

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA APLICACIÓN MÓVIL EN UN ENTORNO AD HOC PARA
EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN.**

**IMPLEMENTATION OF A MOBILE APPLICATION IN AN AD HOC INCOME FOR THE
EXCHANGE OF INFORMATION.**

Douglas Antonio Plaza Guingla, Ph.D.

Doctor of Electromechanical Engineering (Bélgica).

Docente a tiempo completo de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (Ecuador).

douplaza@fiec.espol.edu.ec

Mónica Jeannette Flores Marin, Mgs.

Magíster en Administración de Negocios (Ecuador).

Docente investigadora de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Telecomunicaciones y
Electrónica de la Universidad Espíritu Santo (Ecuador).

mfloresm@uees.edu.ec

Luis Enrique Benavides Castillo, Mgs.

Magíster en Auditoría de Tecnologías de la Información (Ecuador).

Docente de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Telecomunicaciones y Electrónica de
la Universidad Espíritu Santo (Ecuador).

lebenavides@uees.edu.ec

Cinthia Jahaira Benavides Andrade, Ing.

Ingeniera en Telecomunicaciones (Ecuador).

Engagement Associate en la empresa Cabify-Ec. S.A. (Ecuador).

cinbenavides@uees.edu.ec

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Recibido: 14 de julio de 2018.

Aceptado: 24 de agosto de 2018.

RESUMEN

Las redes móviles ad hoc (MANET) se caracterizan por la movilidad de los dispositivos participantes y la comunicación salto a salto entre ellos. La creación de estas redes ocurre de una manera no planificada y respondiendo a la distribución de los dispositivos en un momento determinado. Esta investigación se enfoca en el desarrollo de una aplicación móvil Android capaz de crear un entorno ad hoc para el intercambio de datos, que puede proporcionar al usuario, y a sus aplicaciones, beneficios en los entornos constituidos por dispositivos que forman redes móviles ad hoc. Estas redes son utilizadas en situaciones en las que no existe posibilidad de desplegar una infraestructura de comunicación, para lo cual se analizaron las técnicas de encaminamiento de redes sin infraestructura y el comportamiento de los nodos, además del tráfico de la red. Los resultados muestran que la solución propuesta por medio de broadcast, debido a la técnica de inundación de paquetes, permite solventar comunicaciones a una cantidad no mayor a 50 nodos activos, por lo que se espera que esta investigación permita a los usuarios encontrar los servicios que satisfagan sus necesidades y, cuando no haya esta posibilidad, combinar otras funcionalidades disponibles en forma de servicios.

Palabras clave: Redes sin infraestructura, Protocolos, Enrutamiento, MANET, nodos.

ABSTRACT

Mobile ad hoc networks (MANET) are characterized by the mobility of the participating devices and the jump-to-jump communication between them. The creation of these networks occurs in an unplanned way and responding to the distribution of the devices at a certain time. This research focuses on the development of an Android mobile application capable of creating an ad hoc environment for the exchange of data, which can provide the user, and their applications, with benefits in the environments constituted by devices that form ad hoc mobile networks. These networks are used in situations in which there is no possibility of deploying a communication infrastructure, for which the techniques of routing networks without infrastructure and the behavior of the nodes, as well as network traffic, were analyzed. The results show that the proposed solution by means of broadcast, due to the packet flooding technique, allows to solve communications in an amount no greater than 50 active nodes, so it is expected that this research will allow users to find the services that

meet their needs and, when this is not possible, combine other functionalities available in the form of services.

Keywords: networks without infrastructure, protocols, routing, MANET, nodes.

INTRODUCCIÓN

Como resultado de los avances tecnológicos y la necesidad de comunicarse, las redes inalámbricas han evolucionado, ofrecen mejorar opciones de accesibilidad, movilidad, velocidades de transmisión, cobertura y seguridad en conexiones (Valls Hermida, 2006). Actualmente, existe una red móvil con características diferentes a las demás, determinada ad hoc o MANET, estas son redes dinámicas independientes de infraestructura, donde cada dispositivo móvil llamado nodo cumple la función de encaminador de información. En efecto, las redes móviles ad hoc son motivo de muchas investigaciones científicas y tecnológicas por ser redes descentralizadas y altamente dinámicas (Zurbaran, 2015).

La ausencia de infraestructura involucra la capacidad de auto configuración de los nodos, debido a su movilidad es complicado designar un directorio central, el cual pueda registrar los servicios de todos los dispositivos que conforman la red (Murazzo, Rodríguez, Villafañe, Grosso, & Dávila, 2013). Los nodos cumplen diferentes roles dentro de la red como ser origen, destino y encaminador de paquetes.

Los nodos de una MANET tienen recursos que influyen en su desempeño tales como energía, ancho de banda y procesamiento. Sin duda, el software Android provee una plataforma adecuada para la implementación de esta red. Sin embargo, no asegura el correcto funcionamiento en todas las versiones de software. Por otro lado, Castillo (2009) manifiesta que el estado de cada nodo de la red debe actualizarse con mucha frecuencia para brindar comunicación estable. Como solución rápida a lo expuesto Rabie y Lasse (2010) exponen la existencia de protocolos de encaminamiento únicos para este tipo de red, cuya función es determinar la ruta más corta entre origen y destino. Entre ellos, se tiene la familia de protocolos proactivos, protocolos reactivos, protocolos híbridos. También, se cuenta con la técnica tradicional de encaminamiento broadcast, cuyo método es la difusión de paquetes por todos los nodos activos en la red móvil.

Como se puede evidenciar las redes ad hoc solucionan el problema de accesibilidad en la comunicación móvil en el país, por tal motivo es importante realizar la presente investigación

que permita establecer comunicaciones entre usuarios de una misma red sin la necesidad de una infraestructura antes establecida.

El presente trabajo tiene como objetivo implementar una aplicación móvil Android con servicios de descubrimiento de nodos e intercambio de paquetes continuos, contribuyendo con la estabilidad de la comunicación en redes dinámicas. Además, analizar el tráfico y comportamiento de los nodos a través de pruebas experimentales, para lo cual, se debe analizar el tráfico y comportamiento de los nodos a través de pruebas experimentales, también se debe determinar el consumo de recursos al utilizar la aplicación móvil.

REVISIÓN TEÓRICA

Las redes de computadores pueden tener diferentes estructuras, dependiendo de la tecnología utilizada para la comunicación entre los dispositivos y de aspectos como los protocolos y servicios de comunicación usados en ella. Este trabajo se centra en las redes móviles ad hoc que se caracterizan, por la comunicación sin cables y el hecho de que operan sin la existencia de una infraestructura fija.

Por lo que en las secciones 2.1, 2.2 y 2.3 llevan a cabo una introducción a las redes inalámbricas ad hoc – MANET teniendo en cuenta aspectos y características básicas, que proporcionan una visión general de la comunicación y arquitectura que proveen este tipo de redes. Por otro lado, en la sección 2.4 se introduce aspectos relacionados con el encaminamiento utilizado por estas redes.

