMDV de acuerdo a métricas de QoS como la relación de entrega de paquetes (PDR), pérdida de paquetes, control de sobrecarga de paquetes y rendimiento. Además presentan las funcionalidades, beneficios y limitaciones de los protocolos. Las métricas son obtenidas mediante simulaciones usando la herramienta Network Simulator 2 (NS2). Los datos de las métricas muestran que cada protocolo tiene su mejor desempeño en una métrica en particular. Es así que, el protocolo AOMDV presenta un menor retardo, mejor rendimiento y PDR comparado con AODV y DSR pero incurre más sobrecarga de enrutamiento que AODV. El protocolo DSDV también tiene un buen rendimiento y una menor sobrecarga de paquetes. EL protocolo AODV presenta un menor retardo pero una alta pérdida de paquetes. De estos resultados concluyen que, la elección de qué protocolo utilizar va a depender de las propiedades o entorno de la red.

D. Eldin y M. Ahmed [7], en su estudio determinan que protocolo de enrutamiento es más eficiente proporcionando un mejor QoS para de video conferencia sobre redes MANET. La simulación de esta red es hecha en Opnet 14.5, en la cual varían el tamaño de la red y la densidad de los nodos móviles. Los protocolos de enrutamiento que comparan son el GRP, AODV y OLSR, mediante la simulación evalúan el impacto de la movilidad y escalabilidad en el rendimiento de los protocolos obteniendo datos de métricas como el retardo extremo a extremo, jitter y relación de entrega de paquetes (PDR). Como resultado tienen que el protocolo OLSR supera en desempeño a AODV y GRP cuando la red MANET es densa en número de nodos y escalable.

A. Mateen [8], realiza una comparación de diferentes protocolos de enrutamiento WSN para métricas enfocadas a WMSN. Los protocolos evaluados son el GPSR, REAR, TORA y DSR. Estos protocolos son comparados en requisitos de QoS como rendimiento, retardo extremo a extremo y el tiempo de vida útil. De acuerdo a los resultados del estudio se tiene que los protocolos DSR y GPSR presentan un alto rendimiento, en cuanto al retardo extremo a extremo el de mejor desempeño es el GPSR y finalmente el TORA y GPSR son los que muestran un mayor tiempo de vida útil en la red.

J. S. Shaik [9], realiza un estudio técnico de los protocolos de enrutamiento AODV y OLSR, en donde destaca las diferencias entre los dos a partir de la comparación de rendimiento de métricas como retardo extremo a extremo, rendimiento, pérdidas de paquetes, PDR, sobrecarga de enrutamiento. Los resultados son obtenidos a través de simulaciones hechas en Network Simulator 2 (NS2). De acuerdo a los datos de las métricas evaluadas llegan a la conclusión que el protocolo AODV tiene un mejor desempeño de acuerdo a los escenarios simulados.

S. Ali and A. Ali [10], hace un análisis comparativo de desempeño de los protocolos de enrutamiento AODV, DSR y OLSR para redes MANET. Las simulaciones de los escenarios son realizadas en Opnet 14.5, el número de nodos móviles varía entre 20, 40 y 80, el tráfico elegido para la red es el FTP. El desempeño de los protocolos son analizados mediante tres métricas: retardo, carga de red y rendimiento. De la comparación de resultados se tiene que el protocolo OLSR es el

que mejor desempeño presenta en las métricas evaluadas en los tres escenarios en los que varían el número de nodos móviles.

4. Implementación y simulación de protocolos de enrutamiento.

En esta parte del trabajo se describen las métricas de rendimiento usadas para la evaluación de los protocolos, la configuración y parámetros de los escenarios de simulación y por último se realiza la comparación de las métricas entre los protocolos que permiten elegir el protocolo de mejor rendimiento para proponer mejoras al mismo.

4.1 Métricas de evaluación de rendimiento.

Las métricas son parámetros usados para evaluar la eficiencia de los protocolos de enrutamiento en diferentes escenarios de simulación en los que el rendimiento se comporta de diferente forma dependiendo del escenario.

En el proceso de pruebas realizado se obtienen datos como resultado de las simulaciones, estos nos servirán para medir la eficiencia de los protocolos usados en las simulaciones.

Las métricas que se han utilizado son: rendimiento, retardo, carga de red e intentos de retransmisión de paquetes, las cuales se indican a continuación:

4.1.1 Rendimiento.

El rendimiento es la cantidad de datos que se pueden transmitir de un origen hacia un destino en un tiempo determinado, o el total de paquetes recibidos por el destino en una unidad de tiempo. El cálculo de esta métrica está dado por la ecuación (1) [11]:

$$\text{Rendimiento} = \frac{P_{Rx}}{T_{Tx}} \quad (1)$$

De donde:

P_{Rx} = Es el total de paquetes recibidos en el destino.

T_{Tx} = Es el tiempo de transmisión.

4.1.2 Retardo.

El retardo es el intervalo de tiempo entre la generación de paquetes en un nodo origen y la entrega de los mismos en el destino. Se puede decir que es el tiempo que tarda un paquete en cruzar toda la red desde su origen hacia el destino. El retardo promedio está dado por la siguiente ecuación (2):

$$\text{Retardo promedio} = \frac{\text{Sum}_{\text{retardo}}}{P_{Rx}} \quad (2)$$

De donde:

$\text{Sum}_{\text{retardo}}$ = Es la suma de todos los retardos de extremo a extremo.

P_{Rx} = Es el total de paquetes recibidos en el destino.

4.1.3 Carga.

Representa la carga total enviada o paquetes enviados a todos los nodos de la red. Esta métrica permite evaluar la capacidad del protocolo para manejar un gran tráfico. Una red eficiente puede administrar de buena manera el gran tráfico que se puede producir en la red. Si la carga aumenta, crearía más tráfico en la red con lo cual disminuye la velocidad de los paquetes y aumenta la colisión de paquetes de control ocasionando más pérdidas de paquetes. Entonces, en esta métrica se requiere que la carga de tráfico sea mínima para que existan menos paquetes descartados en la red.

4.1.4 Intentos de retransmisión.

Es el número total de intentos de retransmisión por todas las MAC en la red hasta que el paquete se transmita correctamente o se descarte como resultado de alcanzar el límite de reintentos cortos o largos. El nodo notifica el error a la capa de red superior y se interrumpe el envío de paquetes debido a que es muy poco probable que un nodo alcance el número máximo de intentos en una transmisión normal, si esto ocurre se asume que el enlace tiene un fallo.

4.2 Desarrollo y configuración de escenarios de simulación.

Los escenarios desarrollados en este trabajo son implementados en la herramienta de simulación Opnet Modeler Academic (ver. 17.5). En este simulador se evalúa el rendimiento de los protocolos de enrutamiento AODV, DSR y OLSR durante una transmisión de video. Las simulaciones permitirán conocer el desempeño de los protocolos ayudando a determinar cuál de ellos proporciona una aceptable QoS.

Inicialmente los parámetros de red usados son los que están configurados por defecto en los protocolos, una vez escogido el protocolo con mejor desempeño, se harán los cambios necesarios en los parámetros de configuración que permitan la optimización del mismo.

Se han definido dos escenarios base con 50 y 70 nodos en los que se aplican los protocolos a simular. Para que estos escenarios tomen la característica de un entorno WMSN se ha configurado en Opnet la aplicación de tráfico de video disponible Video Conferencing – High Resolution Video, con esto se realiza el análisis de los protocolos de enrutamiento en una red de sensores con tráfico multimedia. El tiempo de ejecución de simulación para cada escenario es de 2 minutos. Cabe destacar que en las pruebas realizadas los tres protocolos no llegan a cumplir el total del tiempo de simulación, esto debido a la carga del tráfico que se está inyectando y en especial al número de nodos usado en los escenarios.

4.2.1 Escenario 1 (50 nodos).

En este escenario se definen 50 nodos y un servidor wlan que actúa como un nodo sumidero o sink. Como se mencionó anteriormente, para que la red simule un entorno WMSN se usa como tráfico multimedia la aplicación “Video Conferencing – High Resolution Video”. El direccionamiento IPv4

Estudio comparativo de protocolos de enrutamiento de WMSN.

es automático para todos los nodos. El escenario es usado para simular los tres protocolos AODV, DSR y OLSR con sus respectivos parámetros de configuración por defecto. En la Fig. 8 se puede ver este primer escenario.



