

# Protocolos de encaminamiento para Redes malladas Inalámbricas: un estudio comparativo

Eduardo Rodríguez, Claudia Deco, Luciana Burzacca, Mauro Petinari

Departamento de Investigación Institucional, Facultad de Química e Ingeniería,  
Universidad Católica Argentina,  
2000 Rosario, Argentina  
{erodriguez, cdeco, lburzacca, mpetinari}@uca.edu.ar

**Abstract.** La principal función de los protocolos de encaminamiento para redes malladas inalámbricas es seleccionar el camino entre el nodo fuente y destino de una manera rápida y fiable. Estas redes pueden utilizar los protocolos de encaminamiento de otras redes ya existentes, pero modificándolos para que funcionen correctamente con ellas. En este trabajo se analizan distintos protocolos de encaminamiento y se presentan sus descripciones para luego compararlos de acuerdo al Tipo de Protocolo, Alcance de transmisiones y Métrica de ruteo.

**Keywords:** Redes Malladas Inalámbricas, Redes Mesh, Protocolos.

## 1 Introducción

Las redes malladas inalámbricas (Wireless Mesh Networks) han tenido un gran éxito en la historia de las ciencias de la computación y de la ingeniería. Sus aplicaciones son numerosas en el dominio industrial, militar y comercial. Son en particular un dominio rápidamente creciente y esto trae muchos desafíos. En particular, un desafío difícil e inmediato es el enrutamiento efectivo debido a la volatilidad típica de tráfico en topologías complejas. Muchos estudios han intentado resolver el problema de enrutamiento mediante métodos heurísticos, pero este enfoque no proporciona los límites de cuán bien se asignan los recursos. Sin embargo, este tipo de investigación generalmente asume que el tráfico de demandas de la red es estático y conocido de antemano. Como resultado, estos algoritmos tienden a sufrir un desempeño pobre. De hecho, trabajos recientes han demostrado que el tráfico inalámbrico es muy variable y difícil de caracterizar. Comprender el impacto de la incertidumbre de la demanda en el ruteo y el diseño de algoritmos de enrutamiento para proporcionar robustez, es relativamente un problema de investigación aún incipiente.

Las redes Mesh abiertas son redes ad-hoc descentralizadas que no se basan en infraestructuras previas, como routers o puntos de acceso. En su lugar, cada nodo participa en el enrutado, siendo él mismo un router y enviando datos de otros, y de ese modo la determinación de las rutas se hace dinámicamente, basándose en la

conectividad que va surgiendo. Para ello, necesitan de protocolos que viabilicen ese comportamiento.

Es de suma importancia el análisis de la performance de diferentes protocolos de comunicación que deben interactuar con diversos dispositivos que hacen al enlace de los nodos de la red a los fines de establecer la integración tecnológica disponible. No menos importante es la determinación de la relación costo / beneficio de una determinada implementación. El conocimiento en tiempo real de la configuración topológica de la red, mediante el uso de distintas herramientas de hardware y software, nos permite el monitoreo del comportamiento y sus alcances. Todo ello posibilita optimizar la red para que brinde un mejor servicio. En general, la optimización se basa en lograr el mejor camino para enrutar los paquetes de datos, sin demoras o con una demora mínima en función de lograr un mejor aprovechamiento de los recursos utilizados.

## **2 Conceptos Básicos**

Una Red Mallada Inalámbrica (Mesh) es una red compuesta por nodos organizados en una topología de malla. Son redes en las cuales la información es pasada entre nodos en una forma de todos contra todos y en una jerarquía plana, en contraste a las redes centralizadas. Toda variación no prevista en el diseño, puede cambiar su topología, afectar a la distribución de carga de la red y al rendimiento general [1].

