

REDES MESH, UNA ALTERNATIVA A PROBLEMAS DE COBERTURA DE RED: UNA REVISIÓN DE LITERATURA

MESH NETWORKS, AN ALTERNATIVE TO NETWORK COVERAGE PROBLEMS: A LITERATURE REVIEW.

MSc. Dewar Rico Bautista^a, Ing. Laura Sánchez Espinosa^b, Eimed Yesid Portillo Ballesteros^c

^a Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Grupo de investigación INGAP
Via Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia, dwracob@ufpso.edu.co

^b Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Grupo de investigación INGAP
Via Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia, lcsancheze@ufpso.edu.co

^c Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Grupo de investigación INGAP
Via Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia, eyportillo@ufpso.edu.co

Fecha de recepción: 02-05-2014

Fecha de aprobación: 15-10-2014

Resumen: El uso de las redes inalámbricas (WLAN) ofrece una alternativa de implementación más asequible con respecto a las redes cableadas, debido a su simplicidad en instalación y administración, permitiendo una adaptabilidad superior a la mayoría de estructuras o entornos. Las redes Mesh, las cuales son una derivación de las WLAN ofrecen muchas ventajas y beneficios, que satisfacen niveles de cobertura mayores, en lugares donde se desea mantener una conectividad constante con la red, pues dispone de múltiples nodos comunicados entre sí, que ayudan a conservar una conexión estable.

Este artículo aborda una revisión de los proyectos, artículos y trabajos que hacen referencia a las redes Mesh. Se hablará además de los diferentes protocolos de enrutamiento y estándares, los cuales permiten optimizar rutas para el intercambio de información en la red, y donde se especifican normas sobre el funcionamiento en una WLAN respectivamente.

Palabras clave: Arquitectura de Red, Estado del Arte, Estándares, Protocolo De Enrutamiento, Red Mesh.

Abstract: The usage of the wireless networks (WLAN) offers an implementation alternative more affordable in relation to wired networks, due to its ease in installation and administration, allowing a superior adaptability to most structures or environments. MESH networks, which are a derivation from WLAN, offer many advantages and benefits that satisfy higher coverage levels, in places where a constant connectivity with the network is desired, because it has multiple communicated nodes that help to preserve a steady connection, this article addresses

projects revision, articles and works that makes reference to MESH networks. It will talk also about the different routing protocols and standards, which allow optimizing routes to information exchange in the network, and where regulations are specified about the performance in a WLAN respectively.

Keywords: Network Architecture, State of the Art, Standard, Routing protocol, State of the Art, Mesh Network.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de redes de comunicación e Internet han sido herramientas imprescindibles tanto en empresas como instituciones educativas. A medida que el tiempo pasa, su utilización es cada vez más demandante por los usuarios o personas que acceden a los servicios ofrecidos en la nube o a compartir información entre compañeros de trabajo, sino que se está llevando a diferentes entornos como por ejemplo en el sector doméstico, lugares públicos, parques, sectores rurales, etc. (Rico, 2009) (Rico, 2008).

Para el uso de estas herramientas es necesario hacer un despliegue de redes de tal forma que permitan el acceso eficiente a la misma, pero a un costo menor. Se encuentran las redes LAN, las cuales tienen un costo mayor, a razón de los dispositivos de red, cableado y demás características necesarias para realizar su implementación. Además, son poco útiles en esta era tecnológica debido a su poca adaptabilidad para la movilidad, pues requieren estar en un entorno fijo. Las WLAN ofrecen diversas ventajas sobre las LAN, su implementación es de bajo costo, son aptas para la movilidad en terminales inalámbricos, característica muy importante teniendo en cuenta el uso masivo que se presenta hoy en día en cuanto a dispositivos móviles. Dicho lo anterior, existe una opción en cuanto a redes de fácil implementación y bajo coste: Las redes MESH, redes que ofrecen una solución a la cobertura y eficacia de conectividad a la red,

por ser descentralizada y poder conectarse fuera del rango del punto de acceso a través de un nodo móvil, el cual ampliará la cobertura brindada por el Access Point (Albarracín, 2007) como se muestra en la Figura 1.

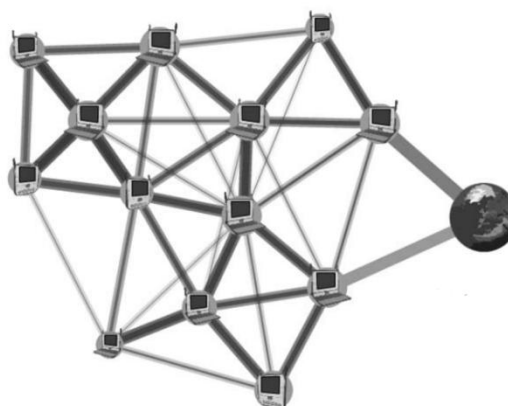


Figura 1. Configuración tipo Mesh.

Desde hace varias décadas se empezó a ver la necesidad de mantener comunicación entre diferentes equipos y así mismo entre diferentes lugares, debido a esto se popularizó el concepto de Red. (Tanenbaum, 2003) (Stalling, 2004) (Katz, 2013). Así pues, se determina que una red es un conjunto de equipos interconectados que permiten compartir información a través de medios guiados u ondas electromagnéticas. (Rico, 2007) (Rico, 2011).

A razón de la creciente popularidad de las redes cableadas (LAN), del avance tecnológico, del costo de implementación de las LAN y de los problemas que se pueden presentar a la hora de instalar redes

cableadas en edificios antiguos, cafeterías, etc., se empezaron a diseñar redes inalámbricas, estas cumplen la misma función de las redes anteriormente mencionadas, aunque tienen ciertas desventajas en cuanto a la velocidad de los datos e interferencias, sin embargo ofrecen una implementación a bajo costo pues la principal diferencia con una LAN es el medio usado para la transmisión de los datos. (Tanenbaum, 2003) (Lobo, 2012).

Dentro de las arquitecturas de red inalámbricas se encuentran las redes WiFi Ad-Hoc y las redes WiFi de Infraestructura. Las redes Ad-Hoc son redes formadas por nodos móviles que se conectan entre sí, no dependen de un control central establecido, es decir un nodo puede establecer un enlace inalámbrico con otro nodo si se encuentra en el mismo rango de cobertura. (Correa y Ospina, 2007) (Katz, 2013).

