



SEP

TecNM

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ACAPULCO

TEMA:

**ESTUDIO DE LOS ESQUEMAS DE MODULACIÓN Y
CODIFICACIÓN DE CANAL APLICADOS EN EL ESTÁNDAR
IEEE 802.11n UTILIZANDO EL SIMULADOR NS-3**

**OPCIÓN I:
TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MAESTRO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES**

**PRESENTAN:
ING. GUILLERMINA TORREBLANCA FERRER**

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. EDUARDO DE LA CRUZ GÁMEZ**

**CO-DIRECTOR DE TESIS
MTI. JORGE CARRANZA GÓMEZ**

Acapulco, Gro, Diciembre 2018

Agradecimientos

Con este proyecto acaban los que han sido dos años de continuo esfuerzo, superación, y, sobre todo, aprendizaje. Quiero dar las gracias a todos los que han contribuido a hacer de estos años los mejores de mi vida.

Agradezco a Dios por la salud y la vida, y por otorgarme la fuerza para culminar esta nueva etapa académica.

A mi asesor, el Dr. Eduardo de la Cruz Gámez, por haberme dado la oportunidad de realizar este trabajo, por contar con la paciencia necesaria para hacerlo y por no dejar de creer en mí.

A mi madre, por siempre creer en mí, por enseñarme a seguir siempre adelante, por darme ánimos cuando lo necesito.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo económico durante estos dos años para el desarrollo de mi proyecto de tesis, dándome la oportunidad de avanzar en mi vida profesional.

Gracias a todos.

Dedicatoria

Dedico este logro principalmente a Dios por bendecirme día a día, a mi madre que me dio un gran ejemplo de salir adelante y a mi asesor que nunca dejo de creer en mí.

Descargo de responsabilidades

Descargo de responsabilidad institucional.

El que suscribe declara que el presente documento de tesis titulado: “Estudio de los esquemas de modulación y codificación de canal aplicados en el estándar IEEE 802.11n utilizando el simulador NS-3” es un trabajo propio y original, el cual no ha sido utilizado anteriormente en institución alguna para propósitos de evaluación, publicación y/o obtención de algún grado académico.

Además se han reconocido todas las fuentes de información utilizadas, las cuales han sido citadas en la sección de bibliografía de este trabajo.

Guillermina Torreblanca Ferrer

Nombre

10 de Diciembre del 2018

Fecha y firma

Índice General

Agradecimientos	I
Dedicatoria.....	II
Descargo de responsabilidades	III
Índice General.....	IV
Índice de Figuras	VI
Índice de Tablas	VI
Introducción	VII
Capítulo 1 . Situación actual de la investigación.....	9
1.1. Antecedentes del problema	9
1.1.1. WIFI 802.11.....	9
1.1.2. Network Simulator 3 (NS3).....	12
1.2 Planteamiento del problema	13
1.3 Objetivo General	14
1.4. Objetivos Específicos.....	15
1.5. Hipótesis.....	15
1.6. Justificación	15
Capítulo 2 Antecedentes del Proyecto	17
2.1. Estado del Arte.....	17
Capítulo 3 Marco Teórico	27
3.1 Clasificación de redes de acuerdo a su área de cobertura.....	27
3.2 Redes Locales Inalámbricas (WLAN).....	28
3.3 Ámbito de aplicación	29
3.4 Alcance de las redes inalámbricas	31
3.5 Topología y configuraciones	31
3.5.1 Configuración Peer-to-Peer (Ad-Hoc)	32
3.5.2 Configuración en modo Punto de Acceso	32
3.6 Arquitectura de 802.11.....	34
3.7 Capas del IEEE 802.11.....	35
3.7.1. IEEE 802.11: Capa Física	35
3.7.2. IEEE 802.11: Capa Mac	38
3.8 Algoritmos de enrutamiento	41