Redes inalámbricas.

Las redes inalámbricas permiten a sus clientes acceder a la información y recursos en tiempo real sin necesidad de conexiones físicas (Singh, 2008). Ausencia de conexiones por cable y mayor flexibilidad a la red son sus características principales, también incrementa la productividad y eficiencia en la transmisión de datos. Además, las tecnologías inalámbricas presentan estándares que permiten la transmisión de datos, tales como Bluetooth, Zigbee, Wi-fi, entre otros.

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) desarrolla los estándares internacionales, entre los más conocidos se tiene: IEEE 802 que contiene a los grupos de Ethernet (802.2) y las redes inalámbricas (802.1x) (Pascual, 2007). De igual modo, Cano et al. (2003) sostiene que los protocolos y servicios del estándar 802 están asociados a las

capas física y enlace de datos del modelo OSI. Incluso, IEEE 802.11 se basa en el método de acceso al medio CSMA/CA, permite que varias estaciones utilicen el mismo medio de transmisión, sacrificando ancho de banda para asegurar una transmisión de datos confiable (Kuo, Liu, & Kuo, 2003).

A partir de eso, Domínguez (2009) indica que el estándar 802.11g regula las redes inalámbricas ad hoc. Este tipo de estructura de red presenta una serie de ventajas en cuanto a transmisión de datos; sin embargo, existen factores externos que pueden afectar el comportamiento de este tipo de redes.

Redes ad hoc.

Existen tres redes MANET típicas, que son Redes vehiculares ad-hoc (VANET), Redes vehiculares ad-hoc inteligentes (Intelligent VANET) y Red ad-hoc móvil basada en internet (IMANET) (Chamba, 2017).

Por otro lado, Krifa, Sbai, Barakat & Turletti (2008) mencionan que, una red ad hoc es un grupo de nodos móviles que se comunican de manera sencilla y organizada, formando una red temporal sin necesidad de alguna infraestructura establecida o cierto tipo de administración centralizada. Celulares, Ipads, tablets, notebooks, laptops, computadoras son los denominados nodos que forman parte de la red. Se autoorganizan unos con otros para el procedimiento de transportar la información entre un nodo origen y otro nodo destino (Gupta, Sadawarti, & Verma, 2011). Además, este tipo de red opera en entornos de diferentes condiciones a los que normalmente trabajan las redes convencionales. (Sbai, Barakat, & Choi, 2006).

En efecto, la topología de las redes ad hoc es variante debido a la movilidad de sus nodos, se toleran rupturas de enlaces entre nodos y que nuevos enlaces se incorporen o salgan de la red continuamente (Ortíz & Hernández, 2006). También Ali y Sumari (2010) expresan que, los nodos tienen la capacidad de ser emisores, receptores y encaminadores a la vez. Por otro lado, Kaschel y Ortega (2016) describe, los cambios continuos de estado de los nodos y las limitaciones de energía de los dispositivos, así pues, se provocan alteraciones en la conectividad y en la topología de red. Sin embargo, Pineda et al. (2016) afirman, una red ad hoc debe ser competente a los diversos cambios ocasionados.

Por otra parte, el intercambio de datos en las redes inalámbricas existe a través de un rango de cobertura determinado, donde el receptor recibe e interpreta la señal enviada por el emisor, cuando el receptor se encuentra fuera de dicho rango, no recibe ningún paquete.

No obstante, en las redes inalámbricas ad hoc, los nodos tienen la capacidad de ser encaminadores para enviar paquetes de datos, enrutándolos salto a salto (Solera & Ruiz, 2014). En particular, los nodos pueden manejar tablas de encaminamiento para el envío de paquetes (Rodríguez, Deco, Burzacca, Pettinari, & Bender, 2014), con el objetivo de organizar saltos entre nodos intermedios.

Arquitectura de una red móvil ad hoc – MANET.

La arquitectura de las redes ad hoc se basa en el modelo *Open System Interconnection* (OSI). Con el objetivo de solucionar los problemas en cuanto a comunicación dentro de la red, dado que, el problema global se lo divide en inconvenientes particulares de más fácil solución.

El canal de transmisión de las redes ad hoc es dinámico y poco confiable debido que las señales de radiofrecuencia sufren atenuaciones por los diferentes fenómenos como la distorsión, absorción, multitrayecto, refracción, entre otros (Kuo et al., 2003).

En consecuencia, a la ausencia de infraestructura y el intercambio de archivos entre dos o más dispositivos (peer-to-peer), este tipo de red emplea el protocolo de acceso aleatorio. Además, *Carrier Sense Multiple Access* (CSMA) es el protocolo utilizado en la red Ad-Hoc, presenta flexibilidad y resolución de problemas de los dispositivos ocultos a través del mecanismo de intercambio de señales de control. No obstante, las redes ad hoc pueden utilizar protocolos de acceso controlado en situaciones que requieran Calidad de Servicio (QoS), ya que las transmisiones están libres de colisiones y contiendas (Basurto, 2010). Por otro lado, Zurbaran (2016) expresa el comportamiento de los protocolos *Medium Access Control* (MAC) en redes ad hoc mejora con la implementación de algoritmos para gestionar de paquetes, disminuir el uso de batería, esquemas de codificación y simulación de la señal, reajuste de los radios de recepción y transmisión, entre otras.

De igual modo, Shahbazi (2013) sustenta que la capa de red es la sección fundamental en una arquitectura ad hoc. Por ello, es indispensable que los nodos adquieran el comportamiento de un router, es decir, mantener individualmente las rutas a otros nodos. Además, los protocolos de encaminamiento tienen la capacidad de adaptarse ágilmente a los cambios continuos de la red y conservar la comunicación entre todos los nodos (Ameziane & Tolosa, Sistema de autoconfiguración para redes Ad Hoc, 2005). De igual manera, existen algunos protocolos de encaminamiento para las redes MANETs, su elección depende del escenario en el que se van a desarrollar (Jabeen et al., 2016).

De acuerdo con Jabeen et al. (2016), el propósito de las redes móviles ad hoc es ofrecer servicio de conectividad en cualquier momento y lugar. Por esta razón, las MANETs se basan en protocolos Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) en un entorno ad hoc. También, se presenta el protocolo Transport Protocol for Ad Hoc Networks (TPA), su uso específico en redes móviles ad hoc. Este protocolo cuenta con mecanismos de detección de pérdida del enlace y recuperación de la ruta (Anastasi, Anillotti, Conti, & Passarella, 2005). Además, establece un mecanismo diferente de control de congestión.

Tolosa et al. (2005) mencionan que, las redes MANETs se implementan en aplicaciones de transmisión de datos sin grandes requerimientos de ancho de banda y tiempo de entrega de paquetes. También, se han desarrollado técnicas de codificación para aumentar la comprensión de datos, pero afectando un poco la calidad de servicio (Ugas, 2009). En efecto, el reto de las redes móviles ad hoc es brindar una administración eficiente de QoS. Según Castaño (2003), este objetivo se lo puede lograr si todos los niveles de red trabajan en el mismo sentido.