Fig. 8. Primer escenario de simulación con 50 nodos.

En la Tabla 1 se muestran los parámetros de simulación utilizados.

Parámetros	Datos
Protocolos de enrutamiento (con su configuración por defecto)	AODV, DSR, OLSR
Tiempo de simulación	120 s
Número de nodos	50
Tipo de tráfico aplicado (Video)	High Resolution Video: 128X240 pixels, 9 bits/pixel, 15 frames/sec
Métricas a evaluar	Rendimiento Retardo

	Carga
	Intentos de retransmisión

Tabla 1: Parámetros de simulación.

4.2.2 Escenario 2 (70 nodos).

En el segundo escenario se incrementa el número de nodos a 70, con el fin de analizar el impacto de la escalabilidad en las métricas de rendimiento de los protocolos con respecto al primer escenario. Este escenario mantiene los atributos del escenario 1 excepto que el número de nodos aumenta. Se vuelven a simular los mismos protocolos de enrutamiento con los mismos parámetros. En la Fig. 9 se muestra el escenario utilizado.



Fig. 9. Segundo escenario de simulación con 70 nodos.

En la Tabla 2 se encuentran los parámetros de simulación del escenario.

Parámetros	Datos
Protocolos de enrutamiento (con su configuración por defecto)	AODV, DSR, OLSR
Tiempo de simulación	120 s
Número de nodos	70
Tipo de tráfico aplicado (Video)	High Resolution Video:

	128X240 pixels, 9 bits/pixel, 15 frames/sec
Métricas a evaluar	Rendimiento Retardo Carga Intentos de retransmisión

Tabla 2: Parámetros de simulación.

4.3 Comparación de resultados de métricas de rendimiento.

En esta parte del trabajo se realiza la comparación de los resultados obtenidos en las simulaciones de los protocolos con los parámetros descritos anteriormente y con la configuración por defecto de cada protocolo. Mediante esta comparación se verifica que protocolo presenta un mejor rendimiento cuando por la red de sensores se transporta tráfico multimedia. Se elige el protocolo de mejor eficiencia para el cual se realiza una propuesta y simulación de optimización.

4.3.1 Comparación de rendimiento.

- *Escenario 1.*

En la Fig. 10 se puede observar gráficamente la comparación de los resultados obtenidos en la simulación de los protocolos de enrutamiento con respecto al rendimiento durante el tiempo de simulación. En la gráfica se puede ver que el protocolo OLSR presenta mejor rendimiento en comparación con los otros dos protocolos de enrutamiento reactivos. Mientras que, en los dos protocolos reactivos se observa que AODV tiene un rendimiento mayor que DSR. También se puede ver que a partir de los 4.5 s de simulación el rendimiento de OLSR empieza a presentar un aumento con respecto a AODV.

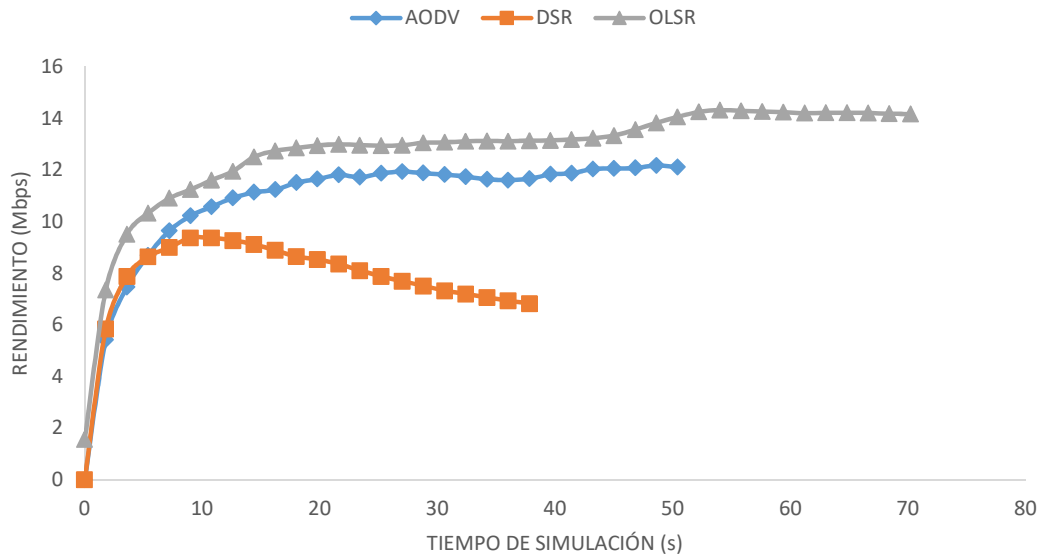


Fig. 10. Comparación de rendimiento respecto al tiempo de simulación.

En la Fig. 11 se puede observar la comparación de los resultados obtenidos de la simulación de los protocolos de enrutamiento con respecto al rendimiento promedio. En la gráfica se puede evidenciar claramente la diferencia que hay entre uno y otro protocolo de enrutamiento. Siendo el protocolo OLSR el que tiene mayor rendimiento con un promedio de 14.2 Mbps, seguido del AODV con 12.1 Mbps y finalmente está el DSR que tiene 6.8 Mbps.

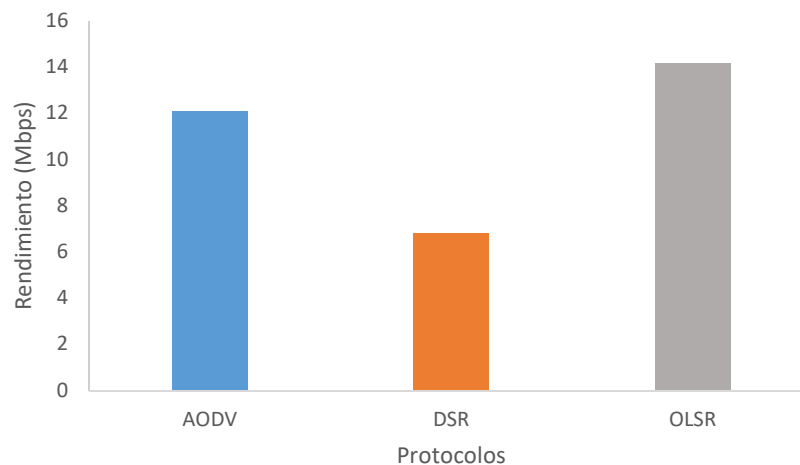


Fig. 11. Comparación de rendimiento promedio.

- **Escenario 2.**

En la Fig. 12 se observa gráficamente la comparación de los resultados de la simulación de los protocolos de enrutamiento con respecto al rendimiento durante el tiempo de simulación.

La gráfica de este escenario muestra que el protocolo OLSR sigue siendo el de mejor rendimiento frente a los otros dos protocolos, aunque la diferencia no es muy marcada, incluso se puede ver que en un rango de tiempo de la simulación el rendimiento de AODV tiene un pico mayor que OLSR.

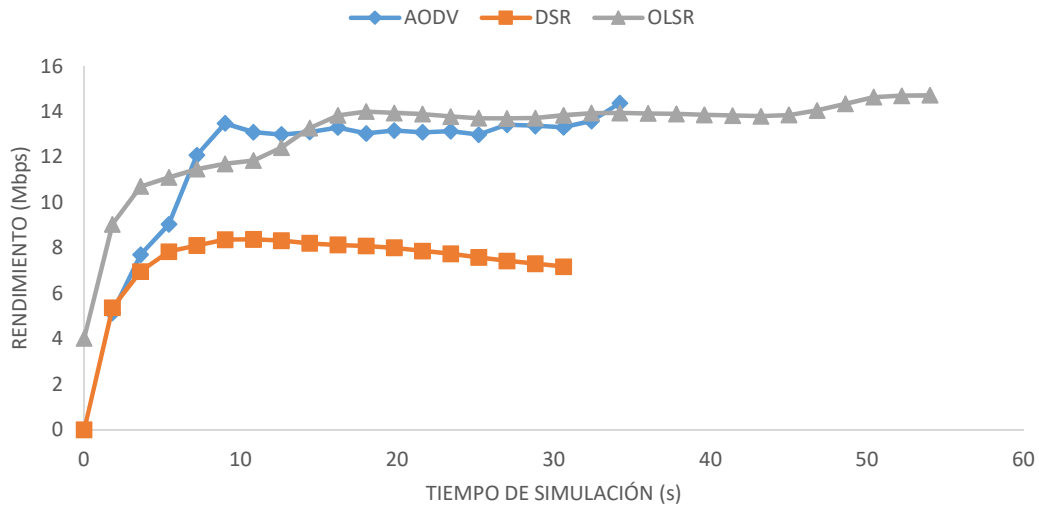


Fig. 12. Comparación de rendimiento respecto al tiempo de simulación.