3.8.1 Algoritmo Vector-Distancia.....	42
3.8.2 Algoritmo de Estado de Enlace.....	43
3.8.3 Source Routing.....	44
3.9 Intervalo de guarda (Guard Interval, GI)	45
Capítulo 4 Metodología.....	46
4.1 Preanálisis.....	46
4.1.1 Búsqueda de información relacionada con la tesis	46
4.1.2 Estudio del estándar 802.11n	48
4.1.3 Estudio de diferentes tecnologías a utilizar	48
4.2 Análisis	49
4.2.1 Obtención de software requerido	49
4.3 Diseño.....	50
4.3.1 Diseño de la red	50
4.4 Pruebas	51
4.4.1 Documentación de cada una de las simulaciones	51
Capítulo 5 Simulaciones y Resultados.....	52
5.1 Herramienta de simulación NS3.....	52
5.2 Abstracciones empleadas en NS3.....	53
5.3 MCS en el estándar 802.11n	55
5.4 Ejecución de un script en NS3.....	58
5.5 Herramientas adicionales en NS3.....	59
5.5.1 Geany	59
5.6 Creación del script principal	60
5.6.1 Módulos de inclusión.....	60
5.6.2 Incorporación de nombres.....	61
5.7 Pruebas	61
5.8 Comparación de escenarios	76
Conclusiones.....	78
ANEXO A. Aseguramiento Técnico Material	80
ANEXO B. Instalación de Ubuntu en virtual box.....	82
ANEXO C. Instalación de NS3 en Ubuntu	89
Bibliografía.....	95

Índice de Figuras

Figura 3.1 Tipos de redes (Andreu, J. 2011).....	28
Figura 3.2 Ejemplo de Red Inalámbrica Sencilla.....	29
Figura 3.3. Arquitectura de peer to peer.....	32
Figura 3.4. Arquitectura basada en Puntos de Acceso	33
Figura 3.5. Arquitectura 802.11	34
Figura 3.6. Capas de la IEEE 802.11	35
Figura 3.7. Gráfica De Codificación Con Salto De Frecuencia.....	37
Figura 3.8. Canales DSSS	38
Figura 3.9. Mecanismo DFC	39
Figura 3.10. Mecanismo PCF.....	41
Figura 3.11. Clases de algoritmo de enrutamiento.....	42
Figura 3.12. Algoritmo Vector Distancia	43
Figura 3.13. Algoritmo de estado enlace.....	44
Figura 3.14. Algoritmo source routing – Enrutamiento de Origen	44
Figura 4.1 Modelo en cascada para el desarrollo de pruebas de laboratorio.....	51
Figura 5.1 Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM).....	56
Figura 5.2. Cálculo de transferencia de datos.....	56
Figura 5.3. Ejecución del script del ejemplo “hello-simulator”	58
Figura 5.4. Ventana del editor de texto Geany.....	59
Figura 5.5. Topología Multi-anillo	61
Figura 5.6. Simulación Escenario 1.....	62

Índice de Tablas

Tabla 1. Combinación para cada índice MCS del 0 al 31.....	58
Tabla 2. Valores más altos de los 31 MCS del escenario 1.....	63
Tabla 3. Valores más bajos de los 31 MCS del escenario 1.....	63
Tabla 4. Valores más altos de los 31 MCS del escenario 2.....	67
Tabla 5. Valores más bajos de los 31 MCS del escenario 2.....	67
Tabla 6. Valores más altos de los 31 MCS del escenario 3.....	70
Tabla 7. Valores más bajos de los 31 MCS del escenario 3.....	71
Tabla 8. Valores más altos de los 31 MCS del escenario 4.....	74
Tabla 9. Valores más bajos de los 31 MCS del escenario 4.....	75
Tabla 10. Mbit/s Transmitidos de MCS 31 de escenarios 1, 2, 3 y 4.....	76

Introducción

Cada vez más la tecnología avanza a pasos agigantados conjuntamente con las telecomunicaciones, las cuales evolucionan constantemente para satisfacer las necesidades del hombre y así mantenerlo en contacto directo con el mundo, sin ningún tipo de interrupción, al menos eso se espera, dando como consecuencia la conexión permanente hombre-mundo, llevándolo hacia la nueva era.

De hecho, cuando se logró un gran avance para la historia: enlazar miles de puntos a nivel mundial, surgió un nuevo paradigma: el poder comunicarse de modo no estacionario, no local, sino hacerlo a nivel móvil, es decir, poder comunicarse sin necesidad de estar en un lugar específico, ni haciendo uso de “cables” añadiéndole un componente fundamental: de forma remota.