Las redes WiFi de Infraestructura son redes tipo cliente-servidor, donde los clientes son los ordenadores y el servidor es el punto de acceso a donde estos se conectan, las conexiones entre los equipos se da cuando estos se comunican por el mismo punto de acceso, es decir, no existe una conexión directa entre los ordenadores, a esto se le conoce como sistema centralizado. (Correa y Ospina, 2007).

El auge de las redes de comunicación fue tal, que se necesitó crear protocolos que permitieran tanto a los fabricantes de hardware y software generalizar la fabricación, implementación y comunicación de los dispositivos de red, para asegurar la interacción entre los mismos, ya que de otra forma estos no podrían compartir información; en este punto se cuenta con modelos y estándares tales como Modelo OSI, Modelo TCP/IP, IEEE 802.3, entre otros.

A continuación por medio de una revisión de literatura se encuentran los siguientes aportes, pilares del presente artículo.

2. PROTOCOLOS

Tanto para redes cableadas como para redes inalámbricas, existen diversos protocolos de enrutamiento clasificados como proactivos, reactivos o híbridos. Se conoce como proactivos a aquellos protocolos que establecen tablas de enrutamiento con una ruta para cada destino posible; los protocolos reactivos no generan una tabla de enrutamiento pues definen las rutas bajo demanda. Los protocolos de enrutamiento híbridos son una combinación de características de las dos clasificaciones anteriores.

Se define una variedad de protocolos de enrutamiento, software complejo, los cuales se ejecutan en simultaneidad junto a los routers, con el fin de especificar una tabla de enrutamiento con las mejores rutas para intercambiar información con otras redes. Se encuentran protocolos de enrutamiento dinámicos y estáticos tales como OSPF, OLSR, RIP, IGRP, IS-IS, entre otros, (Redes Inalámbricas en los países en Desarrollo, 2008), en la siguiente Figura 2 podemos ver una topología de red OLSR.

En el trabajo realizado por (Park and Kwon, 2011), se utiliza un protocolo de enrutamiento híbrido (HMR) el cual mejora la conectividad en las redes inalámbricas Mesh, y (Li *et al.* 2013), proponen nuevos protocolos de autenticación para apoyar el traspaso de manera más rápida en las WLAN IEEE 802.11. No es necesario que en el proceso de autenticación de traspaso el servidor sea involucrado. Caso contrario ocurre con los Access Point Mesh, que autentican directamente los clientes móviles utilizando entradas, evitando las

comunicaciones inalámbricas multi salto para minimizar el retraso de autenticación. Con la finalidad de minimizar la latencia de conmutación de canal, (Lavén *et al.* 2013) desarrolla en su proyecto un nuevo enrutamiento de paquetes y la estrategia de reenvío, AP-OLSR, donde utiliza múltiples saltos a candidatos vecinos sintonizados en canales diferentes. Se realiza una evaluación exhaustiva del protocolo AP-OLSR donde se observa el mejoramiento del desempeño tanto en la latencia como en el rendimiento.

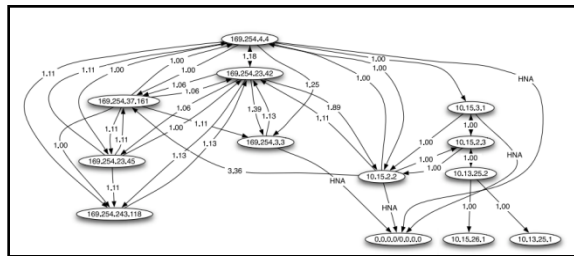


Figura 2. Topología de Red OLSR generada automáticamente.

Al revisar el artículo *A survey on routing algorithms for Wireless Ad-Hoc and Mesh Networks*, se puede encontrar un estudio de algoritmos de enrutamiento que se proponen para las WLAN, los algoritmos de enrutamiento se clasifican en diversas categorías como las siguientes: geográfica, geo-casting, jerárquica, de multi-path, algoritmos de alimentación consciente y algoritmos de enrutamiento híbrido. Los algoritmos de enrutamiento básico presentan algunos inconvenientes como amplias zonas de inundación, conjunto vacío de vecinos, gran consumo de energía, entre otros; es por esto que una gran cantidad de algoritmos de enrutamiento son extensiones de los algoritmos de enrutamiento básicos para mejorar su rendimiento en las redes inalámbricas. (Alotaibi and Mukherjee, 2012).

El problema de multidifusión sobre la heterogeneidad que se presenta en el ancho de banda de los receptores lo que limita la tasa de entrega de datos a los destinatarios. Para dar una solución a este inconveniente, diseñan un algoritmo de multi-Gateway multi-rate enrutamiento multicast (MGMR), cuyo objetivo es maximizar el total de las tasas de datos obtenidos por los receptores cuidando a la vez la equidad entre ellos. (Farzinvash and Dehghan, 2013), así como (Wei *et al.* 2011) habla de los algoritmos para la asignación de canales en las WMN mejorando la capacidad de la red, sin embargo en algunos casos se cree que se les da un amplio tráfico. Por consiguiente se plantea un algoritmo que asigne canales basándose en el flujo centralizado (CMCA) probando a través de ns-2 simulaciones evaluando la calidad de la solución obtenida por el algoritmo propuesto donde se arrojan unos resultados positivos ya que permite mejorar el rendimiento total que en otros algoritmos.

El algoritmo jerárquico Multicast basado en agentes dinámicos (DAHM) para las redes inalámbricas Mesh apoyando la movilidad del usuario y la pertenencia a un grupo dinámico, el objetivo de este algoritmo es minimizar el costo total de la red a la que se incurre. Se propone un enfoque para determinar el tamaño óptimo de la región de servicio que logre minimizar el coste en la red, se comprueba a través de un estudio que el DAHM supera a dos algoritmos multicast significativamente basados en estructuras de árbol de multidifusión. (Li and Chen, 2014).

Se propone una arquitectura de protocolo para las redes Mesh Inalámbricas donde se desarrollan módulos que permitan el enrutamiento en la capa MAC, donde afirman que estos módulos pueden ser comparados con el protocolo de enrutamiento OLSR y así mismo los protocolos de enrutamiento en la capa IP

pueden ser reemplazados por módulos desarrollados (Ariza-Quintana *et al.* 2009), y Kim, Lee y otros autores, hacen un análisis comparativo de las distintas estrategias de enrutamiento para las redes inalámbricas Mesh, teniendo en cuenta como factores de evaluación calidad del enlace, optimización de rutas, topologías de red, entre otros. A través de los resultados obtenidos sugieren ideas sobre cómo diseñar métricas de enlace inalámbrico y algoritmos de enrutamiento que permitan mejorar la capacidad de la red y proporcionar una conexión fiable. (Kim *et al.* 2011).