En la Fig. 13 se puede observar la comparación de los resultados de la simulación de los protocolos de enrutamiento con respecto al rendimiento promedio. Como se mencionó anteriormente el protocolo que mejor rendimiento presenta es el OLSR con un promedio de 14.8 Mbps, mientras que los protocolos reactivos AODV y DSR tienen una media de 12.4 Mbps y 7.2 Mbps respectivamente.

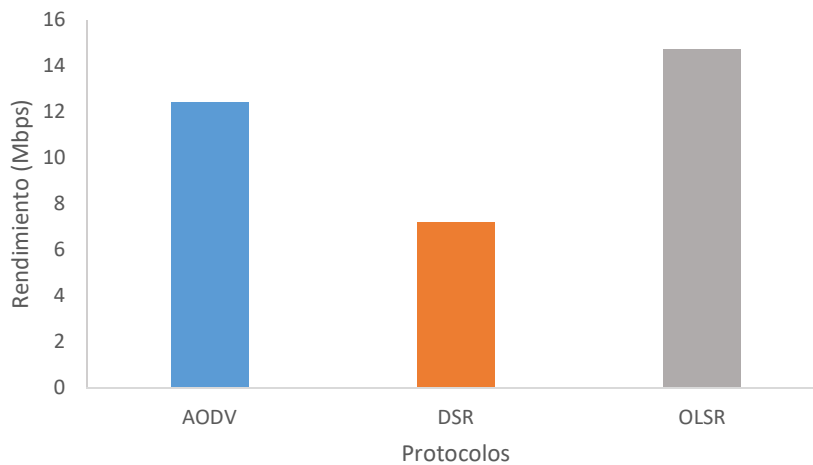


Fig. 13. Comparación de rendimiento promedio.

En los dos escenarios el protocolo OLSR ha mostrado un mayor rendimiento esto debido a su naturaleza proactiva que maneja tablas de ruta actualizadas que permiten conocer de antemano la ruta de un nodo origen a un destino.

4.3.2 Comparación de retardo.

- Escenario 1.

En la Fig. 14 se muestra gráficamente la comparación de resultados de la simulación de los protocolos de enrutamiento en cuanto al retardo en el tiempo de simulación. Como se puede ver en la gráfica, el protocolo que presenta un menor retardo de los tres protocolos simulados es el OLSR y que tiende a ser constante en gran parte del tiempo simulación, como se muestra en la Fig. 14. Con respecto a los dos protocolos reactivos el que proporciona un menor retardo es el AODV en cambio que el retardo de DSR se ve que crece proporcionalmente de acuerdo a como va transcurriendo el tiempo de simulación.

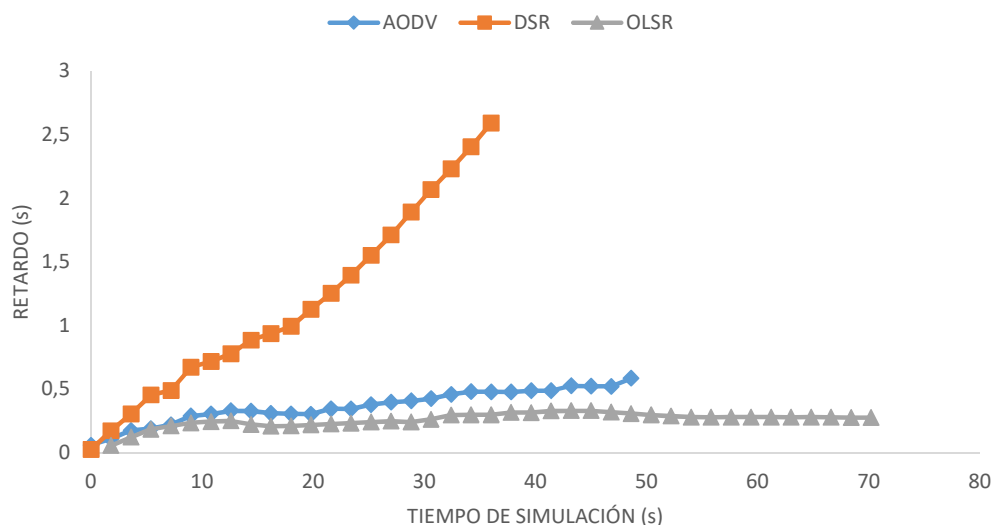


Fig. 14. Comparación de retardo respecto al tiempo de simulación.

En la Fig. 15 se puede observar gráficamente la comparación de resultados obtenidos en la simulación de los protocolos de enrutamiento en cuanto al retardo promedio. En esta gráfica se puede ver la diferencia del retardo promedio que existen entre los tres protocolos. El retardo que presenta el protocolo OLSR es menor con un promedio de 0.28 s, a diferencia de AODV que tiene 0.58 s y el DSR con un mayor retardo de 2.59 s.

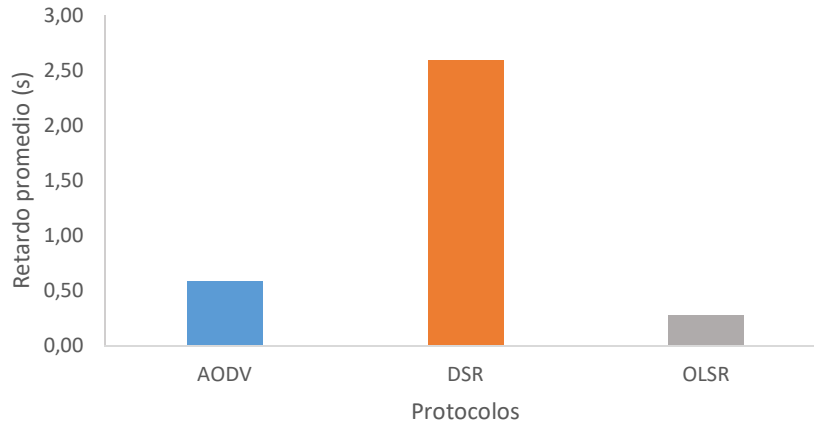


Fig. 15. Comparación de retardo promedio.

- **Escenario 2.**

En la Fig. 16 se muestra gráficamente los resultados de la comparación obtenidos en la simulación de los protocolos de enrutamiento en cuanto al retardo en el tiempo de simulación.

En los resultados de este escenario se puede ver que el retardo entre OLSR y AODV no varía en gran medida durante el tiempo de simulación, al contrario del DSR que presenta un mayor retardo y que va aumentando de forma proporcional al tiempo de simulación.

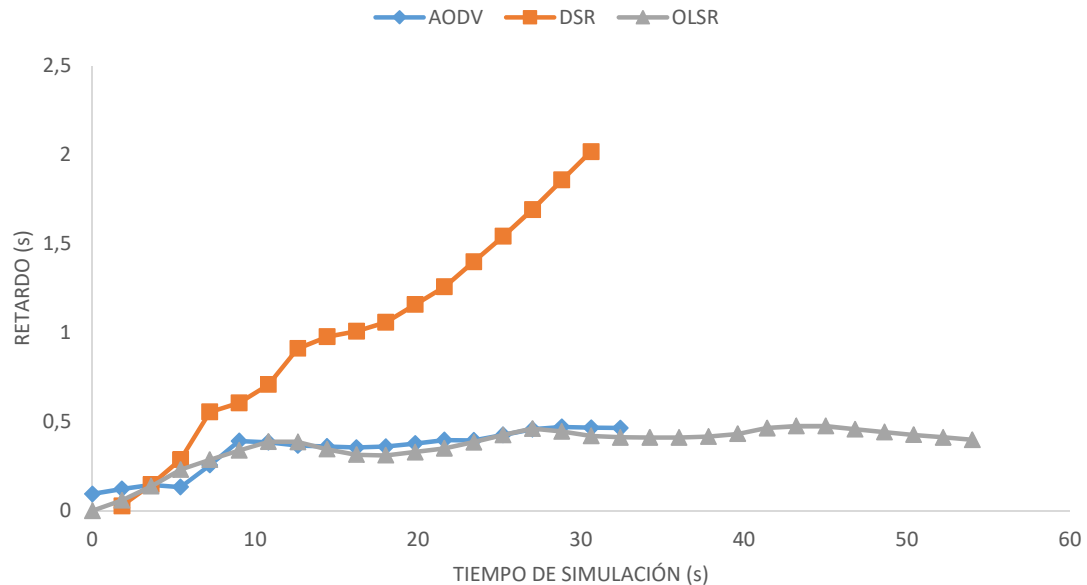


Fig. 16. Comparación de retardo respecto al tiempo de simulación.

