



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Simulación de redes inalámbricas móviles Ad-Hoc utilizando la
plataforma NS-3**

AUTOR:

Burgos Acosta, Luis Alberto

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de

MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

Bohórquez Escobar, Celso Bayardo

Guayaquil, Ecuador

Guayaquil, a los 9 días del mes de enero del año 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster **Burgos Acosta, Luis Alberto** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

Bohórquez Escobar, Celso Bayardo

DIRECTOR DEL PROGRAMA

Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, a los 9 días del mes de enero del año 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Burgos Acosta, Luis Alberto**

DECLARÓ QUE:

La tesis “**Simulación de redes inalámbricas móviles Ad-Hoc utilizando la plataforma NS-3**”, previa a la obtención del grado Académico de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizó del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis del Grado Académico en mención.

Guayaquil, a los 9 días del mes de enero del año 2017

EL AUTOR

Burgos Acosta, Luis Alberto



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Burgos Acosta, Luis Alberto**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución de la Tesis de Maestría titulada: “**Simulación de redes inalámbricas móviles Ad-Hoc utilizando la plataforma NS-3**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 9 días del mes de enero del año 2017

EL AUTOR

Burgos Acosta, Luis Alberto

REPORTE DE URKUND

The screenshot shows the URKUND interface. On the left, there is a sidebar with the following information:

- Documento:** [Burgos Luis Final MET2016.docx](#) (D23254082)
- Presentado:** 2016-11-12 01:53 (-05:00)
- Presentado por:** fernandopm23@hotmail.com
- Recibido:** edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
- Mensaje:** Revisión Tesis MET Luis Alberto Burgos Acosta [Mostrar el mensaje completo](#)

Below the message, a yellow box contains the text: "1% de esta aprox. 19 páginas de documentos largos se componen de texto presente en 1 fuentes."

On the right, there is a table titled "Lista de fuentes" with two tabs: "Lista de fuentes" and "Bloques". The table has the following columns: "Categoría", "Enlace/nombre de archivo", and a checkbox. The table contains the following entries:

Categoría	Enlace/nombre de archivo	
	Avance 2 Tesis Veronica Vega 17102016.docx	<input type="checkbox"/>
	Trabajo de titulacion Santiago Ramos Oficial.docx	<input type="checkbox"/>
	Trabajo de titulacion Paola Santos.docx	<input type="checkbox"/>
	http://infocom.uniroma1.it/alef/802.11/standar...	<input type="checkbox"/>
	http://infocom.uniroma1.it/alef/802.11/standar...	<input type="checkbox"/>

At the bottom of the interface, there is a toolbar with icons for search, navigation, and actions. A yellow warning box indicates "1 Advertencias." Other buttons include "Reiniciar", "Exportar", and "Compartir".

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL SISTEMA DE POSGRADO MAestrÍA EN TELECOMUNICACIONES

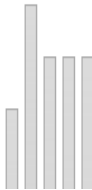
TEMA: Simulación de redes inalámbricas móviles Ad-Hoc utilizando la plataforma NS-3

AUTOR: Burgos Acosta, Luis

Alberto

Trabajo de Titulación

previo a la obtención del Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones



Dedicatoria

La presente tesis la dedico a Dios que siempre guía mi camino, a mis padres y hermanos que son un pilar fundamental en mi formación profesional, por brindarme sus consejos y confianza en los proyectos que me propongo, a mi querida chiquis que a pesar de todo seguimos ayudándonos siempre a salir adelante en todo los momentos difíciles y por último a mi hija que desde el momento que llegó ha iluminado mi vida y hace mi camino más claro siendo mi principal motivación.

Agradecimientos

Agradezco de forma especial al Decano de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Guayaquil que supo guiarme en la realización del presente trabajo.

El más sincero agradecimiento a mis padres, hermanos, esposa e hija que son seres especiales en mi vida, este nuevo logro es en gran parte gracias a ustedes solo me queda decirles que los amo mucho.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

BOHORQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO

TUTOR

f. _____

PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO

REVISOR

f. _____

CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO

REVISOR

f. _____

ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS

DIRECTOR DEL PROGRAMA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
Resumen	XIV
Abstract.....	XV
Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.....	16
1.1. Introducción.....	16
1.2. Antecedentes.....	17
1.3. Definición del problema	17
1.4. Objetivos.....	17
1.5. Hipótesis.....	18
1.6. Metodología de investigación.....	18
Capítulo 2: Estado del Arte.....	19
2.1. Introducción	19
2.2. Redes Ad Hoc y Mesh.....	19
2.3. Wi-Fi, el estándar IEEE 802.11.....	21
2.3.1. El estándar 802.11g.....	24
2.3.2. El estándar 802.11n.....	25
2.3.3. El estándar 802.11s.....	27
2.3.4. Efectos de la topología	29
2.4. Bluetooth	31
2.7.1. Bluetooth 1.x y 2x.....	33
2.7.2. Bluetooth 3.0	35
2.5. Escenarios de vida real para redes Ad-hoc.....	36
2.6. Acceso a Internet.....	37
2.7. Red Ad Hoc Móvil.....	40
Capítulo 3: Simulación y Resultados Obtenidos.....	46
3.1. Introducción.....	46
3.2. Especificaciones de las redes inalámbricas Wi-Fi.....	46

3.3. Diseño de escenarios de simulación.	48
3.3.1. Escenario de simulación 1: Wi-Fi.	48
3.3.2. Escenario de simulación 2 y 3: Wi-Fi y TDLS.....	50
3.3.3. Escenario de simulación 4: Wi-Fi Direct.....	55
3.3.4. Escenario de simulación 5: Wi-Fi Direct.....	57
Conclusiones	60
Recomendaciones	61
Bibliografía	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Configuración de una red de malla inalámbrica.....	21
Figura 2. 2: Relaciones espaciales de intertramas.	23
Figura 2. 3: Sobrecarga en diferentes subcapas.	23
Figura 2. 4: Diagrama de tiempo para CSMA / CA y RTS / CTS.....	24
Figura 2. 5: Capa PHY de la trama ERP-OFDM-54.....	25
Figura 2. 6: Red de malla inalámbrica.	29
Figura 2. 7: Capacidad de canal en los nodos 1-5.....	30
Figura 2. 8: Configuración de la estructura Scatternet con dispositivos maestro y esclavo.....	32
Figura 2. 9: Configuración para rutas Scatternet.	34
Figura 2. 10: Acceso de banda ancha residencial del Internet en áreas de poca población.....	38
Figura 2. 11: Una red de malla formada por XO-Laptops [16].	39
Figura 2. 12: Sistema de transporte público inteligente.	42
Figura 2. 13: Coches y trenes crean una red móvil ad hoc y detectan eventos de tráfico.....	44

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Configuración para el escenario de simulación 1.	49
Figura 3. 2: Resultados obtenidos del escenario 1.	49
Figura 3. 3: Configuración para el escenario de simulación 2.	50
Figura 3. 4: Resultados obtenidos del escenario 2.	51
Figura 3. 5: Variación de servidores móviles para el escenario 2.....	52
Figura 3. 6: Configuración para el escenario de simulación 3.	53
Figura 3. 7: Resultado comparativo entre los escenarios 2 y 3.	54
Figura 3. 8: Resultado de la variación de SMs en el escenario 3.	55
Figura 3. 9: Configuración para el escenario de simulación 4.	56
Figura 3. 10: Resultados obtenidos del escenario 4.	56
Figura 3. 11: Configuración para el escenario de simulación 5.	57

Figura 3. 12: Resultados obtenidos del escenario 5.	58
Figura 3. 13: Resultado de la variación de SMs en el escenario 5.	59

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2:

Tabla 2. 1: Diferentes extensiones de la norma 802.11 desde 1999	22
Tabla 2. 2: Velocidades de transmisión máximas en IEEE 802.11n en Mbps.	27
Tabla 2. 3: Rendimiento de la ruta Scatternet de diferentes tipos de paquetes.	35

Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Comparativo de los protocolos 802.11 a/b/g/n/ac.....	47
--	----

Resumen

Las redes inalámbricas móviles Ad-Hoc son muy utilizadas, ya sean, en instituciones privadas o del sector público, también, en instituciones educativas de formación inicial, secundaria y superior, utilizadas como ciudades totalmente digitales, por ejemplo, la ciudad de Guayaquil es una aplicación de lo que es tener en determinados sectores internet inalámbrico gratuito, proyecto que implementa de a poco el Municipio de Guayaquil. Aunque, existen un sinnúmero de lugares en donde se implementan redes Wi-Fi. Las redes móviles Ad-Hoc, son conocidas también como Wi-Fi. En el primer capítulo se describe las generalidades del proyecto, después, en el capítulo 2 se definen los conceptos fundamentales de las redes inalámbricas Ad-Hoc. Posterior, en el capítulo 3, se realizan los escenarios de simulación para redes inalámbricas usando la plataforma NS-3. Se usaron varias configuraciones, ya sean, para servidores móviles (SMs) como clientes móviles (CMs). Los resultados obtenidos para redes Wi-Fi (puras), Wi-Fi Direct y TDLS fueron aceptables, en especial TDLS.

Palabras Claves: AD-HOC, WI-FI, SERVIDORES MÓVILES, CLIENTES MÓVILES, WI-FI DIRECT, TDLS.

Abstract

Ad-Hoc mobile wireless networks are widely used, whether in private or public sector institutions, as well as in initial, secondary and higher education institutions, used as fully digital cities, for example, the city of Guayaquil is an application of what is to have in certain sectors free wireless internet, project that implements the Municipality of Guayaquil. Although, there are a number of places where Wi-Fi networks are implemented. Ad-Hoc mobile networks are also known as Wi-Fi. The first chapter describes the generalities of the project, then chapter 2 defines the fundamental concepts of Ad-Hoc wireless networks. Later, in chapter 3, the simulation scenarios for wireless networks are realized using the platform NS-3. Various configurations were used, either for mobile servers (SMs) as mobile clients (CMs). The results obtained for Wi-Fi (pure) networks, Wi-Fi Direct and TDLS were acceptable, especially TDLS

Keywords: AD-HOC, WI-FI, MOBILE SERVERS, MOBILE CLIENTS, WI-FI DIRECT, TDLS.

Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.

1.1. Introducción.

La comunicación inalámbrica es la transferencia de información entre dos o más puntos que no están conectados por un conductor eléctrico. Las tecnologías inalámbricas más comunes utilizan radio. Con las ondas de radio las distancias pueden ser cortas, como unos pocos metros para la televisión o hasta miles o incluso millones de kilómetros para las comunicaciones de radio de espacio profundo. Abarca diversos tipos de servicios fijos, móviles y aplicaciones portátiles, incluyendo radios de dos vías, teléfonos celulares, asistentes digitales personales (PDA) y redes inalámbricas.

La invención de la computadora y la subsiguiente creación de redes de comunicación puede ser aclamada en la realización más significativa del siglo XXI. Esta invención ha transformado la forma en que tiene lugar la comunicación y el procesamiento de la información. La funcionalidad de red de los sistemas informáticos ha sido explotada por el gobierno, las empresas y el individuo, con inmensos beneficios obtenidos por todos.

Wi-Fi, es una red de área local inalámbrica que permite a los dispositivos portátiles de computación conectarse fácilmente a Internet. Estandarizado como IEEE 802.11 a, b, g, n, Wi-Fi, se aproxima a velocidades de algunos tipos de Ethernet cableadas. Wi-Fi, se ha convertido en el estándar de facto para el acceso en hogares privados, dentro de las oficinas, y en puntos de acceso públicos. Algunas empresas cobraban a los clientes una cuota mensual por el servicio, mientras que otros han comenzado a ofrecer de forma gratuita en un esfuerzo por aumentar las ventas de sus productos.

La transferencia de datos a través de una red inalámbrica implica tres elementos independientes: las señales de radio, el formato de datos y la estructura de la red. Cada uno de estos elementos es independiente de los

otros dos, por lo que debe definir los tres cuando se inventa una nueva red. En términos del modelo de referencia OSI, la señal de radio opera en la capa física y el formato de datos controla varias de las capas superiores.

1.2. Antecedentes.

Hoy en día, las redes inalámbricas son utilizadas diariamente por millones de personas. Utilizamos esta tecnología para el acceso inalámbrico a Internet con nuestro portátil, para la transferencia de datos entre teléfonos, e incluso para jugar juegos multijugador con consolas de juegos portátiles. Sin embargo, casi ninguna de estas redes inalámbricas funciona en modo Ad-Hoc. Estos tipos de redes tienen muchas ventajas sobre las redes cableadas: las redes Ad-Hoc no requieren infraestructura, se pueden implementar de forma instantánea y son muy flexibles.

Hay varios trabajos de investigación en el área de las comunicaciones inalámbricas. Algunos trabajos incluyen la simulación de redes inalámbricas, para ver el rendimiento o comportamiento, en ciertos casos usan determinadas modulaciones digitales y realizan estudios comparativos entre ellas.

1.3. Definición del problema

Necesidad de modelar e implementar la simulación de redes inalámbricas móviles Ad-Hoc utilizando la plataforma NS-3

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General:

Desarrollar e Implementar modelos de simulaciones de redes inalámbricas móviles Ad-Hoc utilizando la plataforma NS-3

1.4.2. Objetivos específicos:

- ✓ Describir el estado del arte de las comunicaciones inalámbricas.

- ✓ Diseñar los escenarios de simulación para diferentes topologías de redes inalámbricas usando el programa network simulator.
- ✓ Analizar los resultados obtenidos de cada escenario de simulación.

1.5. Hipótesis

A través del desarrollo de los escenarios de simulación de las redes inalámbricas se demostrará la funcionalidad de las 3 topologías utilizadas durante las pruebas en el programa network simulator – NS3.

1.6. Metodología de investigación.

Algunos de los diseños de uso común en los estudios cuantitativos se pueden clasificar examinándolos desde tres perspectivas diferentes:

1. el número de contactos con la población estudiada;
2. el período de referencia del estudio;
3. la naturaleza de la investigación.

Cada diseño del estudio se puede clasificar de cada una de estas perspectivas. Estas perspectivas son bases arbitrarias de clasificación; Por lo tanto, la terminología usada para describirlos no es universal. Sin embargo, los nombres de los diseños dentro de cada base de clasificación se utilizan universalmente.

Por lo tanto, el presente trabajo usamos la tercera, es decir, que resulta ser una investigación cuasi experimental, cuyo enfoque es cuantitativo y diseño de investigación es descriptivo y explicativo.

Capítulo 2: Estado del Arte.