Las ventajas que presenta frente a otras redes son el bajo costo al utilizar enlaces inalámbricos, la facilidad de aumentar el área de cobertura incluyendo nuevos nodos, ya no es necesario cambiar infraestructuras como en el caso de las redes cableadas, la robustez que presenta ante fallos al disponer de rutas alternativas y la capacidad de transmisión que permiten aplicaciones a los usuarios en tiempo real de voz, video y datos. Por tanto se puede incluir un nuevo nodo en cualquier momento y lugar. Como consecuencia el costo de este tipo de redes inalámbricas es mucho menor que en las redes cableadas, ya que no hay que invertir en materiales de cableado y en estudios enfocados a la unión más óptima de los nodos. En la realidad, la topografía raramente viene en forma de anillo, línea recta o estrella. En terrenos difíciles, sean remotos, rural o urbano, donde no todos los usuarios ven uno o algunos puntos centrales, lo más posible es que el usuario solo vea a uno o más usuarios vecinos.

En una red mallada un conjunto de nodos se comunican entre sí de manera directa transmitiendo la información de nodo a nodo hasta que llega a su destino final. La información atraviesa múltiples saltos y no hay necesidad de una unidad centralizada que controle el modo de transmisión. La comunicación se realiza entre los nodos directamente. Cada nodo puede ser origen y destino de los datos o encaminar la información de otros nodos. Las redes malladas inalámbricas son robustas al tener varios caminos disponibles entre el nodo origen y el destino, de modo que el servicio no se ve afectado por la caída de un nodo o por la ruptura de un enlace.

Dado que la forma de operar que tienen estas redes consiste en que los datos pasan de un nodo a otro hasta que llegan a su destino, los algoritmos de ruteo dinámico necesitan que cada nodo comunique información de ruteo a otros nodos en la red. Cada nodo determina qué hacer con los datos que recibe, ya sea pasarlos al próximo

nodo o quedárselos, dependiendo del protocolo utilizado. El algoritmo de ruteo usado siempre debería asegurar que la información tome el camino más apropiado de acuerdo a una métrica. Una métrica es el valor por el cual los protocolos determinan cuál ruta tomar o con cuál nodo comunicarse.

Una de las debilidades y limitaciones de las redes Mesh es la latencia (el retardo de propagación de los paquetes), que crece con el número de saltos. Los efectos del retardo son dependientes de la aplicación. Por ejemplo los correos electrónicos no son afectados por grandes latencias, mientras que los servicios de voz son muy sensibles a los retardos. Otra debilidad es la disminución del rendimiento en todas las redes multisalto, esto es, a mayor número de saltos, se tiene menor rendimiento.

Con respecto al hardware, prácticamente cualquier nodo inalámbrico puede convertirse en un nodo Mesh simplemente mediante modificaciones de software.

## **PROTOCOLOS DE ENCAMINAMIENTO**

La principal función de los protocolos de encaminamiento es seleccionar el camino entre el nodo fuente y destino de una manera rápida y fiable. Las redes malladas inalámbricas pueden utilizar los protocolos de encaminamiento de otras redes ya existentes, pero modificándolos para que funcionen correctamente con ellas. Si se elige esta opción, el protocolo de encaminamiento modificado debe asegurar las principales características que son el número de saltos, el rendimiento, la tolerancia a fallos, el equilibrado de carga, la escalabilidad y el soporte adaptativo.

Otra opción es diseñar un nuevo protocolo de encaminamiento para las redes malladas inalámbricas. Esta solución es más costosa ya que cuando se desarrolla un nuevo protocolo hay que probarlo, modificarlo y solucionar los fallos. Por tanto el tiempo de realización es mayor que si nos centramos en un protocolo ya experimentado. Podemos clasificar los protocolos de encaminamiento en base al alcance de las transmisiones, al modo que descubren las rutas y en base al algoritmo que implementan.

En base al alcance de las transmisiones, se clasifican en unicast y multicast. Los protocolos unicast transmiten los paquetes de datos uno a uno. El envío de datos se realiza desde un único emisor a un único receptor, mientras que en los multicast el método de transmisión es de uno-a-muchos, es decir, se envían los paquetes de datos a múltiples destinos simultáneamente. Un caso especial es la transmisión broadcast, donde se envía la información a todos los nodos de la red.