Se tiene conocimiento del protocolo de enrutamiento Hybrid Wireless Mesh Protocol (HWMP), sin embargo este conocimiento carece de una funcionalidad de seguridad, los autores Islam, Hamid y Hong proponen en su trabajo una mejora al HWMP el cual denominan SHWMP. Dicho protocolo utiliza extensiones criptográficas para proteger la autenticidad e integridad de los mensajes de enrutamiento y evita la manipulación no autorizada de los campos mutables en los elementos de información. Según los resultados obtenidos en los análisis y pruebas realizadas, este protocolo frustra con éxito todos los ataques detectados en la red. (Islam *et al.* 2009).

En la Universidad de Alcalá de Madrid se analiza la forma de cómo operan los protocolos de enrutamiento dinámico dependiendo de cómo trabajen con el vector distancia o con el estado de enlace donde se toma como ejemplos los protocolos de enrutamiento RIPv2 y OSPF, siendo analizados en el simulador Cisco Packet Tracer. (Universidad de Alcalá, 2011) y Carrillo, en su trabajo de investigación hace unas evaluaciones de desempeño de los protocolos de encaminamiento diseñados para redes ad hoc en iWMN (Infraestructure Wireless Mesh Networks). A través de la evaluación de desempeño de los esquemas

de encaminamiento Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV) y Destination Sequenced Distance Vector (DSDV) en iWMN, donde se busca identificar las ventajas y desventajas de esta adopción. Las propiedades principales que se tuvieron en cuenta en la elección de estos esquemas de encaminamiento son: su funcionalidad distribuida, exitosa aceptación en redes ad hoc y su representatividad de los esquemas de encaminamiento reactivo y proactivo. (Carrillo, 2011).

Una nueva extensión para el protocolo de enrutamiento OLSR y ML-OLSR (Multi Nivel OLSR) donde nace como reto poder utilizar OLSR como camino más corto para calcular la ruta por defecto de manera implícita en las retransmisiones de puntos múltiples. Se tiene una gran contribución de la ML-OLSR al modificar de manera consistente y concisa la especificación del protocolo OLSR. (Adjih and Plesse, 2012) (Mineno *et al.* 2011).

Los trabajos más relevantes para la investigación son los ejecutados por (Adjih and Plesse, 2012), (Mineno *et al.* 2011) y (Lavén *et al.* 2013) los cuales se centran tanto en la optimización como en las mejoras al protocolo de enrutamiento OLSR, permitiendo así un avance de manera eficiente en la implementación de una red *Mesh*.

3. ESTANDARES

La IEEE es una asociación dedicada a promover la innovación y la excelencia tecnológica para el beneficio de la humanidad, es la mayor asociación profesional técnica del mundo. Está diseñado para servir a los profesionales involucrados en todos los aspectos de los campos eléctricos, electrónicos y de computación y áreas afines de la ciencia y la

tecnología que se basa la civilización moderna.



Figura 3. Red Inalámbrica 802.11 (Modo Infraestructura).

La IEEE creó una familia de estándares tanto para redes Ethernet como redes inalámbricas, esta familia es conocida como IEEE 802. El estándar para Ethernet es 802.3 y para redes inalámbricas es 802.11 (García, 2005), como se puede apreciar en la Figura 3. “El estándar IEEE 802.3 describe el nivel físico y el subnivel MAC de una familia de redes de área local que usan un medio de transmisión de difusión (con topología de bus en su origen) al que acceden las estaciones según un protocolo de acceso aleatorio de tipo CSMA/CD (Carrier Sense Múltiple Access / Collision Detection).” (Hesselbach and Altés, 2002).

El protocolo IEEE 802.11 o WiFi es un estándar de protocolo de comunicaciones del IEEE que define el uso de los niveles inferiores de la arquitectura OSI, especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN. Actualmente los estándares más utilizados son los IEEE 802.11b e IEEE 802.11g, los cuales utilizan bandas de 2.4 GHz y permiten velocidades de hasta 54 Mbps. (Kaabi *et al.* 2010).

Para redes inalámbricas Mesh un grupo de trabajo de la IEEE desarrolló el estándar IEEE 802.11s presentado en 2011. Este estándar pretende ser un esquema para unificar el despliegue de las redes Mesh.

El trabajo *Fairness resource allocation and scheduling for IEEE 802.16 Mesh Network* habla del estándar IEEE 802.16 el cual proporciona un esquema para crear múltiples redes de retransmisión pudiendo realizar una red de área amplia inalámbrica de alta velocidad a un costo más bajo. Se aborda el problema de la asignación de recursos con el fin de suministrar acceso al canal inalámbrico para todos los nodos y un rendimiento más óptimo de la red IEEE 802.16 en redes Mesh. Se da como solución la idea de formular una programación multiobjetivo para optimizar el rendimiento de la red. (Cao and Peng, 2010).

El proyecto de Rojano, tiene como propósito ofrecer una solución tecnológica para dotar de servicios de comunicaciones a los ciudadanos del casco central de la ciudad Santiago de Píllaro en la provincia de Tungurahua, donde se definen unos parámetros técnicos que se deben cumplir y la normativa a seguir para operar redes inalámbricas con tecnología MESH (WMNs). Unos de los aportes importantes de este proyecto es el uso de estándares IEEE 802.11 reduciendo así los costos de dicha implementación en la red comparados con otras soluciones tecnológicas. (Rojan, 2012), así como otro proyecto sobre el retraso de la programación coordinada distribuida en la red inalámbrica Mesh IEEE 802.16 donde muestran un framework para su análisis, se diseña un modelo de cola que permite conocer los límites de la red con exactitud utilizando la teoría de colas algebraica lineal, estándar por el cual se hace posible calcular el retardo de extremo a extremo y el límite de rendimiento de la capa de enlace. (Cecilia and Solon V, 2014).