2.1. Introducción

Una red ad-hoc puede aumentar el alcance y el área de cobertura total de la red. Los escenarios en los que se puede utilizar este tipo de redes son variados y las áreas de aplicación abarcan desde el acceso a Internet hasta la transmisión de vídeo en directo hasta la recuperación de desastres. Existen diferentes tecnologías y protocolos disponibles que son adecuados para su uso en redes Ad-Hoc. Particularmente, IEEE 802.11 es el estándar adecuado que cumple con todos los requisitos para un uso en modo Ad-Hoc. Los estándares Wi-Fi de hoy en día tienen un rango de transmisión suficiente y una alta velocidad de transmisión de datos.

Los próximos estándares Wi-Fi lograrán velocidades de transmisión de datos, que nunca antes habían sido posibles. Pero incluso los estándares más antiguos como Bluetooth tienen capacidades Ad-Hoc que pueden ser útiles para el intercambio de datos inalámbricos. Por otra parte, una transmisión de datos a través de un medio inalámbrico implica efectos adversos como el ruido, el desvanecimiento y la interferencia que los nodos tienen que tratar. Estos efectos reducen el ancho de banda efectivo en comparación con una conexión de red cableada.

2.2. Redes Ad Hoc y Mesh.

Una red inalámbrica Ad-Hoc, es una colección de nodos o estaciones independientes que se comunican entre sí mediante la creación de una red de radio multipunto. Una red donde los nodos están todos conectados entre sí se puede llamar red de malla. Un hecho significativo es que la conexión se mantiene de forma descentralizada. Cada nodo de una red ad hoc inalámbrica es un terminal de usuario y un enrutador al mismo tiempo.

La gestión de la red se distribuye entre todos los nodos. Por lo tanto, es extremadamente necesario disponer de algoritmos de enrutamiento eficientes que permitan el intercambio de datos a través de rutas que consisten en múltiples nodos, es decir saltando sobre múltiples nodos. Es importante garantizar que esas transferencias no desperdicien más recursos de los que deberían. La eficiencia de una ruta de datos multihost depende del algoritmo de enrutamiento en su mayor parte (Miller, 2005).

Una característica importante de las redes de malla es la capacidad de auto-recuperación. La red todavía puede funcionar cuando un nodo falla o una ruta de acceso se congestiona. En ese caso, los nodos pueden descubrir diferentes rutas de enrutamiento y los datos pueden ser transmitidos a lo largo de un camino alternativo. Este tipo de redundancia hace una red de malla muy fiable.

La estructura descentralizada hace que las redes Ad-Hoc sean adecuadas para aplicaciones en las que una estructura centralizada puede ser poco fiable. Otra ventaja es, la mejor escalabilidad de las redes Ad-Hoc en contraste con las redes cableadas centralizadas. Las redes Ad-Hoc, se pueden ampliar fácilmente con otros nodos en cualquier punto de la red. La adición de más nodos a la red permite elegir más rutas alternativas. Esto también aumenta la capacidad de la red. Las redes inalámbricas Ad-Hoc abandonan el uso de cables para conectar nodos vecinos. Esta característica los hace muy flexibles. Normalmente las distancias entre nodos vecinos permanecen cortas. Pero también es posible utilizar estas redes para distancias más largas.

En la figura 2.1 podemos ver que la trayectoria entre los dos nodos superiores se ha roto. Debido a que una red de malla tiene la capacidad de auto-organización, los nodos pueden descubrir rutas alternativas al destino. Este ejemplo también deja claro que los nodos se auto organizan y por lo

tanto se crea la red de malla. Es decir, que cada nodo puede funcionar como fuente, destino o un relé para el tráfico de otro nodo.

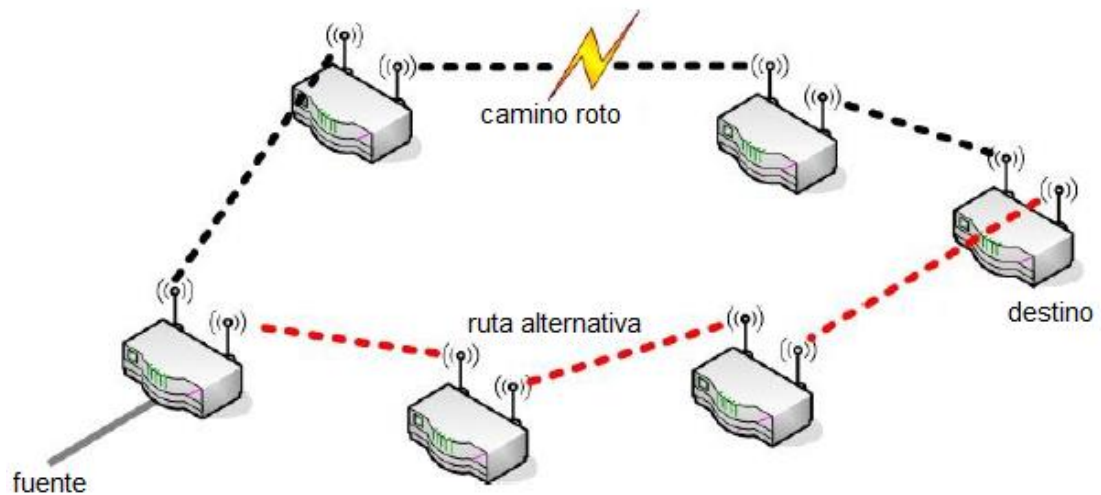


Figura 2. 1: Configuración de una red de malla inalámbrica.
Fuente: WiMAX (2014)

Dado que los usuarios son móviles, la topología de la red puede cambiar impredeciblemente durante una transferencia de datos en curso. La movilidad impredecible de nodos introduce más problemas de enrutamiento. Ahora se plantea la cuestión de si las aplicaciones como acceso a Internet o transmisión de vídeo funcionarán en un entorno Ad-Hoc en el que los datos se transmitirán a través de varios nodos desde la fuente hasta el destino.

2.3. Wi-Fi, el estándar IEEE 802.11.

Las redes Ad-Hoc operativas de hoy en día se basan principalmente en el estándar IEEE 802.11 a partir de 1999. Esta norma mejorada y que ha sido mejorada en los últimos años. Esto concierne sustancialmente a las capas tanto física (PHY) como la de control de acceso al medio (MAC) de la norma original. Hay extensiones en diferentes direcciones; Algunos mejoran el rendimiento, otra seguridad (i), calidad de servicio (e) o rango de transmisión (h) (LAN/MAN Standards Committee, 1999a)

Sin embargo, las versiones utilizadas hoy en día son casi sólo los tipos a, b y g. Desde la versión a, se utiliza la modulación OFDM más rápida y se pueden obtener velocidades de datos de hasta 54 Mbps. En comparación: el legado 802.11 sólo ofrecía una velocidad de datos máxima de 2 Mbps. En la tabla 2.1 se ofrece un breve resumen de los rangos de frecuencia utilizados y de las velocidades de transmisión. En la siguiente parte de esta sección, echamos un vistazo a las características básicas y funciones de 802.11.

Tabla 2. 1: Diferentes extensiones de la norma 802.11 desde 1999

	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
Banda	5 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 / 5 GHz
Velocidad de datos	54 Mbit/s	11 Mbit/s	54 Mbit/s	300 / 600 Mbit/s
Canales	19	11 USA / 13 EU	11 USA / 13 EU	> 30
Modulación	OFDM	DSSS	ERP-OFDM DSSS-OFDM	OFDM

Fuente: (LAN/MAN Standards Committee, 1999a)

El estándar IEEE 802.11 define una función de coordinación distribuida (DCF) donde se describe un mecanismo de acceso al medio inalámbrico aleatorio. Este DFC se basa en el esquema CSMA/CA donde cada dispositivo en una red inalámbrica tiene una oportunidad justa de acceder al medio. Para obtener acceso al medio de transmisión, la función de coordinación define diferentes separaciones entre tramas que se utilizan para la transmisión de tramas.

En la figura 2.2 se ilustra la dependencia del espaciado entre tramas para el estándar IEEE 802.11. Esta función utiliza espacios de intertramas más cortos para los casos en los que la red está compuesta sólo de dispositivos 802.11g (véase la tabla 2.2) y un espaciado entre tramas más largo para casos en los que hay dispositivos b y g combinados en una red.

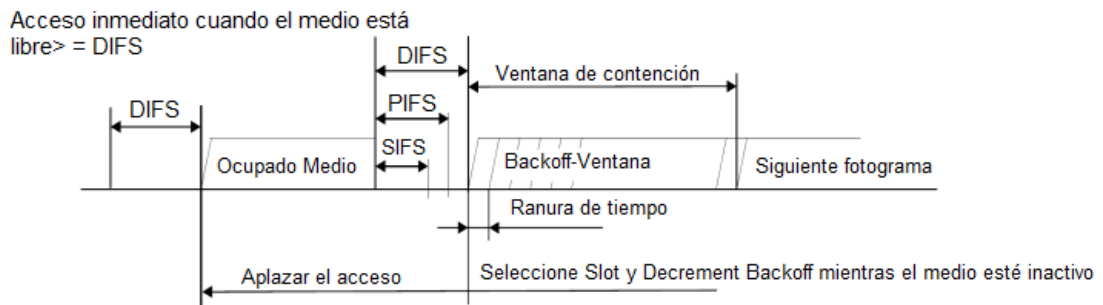


Figura 2. 2: Relaciones espaciales de intertramas.
Fuente: (LAN/MAN Standards Committee, 1999a)

El rendimiento se ve afectado principalmente por la sobrecarga. La sobrecarga real se agrega primero en cada capa OSI. Debido a los encabezados de protocolo añadidos en diferentes subcapas MAC y PHY (véase la figura 2.3: capa MAC, subcapa PLCP, subcapa PMD), el rendimiento máximo disminuye cuando se transmite una unidad de datos de servicio. Cuando se empuja un paquete de usuario a la capa MAC, se agrega un encabezado y remolque MAC (FCS). El nuevo paquete forma una unidad de datos de protocolo MAC que se vuelve a empujar a la capa PHY donde se añaden un preámbulo de PLCP y un encabezamiento PLCP. Esto se ilustra en la figura 2.3.

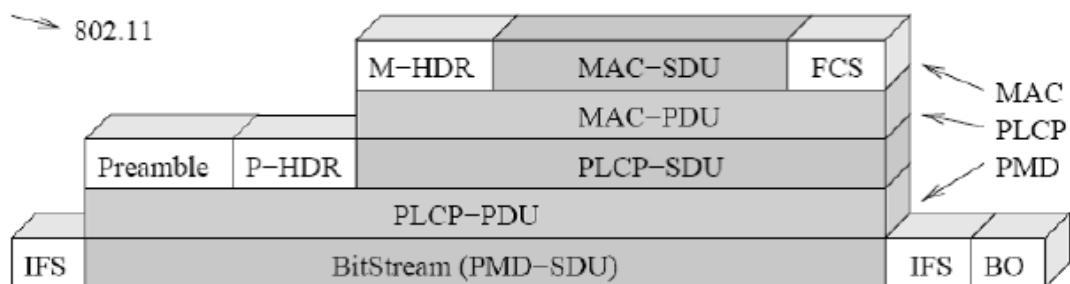


Figura 2. 3: Sobrecarga en diferentes subcapas.
Fuente: (Jun, Peddabachagari, & Sichitiu, 2003)

En la figura 2.4 se puede ver que el estándar IEEE 802.11 utiliza diferentes espacios de intertramas (InterFrame Spaces, IFS). El espacio entre tramas cortas (SIFS) se inserta antes de marcos de alta prioridad como tramas RTS, CTS y ACK.

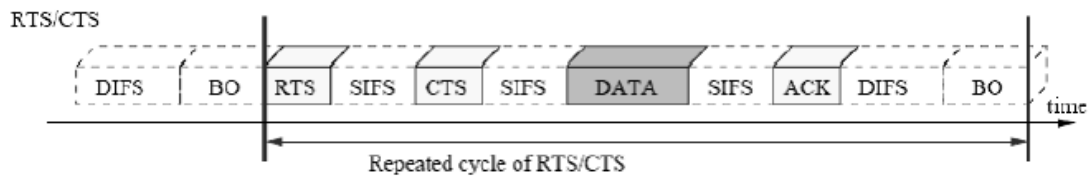


Figura 2. 4: Diagrama de tiempo para CSMA / CA y RTS / CTS.
Fuente: (Jun et al., 2003)

El DIFS (DCF-InterFrame Space), se utiliza durante cada operación basada en contención y puede ser seguido por un período de retroceso si el medio está ocupado.

2.3.1. El estándar 802.11g.

El estándar IEEE 802.11g define modos operativos adicionales para la capa PHY y extiende las funciones de la capa MAC. IEEE 802.11g fue aprobado en 2003 y se basa en las especificaciones definidas para 802.11. El estándar 802.11g define varias extensiones de velocidad de las cuales la tecnología ERP-OFDM de espectro extendido obligatoria permite transmitir con una velocidad teórica de 54 Mbps. Aunque ERP-OFDM puede transmitir más rápido con RTS/CTS desactivado, este mecanismo es utilizado como protección para reducir el problema del nodo oculto que causa colisiones, especialmente en una red multihost.

La figura 2.5 representa las partes constitutivas de una trama PPDU ERP-OFDM en la capa PHY. La trama incluye el preámbulo de PLCP, el encabezamiento de PLCP, los bits de cola y los bits de relleno. Cada paquete PPDU es seguido por una extensión de señal de 6 μ s que tiene que ser añadido al cálculo. Durante este período no se pueden realizar transmisiones. El propósito de esta extensión es asegurarse de que el esquema de modulación ERP puede ser terminado a tiempo. (LAN/MAN Standards Committee, 2003)

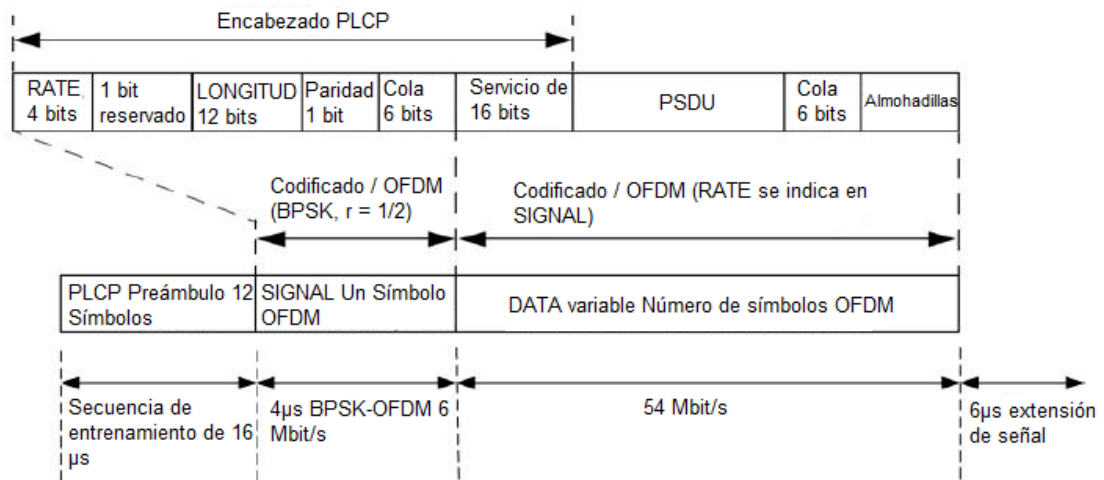


Figura 2. 5: Capa PHY de la trama ERP-OFDM-54.
Fuente: (LAN/MAN Standards Committee, 1999b)

2.3.2. El estándar 802.11n.

El estándar IEEE 802.11n funciona como 802.11a / b / g en la banda de 2,4 GHz más la banda de 5 GHz. 802.11n utiliza un ancho de banda de 40 MHz mientras que 802.11a/b/g sólo funciona en un canal de 20 MHz. El alcance interior tiene un radio de 70m; La gama al aire libre es 250m.