En la Fig. 17 se muestra gráficamente la comparación de los resultados obtenidos en la simulación de los protocolos de enrutamiento en cuanto al retardo promedio. Se puede ver que el protocolo

Estudio comparativo de protocolos de enrutamiento de WMSN.

OLSR presenta un promedio menor de retardo con 0.39 s, seguido del AODV que tiene 0.46 s y un mayor retardo el de DSR con 2.02 s.

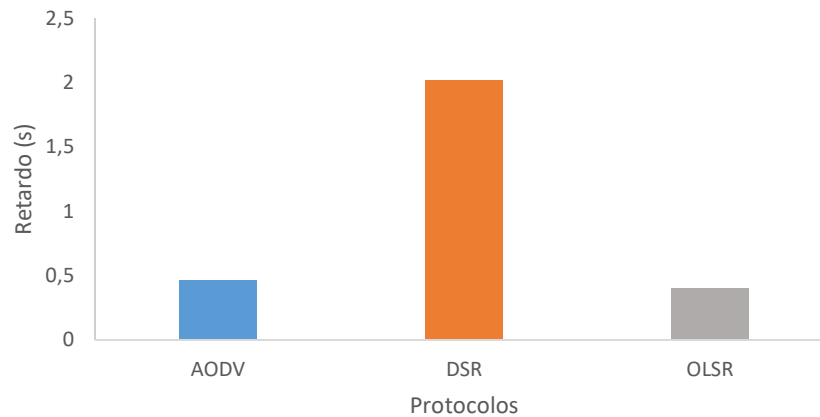


Fig. 17. Comparación de retardo promedio.

4.3.3 Comparación de carga.

- Escenario 1.

En la Fig. 18 se puede observar la comparación de resultados obtenidos en la simulación de los protocolos de enrutamiento en cuanto a la carga en el tiempo de simulación.

Como se puede apreciar en la gráfica, el protocolo que tiene menor carga en la red es el AODV, seguido del OLSR que a partir de los 8 s de simulación empieza a aumentar su carga con picos de subidas y bajadas, pero siempre manteniéndose arriba de AODV.

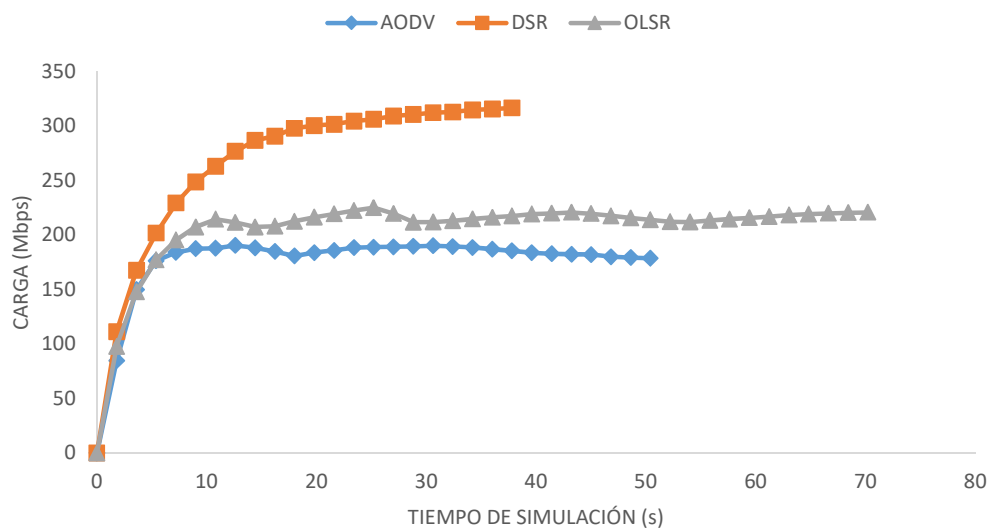


Fig. 18. Comparación de carga respecto al tiempo de simulación.

En la Fig. 19 se puede observar gráficamente los resultados obtenidos en la simulación de los protocolos de enrutamiento en cuanto a la carga promedio. Se puede ver la diferencia de carga que existe entre los tres protocolos que como se mencionó anteriormente el que menor carga presenta es el AODV con 178 Mbps, mientras que el protocolo OLSR tiene una carga en promedio de 220 Mbps y el DSR con 316 Mbps.

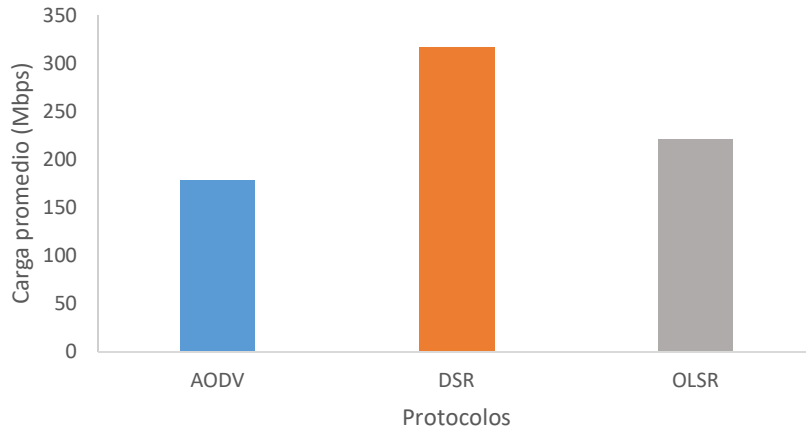


Fig. 19. Comparación de carga promedio.

- **Escenario 2.**

En la Fig. 20 se muestra la comparación de los resultados obtenidos en la simulación de los protocolos de enrutamiento en cuanto a la carga con respecto al tiempo de simulación. La gráfica evidencia que al aumentar el número de nodos la carga también aumenta debido a que el tráfico generado es mayor. La diferencia de carga entre los protocolos es más notoria. El protocolo que tiene una baja carga sigue siendo el AODV, mientras que el OLSR aumentó su carga de forma considerable con respecto al anterior escenario incluso llegando al nivel de carga del DSR.

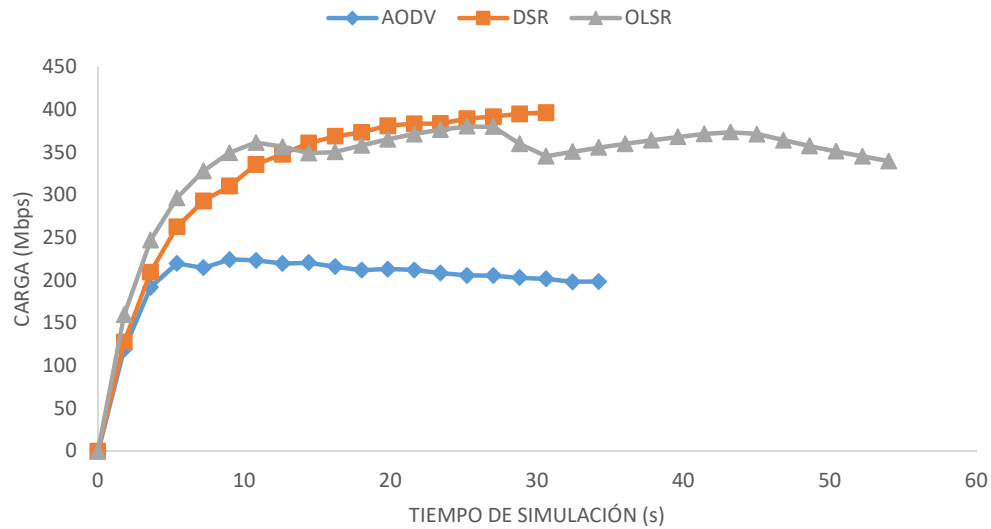


Fig. 20. Comparación de carga respecto al tiempo de simulación.