Los términos “remotos” conjuntamente con “movilidad” dieron un giro a las comunicaciones cableadas. El nuevo paradigma mostraba unas comunicaciones en donde ya no existían cables y se podría desplazar de un lugar a otro, dentro de una zona geográfica estimada.

En los últimos años las redes de área local inalámbricas (WLAN, Wireless Local Area Network) han ganado mucha popularidad, la cual se ve acrecentada conforme sus prestaciones aumentan y se descubren nuevas aplicaciones para ellas. Un usuario dentro de una red WLAN puede transmitir y recibir: Voz, datos y video dentro de edificios, entre edificios o campus universitarios e inclusive sobre áreas metropolitanas a velocidades de 54 Mbit/s, o superiores.

El desarrollo que ha experimentado Internet actualmente ha creado necesidades de acceso crecientes y cada vez más exigentes por parte de sus usuarios. Tal es así que

muchos dependen del acceso para desarrollar parte de su actividad cotidiana. Este proyecto propone un análisis comparativo de los diferentes esquemas de modulación y codificación del estándar 802.11n, en comparación con los estándares 802.11 a/b/g para lo cual se realizarán pruebas en el simulador NS3 (Network Simulator 3). Este proyecto aportará bancos de pruebas que verifican su validez.

Capítulo 1 . Situación actual de la investigación

1.1. Antecedentes del problema

Se hace una revisión histórica de las normas que regulan el funcionamiento de las redes de área local inalámbrica. Después, se hace un análisis exhaustivo de la norma 802.11n, por ser la norma con la que se trabajará.

Parte importante es también el simulador de red utilizado, NS3. En este proyecto se encuentra tanto la información general del software como los detalles de cómo está organizado.

1.1.1.WIFI 802.11

En 1999 el grupo de empresas formado por 3Com, Airones, Intersil, Lucent Technologies, Nokia y Symbol Technologies detectaron la necesidad de establecer un mecanismo de conexión inalámbrica que fuese compatible entre distintos dispositivos. De esta manera, estas empresas conformaron la WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*), actualmente llamada WIFI Alliance. Tenían como objetivo crear una marca que fomentara el sencillo uso de la tecnología inalámbrica asegurando a su vez la compatibilidad entre equipos mediante la definición de los dos niveles inferiores, el físico y de enlace de la arquitectura OSI. (Navarrete Chávez, 2009). El término WIFI no responde a ninguna abreviatura, es una simple invención de una agencia que a petición de la WECA creó este término para sustituir al del nombre de la tecnología: IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) 802.11b de Secuencia Directa.

Como concepto general, la norma IEEE 802.11 define como se utiliza el canal físico (aire) a través del cual enviamos y recibimos nuestra información, y los protocolos utilizados para ello.

Historia/Evolución

Legacy

La norma original IEEE 802.11 de 1997 (conocido como “Legacy”), especificaba dos tasas de transmisión de 1 y 2 Mbit/s sobre infrarrojos (IR) o sobre radiofrecuencia en la banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) de 2,4 GHz. Aunque la transmisión por infrarrojos sigue incluida en la norma no hay en el mercado productos que la utilicen. Permite usar codificación DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) o FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*). (Camana Acosta, 2016)

802.11a

La revisión 802.11a a la norma original fue ratificada en 1999 y funciona en la banda de 5GHz utilizando 52 subportadoras (señales) OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*). 802.11a tiene una velocidad teórica máxima de 54 Mbit/s, con velocidades reales de aproximadamente 20 Mbit/s. La velocidad de datos se reduce a 48, 36, 24, 18, 12, 9 o 6 Mbit/s en caso necesario.