Se espera que el estándar 802.11n sea significativamente más rápido que los estándares anteriores, con un rendimiento máximo de al menos 100 Mbit / s en el punto de acceso del servicio MAC. 802.11n proporcionará mejoras de capa física y MAC.

El IEEE 802.11n MAC mantiene el acceso de canal basado en contención (DCF) y adopta CSMA / CA con el algoritmo de backoff exponencial binario. 802.11n está agregando múltiples entradas de salida múltiple (MIMO) a la capa PHY. MIMO es básicamente el uso de múltiples antenas en el transmisor y el receptor para mejorar el rendimiento de la comunicación. Los dispositivos 802.11n pueden enviar varios flujos de datos simultáneamente.

El estándar 802.11n incluye dos técnicas MIMO: multiplexación espacial y formación de haces (Beamforming). La multiplexación espacial divide los datos en múltiples flujos y los envía simultáneamente a través de múltiples rutas en el canal. Beamforming, es una técnica que utiliza varios elementos de antena direccional para formar espacialmente la onda electromagnética emitida para transmitir la energía al receptor sobre algún camino óptimo.

En el estándar IEEE 802.11, OFDM .11n aumenta la tasa de símbolos, acortando los intervalos de guarda e introduciendo la agregación de tramas y del bloque ACK. La agregación de tramas, es un método de combinar varios fotogramas en uno lo que resulta en una reducción de los intervalos entre tramas y tramas ACK. Este bloque ACK, es un único paquete de confirmación que confirma la recepción de múltiples tramas. El bloque ACK mejora la eficiencia porque no se envía una trama ACK después de cada paquete recibido y sólo se reenviarán las tramas faltantes después de una pérdida.

La tabla 2.2 presenta una visión general de las velocidades de transmisión del estándar 802.11n. Los números se toman de un miembro de un grupo de tareas 802.11n. Podemos ver que 802.11n tiene una velocidad de transmisión teórica de 600 Mbps usando el enlace de canal (40 MHz de ancho de banda) y 4 flujos de datos simultáneos. Los dispositivos inalámbricos que podrían lograr estas velocidades de datos no existen hasta ahora. La mayoría de los dispositivos con certificación 2.0 admiten dos flujos espaciales.

Esto nos da una velocidad máxima de transmisión de 144 Mbps para 20 MHz en un canal y 300 Mbps para 40 MHz en canales de enlace. Como ya sabemos, el caudal de la capa MAC de un estándar es mucho más bajo que la velocidad de transmisión.

Tabla 2. 2: Velocidades de transmisión máximas en IEEE 802.11n en Mbps.

	1	2	3	4
	Banda de 20 MHz (un canal) de 2,4 GHz o 5 GHz			
Intervalo estándar de guardia	65	130	195	260
Intervalo de guardia corto	72,2	144,4	216,7	288,9
	40 MHz (enlace de canal) Banda de 5 GHz			
Intervalo estándar de guardia	135	270	405	540
Intervalo de guardia corto	150	300	450	600

Fuente: (Sendra, Garcia, Turro, & Lloret, 2011)

No hemos podido obtener la especificación 802.11n oficial de IEEE. Por esta razón no fue posible hacer un cálculo exacto.

2.3.3. El estándar 802.11s

Una red de malla inalámbrica consiste en varios dispositivos inalámbricos que son capaces de comunicarse directamente entre sí (en un enfoque peer-to-peer) en lugar de comunicarse a través de estaciones base. Las redes de malla inalámbrica tienen la característica de que la comunicación entre nodos se lleva a cabo a lo largo de múltiples saltos. El estándar 802.11s permite una extensión transparente de la cobertura de la red sin necesidad de conectar los puntos de acceso por cables. Las redes de malla requieren algoritmos eficaces de enrutamiento que pueden encontrar rutas a través de la red y reaccionar ante cambios en la topología.

La tecnología 802.11s soluciona adicionalmente algunos problemas con respecto al enrutamiento, control de congestión y otros problemas de capa MAC que se describirán más adelante en 2.2.4. Esto se logra mediante la introducción de un nuevo protocolo de híbrido inalámbrico obligatorio (HWMP) que es capaz de manejar estos problemas.

La red de malla consta de puntos de malla (MP). Un punto de malla es una estación IEEE 802.11 que es capaz de soportar el protocolo de enrutamiento de malla 802.11s y es capaz de reenviar el tráfico de redes. La principal diferencia entre las redes de malla y los estándares IEEE 802.11a/b/g/n es la capa MAC. IEEE 802.11s sólo define cambios en la capa MAC donde se realiza un protocolo de enrutamiento de malla obligatorio. HWMP es el protocolo de enrutamiento predeterminado que proporciona enrutamiento bajo demanda para topologías móviles y enrutamiento proactivo para redes principalmente fijas.

Otros protocolos también pueden ser integrados por los proveedores de dispositivos inalámbricos. No se requieren cambios en la capa PHY en 802.11s. El formato de marco MAC se amplió con un campo de control que se ajusta a los requisitos de malla. El nuevo formato de trama es útil para la gestión de la malla, ya que envía mensajes de control para la selección de rutas y el enrutamiento.

La figura 2.6 muestra una red de malla que consta de varios puntos de malla (MP) y puntos de acceso de malla (MAP). Los puntos de acceso de malla son puntos de malla ordinarios que tienen funcionalidad de punto de acceso adicional. Otras estaciones que no son de malla IEEE 802.11 pueden conectarse a estos MAPs. Un Mesh Portal (MPP) es un punto de malla que proporciona una conexión a una red cableada. Un cálculo de rendimiento sobre las redes de malla, donde los datos se encaminan desde la fuente hasta el destino a través de múltiples nodos inalámbricos, es inmensamente más complejo que la red de un solo salto.

En el ejemplo siguiente examinamos una red de malla que consiste en nodos de retransmisión que cubren un área determinada y proporcionan conectividad inalámbrica. Cada nodo puede reenviar el tráfico de otros nodos. Los factores limitantes en este ejemplo son las interferencias de otras

transmisiones de la red y las colisiones de paquetes resultantes. Se trata de utilizar los escasos recursos del canal inalámbrico lo más eficientemente posible.

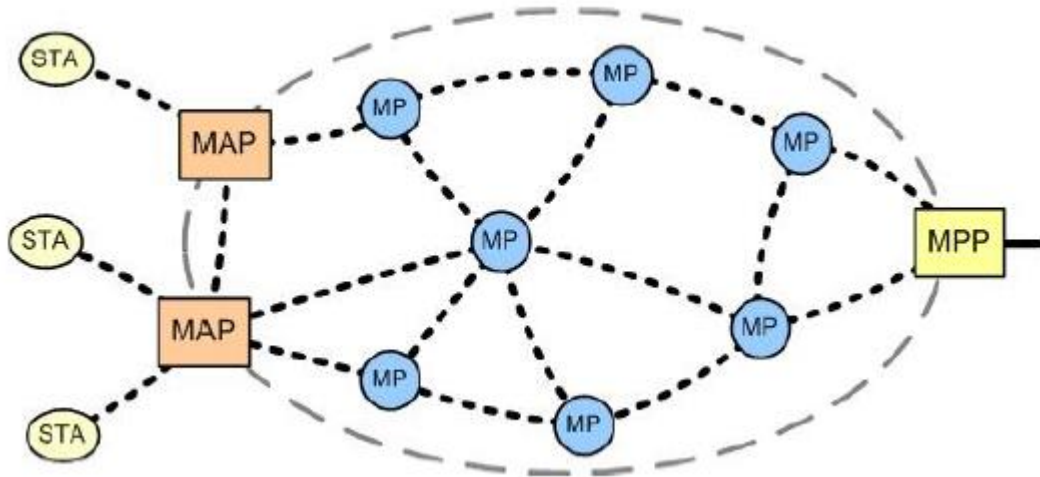


Figura 2. 6: Red de malla inalámbrica.

Fuente:

2.3.4. Efectos de la topología

En esta sección se muestra cómo se puede llevar a cabo una transmisión de datos inalámbricos a través de múltiples dispositivos que están organizados como una cadena de nodos. Los nodos en el medio de la ruta tendrán que reenviar el tráfico de todos los dispositivos anteriores. Además, se identifican los factores que reducen el rendimiento de 802.11 en una transmisión multihost.

La figura 2.7 muestra una situación típica que puede ocurrir en un escenario multihost. Los datos tienen que ser transferidos del nodo 1 al nodo 5 a lo largo de cuatro saltos. El remitente y el receptor están tan separados que no pueden sentirse mutuamente. Hay que distinguir los rangos siguientes: rango de transmisión y rango de detección.

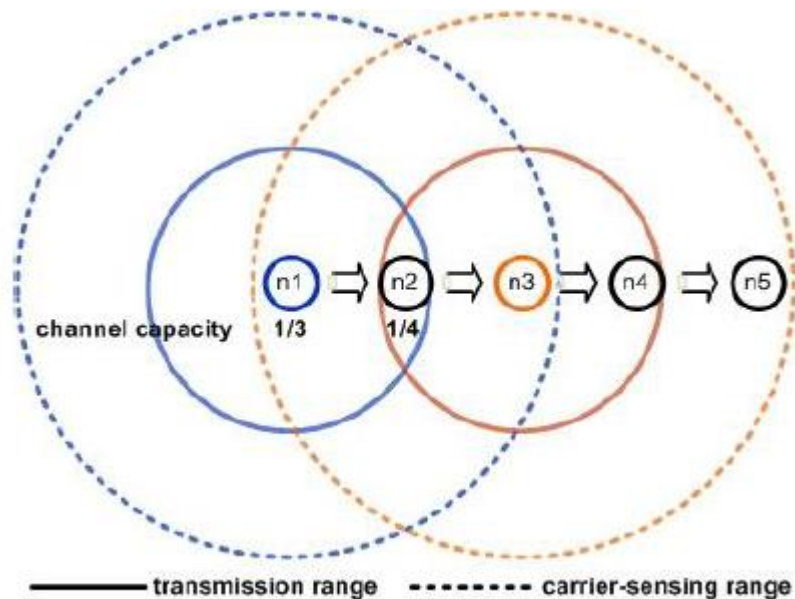


Figura 2. 7: Capacidad de canal en los nodos 1-5.

Fuente:

El intervalo de transmisión se presenta por la línea continua en la figura 2.7. La línea discontinua representa el rango de detección del portador que es más del doble que el radio de transmisión. En este escenario tenemos numerosos factores que tienen un impacto en el rendimiento máximo. Los tres problemas siguientes son necesarios para un análisis de rendimiento:

1. Una alta tasa de caída de paquetes
2. Inestabilidad de la ruta
3. Un problema de nodo oculto

La alta tasa de caída de paquetes que es causada por el hecho de que los nodos vecinos deben compartir su capacidad de canal. Debido a que el rango de detección del portador (550m) es mucho mayor que el rango de transmisión (250m), cada nodo puede detectar transmisiones de todos los nodos dentro del radio de 550m. Puede verse en la figura 2.7 que el nodo 1 tiene que compartir el medio con el nodo 2 y 3. Debido a esto, el rendimiento del primer salto en el nodo 1 está limitado a 1/3 de la capacidad total.

El nodo 2 tiene que compartir su capacidad de canal con otros tres nodos, el nodo anterior 1 y los dos nodos sucesores 3 y 4. De esto se deduce que el rendimiento en el nodo 2 no puede ir más allá de $\frac{1}{4}$ de la capacidad total. Los paquetes se descartan en los nodos 2 y 3 porque los primeros nodos de la cadena reenvían más tráfico que los nodos posteriores pueden procesar. Hasta ahora el rendimiento teórico de una cadena óptima podría ser $\frac{1}{4}$ de la capacidad total.

2.4. Bluetooth

Bluetooth opera en la banda sin licencia de 2,4 GHz. La radio Bluetooth emplea una técnica rápida de salto de frecuencia (CDMA) de frecuencia de 1600 saltos por segundos (sps) y ofrece un conjunto de 79 portadoras de 1 MHz. Cada dispositivo tiene una dirección única. Bluetooth es una tecnología orientada a la conexión que requiere el pre ajuste de canales de comunicación entre dos dispositivos.

El dispositivo maestro iniciador empieza con un piconet e invita a otros dispositivos (esclavos). Cuando se realiza el proceso de búsqueda y paginación descrita, el maestro puede contactar a cada vecino deseado. Después de la configuración del canal físico, el control se mueve desde la banda base (la capa PHY de Bluetooth) al protocolo de gestor de vínculos (LMP).

El protocolo de control y adaptación de vínculos lógicos (L2CAP) y sus capas anteriores pueden ahora comenzar a transmitir datos. La multiplexación de tiempo permite que un dispositivo pueda participar en dos o más piconets superpuestos (diferentes piconets utilizan diferentes canales FH-CDMA). Los dispositivos que participan en múltiples piconets sirven como puentes y permiten la intercomunicación entre diferentes piconets.

En la Figura 2.8 podemos ver dos piconets con un dispositivo esclavo superpuesto, que está saltando entre ambos piconets (puente). Esta estructura se llama "Scatternet". Además, los aparatos pueden estar estacionados o en modo de espera para ahorrar energía. Cada piconet puede tener un maestro y hasta 7 esclavos, cerca de 200 dispositivos podrían ser estacionados.