En la Fig. 21 se muestra gráficamente la comparación de los resultados obtenidos de los protocolos de enrutamiento en cuanto a la carga promedio. Al igual que la gráfica anterior se puede observar la diferencia de carga que existe entre los protocolos, siendo el AODV el que menor carga promedio presenta con 198 Mbps, luego está el OLSR con 339 Mbps y finalmente el DSR con 396 Mbps.

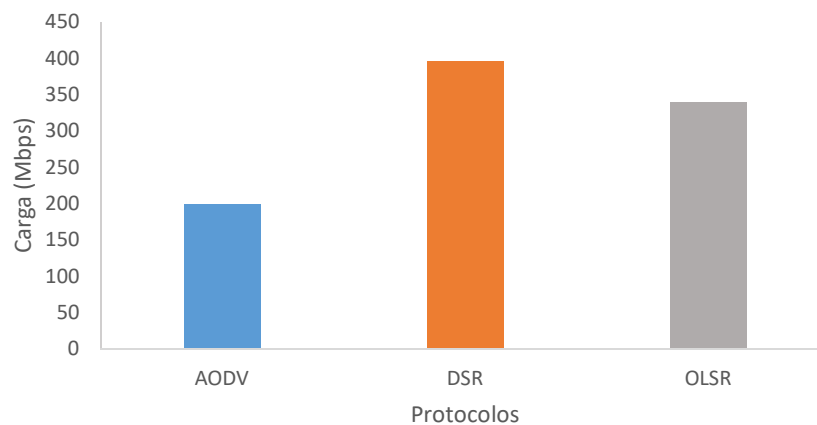


Fig. 21. Comparación de carga promedio.

4.3.4 Comparación de intentos de retransmisión.

- Escenario 1.

En la Fig. 22 se puede observar los resultados obtenidos en la simulación de los protocolos de enrutamiento en cuanto los intentos de retransmisión en el tiempo de simulación.

Los resultados de las simulaciones mostrados en la Fig. 22 permiten observar que el protocolo OLSR es el que mejor desempeño tiene en esta métrica. Este protocolo es el que realiza menos intentos de retransmisión de paquetes, en comparación con los otros dos protocolos, es decir que los paquetes descartados son mínimos. En cuanto a los protocolos reactivos, estos tienen más intentos de retransmisión, siendo el AODV el que mejor desempeño presenta de los dos.

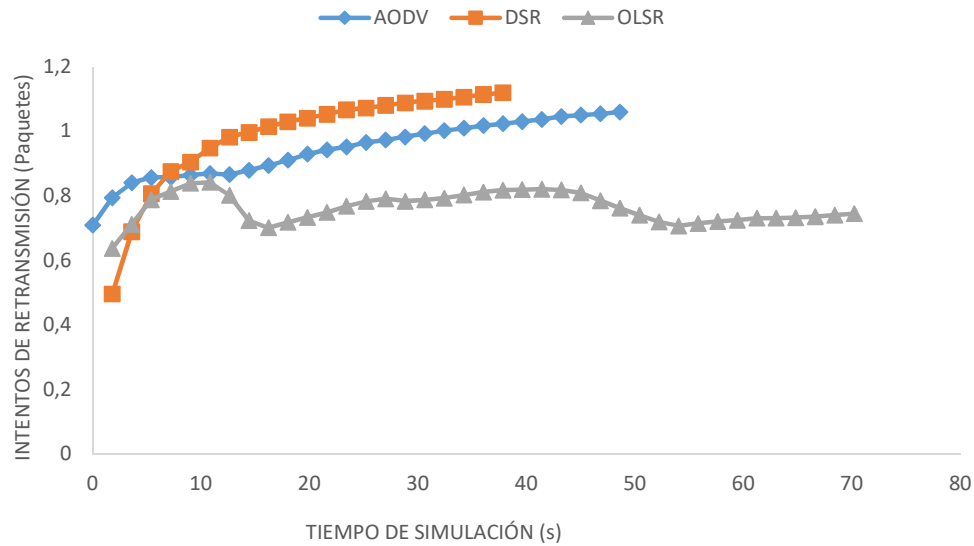


Fig. 22. Comparación de intentos de retransmisión respecto al tiempo de simulación.

En la Fig. 23 se puede observar gráficamente la comparación de resultados obtenidos en la simulación de los protocolos de enrutamiento en cuanto los intentos de retransmisión promedio. En esta gráfica se puede ver en promedio los intentos de retransmisión de los protocolos, tal que OLSR tiene 0.74 paquetes, AODV presenta 1.06 paquetes, mientras que DSR tiene como promedio 1.12 paquetes.

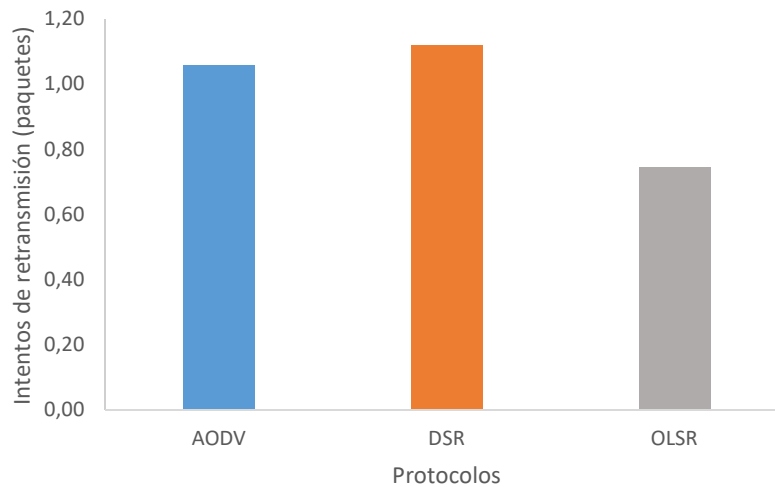


Fig. 23. Comparación de intentos de retransmisión promedio.

- **Escenario 2.**

En la Fig. 24 se muestra la comparación de los resultados obtenidos en la simulación de los protocolos de enrutamiento en cuanto a intentos de retransmisión durante el tiempo de simulación. De acuerdo a la gráfica se puede ver que al aumentar el número de nodos en la red los intentos de retransmisión se incrementan, especialmente en los dos protocolos reactivos. Para este escenario el protocolo OLSR sigue siendo el que tiene menos paquetes de retransmisión.

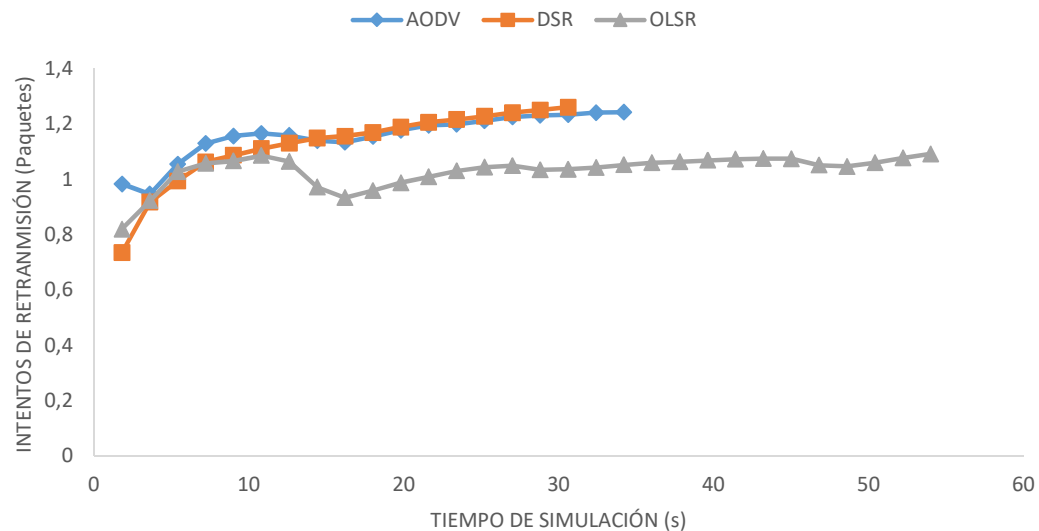


Fig. 24. Comparación de intentos de retransmisión respecto al tiempo de simulación.