Basándose en el modo que descubren las rutas, hay dos grandes grupos: los que se basan en la topología de la red o los que se basan en la posición de los nodos. A su vez, los protocolos que se basan en la topología se subdividen en reactivos y proactivos. Los protocolos proactivos tienen un conocimiento exhaustivo del estado de la red, de modo que cuando se necesita una ruta, ésta ya es conocida y está lista para usarse de manera inmediata. En escenarios cambiantes no es muy aconsejable, porque se precisa que las tablas de encaminamiento estén actualizadas mediante el envío continuo de mensajes. Esto provoca una sobrecarga de mensajes de control en la red. Los protocolos reactivos sólo obtienen información de encaminamiento cuando es necesario. En consecuencia la sobrecarga de la red es menor que en los protocolos proactivos, mientras que el tiempo en establecer la comunicación aumenta.

También existen protocolos que combinan los anteriores y son los que se

denominan protocolos de encaminamiento híbridos. Aprovechan las ventajas de cada uno de los protocolos: utiliza el encaminamiento proactivo cuando los nodos están cerca y utiliza el encaminamiento reactivo cuando los nodos están lejos. También se utiliza el encaminamiento reactivo cuando los caminos son utilizados en pocas ocasiones.

Por último, se pueden clasificar a los protocolos de encaminamiento en base al algoritmo que implementan, que puede ser estado del enlace o vector de distancias. En los protocolos de estado de enlace todos los nodos tienen una tabla con el mapa de red completo. En esta tabla se define el enlace y la distancia para llegar de un nodo a otro y cada nodo envía cada cierto tiempo la información de cómo llegar a sus vecinos. En los protocolos de vector de distancia cada nodo conoce los vecinos conectados a él y los costes de dichos enlaces. Cada cierto tiempo el nodo transmite su tabla de encaminamiento a sus vecinos y éstos recalculan su tabla de encaminamiento si existe nueva información. Los nodos no conocen toda la topología de la red.

### 3. Protocolos Analizados

Cada protocolo tiene sus características propias, objetivos y usa distintas técnicas. En este trabajo se analizan distintos protocolos que se describen a continuación.

**OLSR:** Optimized Link State Routing Protocol ([2], [3]) es un protocolo proactivo que se basa en el estado de los enlaces. Se utiliza la técnica MPR (Multipoint Relaying) que consiste en elegir un conjunto de nodos vecinos que cubran el acceso de nodos distantes a 2 saltos o más. Se adapta bien en redes con un gran número de nodos y de alta movilidad. El formato del paquete es igual para todos los datos del protocolo, así es fácil la extensión del mismo. Para saber el estado de un enlace se envían mensajes de HELLO. Cada nodo tiene asociado a cada vecino el estado del enlace. Cuando un nodo detecte la aparición de un nuevo vecino se debe incluir una nueva entrada a la tabla de encaminamiento e incluir el estado del enlace. Además si se detecta una variación en el estado de un enlace, se debe comprobar en la tabla de encaminamiento que el cambio ha sido reflejado. Si no se recibe información de un enlace durante un tiempo determinado se elimina de la tabla de encaminamiento el enlace y el vecino correspondiente. Para calcular las rutas, cada nodo contiene una tabla de encaminamiento con el estado del enlace y el nodo. El estado del enlace se mantiene gracias al intercambio de mensajes periódicos. La tabla de encaminamiento se actualiza si se detecta algún cambio en el campo de enlace, de vecino, de vecino de dos saltos o en la topología.