Se plantea un boceto de gestión de la movilidad la cual es compatible con el estándar IEEE 802.11s existente, el plan que

se realiza trata sobre la intra-Mesh Basic Service Set (intra-MBSS) y de gestión de la movilidad entre MBSS basado en el protocolo de proxy en 802.11s IEEE y PMIPv6, además se implementa un 802.11s WMN banco de prueba IEEE y un protocolo de gestión de la movilidad basado en una aplicación de open802.11s. Se utiliza el banco de pruebas para comprobar el boceto propuesto alcanza un buen rendimiento en términos de rendimiento de TCP y la tasa de pérdida de paquetes entre los clientes Mesh. (Jeong *et al.* 2011).

4. REDES MESH

Actualmente, se encuentra una red inalámbrica híbrida conformada por arquitectura Ad-Hoc e Infraestructura, llamadas redes *Mesh* (Malla) (García, 2005), un ejemplo claro se puede observar en la Figura 4. Este tipo de redes permiten conexión multipunto a multipunto, lo cual permite conexión directa entre todos los equipos conectados a la red; además este tipo de redes se ha venido popularizando por su bajo coste de implementación y el uso de software libre.

En los últimos tiempos la informática es la herramienta más poderosa que el hombre ha tenido en sus manos y que en este momento interviene de forma directa o indirecta en, prácticamente, todas las actividades humanas. Dejar que esta herramienta sea controlada y restringida por agentes solo interesados en su propio lucro supone un perjuicio para las sociedades. La interconectividad inalámbrica constituye una oportunidad histórica de tomar el control de nuestro propio destino. Por esta razón es hora ya que empresas, instituciones, universidad y hogares hagamos conciencia, y busquemos la manera de explotar de mejor

manera este recurso. Esta es una apreciación de (Coqu, 2013).

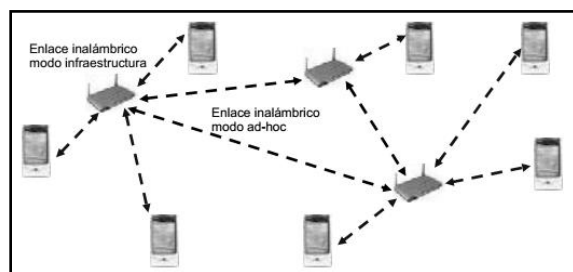


Figura 4. Red Mesh Inalámbrica 802.11 basa en puntos de acceso inteligentes.

Como se definía anteriormente, las redes Mesh están siendo ampliamente adoptadas para proyectos de conectividad comunitaria, tanto en sectores rurales como urbanos; para esto, es necesario que los dispositivos utilizados para la implementación de estas redes soporten firmware libre y los protocolos de enrutamiento que se definen para esta topología debe seguir el mismo principio. (Redes Inalámbricas en los países en Desarrollo, 2008), en la figura Figura 5 podemos apreciar un ejemplo sobre una red inalámbrica Mesh.

El estudio, análisis e implementación de redes Mesh wifi autónomas para zonas rurales, es un proyecto donde se da una solución para el acceso al servicio de internet en las zonas rurales. Tiene como objetivo establecer una posible implementación para una red Mesh en dichas zonas de Pimampiro con la cual, no sólo se ofrezca el servicio de internet sino que puedan acceder a los múltiples beneficios que esta red representa mediante la utilización de determinados servicios. (Mendez, 2011).

En (Bemoussat *et al.* 2013) se puede resaltar la importancia de las redes MESH

como una solución para aplicaciones como la calidad y servicio en aplicaciones multimedia, streaming, voz IP, etc. El autor propone un algoritmo de enrutamiento con eficiencia para la transmisión de la multimedia en la red Mesh con un enfoque en la calidad de servicio en la capa MAC para el transporte de video facilitado por la red estudiada.

En el trabajo propuesto por Benyamina y otros, se habla de la optimización de despliegue de las redes Mesh inalámbricas, donde se mejora simultáneamente los costos de implementación de la red y los objetivos de rendimiento de la misma. Se proponen tres modelos, modelo equilibrado de carga, modelo de interferencia y modelo de flujo de capacidad. Estos modelos se prueban en un simulador de red con aproximadamente 100 nodos de la malla, hacen un análisis comparativo de los mismos y los resultados de este muestran que el modelo de equilibrio de carga es el modelo más óptimo para este tipo de redes (Benyamina *et al.* 2012).

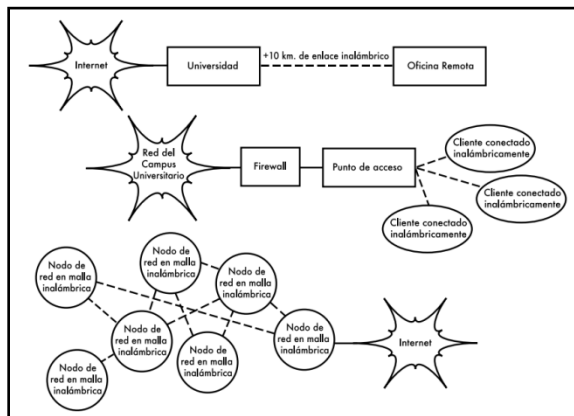


Figura 5. Ejemplo de red mesh inalámbrica.

Las redes en malla ofrecen muchas ventajas, entre ellas se pueden señalar que son redes robustas y adaptables, tienen un bajo consumo de energía, son fácilmente implementadas tanto en entornos urbanos como rurales, además permiten la

ampliación del rango de cobertura de la red, puesto que al ser redes que no están centralizadas, los nodos o equipos vinculados a ella harán extender la señal de conexión, es decir, actuarán como Access Point y como se hablaba anteriormente el bajo coste tanto en equipos como en software hacen que sea una arquitectura de red ampliamente codiciada e idónea en proyectos de redes comunitarias y redes libres.

Contrario a lo que se sabe de las WLAN, la topología en malla, ofrece una mayor seguridad en las comunicaciones, debido a que los mensajes enviados son transmitidos por canales privados entre dos equipos por medios no compartidos, esto evita el robo de información y supone un mayor grado de dificultad en la intervención de enlaces.(Katz, 2013).