Por otro lado, Pineda et al. (2015) expresan que las redes móviles ad hoc son ideales para una computación colaborativa, en otras palabras, software de comunicación que supere distancias geográficas entre usuarios que trabajen juntos. Así mismo, los dominios de aplicaciones MANET pueden existir en situaciones de emergencia, donde es necesario tener una comunicación rápida. Además, las actividades cotidianas como reuniones, conferencias para distribuir información entre asistentes, operaciones militares, ámbito educativo. En fin, cualquier escenario que necesite desarrollar y gestionar una red sin infraestructura (Jeroen, Ingrid, Bart, & Piet, 2005).

Técnicas de encaminamiento.

De acuerdo a Ameziane y Tolosa (2005), los protocolos de encaminamiento tienen la función de determinar el camino entre el nodo origen y destino de manera rápida y fiable. En la tabla 1 se detallan las características de los protocolos descritos a continuación.

Los protocolos de enrutamiento en redes MANET se clasifican en dos grupos, los basados en topología y los basados en geografía. Los protocolos basados en topología usan información sobre los enlaces para determinar su trayectoria y los geográficos usan la información de localización (Rivera Puga, 2018)

Broadcast es el método tradicional de transmisión de paquetes de las redes inalámbricas. El tráfico de *broadcast* es utilizado para enviar paquetes a todos los elementos de la red usando la dirección *broadcast* de la red. En otras palabras, el paquete contiene la dirección IP de destino 255.255.255.0, entonces todos los nodos recibirán y verán el paquete (Hyoung & Lee, 2014).

Tabla 1. Características y tipos de protocolos de encaminamiento.

Características	Broadcast	Reactivos	Proactivos	Híbridos
<i>Estructura de enrutamiento</i>	Planas y jerárquicas	Principalmente planas	Planas y jerárquicas	Principalmente jerárquicas
<i>Disponibilidad de ruta</i>	Envío constante de paquetes	Determinada cuando sea necesaria	Disponibles mientras los nodos sean accesibles	Depende de la ubicación del destino
<i>Volumen de control de tráfico</i>	Alto	Bajo	Alta	Mucho más bajo
<i>Manejo de movilidad</i>	Inundación de paquetes	Actualizaciones se producen en función de la movilidad a intervalos fijos	Utiliza el descubrimiento de rutas locales	Normalmente más de un camino puede estar disponible
<i>Almacenamiento</i>	Medio	Medio	Alto	Depende del tamaño de cada <i>cluster</i>
<i>Nivel de retardo</i>	Alto	Alto	Las rutas cortas están predeterminadas	Para destinos locales bajo.
<i>Escalabilidad</i>	No aplica	Menor a 100 nodos.	Hasta 100 nodos.	Diseñado para 1000 nodos o más.

Fuente: elaboración propia.

También se tiene los protocolos reactivos, considerados protocolos de baja demanda, porque las rutas entre un nodo origen y otro destino se crean solo cuando una fuente necesita establecer una comunicación (Municio et al., 2013). Sin duda, los nodos participantes en la comunicación se encargan de mantener activas las rutas ya creadas con anterioridad. Adicionalmente, los protocolos reactivos optimizan el consumo de energía y reducen la cantidad de paquetes de señalización; sin embargo, provocan retraso en el descubrimiento de la ruta de un nuevo camino (Doumenc, 2008).

Por otro lado, los protocolos proactivos que emplean tablas de rutas. Los nodos deben mantener la información de todos los caminos existentes hacia otros puntos. Incluso, ante

cualquier situación, el contenido de las tablas debe actualizarse periódicamente (Petearson, 2008). Al transmitir información de estado constantemente se produce una gran cantidad de paquetes de señalización; en consecuencia, afecta el uso del ancho de banda, velocidad de transmisión, alto consumo de energía, entre otros (Khodr & Seligmann, 2010). No obstante, Rodríguez et al. (2013) sostiene que, los protocolos proactivos son los más utilizados en redes densas.

Por último, los protocolos híbridos que híbridos surgen de las características de los protocolos reactivos y proactivos. En otras palabras, agrupa los nodos en zonas, con el objetivo de establecer rutas entre nodos de la misma zona mediante enrutamiento proactivo y determinar rutas entre nodos lejanos a través de enrutamiento reactivo (Shahbazi, 2013).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación tiene un enfoque cualitativo y alcance exploratorio. Por lo cual, se realiza una revisión literaria en relación a las redes ad hoc, arquitectura, técnicas de enrutamiento y aplicaciones. De la misma forma, se analizan las técnicas de enrutamiento y sus beneficios para el intercambio de paquetes. Luego, se desarrolla una aplicación móvil compatible con un entorno ad hoc utilizando la técnica de encaminamiento broadcast para establecer comunicaciones entre dos o más usuarios.

La investigación se divide en tres etapas. La primera etapa denominada preparación del software, contiene la información sobre la técnica de encaminamiento, materiales y herramientas para elaborar la aplicación móvil Android. La segunda, implica el desarrollo y diseño de la aplicación. Por último, la etapa tres detalla las pruebas experimentales y los resultados obtenidos.

Las pruebas se realizan con dispositivos móviles de diferentes versiones de software Android, se hace uso de la plataforma Wiresharck para conocer el tráfico de la red. Adicionalmente, se definen tres escenarios de pruebas. Primero, conexión e intercambio de información como texto e imágenes entre cuatro dispositivos móviles. Segundo, se integran dos dispositivos más para interactuar en la misma red. Por último, presencia de ocho dispositivos para establecer comunicación entre ellos. En la Figura 1 se describe el proceso.



Figura 1. Resumen de la metodología.

Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo de la propuesta y resultados.

En la etapa preparación del software se desarrollaron actividades de análisis de la técnica de encaminamiento y herramientas que se utilizarán en el proyecto, esta etapa se llevó a cabo previo al desarrollo de la aplicación móvil.

Por otro lado, para el análisis del protocolo se tomó en cuenta el funcionamiento general de los grupos de protocolos expuestos. La Tabla 2 resume las características más importantes de cada uno de ellos. Todas las técnicas de encaminamiento tienen el mismo propósito, intercambiar paquetes entre los nodos; la diferencia radica por la forma de crear rutas para llegar a los nodos destinos. Es por esto, que la técnica broadcast se implementará en este trabajo, debido a que las otras técnicas presentadas no se pueden desarrollar en dispositivos Android; y en lo que respecta a OLSR, se requiere instalaciones completas en los sistemas operativos, es decir, los celulares deben estar roteados para su implementación y en este trabajo no se pudo contar con celulares que cumplan tales requisitos.

Tabla 2. Características de los protocolos de encaminamiento.