**BATMAN:** Better Approach to Mobile Adhoc Networks ([4], [5]) es un protocolo de encaminamiento relativamente reciente y que continúa bajo desarrollo con el objeto de reemplazar a OLSR. La principal innovación que introduce es, como su propio nombre indica, un diseño especialmente enfocado a las redes móviles inalámbricas. Resulta evidente que, cuando hablamos de dispositivos inalámbricos de bajo consumo y baja potencia computacional, como pueden ser los routers mesh en un despliegue urbano, por ejemplo, la utilización de OLSR se hace dificultosa dado que obliga a

mantener información sobre la topología completa de una red en constante cambio y, por consiguiente, a encaminar los datos basándose en una tabla de encaminamiento altamente volátil y poco fiable. BATMAN pretende resolver este aspecto mediante la distribución del conocimiento sobre la topología de la red, de manera que cada nodo almacena y mantiene solamente la información relativa al siguiente salto para cada nodo destino. De este modo, los nodos no almacenan las rutas completas extremo a extremo y los cambios en la topología sólo afectan localmente a los nodos cercanos en lugar de globalmente. Es un protocolo de encaminamiento dinámico y proactivo para redes malladas ad-hoc que utiliza las tablas de encaminamiento para las decisiones de encaminamiento. Este protocolo no calcula rutas completas entre un nodo origen y destino sino que selecciona un nodo de salto para utilizarlo como gateway hacia el destino. Encuentra otros nodos y define el mejor vecino para llegar a ellos. Además hace un seguimiento de los nuevos nodos e informa a sus vecinos de su existencia. Es decir, cuando un nodo se incorpora a la red envía un paquete broadcast para avisar de su existencia. Este mensaje se va distribuyendo por toda la red. El protocolo mantiene la información sobre la existencia de los nodos mientras sean accesibles. Como no hay necesidad de encontrar o calcular la ruta completa, la implementación es muy rápida y eficiente.

Los paquetes que transfiere BATMAN son muy pequeños. Cada nodo percibe y mantiene sólo la información sobre el próximo mejor salto hacia todos los otros nodos. De ahí que el conocimiento global acerca de los cambios en la topología local se convierte innecesario. El algoritmo, está diseñado para tratar con redes que están basadas en enlaces no confiables, el código fuente es liberado bajo la licencia GPL.

**DSDV:** Destination Sequenced Distance Routing [6] es un protocolo unicast proactivo adaptado del tradicional protocolo RIP (Routing Information Protocol). Añade al protocolo RIP el número de secuencia, que es un nuevo atributo que se incluye en la tabla de encaminamiento. Esta información es útil para detectar la información más reciente y para evitar bucles.

**OSPF:** Open Short Path First [7] es un protocolo de encaminamiento proactivo basado en el estado de enlace. Se puede utilizar en redes pequeñas y grandes. En redes grandes se utiliza el diseño jerárquico. Varias zonas se conectan a un área de distribución o área cero que se denomina backbone. Definiendo estas áreas se consiguen las siguientes ventajas: Reduce el gasto de procesamiento de información, acelera la convergencia, limita la inestabilidad de la red a un solo área y mejora el rendimiento. Cada nodo contiene la información de los nodos vecinos con su correspondiente estado de enlace y esta información es enviada a todos los vecinos. De modo que un nodo OSPF publica sus estados de enlace y los enlaces recibidos. Así cada nodo del área está informado de la base de datos y vecinos del resto de nodos. Para reducir el número de mensajes de encaminamiento entre los vecinos de la misma red, se selecciona un router designado y un router designado de respaldo que sirven como intercambiador de mensajes de información de encaminamiento. Este no fué concebido para trabajar con redes inalámbricas sino para redes cableadas.

**PWRP:** Predictive Wireless Routing Protocol [8] es el único protocolo de encaminamiento proactivo desarrollado específicamente para redes inalámbricas. Además de validar el estado del enlace, como todos los demás protocolos, valida la calidad del enlace. Este protocolo recalcula 4 veces por segundo el estado de los

enlaces de toda la red mallada y selecciona la ruta en función del estado de la red en cada momento. Este funcionamiento soporta redes dinámicas y proporciona la ruta más óptima en cada momento.