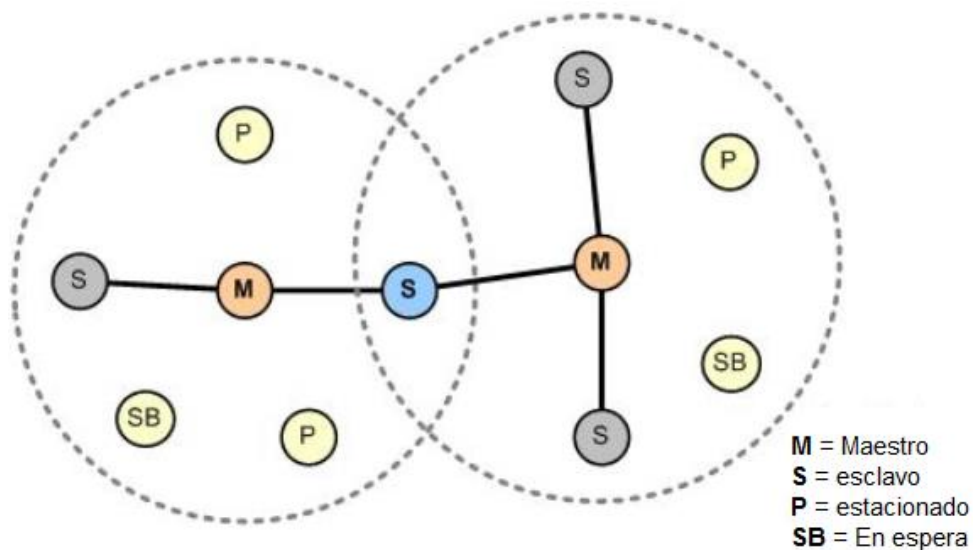


Figura 2. 8: Configuración de la estructura Scatternet con dispositivos maestro y esclavo.

Fuente: (Skocir, 2014)

Una gran cantidad de investigaciones se han realizado en el área de protocolos de enrutamiento Ad-Hoc para Bluetooth en los últimos años. Sin embargo, la velocidad de transmisión de Bluetooth resultó ser demasiado baja para aplicaciones complejas; también su gama baja de la transmisión fue criticada extensamente. Pero Bluetooth ofrece muchas ventajas: tiene poderosas propiedades Ad-Hoc, sufre menos interferencias en el modo de saltos múltiples como 802.11, y como no tiene ningún problema de nodo oculto.

Además, los vecinos Piconets utilizan diferentes canales FH-CDMA, lo que a su vez es la razón de la reducción de la vulnerabilidad de Bluetooth a las interferencias. Se desarrollaron muchos algoritmos de enrutamiento para

este estándar, que soportan estructuras tipo malla y consiguen mayores velocidades de transmisión de datos en comparación con los protocolos ad hoc estándar de Bluetooth.

2.7.1. Bluetooth 1.x y 2x.

Bluetooth 1.0 y 1.2 soporta una velocidad de datos de 1 Mbps, mientras que, Bluetooth 2.0 y 2.1 especificados en 2004 soportan velocidades de datos de aproximadamente 2 Mbps y traen algunas otras mejoras. Bluetooth 2.x con EDR (Enhanced Data Rate) soporta 3 Mbps. Ambas versiones funcionan de la misma manera.

A continuación, se describe una ruta a lo largo de varios saltos en un escenario multihost. En la fase de arranque inicial de la red todos los dispositivos se interconectan, formando así una Scatternet grande que consiste en varios piconets. La conectividad de la red se mantiene a nivel de enlace de datos.

Una vez que se establece la red, todos los enlaces Bluetooth se mantienen todo el tiempo incluso si no hay tráfico presente. La formación de una ruta Scatternet es iniciada por un dispositivo que desea contactar con otro dispositivo en la red. El establecimiento de tal ruta es bastante complejo y puede tomar varios segundos. En este punto, suponemos que la ruta del remitente al destinatario se ha formado (véase la figura 2.8).

Por supuesto, nuestro camino sólo contiene dispositivos a lo largo de la ruta de tráfico y todos los otros dispositivos conectados a los nodos maestros tienen que permanecer en otro estado de energía. Como se muestra en la figura 2.9, una ruta Scatternet consiste alternativamente en dispositivos maestros y esclavos.

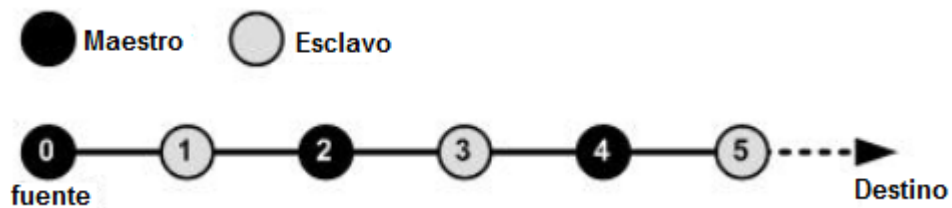


Figura 2. 9: Configuración para rutas Scatternet.
Fuente: (Skocir, 2014)

Los dispositivos maestros forman Piconets, mientras que los dispositivos esclavos sirven como puentes entre Piconets. Hay otra estructura más robusta de Scatternet, llamada estructura de doble función, donde todos los dispositivos tienen un doble papel de maestro y esclavo. Debido a que la estructura de rol simple (como se muestra en la figura 2.9) es más fácil de analizar y tiene un rendimiento más alto, sólo examinaremos esta estructura.

La tabla 2.3 muestra el rendimiento y la utilización de la red para diferentes tamaños de paquetes usando Bluetooth 1.x con una velocidad de datos máxima de 1 Mbps para una ruta Scatternet. En la tabla 2.3 se muestra el rendimiento que no aumenta mientras se envían múltiples paquetes a través de la ruta al mismo tiempo. Los paquetes de Bluetooth más grandes como DH3 y DH5, sin embargo, representan una mejora real: aumentan la utilización de la red en una red Ad-Hoc a un 36,16%. Esta increíble utilización de la red no fue posible con redes 802.11.

Las razones de esto son que, Bluetooth es una tecnología libre de contención con un mecanismo MAC multicanal. Además, no sufre el problema del nodo oculto y sus rutas permanecen estables durante la transmisión. Mientras que el rendimiento de las redes Ad-Hoc 802.11 caen rápidamente si la longitud de la ruta se extiende, el rendimiento de una ruta Scatternet permanece casi constante.

Tabla 2. 3: Rendimiento de la ruta Scatternet de diferentes tipos de paquetes.

Tipo de paquete	Longitud del paquete	Ranuras para Bluetooth	n	Rendimiento	Utilización de la red
DH1	27 bytes	1	1	86,4 Kbps	8,64 %
DH1	27 bytes	1	3	86,4 Kbps	8,64 %
DH1	27 bytes	1	5	86,4 Kbps	8,64 %
DH3	183 bytes	3	1	292,8 Kbps	29,28 %
DH5	339 bytes	5	1	361,6 Kbps	36,16 %

Fuente: (Skocir, 2014)

El rendimiento es independiente de la longitud de la ruta. Para resumir, la utilización de la red de una trayectoria de salto múltiple establecida puede alcanzar hasta 50% si cada piconet utiliza otro canal y los piconets no interfieran mutuamente las transmisiones.

2.7.2. Bluetooth 3.0

Bluetooth 3.0 es un nuevo estándar actualmente en desarrollo por el Grupo de Interés Especial Bluetooth y la Alianza WiMedia. Está utilizando la tecnología de banda ultra ancha (UWB) y operará en la gama de 6-9 GHz. La multiplexación por división de frecuencia ortogonal multibanda (MB-OFDM) se eligió para la integración con la nueva tecnología Bluetooth.

Mediante el uso de UWB será posible ofrecer múltiples portadoras de 100 MHz o incluso más anchas. De este modo, son posibles transferencias de datos de hasta 480 Mbps. Los nuevos dispositivos Bluetooth 3.0 también incluirán una radio de 2,4 GHz que permite compatibilidad con dispositivos antiguos. Esta próxima versión de Bluetooth mantendrá los atributos principales de Bluetooth (baja potencia, bajo costo, redes Ad-Hoc). Las funciones clave de Bluetooth 3.0 son las siguientes: (a) una Administración de topología revisada, permite la disposición automática de topologías piconet (especialmente en situaciones de Scatternet). (b) las estructuras de

capa MAC y PHY modificadas permiten el uso de transporte alternativo de datos de perfil Bluetooth.

La radio Bluetooth anterior seguirá siendo utilizada para el descubrimiento de dispositivos y la configuración de la comunicación. Tan pronto como se necesite enviar una gran cantidad de datos, se utilizarán las estructuras MAC y PHY de alta velocidad para transmitir los datos. Por lo tanto, el modo de conexión de baja potencia se utiliza mientras la red está en modo de espera, y la radio UWB se utiliza cuando se necesita enviar una gran cantidad de datos. Por último, las mejoras de QoS permitirán transmitir datos de audio y vídeo con una calidad superior.

Como ninguna especificación de Bluetooth 3.0 es definitiva, no es posible realizar un cálculo. Como hemos visto Bluetooth 1.x ya logra una utilización de red muy alta, especialmente en el modo Ad-Hoc. Esperamos que Bluetooth 3.0 mantenga todas sus ventajas y haga posible una comunicación eficiente en un entorno multihost.

2.5. Escenarios de vida real para redes Ad-hoc

Hoy en día existen varias aplicaciones que requieren mucha velocidad de datos y dependen de redes de banda ancha y fiables. Ejemplos concretos para este tipo de aplicaciones que se beneficiarían de la red Ad-Hoc son: conferencias multimedia, transmisión de vídeo, almacenamiento en red, transferencia de archivos, transmisión de señales HDTV, transmisiones de múltiples señales de audio y juegos en línea. Se está desarrollando un gran número de aplicaciones nuevas e interesantes. El objetivo de esta parte es identificar una multitud de posibles aplicaciones que podrían beneficiarse al utilizar redes Ad-Hoc.

2.6. Acceso a Internet

Las redes Ad-Hoc también se pueden utilizar para proporcionar conexión a Internet a áreas sin infraestructura que utilizan adaptadores inalámbricos que son capaces de formar una red de malla. El objetivo del despliegue de redes de banda ancha inalámbrica no es sólo proporcionar acceso a Internet como un producto básico, sino también una forma económica y rentable de interconexión.

Muchos proveedores de servicios de Internet están buscando soluciones para realizar el acceso público a Internet que puede centrarse en el mercado de propósito residencial o de negocios. Para proporcionar acceso inalámbrico a Internet de banda ancha, cada vez más proveedores de servicios de Internet ya están instalando soluciones basadas en tecnologías Wi-Fi. Redes de malla inalámbrica podrían ser la solución perfecta para ofrecer conexión inalámbrica en interiores y al aire libre para acceder a Internet. Esto puede realizarse no sólo para los entornos urbanos, sino también para los entornos rurales, especialmente la instalación de acceso a Internet en un entorno rural podría ahorrar el costo de una costosa infraestructura de red cableada.

Por ejemplo, un área más o menos poblada puede cubrirse con varios cientos de puntos de acceso al aire libre que están organizados como una red de malla. Sólo una pequeña cantidad de los puntos de acceso debe conectarse por cables a Internet. La instalación de una red de este tipo puede llevarse a cabo de manera sencilla y rentable. Particularmente para las zonas rurales o regiones que apenas están pobladas esta es probablemente la mejor solución.

La figura 2.10 muestra un campo rural con bosques y ríos. Para conectar todos los hogares con una conexión a Internet por cable podría ser muy costoso. Una manera más fácil es sólo alambre sólo unos pocos

edificios y proporcionar la conexión a través de una red de puntos de acceso que forman una red de malla.

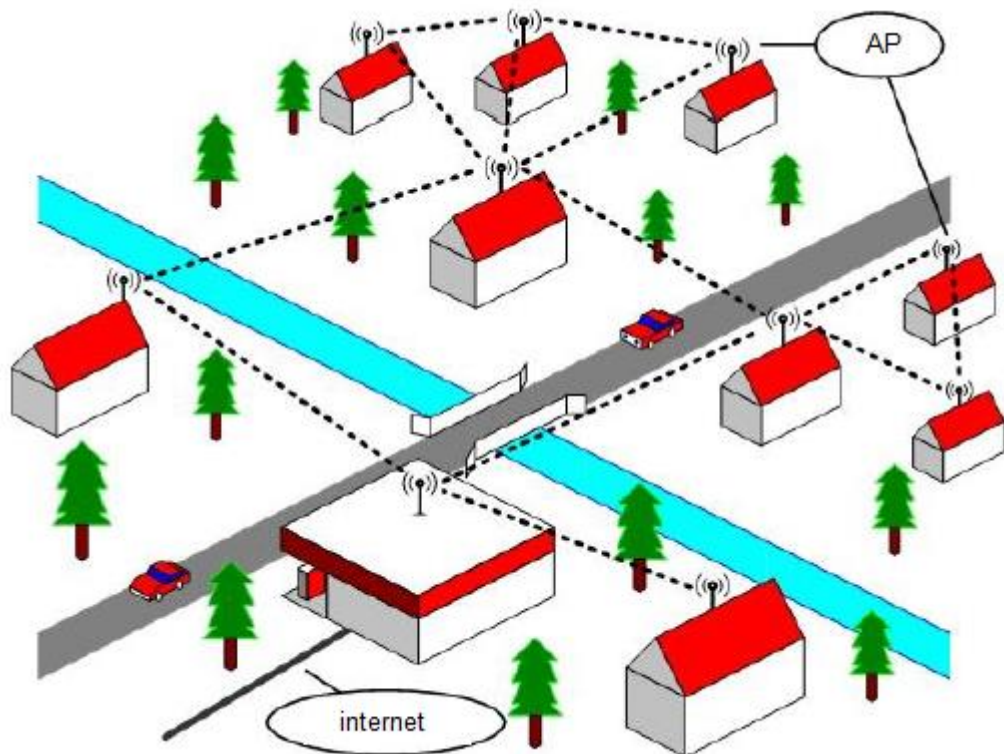


Figura 2. 10: Acceso de banda ancha residencial del Internet en áreas de poca población.

Fuente: (Bruno, Conti, & Gregori, 2005)

Otro escenario deseable en el que la red de malla ampliaría la usabilidad es el establecimiento de conectividad a Internet para la población en los países menos desarrollados. Esos países no poseen la infraestructura necesaria para tener acceso a Internet y la instalación de tal infraestructura no es asequible.

Aquí es donde el proyecto One Laptop Per Child (OLPC) podría entrar en juego. El proyecto OLPC intenta el despliegue de los llamados XO-Laptops a países del tercer mundo. El XO-Laptop es una computadora móvil y robusta diseñada especialmente para las necesidades de los niños y para el uso en escuelas.

Cada XO-Laptop, es también un enrutador inalámbrico que permite el establecimiento de LAN inalámbricas sin necesidad de hardware adicional. Para garantizar el reenvío del tráfico de otro dispositivo, el adaptador de red del XO-Laptop sigue funcionando incluso si el portátil está apagado. Así que cada portátil es también un enrutador inalámbrico permanente siempre disponible para la red.