Protocolos	Broadcast	AODV	OLSR	ZRP
<i>Métrica utilizada</i>	Inundación de paquetes	Salto en camino más corto y rápido	Salto en camino más corto	Salto mediante zonas
<i>Escalabilidad</i>	No	No	No	Sí
<i>Balance de carga</i>	No	No	No	Sí
<i>Consumo de energía</i>	Alto	Alto	Alto	Medio
<i>Control de congestión</i>	No	Sí	No	Sí
<i>Implementación Android</i>	Sí	No	Sí	No

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, con el objetivo de obtener resultados que permitan analizar el tráfico de red, consumo de energía y comportamiento de los nodos, el estudio se realizó en tiempo real, los materiales para realizar las respectivas pruebas fueron ocho dispositivos móviles Android escogidos aleatoriamente. En la Tabla 3 se detallan los modelos y versiones de los dispositivos.

Tabla 3. Lista de dispositivos Android del proyecto.

Cantidad	Modelo	Versión de software
1	Samsung Galaxy SIII mini	4.2.2
2	Samsung Galaxy SIIII mini	4.4.2
1	Azumi A35C Lite	4.4.2
1	LG K7	5.1.1
1	Samsung Galaxy J1 Ace	5.1.1
1	OnePlus one A0001	6.0.1
1	Samsung Galaxy A5 (2016)	6.0.1

Fuente: elaboración propia.

Se utilizó Eclipse como herramienta de desarrollo para la elaboración de la aplicación móvil, y el analizador de protocolos Wireshark para observar el tráfico de la red móvil ad hoc. Los dispositivos donde se instalará la aplicación móvil fueron detallados en la etapa anterior.

La segunda etapa describe el diseño de la aplicación móvil necesaria para desarrollar una red ad hoc para el intercambio de información entre usuarios. La interfaz del usuario puede ser ejecutada en cualquier dispositivo Android, sin embargo, la versión del software si es obsoleta limita los servicios de conexión de la aplicación. Por supuesto, la comunicación se realiza si los dispositivos se encuentran en la misma red. El intercambio de información puede ser por texto o imágenes, el usuario tiene la opción de activar que tipo de información desea enviar o recibir. A continuación, en la Figura 2, se presenta el diagrama de flujo de la aplicación móvil. Seguido, el diagrama de flujo del servicio descubrimiento de nodos, mostrado en la Figura 3.

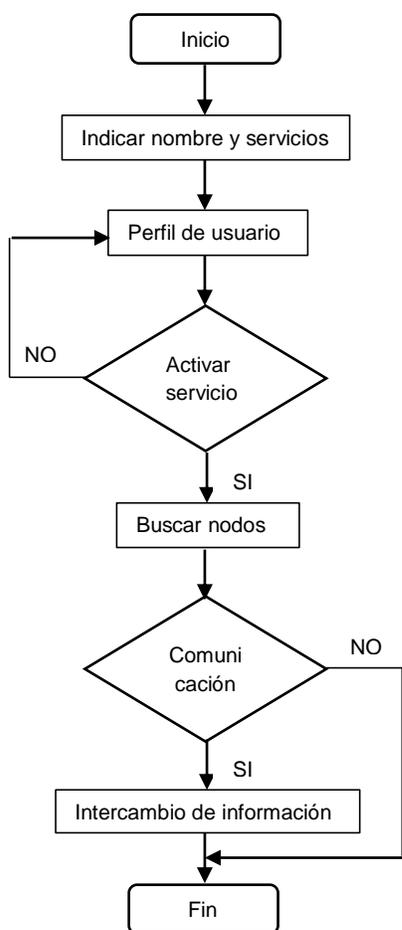


Figura 2. Diagrama de flujo de la aplicación móvil
Fuente: Elaboración propia

En otras palabras, los nodos envían paquetes continuamente a todos los nodos conocidos de la red, es trabajo del servicio de descubrimiento de nodos proporcionar la lista de direcciones IP actualizada, para distribuir los paquetes entre todos los nodos activos y establecer las comunicaciones requeridas por los usuarios mediante la técnica broadcast.

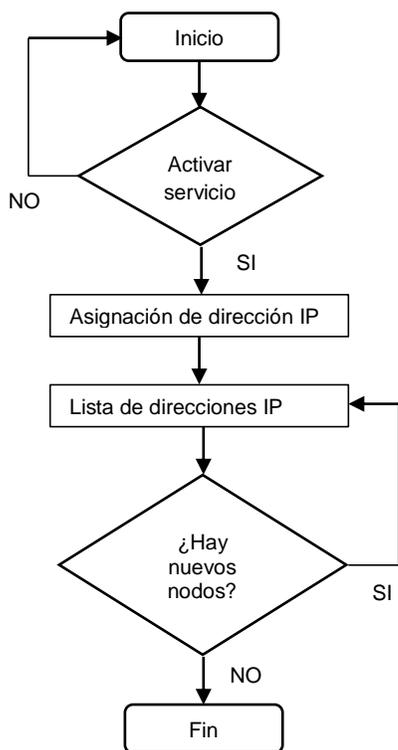


Figura 3. Diagrama de flujo del servicio descubrimiento de nodos.
Fuente: Elaboración propia

La etapa de ejecución de pruebas, consiste en realizar todas las pruebas de funcionamiento en los escenarios brevemente descritos en la Metodología, con el objetivo de validar el correcto funcionamiento de la aplicación móvil y conocer el tráfico de la red móvil. Las pruebas se realizarán con los ocho dispositivos descritos con anterioridad. Por lo tanto, se cuentan con datos reales para un mejor estudio de las características de la red móvil ad hoc.

En general, se evaluará la cantidad de paquetes enviados y recibidos por cada elemento de la red en relación a un tiempo de 60 segundos. La duración del tiempo se determinó tres minutos después de realizar las transmisiones de texto e imágenes entre los dispositivos

móviles, puesto que al principio de la transmisión los paquetes únicamente contienen la dirección IP de los nodos de la red, luego que se establece la conexión entre ellos se puede apreciar el tráfico de la red con los datos de transmisión de los usuarios. También, se analizará la capacidad de procesamiento y el consumo de energía de los dispositivos móviles.

Por lo que se refiere al intercambio de paquetes es importante conocer que siempre que se implemente la técnica broadcast los bytes recibidos serán mucho mayor que los bytes transmitidos. Ya que, cuando un nodo desea establecer comunicación con cualquier otro elemento de la red, enviará el paquete a la dirección 255.255.255.0 (configurada en cada elemento), entonces todos los nodos reciben y pueden ver el paquete. Lo que es lo mismo, cada paquete que se transmita en la red va a ser recibido por todos los nodos que la componen.

A continuación, se exponen las especificaciones de los diferentes escenarios de pruebas que se establecieron en este trabajo, con el fin de analizar el comportamiento de los nodos a medida que se incrementa la cantidad de nodos a la red. Además, cómo influye la versión del modelo de dispositivo en un entorno ad hoc en cuanto a capacidad de procesamiento, activación de servicios y consumo de energía.