**AODV:** Ad hoc On-Demand Distance Vector [9] es un protocolo diseñado para redes móviles. Permite el encaminamiento dinámico, autoconfigurable y multi-salto entre nodos. Se trata de un protocolo reactivo y unicast que se construye sobre el protocolo proactivo DSDV. La mejora que realiza sobre este protocolo es que minimiza el número de broadcast requeridos para crear rutas. Esto es así porque al tratarse de un protocolo bajo demanda los nodos que no están en el camino elegido no tienen que mantener la ruta ni participar en el intercambio de las tablas de encaminamiento. Cuando un nodo quiere transmitir y no encuentra una ruta válida en su tabla de encaminamiento comienza con el proceso de descubrimiento de rutas. Entonces se realiza un broadcast de mensajes a sus vecinos hasta que alcance al destino o a algún nodo intermedio que tenga la ruta hacia el destino creada recientemente. Para identificar si las rutas son recientes se utilizan los números de secuencia. Cuando el mensaje llega al destino o a un nodo con una ruta reciente hacia el destino, responde enviando un mensaje al vecino del que recibió el primer mensaje y todos los nodos intermedios anotan la ruta como la más reciente hacia el destino. Por este motivo AODV sólo puede emplearse en enlaces bidireccionales.

**BABEL:** [10] Es uno de los protocolos más nuevos. Está basado en el algoritmo vector de distancias y diseñado para ser robusto y eficiente tanto en redes cableadas como en redes inalámbricas malladas. Se origina sobre las ideas de Destination-Sequenced Distance Vector routing (DSDV) y Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing (AODV). Emplea varias técnicas para asegurar la ausencia de patologías de ruteo tal como ser bucles. Es proactivo, pero con características adaptativas (reactivo). Tiene múltiples estrategias para el cálculo de costos de los enlaces y métricas de ruteo.

**DSR:** Dynamic Source Routing [11] es un protocolo donde el encaminamiento se organiza desde el origen. Se incluye en la cabecera de los datos un campo de información sobre los nodos exactos que debe atravesar, de modo que no se necesita de mensajes periódicos y se disminuye la sobrecarga de mensajes de control. Además ofrece la posibilidad de obtener con una solicitud de una ruta, múltiples caminos hacia el destino. Cada nodo dispone de una memoria caché de rutas donde almacena las rutas ya descubiertas. Cuando un nodo quiere transmitir lo primero que hace es consultar su tabla de encaminamiento para saber si hay una ruta hacia ese destino. Si no tiene la ruta comienza el descubrimiento mediante broadcast de mensajes. Es un protocolo reactivo.

**TORA:** Temporally Ordered Routing Algorithm [12] es un protocolo de encaminamiento reactivo que se basa en ofrecer al nodo origen múltiples trayectos para alcanzar al destino. Este protocolo fue propuesto para redes muy dinámicas. Cuando se detecta un cambio en la topología se generan mensajes de control en un pequeño conjunto de nodos cercanos al cambio. Para utilizar estas funciones básicas define tres tipos de paquetes de control: QUERY (QRY), UPDATE (UPD), CLEAR (CLR). En las fases de creación y mantenimiento el paquete QRY se utiliza como petición y el paquete UPD se utiliza como respuesta. Cuando un nodo necesita

descubrir una ruta hacia un destino se hace un envío broadcast de mensajes QRY. El destino o un nodo que posea una ruta válida hacia el destino le responde con un mensaje UPD. El paquete CLEAR se utiliza como broadcast para eliminar las rutas inválidas cuando un nodo es inaccesible.