Para reenviar el tráfico a través de varios saltos, el XO-Laptop utiliza el protocolo 802.11s. En un entorno escasamente poblado se supone que un adaptador de red de un XO-Laptop alcanza una distancia operativa de 1,6 km sobre el suelo en condiciones óptimas. Todas las computadoras portátiles que están en la misma área de cobertura se interconectan entre sí mediante el protocolo de malla. No es necesaria una configuración manual de la malla.

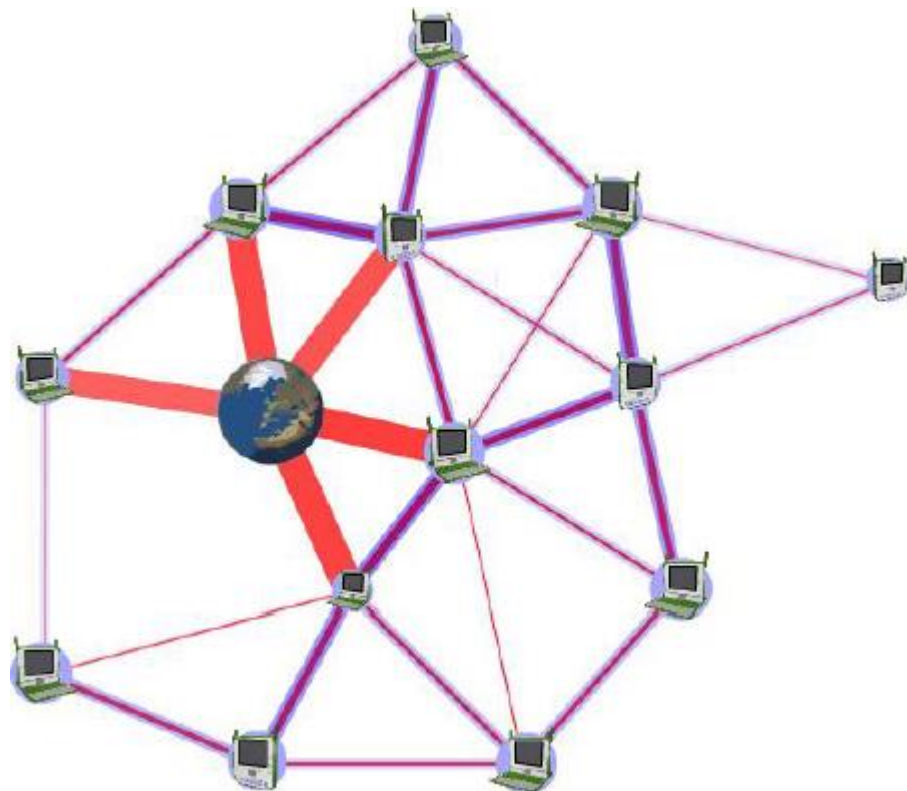


Figura 2. 11: Una red de malla formada por XO-Laptops [16].

Fuente: WiMAX (2014)

La figura 2.11 muestra una configuración de varios XO-Laptops organizados en una estructura de malla. El grosor de las líneas de conexión representa la fuerza de una conexión inalámbrica. Debido a que las computadoras portátiles no tienen un disco duro, toda la información se almacena en un servidor escolar. El servidor escolar, representado por el mundo en medio de la imagen, es también la puerta de entrada a Internet.

En resumen, en un escenario donde una cantidad limitada de personas quiere compartir información y acceder a Internet, la formación de una red de malla es rentable. Una red de malla para acceso a Internet es al mismo tiempo una plataforma de redes multipropósito. Debido a que la red está hecha de dispositivos de usuario, no se necesita infraestructura adicional. Todos los dispositivos son enrutadores y terminales de usuario al mismo tiempo.

2.7. Red Ad Hoc Móvil

Una red Ad-Hoc móvil, también llamada MANET, es una colección de nodos interconectados móviles. En un MANET, la topología de red puede cambiar impredeciblemente durante las transmisiones de datos. Cada nodo de este tipo de red es responsable de descubrir nuevas rutas y de entregar mensajes. Existen muchas aplicaciones para MANET que van desde pequeñas y estáticas redes de baja potencia hasta sistemas de comunicación grandes y móviles. En esta tesis estamos interesados en ejemplos a gran escala y dinámicos de uso de redes móviles ad hoc. MANETs se utilizan a menudo en redes de sensores inalámbricos.

Estas redes inalámbricas consisten en nodos autónomos distribuidos que utilizan sensores para monitorizar las condiciones ambientales, tales como temperatura, sonido o movimiento en diferentes lugares. Las redes de sensores no forman parte de esta tesis.

El diseño de MANET es más complejo que el diseño de redes estáticas Ad-Hoc. MANETs necesitan algoritmos más eficientes y distribuidos para la programación y enrutamiento de enlaces. El mayor problema es la determinación de rutas utilizables en un entorno descentralizado donde la topología puede cambiar cada minuto.

Factores como la calidad del enlace inconsistente, el desvanecimiento, la interferencia y los cambios topológicos hacen difícil determinar el camino más corto desde la fuente hasta el destino. La red debe tener la capacidad de alterar las rutas de enrutamiento de una manera flexible. Además, es importante mantener la latencia, la seguridad y la fiabilidad en una red de emergencia o de seguridad pública. Un defecto en uno de estos requisitos podría reducir la estabilidad del sistema de la red.

Las redes Ad-Hoc móviles pueden utilizarse para sistemas de transporte inteligentes. Este concepto se refiere a sistemas que agregan tecnología de información y comunicaciones a la infraestructura de transporte y vehículos. El objetivo de estos sistemas es gestionar factores como el envío, rutas, mejorar la seguridad, reducir los tiempos de transporte y el consumo de combustible.

Los sistemas de transporte inteligentes difieren en las tecnologías, que varían de los sistemas básicos de gestión como la navegación de automóviles, control de señales de tráfico, sistemas de gestión de contenedores, señales de mensajes variables y reconocimiento de matrículas a aplicaciones más complejas que contienen datos en vivo y comentarios de otras fuentes. Ejemplos de escenarios más avanzados son los sistemas de guiado de aparcamiento, los sistemas de información de cualquier tipo, la información meteorológica, etc.

Podemos ejemplificar la ventaja de un sistema de transporte inteligente en un sistema de información de viajes en tiempo real de la ciudad (véase los autobuses en la figura 2.12). Una multitud de autobuses de transporte público puede equiparse con el sistema mencionado anteriormente. El sistema es una red de comunicación de toda la ciudad basada en la tecnología de malla.

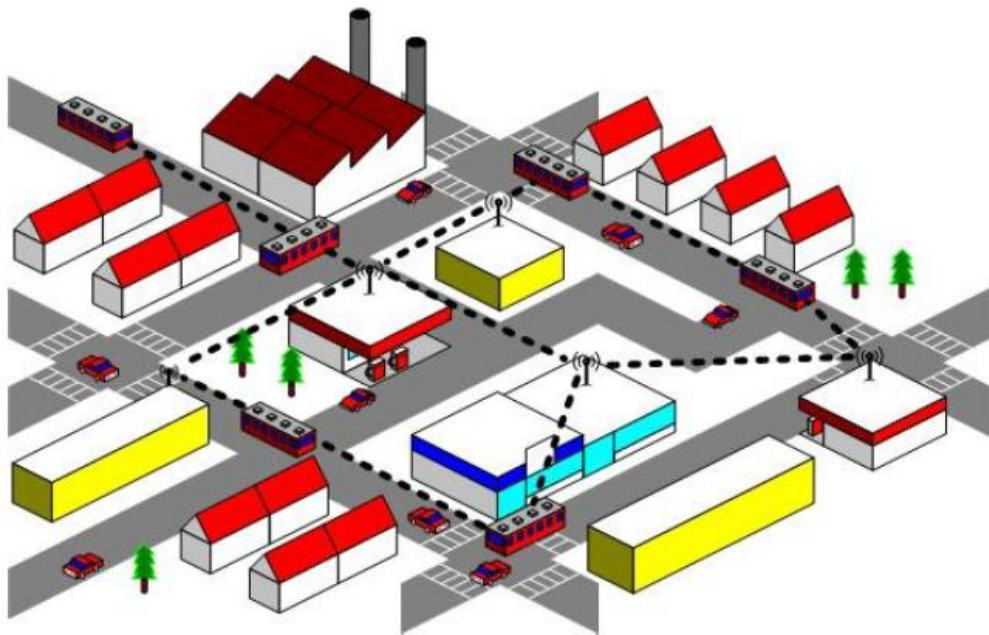


Figura 2. 12: Sistema de transporte público inteligente.
Fuente: (Skocir, 2014)

Su objetivo es ofrecer información de viaje en tiempo real para los pasajeros de los autobuses. Permite mostrar información en tiempo real por toda la ciudad. Se puede mostrar información como la ubicación del bus, su destino y un horario actualizado. El sistema también está diseñado para reducir los problemas de congestión, controlar la contaminación y mejorar la seguridad y la protección de los usuarios.

Los automóviles también pueden crear una red Ad-Hoc en el futuro. Podrían transmitir información general sobre tránsito y advertencias de atascos de tráfico o avisos de accidentes en las carreteras. Los vehículos

podrían operar como una red Ad-Hoc móvil en la que un único vehículo podría detectar eventos de tráfico e iniciar una transmisión a otros vehículos.

Para resolver el problema de enrutamiento, todos los vehículos deben soportar la gestión de localización, por ejemplo, mediante el uso de GPS. Otra ambición es proporcionar acceso universal a Internet a trenes o automóviles. Los vehículos pueden también dirigir el tráfico de datos de Internet usando un acercamiento Ad-Hoc. Pero incluso si los vehículos en una autopista o trenes de alta velocidad pueden enrutar y reenviar su tráfico, una conexión por cable sigue siendo obligatoria. Como solución, los puntos de acceso a Internet podrían colocarse a intervalos regulares cerca de la carretera o de la línea de ferrocarril, por ejemplo, cada kilómetro.

Esto tendría la ventaja de que los accidentes automovilísticos no sólo se harían notar en un pequeño radio de los coches circundantes, que se nota inmediatamente por toda la red. Una posibilidad sería proporcionada para difundir advertencias del accidente en la radio poco después de que sucedieran.

La figura 2.13 demuestra la posibilidad de crear un sistema de información y advertencia de tráfico combinado con el escenario para acceder a Internet desde vehículos en rápidos movimientos. Un coche implicado en un accidente transmite una advertencia a otros coches que se acercan. El acceso a Internet se realiza mediante puntos de acceso fijos cercanos a la autopista. Los vehículos que están fuera del alcance del punto de acceso todavía pueden acceder a Internet. Esto puede ser a través de una transmisión de saltos múltiples entre varios coches.

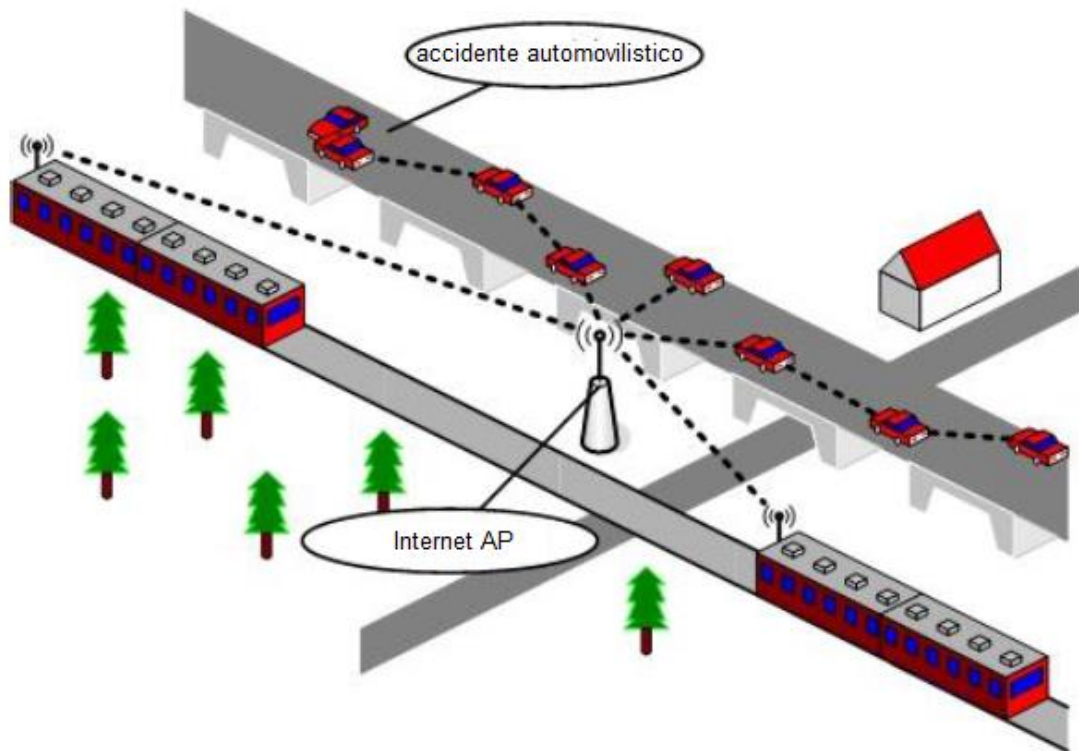


Figura 2. 13: Coches y trenes crean una red móvil ad hoc y detectan eventos de tráfico.

Fuente: (Skocir, 2014)

Una red móvil ad hoc también puede servir para cuestiones de seguridad pública. Pueden implementarse para mejorar el trabajo de la policía, los bomberos y los servicios de emergencia. La demanda de este tipo de servicios, combinada con una red de alto ancho de banda, está aumentando. Este tipo de servicios requiere alta movilidad, flexibilidad y fiabilidad.

Hasta ahora este problema se resolvió con tecnologías celulares que ahora se vuelven insatisfactorias. Las tecnologías celulares son extremadamente móviles, pero tienen un ancho de banda muy limitado. Seguir un escenario de seguridad móvil ad hoc es posible y podría mejorar la seguridad en las ciudades: Un distrito o incluso una ciudad entera puede ser cubierto con puntos de malla que están distribuidos equitativamente.

Los puntos de malla forman una red de malla y cubren toda la región. Un departamento de policía tendría que equipar sus coches con ordenadores portátiles que poseen un enlace inalámbrico. Cada coche de la policía e incluso todos los agentes de policía ahora pueden conectarse a una base de datos central y recibir o enviar datos.

En las áreas de desastre u operaciones de rescate, es muy útil poder organizar una red inalámbrica Ad-Hoc sin depender de una infraestructura fija. En un escenario de recuperación de desastres, los bomberos o el personal de ayuda de emergencia podrían transportar pequeñas cámaras y transceptores. Esto permitiría enviar la escena de emergencia a un centro de comando. Un supervisor podía rastrear sus posiciones masculinas y dirigir la operación.