Prueba Escenario 1.

En el modelo de prueba del escenario 1 se eligieron cuatro dispositivos aleatoriamente de la lista de materiales, para ejecutar la aplicación y desarrollar el entorno ad hoc. En la Tabla 4, se describe la información acerca de esta experimentación.

Tabla 4. Especificaciones de la prueba escenario 1.

Información General	
Nombre de la Prueba:	Escenario 1
Descripción de la Prueba:	Se realiza la conexión entre cuatro dispositivos móviles, los cuales intercambian información (texto e imágenes).
Precondiciones	
* Activar el servicio de conexión.	
* Permitir el intercambio de información.	

Instrucciones de Prueba

- * Ingresar a la aplicación.
- * Indicar su identificación y permitir los servicios de intercambio de información.
- * Activar el servicio de conexión.
- * Solicitar o aceptar intercambio de información entre nodos activos.

Fuente: elaboración propia.

En esta primera prueba se muestra un proceso lento de ejecución de la aplicación en las versiones de software menores a 5.0, debido que la aplicación necesita considerables recursos de memoria para un correcto funcionamiento.

En la Figura 4, se muestra la relación entre los Bytes transmitidos y los Bytes recibidos dentro de la prueba escenario 1 con cuatro nodos de movilidad en un tiempo aproximado de 60 segundos. La comunicación entre los elementos fue exitosa. Sin embargo, se puede observar que los nodos 3 y 4 presentan menor cantidad de paquetes que los dos primeros elementos, esto debido a la falta de capacidad de procesamiento de los dispositivos móviles y a las pérdidas de conexión por cobertura.

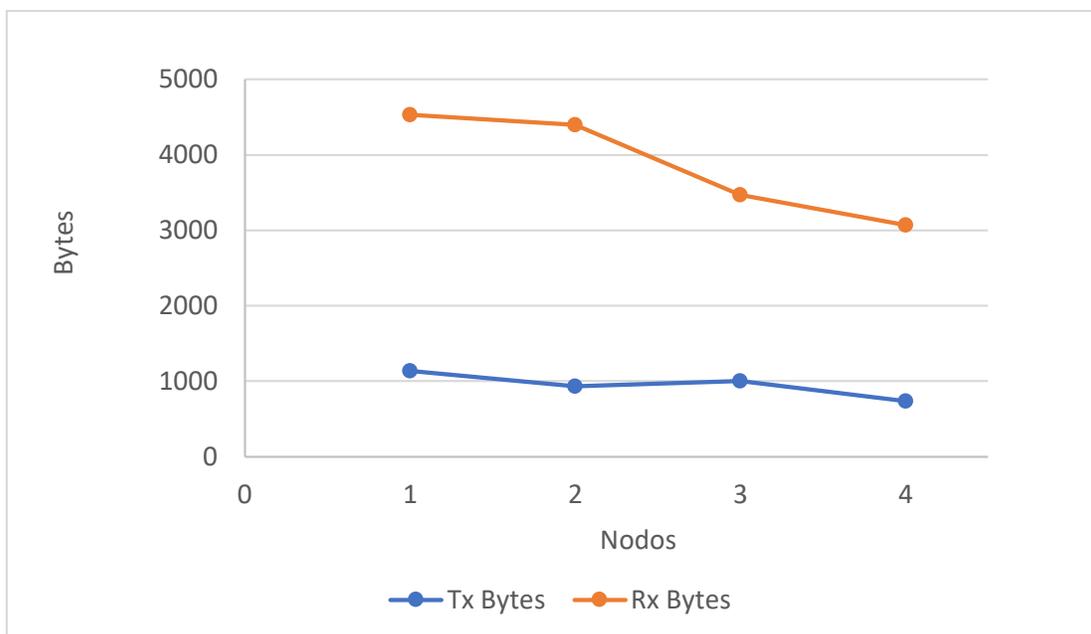


Figura 4. Transmisión y recepción de bytes por cada nodo del escenario 1.
Fuente: elaboración propia.

Prueba Escenario 2.

De igual manera que el escenario anterior, los dispositivos se seleccionaron aleatoriamente. En la Tabla 5, se describe la información acerca de la experimentación de este escenario.

Tabla 5. Especificaciones de la prueba escenario 1.

Información General	
Nombre de la Prueba:	Escenario 2
Descripción de la Prueba:	Seis dispositivos móviles se conectan a la red para intercambiar texto e imágenes.
Precondiciones	
* Activar el servicio de conexión.	
* Permitir el intercambio de información.	
Instrucciones de Prueba	
* Ingresar a la aplicación.	
* Indicar su identificación y permitir los servicios de intercambio de información.	
* Activar el servicio de conexión.	
* Solicitar o aceptar intercambio de información entre nodos activos.	

Fuente: Elaboración propia.

En este caso, se encontró una variante en el estado de los nodos, debido al retraso de información del servicio descubrimiento de nodos. Sin embargo, una vez establecida la conexión los datos eran transmitidos normalmente. También, se detectaron problemas de procesamiento en los dispositivos mencionados y se observó consumo de energía en los nodos que estaban en constante comunicación.

En la Figura 5, se observa la relación entre los Bytes transmitidos y los Bytes recibidos dentro de la prueba escenario 2 con seis nodos de movilidad en un tiempo aproximado de 60 segundos. Todos los nodos intercambiaron información con normalidad, no obstante, la versión Android 4.2.2 (nodo 6) tiene menor cantidad de paquetes debido a que se presentaron demoras en el descubrimiento de nodos.