**GPSR:** [13] Greedy Perimeter Stateless Routing es uno de los primeros protocolos de encaminamiento basados en la posición de los nodos. Este protocolo reacciona rápidamente y es eficiente en redes móviles. Estudia la relación entre la posición y la conectividad geográfica de la red inalámbrica, utilizando las posiciones de los nodos para tomar decisiones de retransmisión de paquetes. Se utiliza en redes móviles vehiculares. Para llevar a cabo el enrutamiento de los paquetes de datos desde un nodo origen hacia un determinado destino, no establece de antemano una ruta por la cual circularán todos los paquetes, sino que cada nodo intermedio decide hacia qué nodo encaminará cada paquete recibido en base a la localización del destino final y la posición de sus nodos vecinos. Para tomar esta decisión, distingue dos modos de encaminamiento: greedy forwarding y perimeter forwarding. Con el primer modo (el empleado por defecto) el nodo transmite el paquete de datos a su nodo vecino que más cerca se encuentre del destino, de forma que el paquete se irá aproximando progresivamente al destino final. Sin embargo, cuando un nodo no tenga ningún vecino más próximo al destino que él mismo, cambiará el modo de enrutamiento a perimeter forwarding e intentará encaminar el paquete de datos de manera que bordee la zona en la que no había ningún nodo disponible. Independientemente del modo de encaminamiento empleado, el proceso se repite en cada nodo retransmisor hasta que el paquete alcanza el nodo destino. Los protocolos basados en la posición normalmente muestran problemas de enrutamiento en escenarios con presencia de edificios, obstáculos, bifurcaciones e intersecciones.

**HWMP:** [14] Es el protocolo de rutado que especifica el nuevo estándar IEEE 802.11s para redes malladas que se aprobó en 2011. Es un protocolo híbrido que tiene un conocimiento parcial de la topología, es decir conoce sólo a los vecinos. Este protocolo debe ser implementado obligatoriamente por todos los nodos mesh, aunque se permite usar protocolos adicionales. La principal ventaja de este estándar es que introduce un mecanismo de enrutamiento en la capa 2 (MAC), haciéndolo aparecer como un sistema LAN (802.x) para protocolos de capas superiores. Además, define no sólo cuestiones de encaminamiento sino también aspectos como acceso al medio, sincronización o seguridad. El hecho de que el enrutamiento funcione en la capa de enlace de datos también se convierte en una desventaja, ya que de esta manera no se puede aprovechar la estructura jerárquica de protocolos de direccionamiento superiores, como IP, ni interconectar diferentes redes. Este hecho hace que sea complicado enrutar paquetes sólo con HWMP en redes mesh de tamaño medio o grande. Por ello se hace necesario combinar este protocolo con otros de capas superiores.

HWMP combina características del protocolo AODV y técnicas de enrutamiento basadas en árbol. La combinación de elementos proactivos y reactivos permite una óptima y eficiente selección de ruta en una amplia variedad de redes mesh (con y sin infraestructura). Utiliza un conjunto de mensajes basados en AODV, adaptados al direccionamiento MAC de la capa 2, para el descubrimiento de rutas reactivamente. Adicionalmente, se usan otros mensajes para, de forma proactiva, construir un árbol

de vectores distancia a partir de un nodo raíz. Este último método necesita que el nodo a partir del cual se calculará el árbol esté configurado como raíz. Pueden existir varios nodos raíz en una misma red. Esta técnica suele utilizarse para construir árboles de rutas hacia nodos que cumplen un papel especial dentro de la red, como por ejemplo los nodos que actúan como portal hacia otras redes. Se contemplan dos modos de funcionamiento, no excluyentes: bajo demanda y construcción proactiva de árbol. Este modo híbrido permite combinar concurrentemente componentes reactivos y proactivos. Permite elegir cualquier métrica o combinación de métricas.

#### **4. Estudio comparativo de los protocolos analizados**

Esta sección compara los protocolos analizados tomando los siguientes parámetros: Tipo de Protocolo, Alcance de transmisiones, Métrica de ruteo y si es de Uso Libre o es Propietario.