En su trabajo, el autor se enfoca en la seguridad de las redes MESH y así como en todo tipo de redes, las redes Mesh son vulnerables a diferentes actividades maliciosas, como por ejemplo el espionaje, por consiguiente, atendiendo a la necesidad de proteger la comunicación inalámbrica se propone una nueva matriz, basada en llaves pares, establecidas en el esquema de red de clientes WNM, este esquema tiene ventajas significativas: “dos clientes de Mesh pueden establecer directamente claves pares mientras que los costos de comunicación y almacenamiento de los clientes Mesh se reducen significativamente.” (Xu and Zhang, 2014).

Zdarsky (*et al.*, 2011) trata de la seguridad en el retorno de los paquetes en las redes MESH inalámbricas sobre redes móviles de tercera generación al estar expuestas los enlaces de radio a posibles manipulaciones por otra parte a su alta complejidad del sistema hace que tenga un grado potencial susceptible a las vulnerabilidades de la

seguridad. Se describe un posible modelo de seguridad generando una lista de los supuestos principales a tener en cuenta, dicho lo anterior se analizan las amenazas potenciales donde se le hace una respectiva discusión para luego evaluar su correspondiente riesgo.

Así pues, como en las arquitecturas anteriormente mencionadas, se hablaba de los estándares y protocolos de enrutamiento, para las redes Mesh también existen estas regulaciones. La IEEE desarrolló el estándar IEEE 802.11s, el cual se trata de una serie de protocolos mediante los cuales se pueden crear redes inalámbricas malladas con el objetivo que sean auto gestionables, es decir, que los dispositivos de red utilizados en esta arquitectura tengan la capacidad de crear las rutas de manera dinámica con el fin de optimizar el tráfico de información y evitar fallos en la conectividad en caso de que algún nodo en la red falle o se desconecte. El desarrollo de este estándar está ligado a la fuerte demanda de infraestructuras WLAN móviles.

De tal forma, también se definen protocolos de enrutamiento para las redes Mesh, como B.A.T.M.A.N, BMX, OLSR, Babel, entre otros. Un aspecto que se debe tener en cuenta en los protocolos B.A.T.M.A.N, BMX y Babel, es que aún se encuentran en fase de desarrollo, aunque se pueden implementar no se ha liberado una versión final de ellos, además estos protocolos están siendo desarrollados con soporte para IPv6.

En este proyecto se presenta un paradigma de acceso a internet de banda ancha creada en el argumento del proyecto ADHOCSYS el cual fue financiado por la comisión europea bajo el 6 ° Programa Marco de Información del Programa y Tecnologías de la Sociedad, con la idea de banda ancha para todos. Se parte de una descripción generalizada de los lugares de la arquitectura

de red y aplicación, además este proyecto se centra en el enrutamiento, en la QoS y las características de despliegue de red en la solución desarrollada. (Li *et al.* 2011).

El autor, Jácome, propone en su proyecto el diseño e implementación de un prototipo de red inalámbrica con topología tipo MESH basada en el estándar ZigBee, para el monitoreo y control de riegos en cultivos, el cual permitirá gestionar todos los equipos y dispositivos de manera más eficiente permitiendo mejorar la producción de los mismos en amplios sectores. (Jácome, 2013).

Se propone la creación de redes Mesh híbridas donde el nodo principal tiene la capacidad de utilizar de forma aleatoria los puntos de acceso de la WLAN. En este tipo de arquitectura jerárquica se puede lograr un aumento de la capacidad dejando que el tráfico de datos tome ventaja de las conexiones cableadas. Esto se ha llevado analizado de manera teórica y los resultados del mismo justifican la perspectiva de tener una red Mesh híbrida que utiliza ampliamente el despliegue de las redes WLAN. Este es un trabajo propuesto por (Fu and Agrawal, 2013).

Cedeño y Eras, tratan de la necesidad de crear formas seguras ante la creciente inseguridad y la necesidad de mayor confort, obligando a buscar métodos innovadores de protección en residencias pudiendo tenerlas vigiladas en todo momento además con el uso de dispositivos móviles que es muy común en la vida cotidiana permite monitorear y gestionar las tareas rutinarias que se presentan a diario. La comunicación se va a llevar a través de módulos Xbee se realiza usando topología Mesh, permitiendo una rápida convergencia de los clientes Routers para establecer comunicación con el coordinador. (Cedeño y Eras, 2010).

El autor (Vásquez y De la Cruz, 2013) plantea en su trabajo un nuevo mecanismo de control de topología para redes Mesh, aplicado a una Mesh inalámbrica creada por los dispositivos portátiles de los usuarios. Para este mecanismo se evalúa el rendimiento resultante basado en tres indicadores de centralidad como son grados, cercanía e intermediación. De los resultados obtenidos en la investigación se observó reducción de las colisiones, sobrecarga de protocolo, de interferencia y de consumo de energía, mejor organización de la red y escalabilidad.

El proyecto diseño e implementación de una tecnología de acceso a internet para vehículos en movimiento en una minera, se realiza con el objetivo de diseñar una tecnología de acceso a Internet para vehículos en movimiento en la empresa minera Sociedad Minera Cerro Verde S.A., aun cuando el vehículo vaya a una velocidad de 160km/h. Se desarrolla un análisis económico y técnico de la red de acceso y transporte, la geografía de la zona, mejorando así la infraestructura de la red de comunicaciones de la empresa. Para lograr dicho trabajo, se realizó un estudio de la plataforma de enlaces existentes, las tecnologías empleadas; y, los usuarios finales, permitiendo así diseñar un modelo de red con una nueva tecnología de acceso de la empresa Motorola denominada MOTOMESH la cual permite dar una solución a las necesidades y exigencias de la mencionada empresa, donde también se analiza a fondo la topología de red MESH mostrando sus características. (Armas, 2012).

Se diseña en este trabajo una arquitectura multi-virtual sensible al contexto para la WMN dando una solución a los clientes MESH y aplicaciones tales como: el costo, la seguridad, la movilidad, las aplicaciones de calidad de servicio (QoS), por

consiguiente se plantea un modelo analítico, evaluando el impacto de la virtualización de la red, complejidad de los mecanismos de detección y extensión definidos para redes adaptables (VN) configuradas. Teniendo en cuenta la flexibilidad, propiedades de autoconfiguración de las redes inalámbricas Mesh y la gestión de recursos de red programable. (Matos *et al.* 2014).