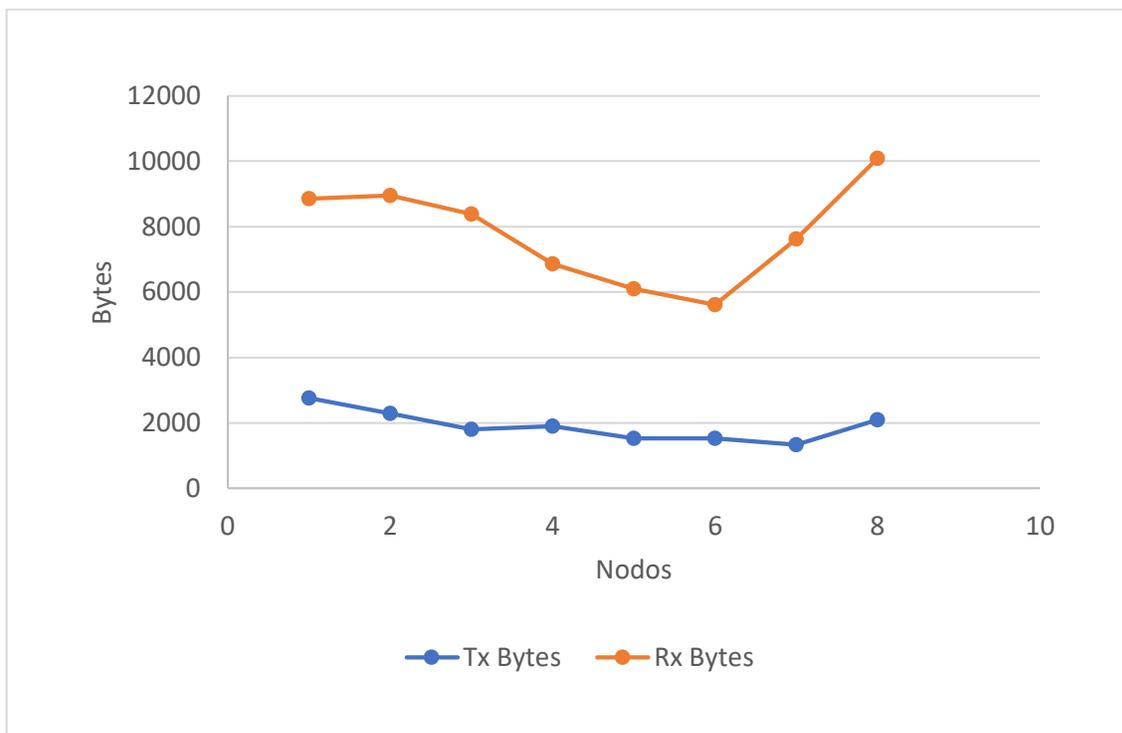


Figura 5. Transmisión y recepción de bytes por cada nodo del escenario 2.
Fuente: elaboración propia.

Prueba Escenario 3.

La prueba se realizó con todos los dispositivos de la lista de materiales. En la Tabla 6, se explica sobre el modelo de prueba de este escenario.

Tabla 6. Especificaciones de la prueba escenario 3.

Información General	
Nombre de la Prueba:	Escenario 3
Descripción de la Prueba:	Se hace uso de ocho dispositivos móviles para establecer comunicación entre ellos, puede ser texto y/o imágenes. Primero solo texto, luego imágenes y por último los dos tipos de archivos.
Precondiciones	
* Activar el servicio de conexión.	

* Permitir el intercambio de información.

Instrucciones de Prueba

- * Ingresar a la aplicación.
 - * Indicar su identificación y permitir los servicios de intercambio de información.
 - * Activar el servicio de conexión.
 - * Solicitar o aceptar intercambio de información entre nodos activos.
-

Fuente: elaboración propia.

Así mismo, en la Tabla 6 se especifica los resultados de la experimentación, donde la mayoría de las actividades propuestas no se desarrollaron con la eficiencia esperada, debido a que la cantidad de nodos activos vuelve lento el proceso de transmisión y descubrimiento de nodos activos. Por otra parte, la energía de los dispositivos se disminuyó significativamente puesto que la recepción de paquetes se incrementa en presencia de más nodos, necesitando mayores recursos de memoria para participar en el intercambio de datos.

En la Figura 6, se muestra la relación entre los Bytes transmitidos y los Bytes recibidos dentro de la prueba escenario 3 con ocho nodos de movilidad en un tiempo aproximado de 60 segundos. Los picos más altos en la gráfica son de nodos con alta capacidad de procesamiento que constantemente envían y reciben paquetes para no perder conexión entre todos los nodos activos de la red, pero no siempre tienen respuestas rápidas.

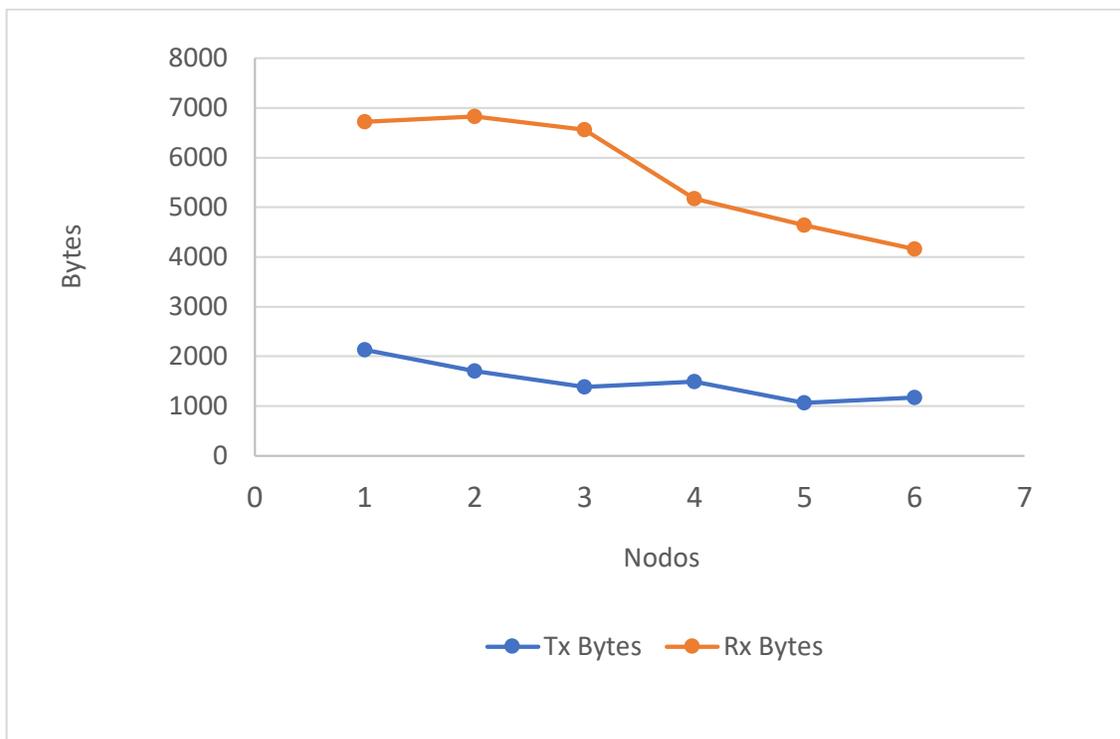


Figura 6. Transmisión y recepción de bytes por cada nodo del escenario 3.
Fuente: elaboración propia.

Además, se detectó que el servicio de descubrimiento de nodos se vuelve más lento en presencia de más nodos, tanto así que cuando un nodo se desconecta éste sigue apareciendo en lista de activos de los demás nodos. Y cuando vuelve a establecer conexión se duplica con los mismos datos de identificación. En otras palabras, el servicio de descubrimiento de nodos es inestable debido al retraso de los paquetes mediante la técnica de encaminamiento establecida.

Por otro lado, en la Figura 7 se analiza el intercambio de paquetes de las tres pruebas experimentales en relación a un tiempo de 15 segundos. No se presentó un crecimiento continuo debido al comportamiento de los nodos de la red. Por ejemplo, si observamos el segundo 11, el escenario 1 presentó mayor cantidad de paquetes a pesar de ser el escenario con menos nodos, incluso, el segundo 11 del escenario 2 recibió más paquetes que los demás escenarios. Esto ocurre, porque los estados de los nodos pueden cambiar muy rápido y no en relación a la cantidad de nodos en la red sino directamente a su capacidad de procesamiento y al tiempo de respuesta de los paquetes.