*Tipos de Protocolo:* una de las principales características que deben ser consideradas al momento de elegir un protocolo es determinar si es reactivo, proactivo o basado en la posición. Los proactivos tienen un conocimiento exhaustivo del estado de la red, de modo que cuando se necesita una ruta, ésta ya es conocida y está lista para usarse de manera inmediata. En escenarios cambiantes no es muy aconsejable, porque se precisa que las tablas de encaminamiento estén actualizadas mediante el envío continuo de mensajes. Esto provoca una sobrecarga de mensajes de control en la red. Los protocolos reactivos sólo obtienen información de encaminamiento cuando es necesario. En consecuencia la sobrecarga de la red es menor que en los protocolos proactivos, mientras que el tiempo en establecer la comunicación aumenta. También existen protocolos que combinan los anteriores y son los que se denominan protocolos de encaminamiento híbridos. Utilizan las ventajas de cada uno de los protocolos: el encaminamiento proactivo cuando los nodos están cerca y el encaminamiento reactivo cuando los nodos están lejos. También se utiliza el encaminamiento reactivo cuando los caminos son utilizados en pocas ocasiones. La mayoría de los protocolos analizados son proactivos: Babel, BATMAN, DSDV, GPSR, OLSR, OSPF y PWRP. Los protocolos reactivos son AODV, DSR y TORA, mientras que el estándar 802.11s propone utilizar un protocolo híbrido.

*Alcance de las transmisiones:* otra característica a considerar es si son unicast o multicast. En los protocolos unicast el envío de datos se realiza desde un único emisor a un único receptor, mientras que en los multicast el método de transmisión es de uno a muchos. La mayoría de los protocolos analizados son unicast: AODV, DSDV, DSR, OLSR, OSPF, PWRP y TORA. Hay tres protocolos que son multicast: Babel y BATMAN. El protocolo propuesto en el estándar 802.11s combina ambas características. El protocolo GPSR es geocast, lo cual se refiere a la entrega de información a un grupo de destinos en una red identificada por sus ubicaciones geográficas. Es una forma especializada de transmisión multicast utilizada por algunos protocolos de enrutamiento para redes móviles ad hoc.

*Métrica de ruteo:* Cuando un protocolo de enrutamiento aprende sobre más de una ruta para llegar a un mismo destino, debe poder diferenciar cuál es la más conveniente



para llegar a ese destino. Una métrica es una forma de evaluar cuál ruta es la más conveniente basándose en uno o varios parámetros. Cada protocolo de enrutamiento usa su propia métrica. Por ejemplo, DSDV, DSR y OLSR usan el conteo de saltos y AODV usa una combinación de ancho de banda y conteo de saltos. La métrica varía entre protocolos y no son comparables, esto implica que dos protocolos pueden elegir dos rutas distintas hacia el mismo destino. Por ejemplo OLSR elegirá la ruta que implique menos saltos entre routers, mientras que OSPF elegirá aquella que presente el mayor ancho de banda aun cuando esta ruta lleve más saltos. PWRP calcula dinámicamente los enlaces y selecciona por el camino más óptimo. Otros casos especiales son: TORA que construye múltiples caminos utilizando grafos acíclicos dirigidos, BATMAN que busca el próximo mejor vecino para cada destino y GPSR utiliza la posición geográfica para reenviar paquetes a los nodos más cercanos. Babel y HWMP (802.11s), al ser los más nuevos, permiten configurar y combinar métricas.

*Uso Libre o es Propietario:* En cuanto a su distribución la mayoría son de licencia abierta, mientras que pocos, como PWRP y TORA son propietarios.

**Tabla 1. Comparación de protocolos analizados.**

Protocolo	Tipo de Protocolo	Alcance de transmisiones	Métrica de ruteo	Uso Libre/ Propietario
AODV	Reactivo	Unicast	Camino más rápido y más corto	Libre
Babel	Proactivo	Multicast	Configurable. Por default: Calidad del enlace	Libre
BATMAN	Proactivo	Multicast	próximo mejor salto para cada destino	Libre
DSDV	Proactivo	Unicast	Camino más corto	Libre
DSR	Reactivo	Unicast	Camino más corto	Libre
GPSR	Proactivo. Basado en la posición	Geocast	Utiliza la posición geográfica para reenviar paquetes a nodos más cercanos	Libre
HWMP	Híbrido	Híbrido	Permite combinación de métricas	Libre
OLSR	Proactivo	Unicast	Camino más corto	Libre
OSPF	Proactivo	Unicast	Camino más corto	Libre
PWRP	Proactivo	Unicast	Camino más óptimo (recálculo dinámico de enlaces)	Propietario
TORA	Reactivo	Unicast	Construcción de múltiples caminos utilizando DAG	Propietario