En la Fig. 25 se muestra gráficamente los resultados obtenidos en la simulación de los protocolos de enrutamiento en cuanto a intentos de retransmisión promedio. Se puede ver que la diferencia en el promedio con el escenario anterior se incrementó de 0.74 a 1.09 paquetes para OLSR. Mientras que en AODV paso de 1.06 a 1.24 paquetes y en DSR de 1.12 a 1.26 paquetes.

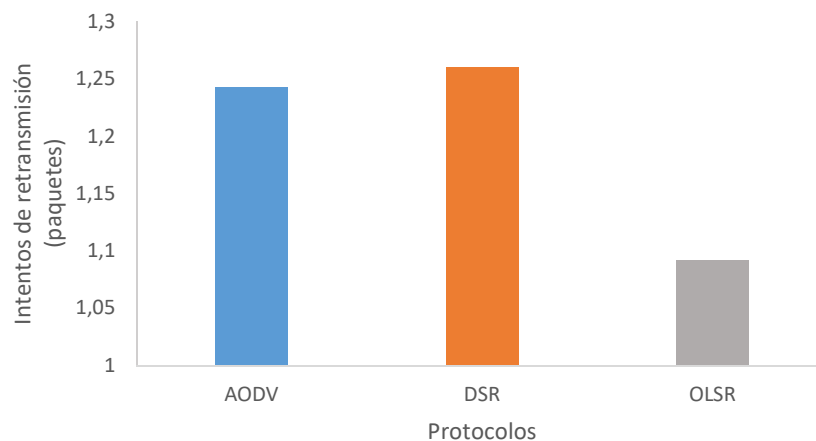


Fig. 25. Comparación de intentos de retransmisión promedio.

4.4 Resumen de resultados.

En la Tabla 3 se muestra una comparativa de la evaluación del desempeño de los protocolos AODV, DSR y OLSR con la cual se puede resumir los resultados obtenidos en la sección anterior. Aquí se puede ver que, en cuanto al rendimiento, los protocolos OLSR y AODV proporcionan un buen desempeño, siendo OLSR el que tiene mayor rendimiento que AODV. En el retardo, el OLSR presenta un nivel de retardo bajo en comparación con AODV y DSR. Con respecto a la métrica de carga de red, el que proporciona mejor desempeño es el AODV con un nivel bajo de carga, seguido por el OLSR con un nivel medio. En intentos de retransmisión, el que muestra un nivel bajo es el OLSR, mientras que los dos protocolos reactivos tienen un nivel medio. El protocolo DSR es el que peor desempeño de métricas presenta en el entorno de red simulado.

Métricas	PROTOCOLOS		
	AODV	DSR	OLSR
Rendimiento	Medio	Bajo	Alto
Retardo	Medio	Alto	Bajo
Carga	Bajo	Alto	Medio
Intentos de retransmisión	Medio	Medio	Bajo

Tabla 3: Comparación de desempeño entre AODV, DSR y OLSR.

5. Optimización de protocolo.

En esta parte del trabajo se realiza la propuesta y simulación de optimización del protocolo con el fin de obtener un mejor desempeño en la red de sensores cuando se transporta tráfico multimedia.

De los resultados obtenidos en el apartado anterior, se observó que el protocolo de mayor desempeño para los escenarios simulados fue el OLSR. Este protocolo proactivo, tuvo respuestas aceptables a las métricas como mayor rendimiento, menor retardo y menos intentos de retransmisión, frente al tráfico de vídeo que se simuló para crear un ambiente de WMSN. Entonces, basado en el desempeño mostrado por OLSR se eligió para realizar pruebas de mejoras, las mismas que se describen a continuación.

5.1 Propuesta de mejora OLSR.

En base a la teoría analizada en el apartado 3 de este trabajo en el que se explica los parámetros fundamentales de configuración para el funcionamiento y estrategia de enrutamiento de OLSR se decidió realizar cambios en el parámetro del mensaje HELLO, en la Fig. 26 se puede observar la estructura del mensaje. El cambio se lo hizo específicamente en el valor del intervalo de tiempo, conocido como HELLO_Interval o Htime, que es el tiempo en el que se generan o envían los mensajes entre vecinos. Los mensajes HELLO son usados por el protocolo para conocer u obtener información acerca del estado de enlace y sus vecinos.

5.2 Simulación y resultados.

Como se mencionó anteriormente se realiza un cambio en el valor del intervalo de envío del mensaje HELLO, lo valores que se probaron fueron de 0.5 s, 1 s y 3 s. Los resultados obtenidos muestran que el valor más óptimo para un mejor desempeño de las métricas de rendimiento es el intervalo de tiempo igual a 1s.

A continuación, se muestran las gráficas de los resultados con el cambio realizado y a su vez se comparan con los resultados de los parámetros por defecto.

5.2.1 Rendimiento.

En la Fig. 28 se muestra la gráfica de rendimiento promedio para el escenario de 50 nodos. Se puede observar que el rendimiento que se obtiene con la modificación hecha a OLSR es mayor al rendimiento que se tiene cuando se usa valores por defecto del protocolo. El valor del rendimiento promedio que se tiene para el OLSR modificado es de 16.16 Mbps mientras que para el OLSR por defecto es de 14.16 Mbps.

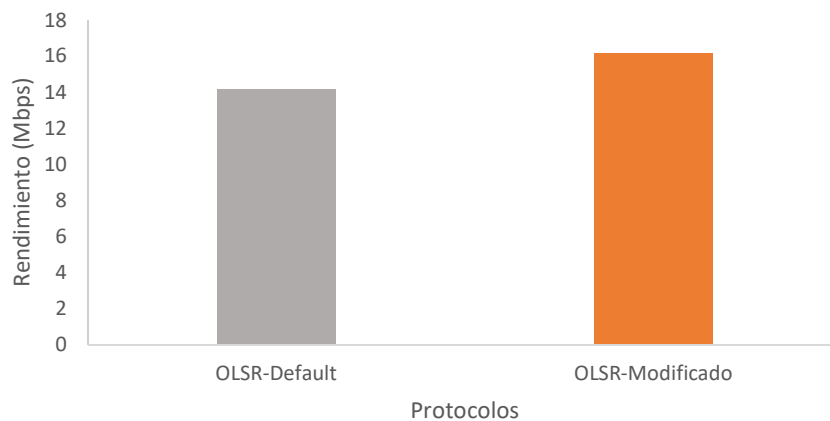


Fig. 28. Comparación de rendimiento entre OLSR modificado y por defecto para el escenario 50 nodos.

En la Fig. 29 se observa la gráfica de rendimiento promedio para el escenario de 70 nodos. En esta se ve que el rendimiento de OLSR modificado sigue presentando mayor desempeño que el OLSR por defecto. Los valores de promedio que se obtienen son 19.30 Mbps para el OLSR modificado y 14.72 para el OLSR por defecto.

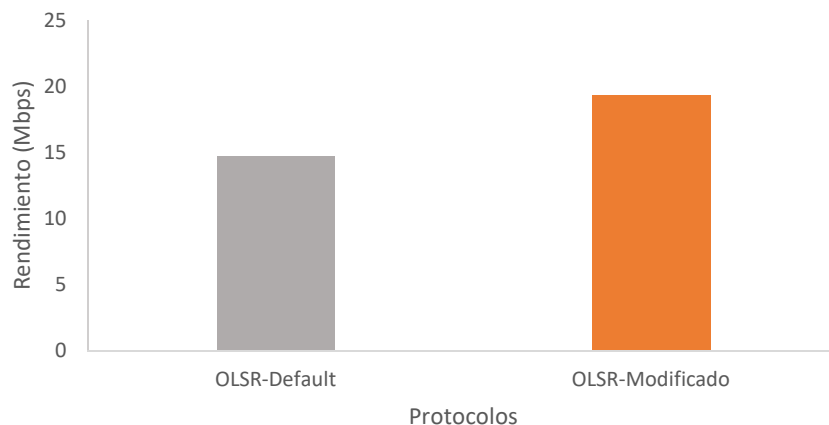


Fig. 29. Comparación de rendimiento entre OLSR modificado y por defecto para el escenario 70 nodos.