En este trabajo se hace un análisis y diseño a las redes MESH, además trata el tema de la incorporación de un esquema Buffering junto a los cambios menores de la MAC de la capa de rendimiento dando beneficios como la conservación de los retrasos de paquetes pequeños y regula el flujo de tráfico de manera completamente distribuida. Se combinan herramientas de la geometría estocástica y mecánica estadística para determinar el rendimiento y las prestaciones de retardo de punto a punto de redes inalámbricas multisalto por dos mecanismos distintos de acceso al canal. Carrier Sense Multiple Access (CSMA) y ALOHA. (Srinivasa and Haenggi, 2014).

Los siguientes trabajos se relacionan con redes mesh en temas como interferencia, programación y enrutamiento:

El primero trata el problema de la carga de multidifusión de equilibrio en diversos canales multi-radio WMN (MCMR-WMNS), en este orden de ideas se introduce una nueva función de coste de la carga dinámica resaltando los enlaces de red. La función de coste se considera los beneficios de AMB (ventaja de difusión inalámbrica), así como el problema de equilibrio de carga, además se propone un algoritmo de equilibrio de carga Multicast árbol de enrutamiento (LMTR) proporcionando árboles multicast equilibradas utilizando la función de coste definido dando como

resultado la reducción al mínimo el número de transmisiones, distribuyendo el tráfico entre los nodos de forma equitativa y disminuyendo las interferencias en la red. (Acokh and Mirjalily, 2013).

El segundo trata el problema de la interferencia y la limitación del ancho de banda de los canales inalámbricos de las (WMNS) donde se dirigen hacia la idea de la multidifusión de alto rendimiento permitiendo de alguna manera combatir este problema, aunque sugieren que se puede tratar con introducir puertas de enlace Mesh de cooperación y explotar diversos canales inalámbricos, presentándose un diseño alternado de capa que selecciona en conjunto los canales apropiados para cada nodo y usarlos de manera sintonizada calculando los flujos de multidifusión óptimas. (Baghban *et al.* 2014).

El tercero se basa en el estudio de agentes inspirados biológicamente para enrutar eficazmente los envíos en una WMN, ya que se analiza el problema del enrutamiento de paquetes para el reenvío de datos eficiente en redes MESH inalámbricas (WMNS) con la ayuda de los agentes inteligentes que vienen siendo las hormigas perspicaces, se propone manejar un conjunto de datos sin interferencias conscientes distribuidos a lo que se llamaría AntMesh, algoritmo de encaminamiento de hormigas donde se encuentra un esquema de imitar el intercambio información y se adapta al tráfico cambiante dando como solución al problema de enrutamiento de red dinámica. (Bokhari and Zaruba, 2012).

El cuarto realizado por (Matam and Tripathy, 2013) se enfoca en un protocolo de enrutamiento multicast basado en el número mínimo de árboles de transmisión utilizando un enfoque heurístico. La técnica Multicast permite transmitir datos a un conjunto de destinatarios, por lo tanto el objetivo

principal de este mecanismo es reducir al mínimo el número de transmisiones para conservar el ancho de banda. Los algoritmos basados en heurística son adecuados para calcular los árboles óptimos de ancho de banda. Los resultados que el autor obtiene en su trabajo demuestran que el algoritmo propuesto mejora un rendimiento en los protocolos existentes.

El quinto se enfoca sobre el modelado de las WMN por medio de la programación entera mixta (MIP), la cual permite formular una descripción con precisión en la capacidad de la velocidad en los datos de enlace y la programación de la misma utilizando el conocimiento de los espacios de tiempo. Se formulan los modelos MIP para diversos casos en los esquemas de modulación y codificación (MCS) de asignación, además se da una forma generalizada la solución de la equidad de máximos y mínimos (MMF) cuyo objetivo es el tráfico para la WMN utilizando los modelos de capacidad expresados. (Pióro *et al.* 2014).

El sexto presenta el problema de asignación de canales de manera eficiente, pero termina siendo complejo. Problemas como el tráfico entre los diferentes canales, conectividad de la red, la dependencia circular entre el enrutamiento, la asignación de canales y el retardo cuando se cambia de canal se deben tener en cuenta en el momento de analizar dicho tema, pero por consiguiente se presenta en este trabajo un estudio al rendimiento a la solución de asignación de canal incluyendo la idea que se da sobre la asignación de canales de forma dinámica. Se analizan las ventajas y desventajas que se presentan en la solución propuesta pudiendo aplicar al diseño y evaluación de otras soluciones prácticas. (Catalan-Cid *et al.* 2013).

Y por último (Cooper *et al.* 2011) proponen en su trabajo un programa que permita optimizar la transmisión de datos en redes *mesh*, cada dispositivo tiene una asignación de datos que garantiza la equidad en los mismos. El programa utiliza un enfoque de tiempo ranurado para maximizar el rendimiento de la transmisión en una determinada cantidad de intervalos, permitiendo una selección de redes optimizada.

En cuanto al tema central de esta investigación, redes inalámbricas *Mesh*, los trabajos que soportan este proyecto son los realizados por (Mendoza, 2011) y (Vásquez y De la Cruz, 2013), los cuales en conjunto permiten la creación de una red Mesh que busca mejorar la cobertura de red, incorporando los equipos utilizados por los usuarios de la misma; y de igual forma permitiendo ofrecer servicios a la comunidad a parte de conexión a Internet a bajo coste.

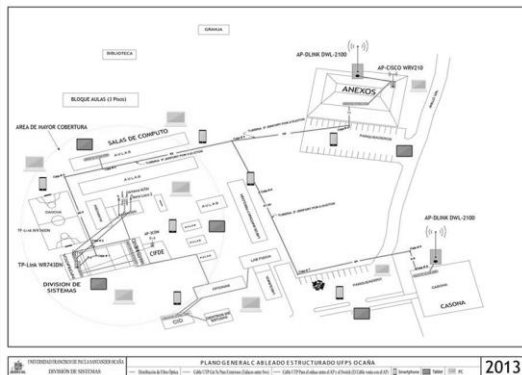


Figura 6. Proyección Red Mesh UFPSO.

5. DISCUSIÓN

Las redes Mesh son un tipo de topología de red que se ha venido desarrollando desde hace algún tiempo, solo que no tiene demasiada divulgación; en este momento se encuentra en máximo furor debido al bajo coste en su implementación y apoyado por

el auge desproporcionado de los dispositivos móviles y la necesidad de comunicación entre ellos. Así mismo, se han trabajado en mejoras de los protocolos de enrutamiento, en el diseño de la red y se han visto múltiples aplicaciones para este tipo de redes.