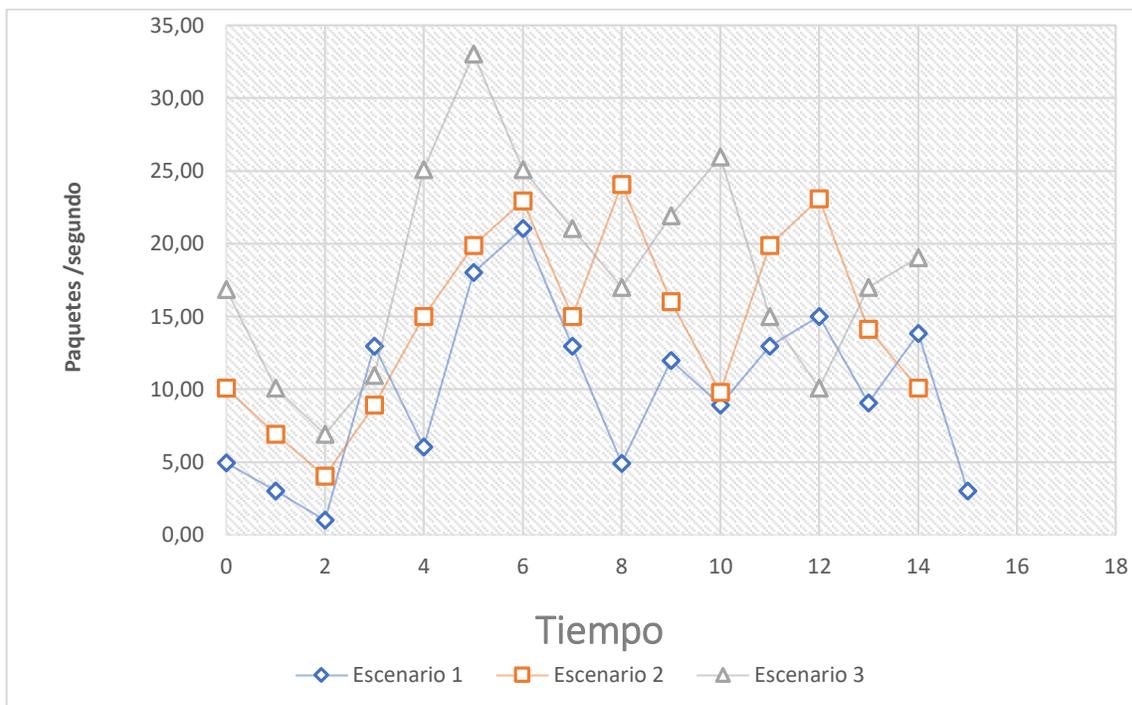


Figura 7. Intercambio de paquetes de los tres escenarios propuestos.
Fuente: elaboración propia.

En otras palabras, el rango de cobertura de cada uno de los nodos de la red influye mucho en el descubrimiento de nodos, puesto que los elementos que tengan poco rango de cobertura se desconectarán fácilmente y obligan al servicio mantener información actualizada sobre la topología de red, para que la técnica de encaminamiento sepa a quienes distribuir los paquetes.

Desde luego, el alto consumo de batería en los dispositivos reduce aún más el proceso de transmisión, es decir, el envío constante de paquetes disminuye la energía del dispositivo móvil y la memoria es afectado por la falta de recursos proporcionados. En consecuencia, se provocan retardos en los mensajes receptados. Por último, se observó una tasa de transmisión eficiente entre los dispositivos Samsung Galaxy A5 y el *One Plus one*, siendo los líderes en el intercambio de información a través de la aplicación móvil implementada.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Desde el momento que surgieron los medios tecnológicos y la necesidad de establecer comunicaciones, las redes inalámbricas han evolucionado. En la actualidad, existen redes inalámbricas descentralizadas que desarrollan comunicaciones accesibles para repartir información oportuna entre los dispositivos, por ejemplo, ad hoc. Luego de la revisión sistemática, se analizaron las técnicas de encaminamiento compatibles al tipo de red y se consideraron parámetros válidos para determinar la herramienta adecuada que ofrezca accesibilidad, movilidad y cobertura.

El presente trabajo contribuye al desarrollo de comunicaciones accesibles en todo momento, por medio de la implementación de una aplicación móvil que crea un entorno ad hoc utilizando el servicio de descubrimiento de nodos para establecer conexiones entre los dispositivos y la técnica *broadcast* para transmitir información oportuna. Para lograrlo se determinaron algunos objetivos. El primero fue analizar los algoritmos de encaminamiento de las redes ad hoc para argumentar la selección de la técnica a usar en el desarrollo de la aplicación móvil. Luego, se analizan los requisitos para diseñar la aplicación. Enseguida, se diseña el mecanismo de descubrimiento de nodos y se desarrolla la técnica de encaminamiento *broadcast*. Por último, se realizaron las pruebas considerando tres escenarios definidos en la Metodología.

En el marco teórico se realizó una revisión detallada de los algoritmos de encaminamiento de la red descentralizada ad hoc. Para completar el análisis, se hace referencia en la Preparación del software, donde se justifica la elección de la técnica de encaminamiento en la Tabla 2 y las versiones de dispositivos que se utilizaron en el proyecto ilustrados en la Tabla 3. Por otro lado, el segundo objetivo se logró en el Diseño del software. En esta etapa se relaciona la revisión sistemática del Marco Teórico y la búsqueda del tipo de versión Android adecuada para participar en un entorno ad hoc. Además, se alcanza también el tercer objetivo, se utilizó la técnica *broadcast* y el servicio de descubrimiento de nodos que se puede observar en los diagramas de flujo en las Figuras 2 y 3.

Para lograr el cuarto objetivo del proyecto se realizaron pruebas de funcionalidad para validar el correcto desarrollo de la aplicación móvil y que los servicios se hayan implementado adecuadamente. Las pruebas se implementaron por medio de escenarios, definidos en la Etapa 3, Ejecución de pruebas.

Por otro lado, la aplicación móvil desarrolla un entorno ad hoc mediante el uso de la técnica *broadcast* y el servicio de descubrimiento de nodos, también, se realiza un análisis de los requisitos que se deben considerar para desarrollar una red descentralizada, siendo uno de los principales la versión de software de los dispositivos Android, debido que versiones menores de 5.1 no logran una implementación adecuada de la topología dinámica de la red. Así mismo, se observó que los nodos cambian fácilmente de estado y obligan al protocolo de encaminamiento a realizar búsquedas constantes de información actualizada sobre conexión y desconexión de los nodos de la red. En lo que respecta a la técnica empleada, se determina que es eficiente para una red pequeña que no sobrepase los 50 nodos activos, debido que no crea rutas entre los nodos, sino que utiliza difusión de paquetes para llegar a un nodo destino; esto provoca saturación en el ancho de banda y retraso en la transmisión.