De los resultados anteriores se establece que, el mejor valor para el parámetro HELLO_Interval es de 1s, que es 1s menos al valor dictado por el RFC del protocolo. Con esta variación se logra que el protocolo envíe los mensajes HELLO más rápido permitiendo descubrir a sus vecinos de forma ágil y asimismo seleccionando al que será el MRP. Además, ayuda a reducir la cantidad de tráfico de enrutamiento.

5.2.2 Retardo.

En la Fig. 30 se muestra la gráfica de retardo promedio para el escenario con 50 nodos. Se puede apreciar que el retardo del protocolo OLSR modificado es mucho menor al que presenta en la configuración por defecto. Los valores obtenidos son 0.27 s para el OLSR por defecto y 0.24 s para el OLSR modificado.

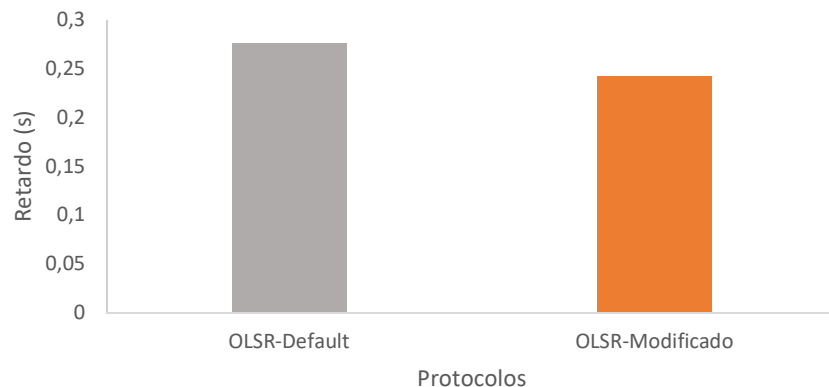


Fig. 30. Comparación de retardo entre OLSR modificado y por defecto para el escenario 50 nodos.

En la Fig. 31 se observa la gráfica de retardo promedio para el escenario con 70 nodos. Al igual que en el escenario 1, se puede ver que el OLSR modificado tiene un menor retardo en comparación al OLSR por defecto. Así se tiene que, el valor del retardo promedio para el OLSR modificado es de 0.09 s y para el OLSR por defecto es de 0.39 s.

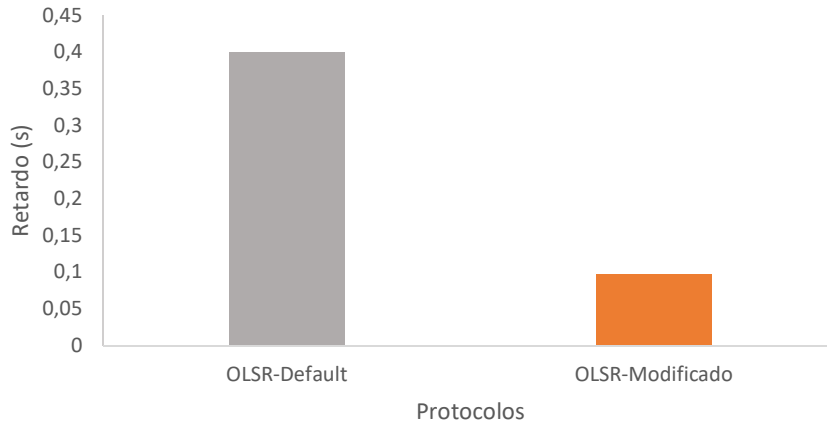


Fig. 31. Comparación de retardo entre OLSR modificado y por defecto para el escenario 70 nodos.

Por lo tanto, de acuerdo a los resultados anteriores se tiene que, el cambio realizado en el HELLO_Intreval también mejora el retardo de OLSR, esto se debe a que los mensajes HELLO se generan y envían más rápido permitiendo mayor agilidad para conocer el estado de enlace e información de los vecinos y mantener actualizada la tabla de enrutamiento.

5.2.3 Carga.

En la Fig. 32 se muestra la gráfica de carga promedio para el escenario con 50 nodos. Se puede ver el OLSR modificado presenta un mejor desempeño de carga en comparación con el OLSR por defecto. El promedio que obtienen cada uno es 207.95 Mbps y 220.73 Mbps respectivamente.

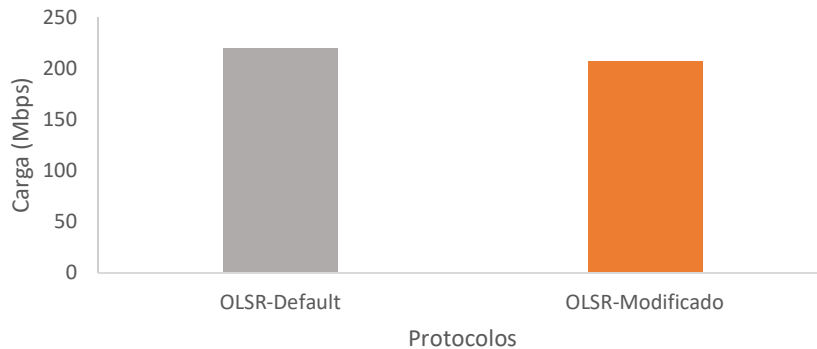


Fig. 32. Comparación de carga entre OLSR modificado y por defecto para el escenario 50 nodos.

En la Fig. 33 se observa la gráfica de carga promedio para el escenario con 70 nodos. Se puede ver que el OLSR modificado sigue teniendo menor carga que el de configuración por defecto. Los valores promedio que alcanzan son de 339.55 Mbps para el OLSR por defecto y 297 Mbps para el modificado.

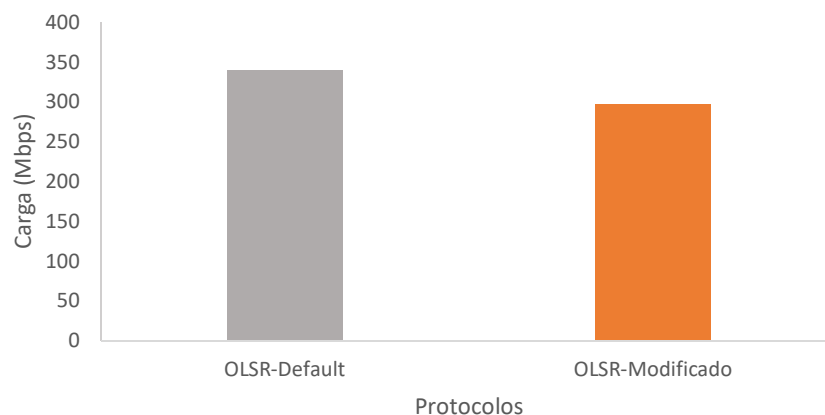


Fig. 33. Comparación de carga entre OLSR modificado y por defecto para el escenario 70 nodos.

De acuerdo a los resultados anteriores se tiene que la modificación realizada ayuda a que la carga sea menor en comparación con los resultados obtenidos usando los parámetros por defecto del protocolo. Como se ha mencionado anteriormente, al reducir el intervalo de tiempo de envío de mensajes HELLO se reduce también la cantidad de tráfico de enrutamiento, es por esto que, el protocolo puede administrar de mejor manera el tráfico multimedia que está cursando por la red teniendo una menor cantidad de paquetes descartados.

5.2.4 Intentos de retransmisión.

En las Fig. 34 se presenta la gráfica de intentos de retransmisión para el escenario con 50 nodos. Se observa que el protocolo OLSR modificado tiene menos intentos de retransmisión de paquetes en comparación con los datos obtenidos al utilizar la configuración por defecto. Así se tiene que, para el OLSR modificado alcanza un valor promedio de 0.67 paquetes mientras que para el OLSR por defecto tiene un valor promedio de 0.74 paquetes.