En las diferentes fuentes referenciadas y en especial las (Adjih and Plesse, 2012), (Mineno *et al.* 2011), (Lavén *et al.* 2013), (Mendoza, 2011) y (Vásquez y De la Cruz, 2013) en el presente artículo, se encontraron diversas aplicaciones e implementaciones apoyadas de diferentes protocolos, estándares y sobresale la baja inversión en infraestructura de red.

El aporte relevante del proyecto se orienta a mejorar la cobertura de red en la UFPSO, (División de Sistemas Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, 2013) como lo podemos apreciar en la Figura 6, priorizando al máximo la cobertura en el campo de implantación apoyándose de los dispositivos portátiles usados por los usuarios de la red y haciendo uso del protocolo de enrutamiento OLSR que permitirá tener un encaminamiento de paquetes de datos más óptimo. En ese orden de ideas, entre más nodos interconectados haya mayor cobertura existirá.

6. CONCLUSIONES

Después de la revisión de literatura se determinó la importancia que respecta a las redes inalámbricas Mesh, se destaca su alta demanda de adopción en proyectos de conectividad comunitaria, tanto en sectores rurales como urbanos.

El propósito de exponer las redes Mesh como solución a problemas de cobertura dentro de un campus universitario, se debe a que estas están siendo implementadas y

mejoradas con el fin de resolver los inconvenientes que se presentan con las WLAN, tales como bajas velocidades en la transmisión de datos, las cuales se verían mejoradas considerablemente con el estándar 802.11s; de igual forma se evitaran colapsos en la red al no tener un único nodo central y se mejora igualmente la seguridad en la red. Además de esto, el hecho de que se opte por firmware de código libre, hace que se dé un paso más hacia el apoyo a esta tecnología.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acokh, A., & Mirjalily, G. (2013). Load-balanced Multicast Tree Routing in Multi Channel Multi Radio Wireless Mesh Networks Using a New Cost Function. *Wireless Personal Communications*, 75-106.
- Adjih, C., & Plesse, T. (2012). A multi-level approach to link state: ML-OLSR. 10th ACM international symposium on Mobility management and wireless access (MobiWac '12), (págs. 87-96). New York.
- Albarracín, J. M. (2007). *Redes Inalámbricas Comunitarias. Sistemas Redis*.
- Alotaibi, E., & Mukherjee, B. (2012). A survey on routing algorithms for wireless Ad-Hoc and mesh networks. *Computer Networks*, 940-965.
- Ariza Quintana, A., Casilari, E., & Triviño Cabrera, A. (2009). An architecture for the implementation of mesh networks in OMNeT++. Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques (Simutools '09). ICST (Institute for Computer Sciences, Social- Informatics and Telecommunications Engineering), ICST. Brussels, Belgium
- Armas Rivera, Miguel Alejandro. 2012. Diseño e implementación de una tecnología de acceso a internet para vehículos en movimiento en una minera. Lima. Repositorio Digital de Tesis PUCP. Repositorio Digital de Tesis PUCP.
- Baghban Karimi, O., Liu, J., & Li, Z. (2014). Multicast with cooperative gateways in multi-channel Wireless Mesh Networks. *Ad Hoc Networks*, 170-180.
- Bemoussat, C., Didi, F., & Feham, M. (2013). On the support of multimedia applications over Wireless Mesh Networks. *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, 157-173.
- Benyamina, D., Hafid, A., Hallam, N., Gendreau, M., & Maurerira, J. (2012). A hybrid nature-inspired optimizer for wireless mesh networks design. *Computer Communications*, 1231-1246.
- Bokhari, F., & Zaruba, G. (2012). On the use of smart ants for efficient routing in Wireless Mesh Networks. *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, 117-134.
- Cao, Z., & Peng, L. (2010). Fairness resource allocation and scheduling for IEEE 802.16 Mesh networks. *Journal of Networks*, 724-731.
- Carrillo Arellano, C. E. (2011). Análisis de protocolos de encaminamiento para redes inalámbricas tipo malla en modo infraestructura. Iztapalapa.

- Catalan Cid, M., Gomez, C., & Paradells, J. (2013). A performance study of practical channel assignment solutions in multi-radio multi-hop IEEE 802.11 networks. Proceedings of the 10th ACM symposium on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, & ubiquitous networks (PE-WASUN '13), 57-64.
- Cecília A.C, C., & Solon, V.C. (2014). An analytical framework for distributed coordinated scheduling in IEEE 802.16 wireless mesh networks. As Hoc Networks, 181-190.
- Cedeño Villarroel, M. A., & Eras Pérez, C. E. (2010). Diseño, implementación y monitoreo de una red Mesh/Zigbee aplicado a la domótica, gestionada mediante SMS (Short Message Service), servidor web, correo electrónico, aplicación bluetooth para dispositivos móviles y control inalámbrico local. Quito.
- Cooper, I., Allen, S., & Whitaker, R. (2011). Optimised Scheduling for Wireless Mesh Networks using Fixed Cycle Times. Proceedings of the 2011 IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WOWMOM '11). IEEE Computer Society.
- Coque Veloz, M. I. (2013). Análisis e Implementación de una Red Mesh basada en tecnologías licenciadas (IEEE 802.16) para la creación del backhaul en la Universidad Técnica de Cotopaxi. Cotopaxi.
- Correa Montes, B. A., & Ospina Alzate, L. E. (28 de 05 de 2007). Análisis de procesos de clustering en modelos de movilidad de redes móviles Ad Hoc. Recuperado (2013, Diciembre 1), de Banco de Objetos DigiCampus Universidad Pontificia Bolivariana: <http://eav.upb.edu.co/banco/sites/default/files/files/04CAPITULOS.pdf>
- División de Sistemas Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. (2013). Documento Interno División de Sistemas Infraestructura de Telecomunicaciones Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Ocaña.
- Farzinvash, L., & Dehghan, M. (2013). Multi-rate multicast routing in multi-gateway multi-channel multi-radio wireless mesh networks. Journal of Network and Computer Applications.
- Fu, W., & Agrawal, D. (2013). Capacity of Hybrid Wireless Mesh Networks with Random APs. IEEE Transactions Mobile Computing, 136-150. doi:10.1109/TMC.2011.247
- García Fernández, V. (2005). Redes mesh basadas en puntos de acceso inteligentes 802.11 Open Source. Universitat Politecnica de Catalunya.
- Hesselbach Serra, X., & Altés Bosch, J. (2002). Análisis de redes y sistemas de comunicaciones. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, SL.
- Islam, S., Yoon, Y. J., Hamid, A., & Hong, C. S. (2009). SHWMP: A Secure Hybrid Wireless Mesh Protocol for IEEE 802.11s Wireless Mesh Networks. Transactions on Computational Science VI, 95-114.
- Jácome Comina, C. A. (2013). Diseño e implementación de un prototipo de red inalámbrica tipo MESH, para el monitoreo y control de riegos en una