Capítulo 3: Simulación y Resultados Obtenidos.

En esta sección se realiza la simulación de los escenarios diseñados para redes de comunicaciones inalámbricas usando network simulator (NS-3).

3.1. Introducción.

El estándar IEEE 802.11, es un conjunto de especificaciones de las capas física (PHY) y de control de acceso al medio (MAC) para las tecnologías de comunicaciones inalámbricas conocida como Wi-Fi. La mayoría de las implementaciones Wi-Fi actualmente disponibles se basan en esta especificación. También hay una asociación global sin fines de lucro denominada Wi-Fi Alliance, la misma que nos propone y define nuevos estándares que se pueden agregar a la especificación 802.11.

Wi-Fi, es una tecnología inalámbrica que tuvo su primera versión lanzada en 1999, y desde entonces ha sufrido varias actualizaciones hasta convertirse hoy en día en la tecnología de comunicación inalámbrica más utilizada. La subsección siguiente describe este proceso de actualización, especificando las características más relevantes agregadas para cada nueva versión. Asimismo, se realiza una revisión técnica de Wi-Fi Direct y TDLS (configuración de enlace directo tunelizado), y finalmente, se realizan los escenarios de simulación de estas tecnologías usando el programa NS-3 (Network Simulator versión 3).

3.2. Especificaciones de las redes inalámbricas Wi-Fi.

El estándar Wi-Fi ha sufrido varias actualizaciones (Banerji & Chowdhury, 2013), revisiones y extensiones desde que fue creado. Normalmente Wi-Fi utiliza ondas de radio a 2,4 GHz o 5 GHz para transmitir datos entre dispositivos. Desde la primera versión comercial de 802.11a, las tasas de datos se han incrementado, y también nuevos métodos de

modulación se han desarrollado y a su vez nuevas tecnologías han aparecido.

El estándar 802.11n fue el primero en introducir el High Throughput (HT) y Multiple Input Multiple Output (MIMO). El soporte de MIMO especifica que el dispositivo es capaz de realizar comunicaciones de entrada y salida paralelas y el HT significa que el dispositivo admite transferencias de alta velocidad. En el estándar más reciente, el 802.11ac HT fue actualizado a Very High Throughput (VHT), lo que permite velocidades aún más rápidas. Esta norma también utiliza MIMO. Muchas extensiones también se han desarrollado para mejorar la calidad de la comunicación y la velocidad.

Tabla 3. 1: Comparativo de los protocolos 802.11 a/b/g/n/ac.

	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11ac
Data Rate (Mbps)	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	1, 2, 5.5, 11, 24, 36, 48, 54	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	Up to 150 (40mhz)	Up to 866.7 (160mhz)
Operating Band (GHz)	5	2.4	2.4	2.4 / 5	5
Bandwidth (MHz)	20	22	20	20 / 40	20 / 40 80 / 160
Channels Number	12/13	11/13/14	14		
Non-Overlapping Channel Number	12/13	3/4	3/4	3/4	3/4
Range Indoor (m)	35	35	38	70	35
Range Outdoor (m)	120	140	140	250	—
(Very) High Throughput	No	No	No	HT	VHT
MIMO Support	No	No	No	Yes	Yes
Compatible with 802.11z Support	a	a/b			a/g/n/ac
802.11z Support	No	No	Yes	Yes	Yes
Wi-Fi Direct Support	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Modulation Method	OFDM	DSSS	DSSS ERP-OFDM	OFDM	OFDM

Fuente: (IEEE Standards Association, 2016)

En el contexto de este trabajo, uno de los más relevantes fue el 802.11z (TDLS) que permite a los dispositivos de una red local comunicarse entre sí directamente sin tener que enviar información a través del AP. Esta extensión está respaldada por la mayoría de los estándares de

comunicación. En la tabla 4.1 se muestra una descripción más detallada y comparativo de estas tecnologías.

3.3. Diseño de escenarios de simulación.

Para evaluar las limitaciones y escalabilidades de Wi-Fi, TDLS y Wi-Fi Direct, se diseñaron un conjunto de escenarios de simulación mediante casos de pruebas, basados en cuatro configuraciones de red. Cada cliente móvil realiza 10 solicitudes aleatorias de descarga de archivos desde un conjunto de archivos de vídeo. Los archivos tienen el mismo tamaño, cada uno con 3 MB.

En algunas configuraciones de la red diseñada, las solicitudes serán atendidas por un servidor fijo situado en Internet, en otras el contenido es atendido por servidores móviles que se encuentran en las proximidades de los clientes móviles. En las siguientes sub secciones se consideran los escenarios de simulación para Wi-Fi, TDLS y Wi-Fi Direct.

3.3.1. Escenario de simulación 1: Wi-Fi.

Todos los clientes móviles se conectan vía Wi-Fi a un punto de acceso (AP) y hacen peticiones a un servidor fijo en Internet. Para este caso de simulación de prueba los clientes móviles varían de 1 a 32. La figura 3.1 se muestra la configuración para el escenario 1. Este escenario se aproxima a escenarios reales muy próximos, por ejemplo, juegos deportivos, en los que una infraestructura tradicional Wi-Fi permite a los clientes móviles conectados a un punto de acceso (AP) solicitar repeticiones de video desde un servidor fijo (SF) conectado al AP mediante una conexión Gigabit Ethernet. Para simplificar el nombre, nos referiremos a este escenario como "WiFi: SF+AP+CM".

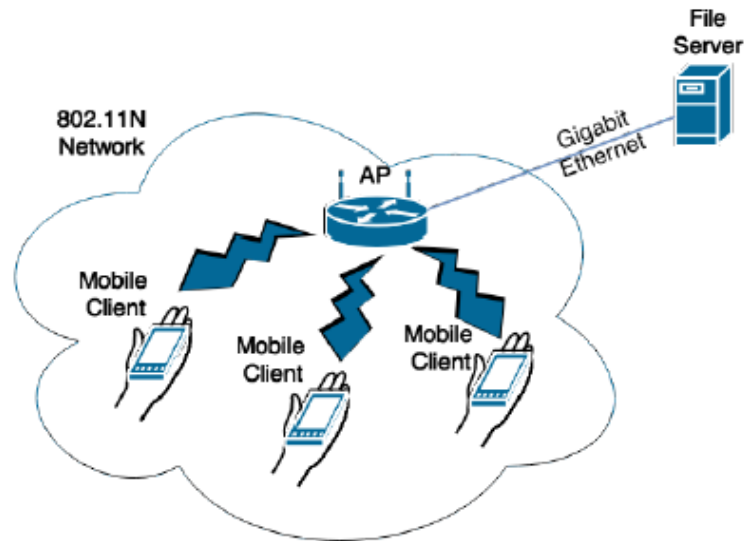


Figura 3. 1: Configuración para el escenario de simulación 1.
Elaborado por: El Autor

La figura 3.2 muestra la gráfica del tiempo medio de descarga por archivo, que se obtiene cuando varía el número de clientes móviles de 1 a 32 con cada cliente haciendo 10 solicitudes aleatorias de descarga de archivos.

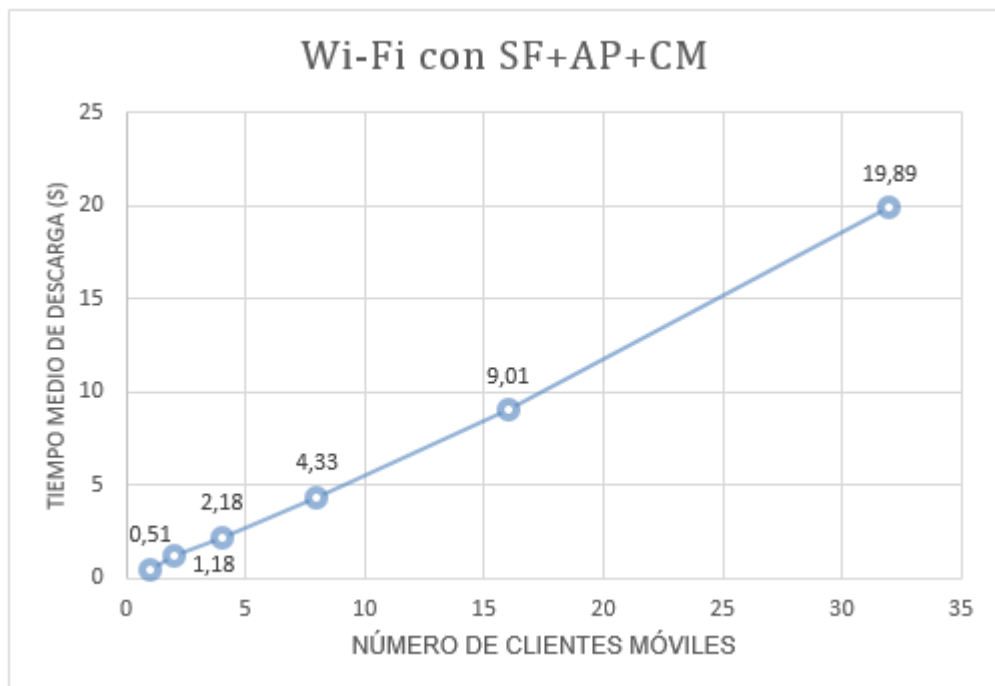


Figura 3. 2: Resultados obtenidos del escenario 1.
Elaborado por: El Autor

Los resultados muestran una tendencia casi lineal para el aumento del tiempo medio de descarga cuando aumentamos el número de clientes móviles hasta 32. La pendiente de línea aumenta cuando se pasa de 16 a 32 clientes, lo que se traduce en una degradación del tiempo medio de descarga. Esto puede ser el resultado de la mayor densidad de dispositivos que afectan al ancho de banda disponible debido al medio de comunicación, hacia al AP o al Servidor. Esperamos aclarar esto con los otros escenarios, aunque el impacto de los servidores no debe ser significativo.

3.3.2. Escenario de simulación 2 y 3: Wi-Fi y TDLS.

Para este escenario se realizan dos pruebas, una con Wi-Fi y otra con TDLS. Todos los clientes móviles se conectan vía Wi-Fi a un AP y hacen peticiones a un servidor móvil también conectado al AP. Se simulan dos casos de prueba. En el primer caso de prueba variamos los clientes de 1 a 32. En el segundo caso de prueba, variamos los servidores móviles 2, 4 y 8, y lo hacemos para clientes 8, 16 y 32. En esta prueba, los servidores se comportan sólo como servidores.

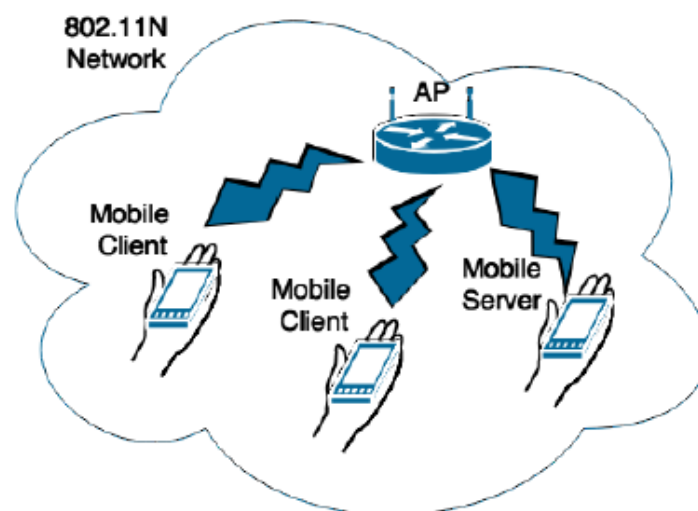


Figura 3. 3: Configuración para el escenario de simulación 2.
Elaborado por: El Autor

La figura 3.3 ilustra el escenario 2 en el que no hay un servidor fijo o una conexión a Internet externa. Todos los nodos siguen conectados a través de Wi-Fi, uno actúa como un servidor móvil (SM) y el otro como clientes móviles (CM). En este escenario, los servidores móviles no realizan ninguna solicitud de archivo. En la figura 3.4, se muestra la gráfica del tiempo de descarga promedio obtenido al variar el número de clientes móviles de 1 a 32 con cada cliente haciendo 10 solicitudes de archivo aleatorias a un servidor móvil.

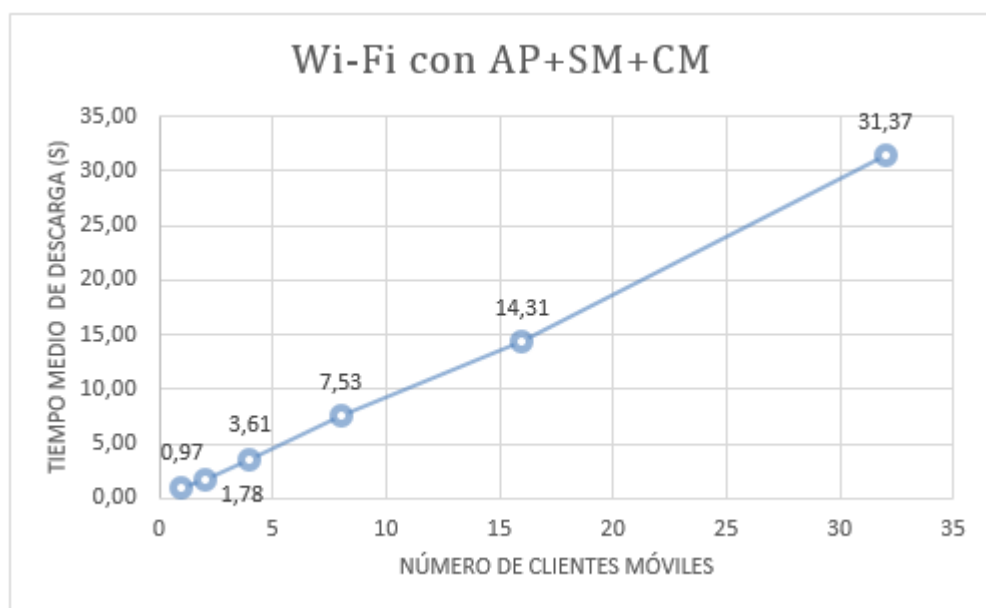


Figura 3. 4: Resultados obtenidos del escenario 2.
Elaborado por: El Autor

Los resultados muestran de nuevo una tendencia casi lineal para el incremento del tiempo medio de descarga cuando aumenta el número de clientes móviles hasta 32. El incremento es ligeramente superior al pasar de 16 a 32 clientes. Al comparar estos resultados con los del escenario 1 (véase figura 2.2), vemos que el tiempo promedio de descarga se degrada en un 50%, lo que es comprensible, aunque el número total de mensajes de solicitud generados por los clientes, que pasan por el AP, es el mismo del anterior escenario, pero ahora el reenvío al servidor y su respuesta es de nuevo vía Wi-Fi en lugar de Gigabit Ethernet.