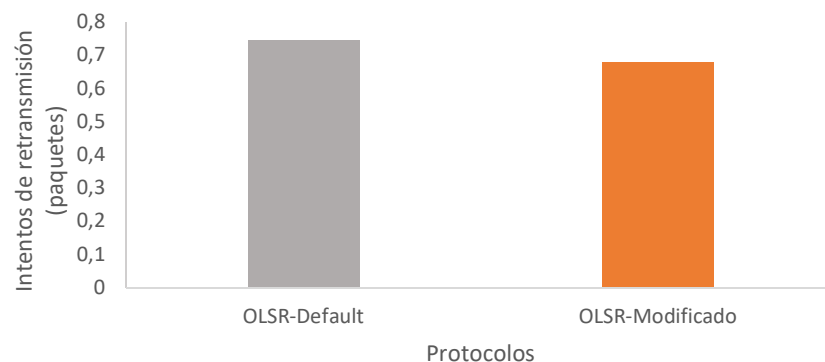


Fig. 34. Comparación de intentos de retransmisión entre OLSR modificado y por defecto para el escenario 50 nodos.

En la Fig. 35 se presenta la gráfica de intento de retransmisión para el escenario con 70 nodos. Se puede observar que, al igual que el anterior escenario, el OLSR modificado tiene un mejor desempeño en los intentos de retransmisión con un valor de 0.83 paquetes a diferencia de OLSR por defecto que tiene 1.10 paquetes.

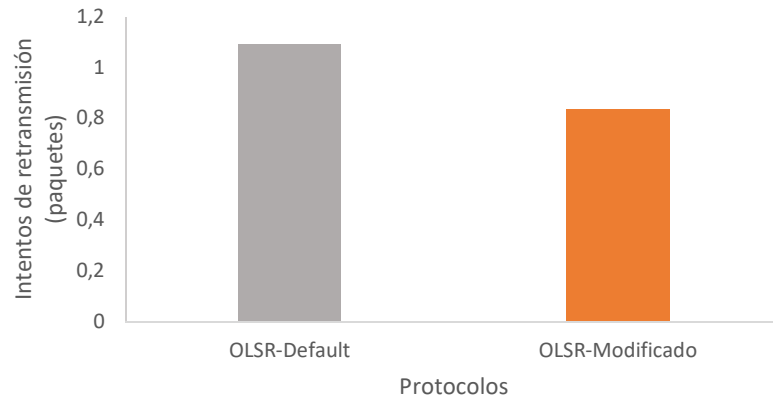


Fig. 35. Comparación de intentos de retransmisión entre OLSR modificado y por defecto para el escenario 70 nodos.

De los resultados anteriores se tiene que la modificación realizada al parámetro de configuración del protocolo ayuda a minimizar los intentos de retransmisión, esto se debe a que se mejora la métrica de carga como se vio en el apartado anterior. Es decir, los intentos de retransmisión de paquetes serán menores ya que con una menor carga el protocolo presenta un mejor manejo del tráfico en la red, por lo tanto, los paquetes descartados serán mínimos.

6. Conclusiones y Trabajo Futuro.

6.1 Conclusiones.

En este trabajo se pudo evaluar el impacto sobre el rendimiento de los protocolos reactivos y proactivos para un tráfico multimedia (video) en una red WSN permitiendo identificar que protocolo presenta mejores resultados frente a las métricas de QoS elegidas.

Analizando los resultados obtenidos mediante las simulaciones hechas con Opnet Modeler, se puede establecer que el protocolo de enrutamiento OLSR es el más eficiente en el entorno de simulación WMSN diseñado, en comparación con los protocolos reactivos AODV y DSR. El desempeño mostrado por OLSR se debe a sus características proactivas.

Asimismo, se pudo comprobar que el cambio realizado en el parámetro de configuración del protocolo OLSR mostró buenos resultados, ayudando a mejorar las métricas de rendimiento planteadas para el entorno de red elegido.

En base a los resultados del trabajo, se puede considerar al protocolo de enrutamiento OLSR como una opción para aplicaciones de redes de sensores con tráfico multimedia, ya que su desempeño en las métricas de rendimiento está acorde a los parámetros que exigen dichas aplicaciones, esto también dependerá de la densidad de nodos en la red.

6.2 Trabajo futuro.

Como trabajo futuro se propone la implementación en un entorno real del protocolo OLSR con el cambio realizado en su configuración validando así los resultados que se obtuvieron mediante las simulaciones.

También, es importante seguir realizando investigación, pruebas, simulaciones que permitan conocer en que otros parámetros se puede hacer modificaciones para optimizar y mejorar un protocolo de enrutamiento de acuerdo al escenario en donde vaya a ser empleado y a las métricas relevantes de cada escenario.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Chikh and M. Lehsaini, "Multipath routing protocols for wireless multimedia sensor networks: A survey," *Int. J. Commun. Networks Distrib. Syst.*, vol. 20, no. 1, pp. 60–81, 2018.
- [2] Shio Kumar Singh, M P Singh, and D K Singh, "Most Cited Survey Article in Computer Science And Engineering," pp. 561–582, 2019.
- [3] M. I.Gaber, I. I.Mahmoud, O. Seddik, and A. Zekry, "Comparison of Routing Protocols in Wireless Sensor Networks for Monitoring Applications," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 113, no. 12, pp. 1–7, 2015.
- [4] "rfc3561." [Online]. Available: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc3561#page-7>. [Accessed: 01-Sep-2021].
- [5] "Optimized Link State Routing - Wikipedia, la enciclopedia libre." [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Optimized_Link_State_Routing. [Accessed: 01-Sep-2021].
- [6] T. I. P. Darsini, "Performance Analysis of Manet Routing Protocols - DSDV, DSR, AODV, AOMDV using NS-2," vol. 15, no. 6, 2015.
- [7] D. Eldin and M. Ahmed, "Performance Evaluation of AODV , OLSR , and GRP for Transmitting Video Conferencing over MANETs," vol. 18, no. 4, pp. 45–51, 2020.
- [8] A. Mateen, "Comparative Analysis of Wireless Sensor Networks with Wireless Multimedia Sensor Networks," pp. 2015–2018, 2017.
- [9] J. S. Shaik, "Simulation-Based Comparative Study of Routing Protocols for Wireless Ad-Hoc Network," no. September, pp. 1–68, 2014.
- [10] S. Ali and A. Ali, "Performance Analysis of AODV , DSR and OLSR in MANET Department of Electrical Engineering with emphasis on Telecommunication Blekinge Institute of Technology , Sweden 2009 By Supervisor : Examiner :," pp. 1–59, 2009.
- [11] M. Ángel, T. Diosdado, P. Marta, and L. Fernández, "Sistema de Autoreconfiguración para Redes Ad Hoc," 2005.
- [12] R. Sumathi and M. G. Srinivas, "A survey of QoS based routing protocols for wireless sensor networks," *J. Inf. Process. Syst.*, vol. 8, no. 4, pp. 589–602, 2012.
- [13] F. Al-Turjman and A. Radwan, "Data Delivery in Wireless Multimedia Sensor Networks: Challenging and Defying in the IoT Era," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 24, no. 5, pp. 126–131, 2017.
- [14] M. Z. Hasan, H. Al-Rizzo, and F. Al-Turjman, "A Survey on Multipath Routing Protocols for QoS Assurances in Real-Time Wireless Multimedia Sensor Networks," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 19, no. 3, pp. 1424–1456, 2017.
- [15] V. Bhandary, A. Malik, and S. Kumar, "Routing in Wireless Multimedia Sensor Networks : A Survey of Existing Protocols and Open Research Issues," vol. 2016, 2016.
- [16] R. Kumar and M. Sachdeva, "Performance Evaluation of AODV Protocol in MANET Using OPNET."
- [17] J. Lloret, M. Garcia, J. Tomás, and F. Boronat, "GBP-WAHSN: A group-based protocol for large wireless ad hoc and sensor networks," *J. Comput. Sci. Technol.*, vol. 23, no. 3, pp. 461–480, 2008.
- [18] A. Alanazi and K. Elleithy, "Real-time QoS routing protocols in wireless multimedia sensor networks: Study and analysis," *Sensors (Switzerland)*, vol. 15, no. 9, pp. 22209–22233, 2015.
- [19] N. Z. Cedeño, O. P. Asqui, and E. E. Chaw, "The performance of QoS in wireless sensor networks," no. June, pp. 19–22, 2019.

Estudio comparativo de protocolos de enrutamiento de WMSN.

- [20] V. U. B, P. Thakkar, and V. Parikh, "Routing Protocols for Wireless Multimedia Sensor Networks : Challenges and Research," vol. 2, no. Ictis 2017, 2018.
- [21] D. K. Singh, "Routing Protocols in Wireless Sensor Networks – A Survey," no. June, 2016.