- amplia gama de sectores y cultivos (agrícola o florícola) del cantón Pujilí, barrio Danzapamba. Latacunga.
- Jeong, H.-J., Lee, S., Kim, D., Lim, K., & Park, J. (2011). Proxy protocol and PMIPv6 based mobility management for IEEE 802.11s wireless mesh networks. *ACM Symposium on Research in Applied Computation*, 170-176.
- Kaabi, F., Ghannay, S., & Filali, F. (2010). Channel Allocation and Routing in Wireless Mesh Networks: *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, 132-150.
- Katz, M. (2013). *Redes y Seguridad*. Buenos Aires: Alfaomega.
- Kim, S., Lee, O., Choi, S., & Lee, S.-J. (2011). Comparative analysis of link quality metrics and routing protocols for optimal route construction in wireless mesh networks. *Ad Hoc Networks*, 1343-1358.
- Lavén, A., Kassler, A., & Brunstrom, A. (2013). Performance evaluation of the anypath routing and forwarding mechanism AP-OLSR. *16th ACM international conference on Modeling, analysis & simulation of wireless and mobile systems*, (págs. 81-90). New York.
- Li, C., Nguyen, U. T., Nguyen, H. L., & Huda, N. (2013). Efficient authentication for fast handover in wireless mesh networks. *Computers & Security*, 124-142.
- Li, F., Buciol, P., Vandoni, L., Fragoulis, N., Zanolli, S., Leschiutt, L., & Lázaro, O. (2011). Broadband Internet Access via Multi-Hop Wireless Mesh Networks: Design, Protocol and Experiments. *Wireless Personal Communications*, 807-829.
- Li, Y., & Chen, I.-R. (2014). Dynamic agent-based hierarchical multicast for wireless mesh networks. *Ad Hoc Networks*, 1683-1698.
- Lobo, Josué. y Rico, Dewar. (2012). Implementación de la seguridad del protocolo de internet versión 6. *Revista Gerencia Tecnología Informática. Informatics Technology Management. Universidad Industrial de Santander, ISSN 1657-8236, Vol. 11, No 29, Ene - Abr 2012, pp 35 - 46.*
- Matam, R., & Tripathy, S. (2013). Improved heuristics for multicast routing in wireless mesh networks. *Journal Wireless Network*, 1829-1837
- Matos, R., Marques, C., Sargento, S., Hummel, K. A., & Meyer, H. (2014). Analytical modeling of context-based multi-virtual wireless mesh networks. *Ad Hoc Networks*, 191-209.
- Mendoza Colimba, X.D. (2011). Estudio y análisis de redes MESH WIFI autónomas para zonas rurales. Ibarra.
- Mineno, H., Soga, K., Takenaka, T., Terashima, Y., & Mizuno, T. (2011). Integrated protocol for optimized link state routing and localization: OLSR-L. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 1711-1722.
- Park, B.-N., & Kwon, J.-H. (Marzo de 2011). A Hybrid Mesh Routing protocol for ubiquitous internet connectivity in hierarchical Wireless

- Mesh Networks. Inderscience Publishers, 77-86.
- PiÓro, M., Źotkiewicz, M., Staehle, B., Staehle, D., & Yuan, D. (2014). On max–min fair flow optimization in Wireless Mesh Networks. *Ad Hoc Networks*, 134–152.
- Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo. (2008). Hacker Friendly.
- Rico, Dewar. (2011). Redes y tecnologías de banda ancha, tecnologías de acceso de banda ancha. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, Universidad de Pamplona, ISSN: 1692-7257, vol. 1, No 17. 113-120.
- Rico, Dewar y Santos, L. M. (2007). IPv6 en la Universidad de Pamplona: estado del arte. *Revista Scientia et Technica*, Universidad Tecnológica de Pereira, ISSN 0122-1701, vol. XIII, No 37, Septiembre 2007, pp. 415-420.
- Rico, Dewar y Santos, L. M. (2008). IPSEC DE IPv6 EN LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA. *Revista Scientia et Technica*, Universidad Tecnológica de Pereira, ISSN 0122-1701, vol. XIV, No 39, 320-325.
- Rico, Dewar y Santos, L. M. (2009). Seguridad de Protocolo de Internet: Estado Del Arte. *Revista INGENIO*, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, ISSN 2011-642X, Vol. 2, No 1. 79 – 90.
- Rojano Cortés, M. A. (2012). Red Mesh para el acceso a los servicios digitales en el casco central de la ciudad Santiago de Píllaro de La Provincia de Tungurahua. Ambato.
- Srinivasa, S., & Haenggi, M. (2014). Combining stochastic geometry and statistical mechanics for the analysis and design of Mesh Networks. *Ad Hoc Networks*, 110-122.
- Stalling, W. (2004). *Comunicaciones y Redes de computadores (7 ed.)*. Madrid: Pearson.
- Tanenbaum, A. (2003). *Redes de Computadoras (4 ed.)*. México: Pearson.
- Universidad de Alcalá. (2011). *Protocolos de enrutamiento dinámico*. Madrid: Universidad de Alcalá.
- Vásquez Rodas, A., & De la Cruz Llopis, L. (2013). Topology control for wireless mesh networks based on centrality metrics. *Proceedings of the 10th ACM symposium on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, & ubiquitous networks (PE-WASUN '13)*, 25-32.
- Wei, Y., Li, T., & Ge, Z. (2011). A channel assignment algorithm for Wireless Mesh Networks using the maximum flow approach. *Journal of Networks*, 879-882.
- Xu, L., & Zhang, Y. (2014). Matrix-based pairwise key establishment for wireless mesh networks. *FutureGeneration Computer Systems*.140–145.