Esta configuración tiene sentido para nosotros evaluar la escalabilidad tanto cuando agregamos más servidores móviles como también cuando aumentamos el número de clientes móviles. El gráfico de la figura 3.5, compara los resultados del uso de múltiples configuraciones de servidores móviles para clientes 8, 16 y 32. En cada una de estas pruebas, los servidores móviles no realizan solicitudes de descarga.

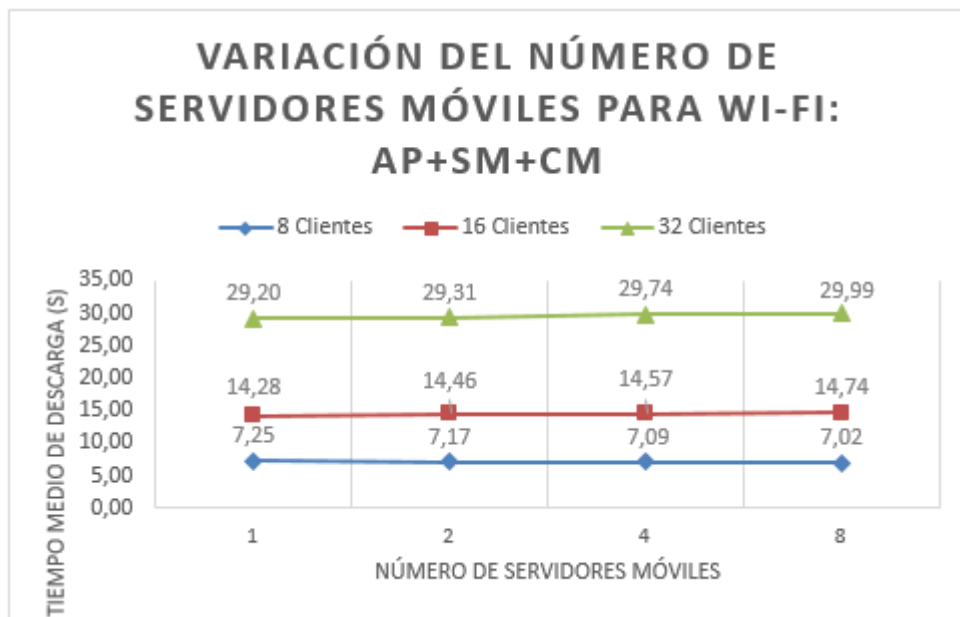


Figura 3. 5: Variación de servidores móviles para el escenario 2.
Elaborado por: El Autor

La figura 3.5 muestra dos resultados interesantes, el primero, es que al variar el número de SMs no parece afectar el tiempo medio de descarga. Esto es cierto en las tres configuraciones de cliente. La razón es simple, para una configuración dada de clientes, digamos 16, el número de solicitudes de mensajes es siempre el mismo que el número de respuestas procedentes de los SMs independientemente de su número. Por lo tanto, el impacto sobre la comunicación es el mismo, aunque uno podría pensar que la concurrencia en los servidores podría tener un efecto positivo. Si lo hay, no es notable en este escenario.

El segundo resultado es, que cuando para una configuración dada de los SMs, por ejemplo 4, cuando doblamos el número de clientes, el tiempo de descarga también se duplica. El aumento se esperaba como el tráfico de mensajes generados en el AP también se duplicó y la interferencia de nodo también se incrementa. El hecho de que el aumento no sea mayor, es de mucho interés y esperamos que sea más claro con otros escenarios.

Para el escenario 3, utilizamos TDLS donde todos los CMs se conectan a través de Wi-Fi a un AP y se comunican directamente entre sí y también con un SM a través de TDLS. Se simulan dos casos de prueba. En el primer caso de prueba variamos los clientes de 1 a 32. En el segundo caso de prueba, variamos los SMs en 2, 4 y 8, para 8, 16 y 32 clientes. La figura 3.6 muestra el escenario 3. En este escenario, los SMs no realizan ninguna solicitud de archivo. Para simplificar, nos referiremos a este escenario como "Wi-Fi/TDLS: SM+CM".

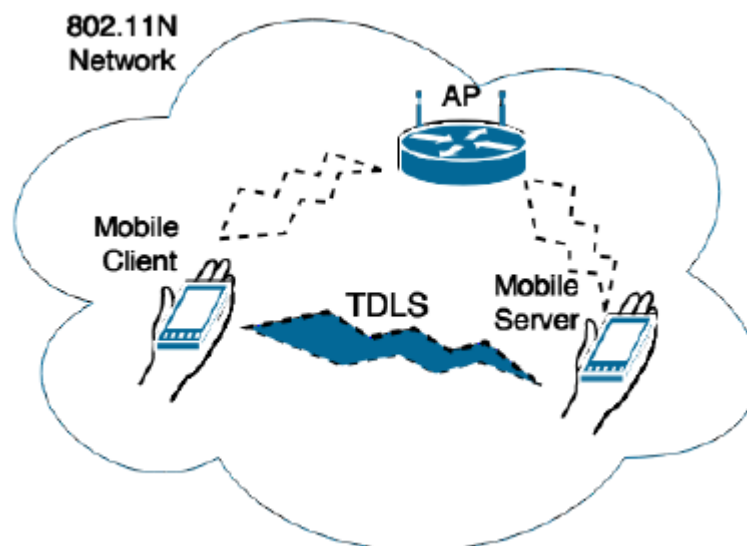


Figura 3. 6: Configuración para el escenario de simulación 3.
Elaborado por: El Autor

El escenario 3 es similar al escenario 2, pero la comunicación entre dispositivos es ahora con TDLS en lugar de Wi-Fi. Los resultados obtenidos de los escenarios 2 y 3 se muestran en la figura 3.7. Podemos ver el tiempo medio de descarga obtenido para ambos escenarios (el escenario 3 se

muestra en rojo) cuando variamos el número de CMs de 1 a 32 con cada cliente haciendo 10 solicitudes de archivo aleatorias a un SM.

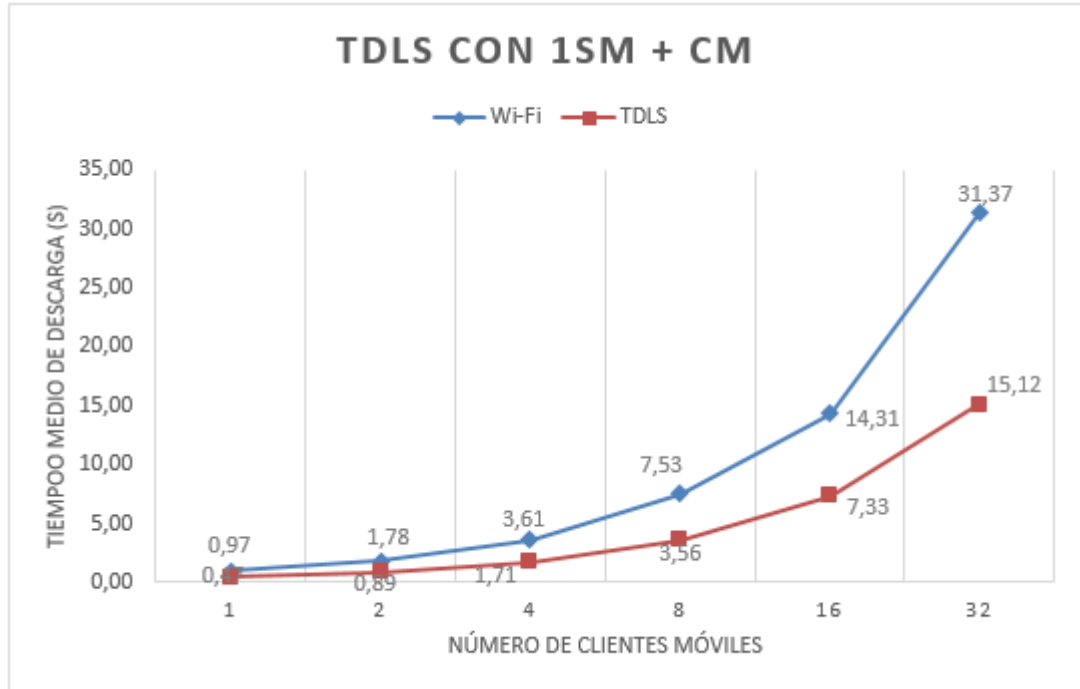


Figura 3. 7: Resultado comparativo entre los escenarios 2 y 3.
Elaborado por: El Autor

Los resultados obtenidos muestran una mejora significativa, evitando así el AP con un tiempo medio de descarga mejorado en casi un 88% para 32 clientes móviles. La razón de esto es que el uso de TDLS (escenario 3 en rojo), el número de mensajes se reduce a la mitad en lugar de 2 saltos al pasar por el AP con Wi-Fi. Además, con esto evitamos el efecto de sobrecarga del AP.

Adicionalmente, se evalúa la escalabilidad del escenario 3 para cuando incrementamos SMs como también aumentamos el número de CMs. Podemos observar el comportamiento de la escalabilidad en la figura 3.8 en la utilización de múltiples configuraciones de SMs para 8, 16 y 32 clientes que utilizan TDLS para comunicación directa. Para cada una de estas pruebas, los SMs no realizan solicitudes de descarga.

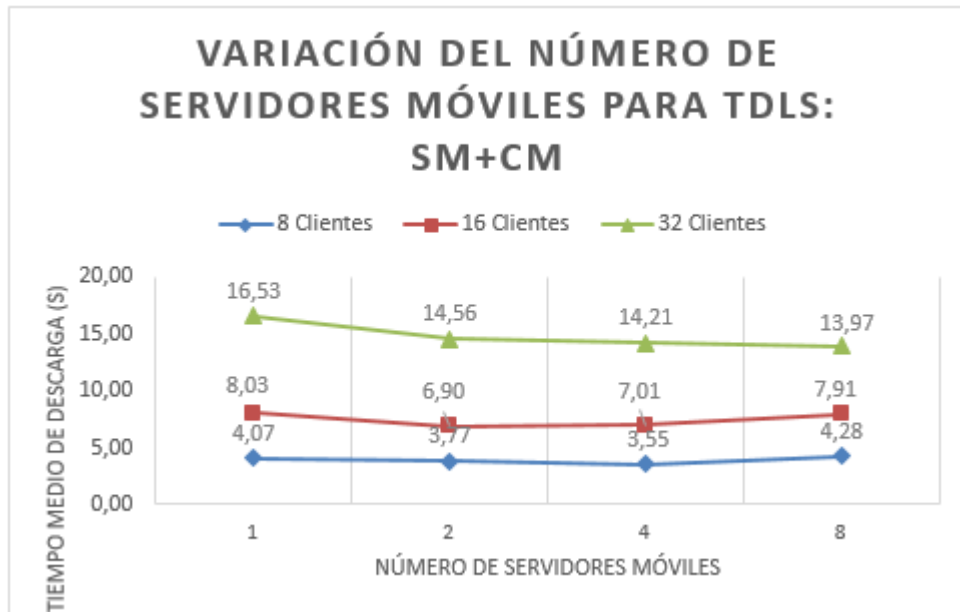


Figura 3. 8: Resultado de la variación de SMs en el escenario 3.
Elaborado por: El Autor

Estos resultados son interesantes, ya que variamos el número de SMs, especialmente cuando la densidad es alta, para el caso con 32 clientes, mejora el tiempo medio de descarga en un 18%, aunque el número total de dispositivos aumenta de 33 a 40. Esto es la primera indicación de que el medio no es el único factor limitante. Los resultados también muestran que se trata de una solución más escalable. Por ejemplo, para una configuración de 8 SMs duplicamos el número de clientes, por lo tanto, el tiempo de descarga aumenta, pero sigue por debajo del valor doble. Esto sucede mientras el tráfico de mensajes generado entre los dispositivos también se duplica y aumenta la densidad de nodos. Estos resultados son interesantes, ya que, aunque el medio está siempre limitando al ancho de banda disponible, para redes más grandes es posible reducir la sobrecarga, proporcionando así un mejor servicio.

3.3.3. Escenario de simulación 4: Wi-Fi Direct.

Para este escenario, un nodo es el propietario del grupo y actúa simultáneamente como AP y SM de contenido, todos los demás nodos

móviles son clientes conectados a propietario de grupo (Group Owner, GO) a través de Wi-Fi Direct. En este escenario, se simula un caso de prueba en el que los clientes varían de 1 a 32. En la figura 3.9 se muestra el escenario 4, en el que todos los nodos utilizan WiFi Direct para formar un grupo y GO es el servidor. Esto significa que el GO realizará ambas funciones, como servidor y AP inalámbricos. Para simplificar, lo referiremos como "Wi-Fi-D".

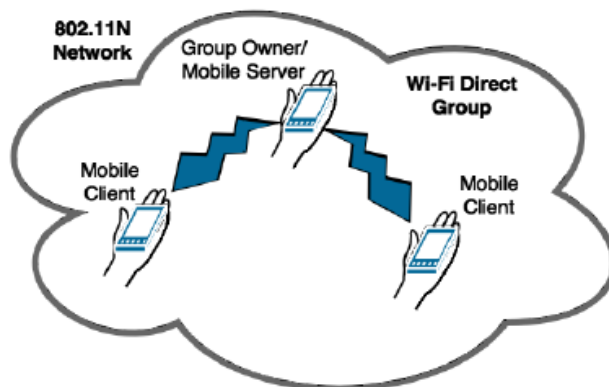


Figura 3. 9: Configuración para el escenario de simulación 4.
Elaborado por: El Autor

En la figura 3.10 se muestra el tiempo medio de descarga obtenido para el escenario 4, cuando variamos el número de CMs de 1 a 32 con cada cliente haciendo 10 solicitudes de archivo aleatorios a un SM.