## 5. Conclusiones

Las principales ventajas de las redes malladas son el bajo costo ya que se pueden

implementar en múltiples dispositivos que están al alcance de todos. Además existen diversos fabricantes que ofrecen soluciones viables para la implementación de este tipo de redes. Otro punto a favor es que las redes malladas inalámbricas son compatibles con las redes existentes. En este trabajo se analizaron distintos protocolos y se presentaron brevemente sus descripciones para luego compararlos de acuerdo al Tipo de Protocolo, Alcance de transmisiones, Métrica de ruteo, y si es de Uso Libre o es Propietario. Para elegir el mejor protocolo de encaminamiento hay que estudiar las necesidades de la red y sopesar si se necesita un protocolo que sea rápido en las comunicaciones aunque la transmisión de mensajes de control sea excesiva, o si por el contrario se prefiere una comunicación más lenta pero que no sobrecargue la red con mensajes de control. El dinamismo de la red es crítico para la toma de la decisión, ya que en una red muy dinámica los protocolos proactivos pierden atractivo porque las rutas que descubren están anticuadas para cuando van a usarse. Hay otros protocolos que quedaron fuera del objeto de estudio dado que no se pudo encontrar información detallada acerca de ellos.

## **Bibliografía**

1. Akyildiz, I., Wang, X., Wang, W.: Wireless mesh networks: a survey, In Computer Networks. Vol. 47. No.4 pp. 455--487 (2005)
2. Acuña Martínez, D., Roncallo Kelsey, R.: Redes inalámbricas enmalladas metropolitanas. pp. 46--91 ( 2006)
3. <http://www.olsr.org/> Consultado el 01/05/2012
4. Trujillo, M. B. Tesis Evaluación experimental de redes malladas basadas en el protocolo B.A.T.M.A.N. Universidad Carlos III de Madrid Ingeniería Técnica de Telecomunicación Especialidad en Sistemas de Telecomunicación. Proyecto Fin de Carrera.
5. <http://www.open-mesh.org/> Consultado el 01/05/2012
6. Perkins, C. , Bhagwat, P.: Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computing, In Proceedings of ACM SIGCOMM'94, London, UK, pp. 234 --244 (1994)
7. Coltun, R., Ferguson, D., Moy, J., Lindem: RFC 5340, OSPF for IPv6. IETF (2008)
8. [http://www.tropos.com/pdf/whitepapers/tropos\\_whitepaper\\_metro-scale.pdf](http://www.tropos.com/pdf/whitepapers/tropos_whitepaper_metro-scale.pdf) Consultado el 01/05/2012
9. Chakeres, I., Belding-Royer, E.: AODV Routing Protocol Implementation Design, In Proceedings of the International Workshop on Wireless Ad hoc Networking, Tokyo, (2004)
10. Chroboczek, J.: The Babel Routing Protocol, RFC 6126 (2011)
11. Johnson, D., Maltz, D., Hu, Y.: The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR). Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-09.txt (2003)
12. Park, V., Corson, S.: Temporally-ordered routing algorithm (TORA) version 1 functional specification, IETF Draft: draft-ietf-manet-tora-spec-04.txt (2001)
13. Karp, B., Kung, H.: GPRS: "Greedy perimeter stateless routing for wireless networks". In ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking Mobicom (2000)
14. IEEE 802.11s: Mesh Networking, Extended Service Set (ESS) (2011)