Este trabajo sólo consideró la técnica de encaminamiento *broadcast* para realizar las pruebas experimentales con dispositivos móviles. Además, la información disponible sobre implementación de los protocolos de encaminamiento para redes ad hoc se encuentra limitada en simulaciones. También, todos los modelos de Android no son competentes para configuraciones de protocolos sin infraestructura, solo ciertas versiones permiten su correcta implementación.

Tomando en cuenta las contribuciones y limitaciones del proyecto tienen recomendaciones para trabajos futuros como: Realizar un trabajo de experimentación con la aplicación móvil para comprobar la efectividad de utilizar el protocolo OLSR en redes densas, Evaluar diferentes parámetros como errores de transmisión, seguridad y localización en redes ad hoc, Implementar una mayor cantidad de pruebas experimentales, Realizar un estudio de cómo las redes ad hoc pueden mejorar su rango de alcance y por último Desarrollar un software compatible computadores en un entorno ad hoc para intercambiar información entre celular y computador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ali, S., & Sumari, P. (2010). An overview of mobile ad hoc networks for the existing protocols and applications. International journal on applications of graph theory in wireless ad hoc networks and sensor networks, 87-110.

- Ameziane, A., & Tolosa, M. (2005). Sistema de autoconfiguración para redes Ad Hoc. España: Universidad Complutense de Madrid.
- Anastasi, G., Anillotti, E., Conti, M., & Passarella, A. (2005). TPA: a transport protocol for ad hoc networks. 10th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC'05), 51-56.
- Basurto Dávila, J. C. (2010). Análisis comparativo de la implementación de voz sobre IP en Wireless Mesh Networks y Wireless LAN tradicionales tomando en consideración parámetros de calidad de servicio y problemas de movilidad ocasionados por Handoffs. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Cano, J., Calafate, C., Malumbres, M., & Manzoni, P. (2003). Redes inalámbricas ad hoc como tecnología de soporte para la computación ubicua. Valencia: Junra de Comunidades de Castilla la Mancha.
- Castillo, C. R. (2009). La elaboración de un corpus ad hoc paralelo multilingüe. Revista Tradumática. Tecnologías de la información y la Comunicación, 2.
- Chamba, F. V. (2017). *Implementación de protocolos de enrutamiento reactivo y proactivos para redes inalámbricas móviles Ad-hoc*. Guayaquil: UCSG.
- Doumenc, H. (2008). Estudio comparativo de protocolos de encaminamiento en redes vanet. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Gupta, A., Sadawarti, H., & Verma, A. (2011). A Review of Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks. Punjab: WSEAS Transactions on Communications.
- Hernández, J. P., & Márquez, D. (2006). Redes Móviles Ad-Hoc. Santa Fé, Argentina: Universidad Nacional de Rosario.
- Hyoungh, J., & Lee, T. (2014). Multipoint relay selection for robust broadcast in ad hoc networks. Elsevier.
- Jabeen, Q., Khan, F., Khan, S., & Ahmad, M. (2016). Performance improvement in multihop wireless mobile adhoc networks. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, 82-92.
- Kaschel, H., & Ortega, J. (2016). Energy efficiency in routing protocols applied to WSN. Santiago: IEEE International Conference.
- Khodr, R., & Seligmann, L. (2010). Ad-hoc network on Android. Kongens Lyngby: IMM-B.Sc.-2010-37.

- Kuo, W.-K., Liu, F., & Kuo, J. (2003). Enhanced backoff scheme in CSMA/CA for IEEE 802.11. Orlando: Digital Wireless Communications V.
- Municio, E., Quispe, M., Paucar, R., Chuchón, M., & Díaz, D. (2013). Evaluación de protocolos de encaminamiento en una red inalámbrica mallada desplegada en una zona rural. La Coruña: XXVIII Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio.
- Murazzo, M., Rodríguez, N., Villafañe, D., Grosso, E., & Dávila, G. (2013). Análisis del impacto de implementación de 802.11e en redes MANET con tráfico CBT. Argentina: Argentine Symposium on Technology.
- Ortíz, J., & Hernández, G. (2006). Cálculo de algunas medidas estadísticas para evaluar el desempeño de redes ad hoc. Barranquilla: Universidad Nacional de Colombia.
- Pascual, A. E. (2007). Estándares en Tecnologías Inalámbricas. Tricalcar.
- Peterson, J. (2008). Redes ad-hoc una ventana abierta a las comunicaciones del futuro. Teckne, 24-28.
- Pineda, A., Menchaca, R., & Guzmán, G. (2016). Enrutamiento y posicionamiento integrados en redes móviles ad hoc. Computación y Sistemas, 289-307.
- Pineda, M. (2015). Valoración del sector de las telecomunicaciones en España. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Rivera Puga, H. (mayo de 2018). Evaluación de desempeño de protocolos de enrutamiento AODV y OLSR en redes AD-HOC. *Tesis de grado*. Quito, Pichincha, Ecuador: EPN.
- Rodríguez, E., Deco, C., Burzacca, L., & Pettinari, M. (2013). Estudio del desempeño de OLSR en una red mallada inalámbrica en un escenario real. Rosario: Congreso Argentino de Ciencias de la Computación.
- Rodríguez, E., Deco, C., Burzacca, L., Pettinari, M., & Bender, C. (2014). Análisis del desempeño del protocolo OLSR versus BMX en una red mallada inalámbrica en escenario real. Revista Electrónica Argentina-Brasil de Tecnologías de la Información y Comunicación, 50-62.
- Sbai, M. K., Barakat, C., & Choi, J. (2006). Adapting BitTorrent to wireless ad hoc networks. Francia: Inria Sophia Antipolis.

- Shahbazi, P. (diciembre de 2013). A Survey On Hybrid Routing Protocols in MANETS. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, 1(ISSN: 2321-8169), 882-887.
- Singh, S. (2008). Challenges: Wide-Area wireless NETWORKS (WANETs). San Francisco: ACM Digital Library.
- Solera, M., & Ruiz, F. (2014). Simulación de protocolos de enrutamiento para redes móviles Ad-Hoc mediante la herramienta de simulación NS-3 . Repositorio Institucional del Consorcio Ecuatoriano para el Desarrollo de Internet Avanzado
- Ugas, J. C. (2009). Estudio y análisis de prestaciones de redes móviles Ad Hoc mediante simulaciones NS-2 para validar modelos analíticos. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Valls Hermida, E. (2006). Estudio de parámetros de conectividad y topología en redes ad-hoc con distintos patrones de movilidad. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Zurbaran, M. (2015). Efectos de la comunicación en una red ad-hoc. Barranquilla: Universidad Simón Bolívar.