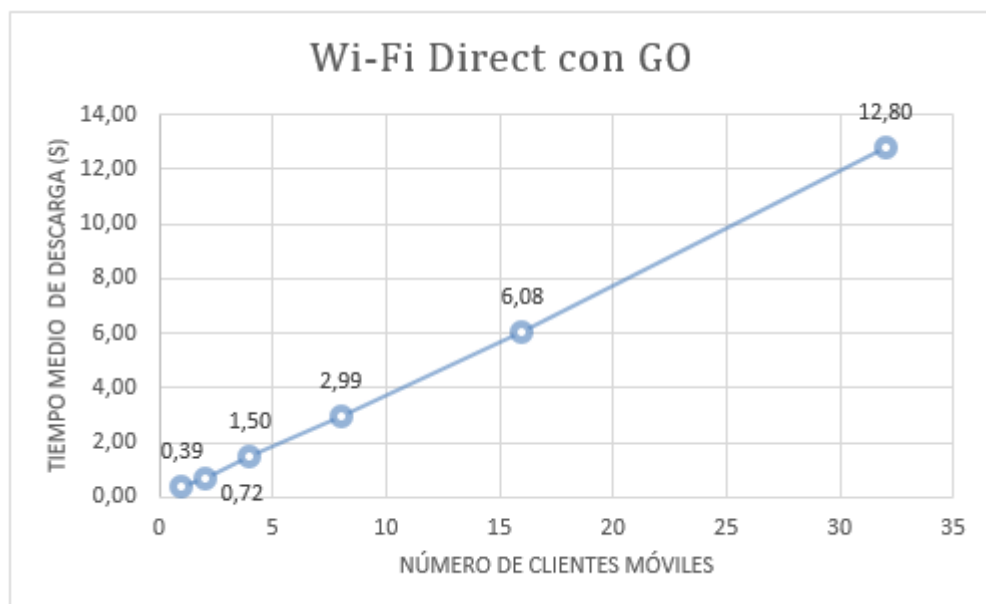


Figura 3. 10: Resultados obtenidos del escenario 4.
Elaborado por: El Autor

Los resultados obtenidos muestran que el uso del GO como proveedor de contenidos tiene un impacto positivo, ya que el tiempo medio de descarga es casi 50% inferior al observado en el escenario 2 y sólo un 20% peor que lo observado en el escenario 3. Las razones son similares a las observadas con Wi-Fi, una mejora significativa al evitar el AP y al tener el propietario del grupo (GO) actuando como servidor, que se reduce a la mitad el número de mensajes para llegar al servidor (en la realidad se necesita 1 salto).

3.3.4. Escenario de simulación 5: Wi-Fi Direct.

Un nodo es el propietario del grupo y actúa como punto de acceso; otro nodo móvil, es el servidor móvil de contenido que se conecta al propietario de grupo vía Wi-Fi Direct y todos los demás nodos móviles son clientes conectados al grupo propietario vía Wi-Fi Direct. Para este escenario 5, realizamos dos tipos de pruebas: (a) los clientes varían de 1 a 32, y (b) se usan 2, 4 y 8 SMs, para 8, 16 y 32 clientes.

En la figura 3.11 se muestra el escenario 5, en el que todos los nodos utilizan WiFi Direct para formar un grupo controlado por el propietario de grupo que actúa como un enrutador o AP. Un nodo actúa como un SM mientras que todos los demás son CMs que realizan las solicitudes de descarga.

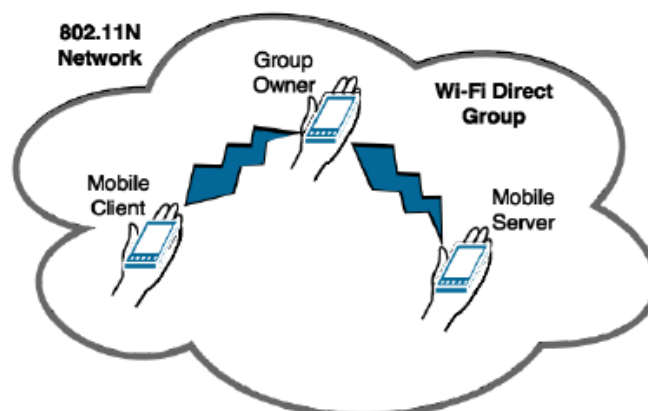


Figura 3. 11: Configuración para el escenario de simulación 5.
Elaborado por: El Autor

En la figura 3.12 se observa el tiempo medio de descarga obtenido para el escenario 5 cuando varía el número de clientes móviles de 1 a 32. Los resultados son muy inferiores en comparación con los escenarios 3 y 4, pero similares al escenario 2. Esto ilustra el costo de la cantidad de mensajes que pasan por el propietario del grupo, en el escenario 5 y a través del AP en el escenario 2, en ambos casos necesita el doble de necesario para los escenarios 3 y 4.

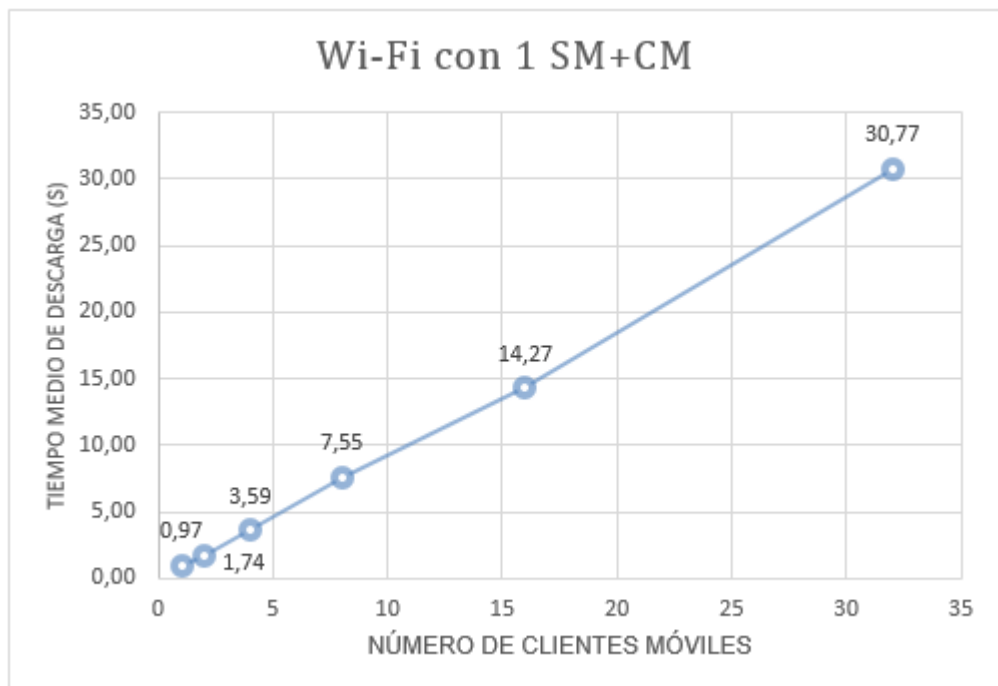


Figura 3. 12: Resultados obtenidos del escenario 5.
Elaborado por: El Autor

Aún para el escenario 5, la figura 3.13 compara los resultados de usar múltiples configuraciones de SMs para 8, 16 y 32 clientes. Los resultados de la figura 3.13 muestran un patrón similar al ya observado para los otros escenarios, a saber, escenario 2. La variación del número de servidores móviles no parece afectar el tiempo medio de descarga, lo cual es comprensible ya que el número de solicitudes de mensajes es siempre el mismo número de respuestas procedentes de los servidores móviles independientemente de su número. También podemos observar que, para una configuración dada de servidores móviles, digamos 8, cuando doblamos

el número de clientes, el tiempo de descarga también se duplica. El aumento se esperaba como el tráfico de mensajes generados en el propietario del grupo también se duplicó y la interferencia de nodo aumentó.

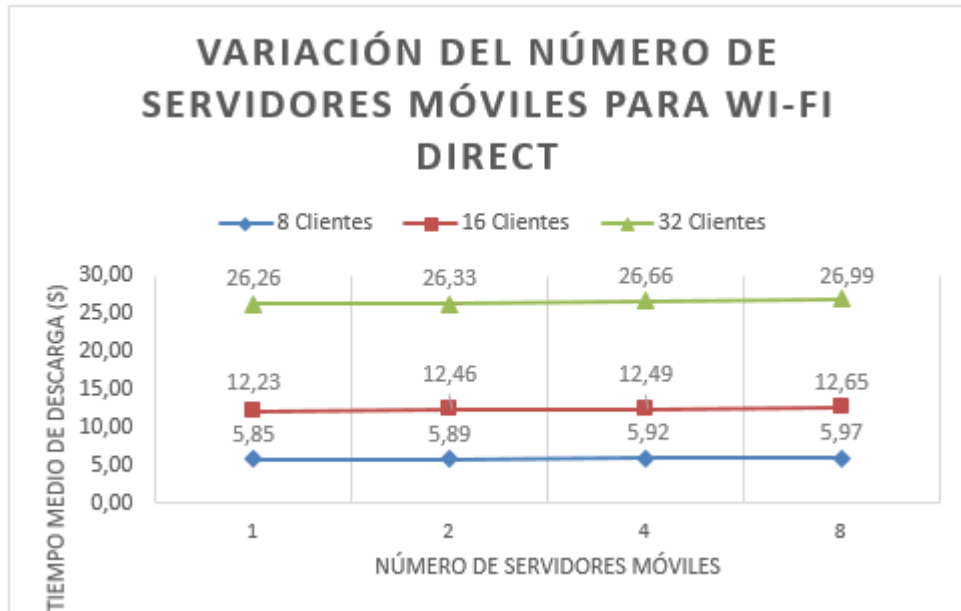


Figura 3. 13: Resultado de la variación de SMs en el escenario 5.
Elaborado por: El Autor

Conclusiones

1. El estado del arte de las comunicaciones inalámbricas Ad-Hoc fue fundamental para realizar los diseños de redes en network simulator (NS-3).
2. Las pruebas experimentales nos permitieron comparar el rendimiento y la escalabilidad de Wi-Fi, Wi-Fi Direct y TDLS, utilizando el mismo escenario para todas las pruebas, cambiando sólo la tecnología utilizada.
3. Los resultados nos proporcionaron información muy útil. Por ejemplo, cabe destacar que la mejor solución en términos de rendimiento debería ser TDLS (en un escenario ideal donde cada conexión utiliza TDLS), y que tanto el medio de comunicación como puntos de acceso (AP) / propietarios del grupo (GO) tienen un impacto en la velocidad de descarga promedio.
4. Los resultados de la simulación nos dicen que el aumento del número de servidores con una red TDLS es la solución óptima para nuestro problema, y que esto funciona con Wi-Fi y Wi-Fi Direct.

Recomendaciones

1. Aumentar el tamaño de las redes que estamos simulando para ver cómo varían estas alternativas, aunque no está claro si esto es relevante para despliegues en el mundo real, ya que podría haber límites duros en el número de dispositivos compatibles.
2. Para la diseminación de vídeo podríamos usar alternativamente UDP en lugar de TCP para aumentar la eficiencia y reducir el consumo de energía, para garantizar niveles aceptables de QoS, tendríamos que implementar mecanismos para asegurarlo.

Bibliografia

Banerji, S., & Chowdhury, R. S. (2013). On IEEE 802.11: Wireless LAN Technology. *Original Publication: International Journal of Mobile Network Communications & Telematics (IJMNCT)*, 33405(4). <http://doi.org/10.5121/ijmnct.2013.3405>

Bruno, R., Conti, M., & Gregori, E. (2005). Mesh Networks: Commodity Multihop Ad Hoc Networks. *IEEE Communications Magazine*, 123–131.

IEEE Standards Association. (2016). IEEE 802.11: Wireless LANs. Retrieved August 8, 2016, from <https://standards.ieee.org/about/get/802/802.11.html>

Jun, J., Peddabachagari, P., & Sichitiu, M. (2003). Theoretical Maximum Throughput of IEEE 802.11 and its Applications *. *Network Computing and Applications*.

LAN/MAN Standards Committee. (1999a). Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Retrieved from <https://pdos.csail.mit.edu/archive/decouto/papers/802.11.pdf>

LAN/MAN Standards Committee. (1999b). Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band. Retrieved from <http://infocom.uniroma1.it/alef/802.11/standard/802.11a-1999.pdf>

LAN/MAN Standards Committee. (2003). Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band IEEE-SA Standards Board. Retrieved from

<http://infocom.uniroma1.it/alef/802.11/standard/802.11g-2003.pdf>

Miller, L. E. (2005). Wireless Technologies and the SAFECOM SoR for Public Safety Communications. Retrieved from <https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/itl/antd/WirelessAndSoR060206.pdf>

Sendra, S., Garcia, M., Turro, C., & Lloret, J. (2011). WLAN IEEE 802.11a/b/g/n Indoor Coverage and Interference Performance Study. *International Journal O N Advances in Networks and Services*, 4(2), 1–14.

Skocir, B. (2014). Multi-hop communication in Bluetooth Low Energy ad hoc network Seminar I Study programme: Information and Communication Technologies.

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Burgos Acosta, Luis Alberto**, con C.C: # 092228998-8 autor del trabajo de titulación: Simulación de redes inalámbricas móviles Ad-Hoc utilizando la plataforma NS-3, previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 9 de enero de 2017

f. _____

Nombre: **Burgos Acosta, Luis Alberto**

C.C: **092228998-8**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Simulación de redes inalámbricas móviles Ad-Hoc utilizando la plataforma NS-3		
AUTOR(ES)	Burgos Acosta, Luis Alberto		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	MSc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando; MSc. Luis Córdova Rivadeneira / MSc. Celso Bayardo Bohórquez Escobar		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Telecomunicaciones		
TITULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	09 de enero de 2017	No. PÁGINAS:	DE 63
ÁREAS TEMÁTICAS:	Redes de computadoras y telecomunicaciones, Sistemas de Comunicaciones inalámbricos, Gestión de Redes de Computadoras y Telecomunicaciones.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Ad-Hoc, Wi-Fi, servidores móviles, clientes móviles, WI-FI DIRECT, TDLS.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>Las redes inalámbricas móviles Ad-Hoc son muy utilizadas, ya sean, en instituciones privadas o del sector público, también, en instituciones educativas de formación inicial, secundaria y superior, utilizadas como ciudades totalmente digitales, por ejemplo, la ciudad de Guayaquil es una aplicación de lo que es tener en determinados sectores internet inalámbrico gratuito, proyecto que implementa de a poco el Municipio de Guayaquil. Aunque, existen un sinnúmero de lugares en donde se implementan redes Wi-Fi. Las redes móviles Ad-Hoc, son conocidas también como Wi-Fi. En el primer capítulo se describe las generalidades del proyecto, después, en el capítulo 2 se definen los conceptos fundamentales de las redes inalámbricas Ad-Hoc. Posterior, en el capítulo 3, se realizan los escenarios de simulación para redes inalámbricas usando la plataforma NS-3. Se usaron varias configuraciones, ya sean, para servidores móviles (SMs) como clientes móviles (CMs). Los resultados obtenidos para redes Wi-Fi (puras), Wi-Fi Direct y TDLS fueron aceptables, en especial TDLS.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0982969338	E-mail: luisalberto.burgos@lge.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Manuel Romero Paz		
	Teléfono: 0994606932		
	E-mail: manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec ; mromeropaz@yahoo.com		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			