802.11b

La revisión 802.11b de la norma original fue ratificada en 1999 y funciona en la banda de 2.4GHz. Fue la primera revisión que tuvo una amplia aceptación en el mercado. 802.11b tiene una velocidad teórica máxima de transmisión de 11 Mbit/s, pero debido al espacio ocupado por la codificación del protocolo

CSMA/CA (Acceso Múltiple por Detección de Portadora y Prevención de Colisiones), en la practica la velocidad máxima de transmisión es de aproximadamente 5.9 Mbit/s para TCP (Protocolo de Control de Transmisión) y 7.1 Mbit/s para UDP (Protocolo de Datagrama de Usuario). (Camana Acosta, 2016)

802.11g

La revisión 802.11g es la evolución de la norma 802.11b y fue ratificada en junio de 2003. Es compatible con la norma b y utiliza las mismas frecuencias 2.4 GHz. aunque con una velocidad teórica máxima de transmisión de 54 Mbit/s. La velocidad real de transferencia es de aproximadamente 22 Mbit/s, similar a la de la norma 802.11a.

802.11n

En enero de 2004, el IEEE anuncio la formación de un grupo de trabajo para desarrollar una nueva revisión la norma 802.11. La velocidad real de transmisión podría llegar a los 300 Mbit/s, lo que significa que las velocidades teóricas de transmisión serian aún mayores y deber a ser hasta 10 veces más rápida que una red bajo las normas 802.11a y 802.11g, y unas 40 veces más rápida que una red bajo la norma 802.11b. También se espera que el alcance de operación de las redes sea mayor con esta nueva norma gracias a la tecnología MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), que permite utilizar varios canales a la vez para enviar y recibir datos gracias a la incorporación de varias antenas. A principios de 2007 se aprobó el segundo boceto de la norma. La norma ya está redactada, y se viene

implantando desde 2008. Ha sufrido una serie de retrasos y el último lo lleva hasta noviembre de 2009. (Navarrete Chávez, 2009)

1.1.2. Network Simulator 3 (NS3)

Más conocido como NS3 (Network Simulator 3) es un simulador de redes basado en eventos discretos. NS3 es software libre, acogido a la versión 2 de la GNU (*General Public License*) igual que su antecesor, el NS2 (Network Simulator 2). NS2 fue desarrollado en C++ y provee una interfaz de simulación a través de OTcl, una variante orientada a objetos de Tcl (*Tool Command Language*). En NS2 el usuario describe una topología de red por medio de scripts OTcl, y luego el programa principal simula dicha topología utilizando los parámetros de nodos. NS3 proporciona modelos para ver cómo trabajan y rinden las redes de paquetes de datos. (Rodríguez Estévez, 2017).

También cuenta con un motor de simulación para realizar diferentes simulaciones de experimentos. Una de las razones para utilizar NS3 es la posibilidad de realizar estudios de experimentos imposibles en un sistema real o de experimentos difíciles de ejecutar en sistemas reales. Es útil también para hacer estudios del comportamiento de un sistema bajo un entorno controlado y reproducible. Por supuesto útil para aprender cómo funcionan las redes, es una herramienta educativa muy recomendable.

1.2 Planteamiento del problema

Cuando se habla de WIFI se hace referencia a una de las tecnologías de comunicación inalámbrica más utilizada hoy en día. Su importancia radica en permitir mayor movilidad a los usuarios al minimizar las conexiones cableadas.

Las redes inalámbricas WIFI son una gran familia de estándares, cada uno con características diferentes, que han ido evolucionando a través del tiempo. El estándar 802.11n es uno de los más recientes en el mercado, desde el hogar hasta el empresarial, su penetración es muy amplia y popular.

Al ser un estándar reciente el 802.11n es probable que su implementación en el ámbito de la investigación dentro de las Universidades sea muy limitada, es necesario evaluar su desempeño en diferentes escenarios con base en características específicas de acuerdo al estudio individual de la respuesta del sistema a un determinado tratamiento que se le haga. El problema que se tiene al realizar las prácticas en un entorno real es: el costo de los equipos, el mantenimiento, el consumo de energía y las restricciones de espacio; los laboratorios virtuales, por otro lado, son desarrollados como un sistema computacional accesible a través de internet y, mediante un simple navegador, se puede simular un proceso en donde los experimentos se llevan a cabo siguiendo un procedimiento similar al de un laboratorio convencional, inclusive se puede ofrecer la visualización de instrumentos y fenómenos mediante objetos dinámicos. Se tiene entonces, que para realizar estudios específicos se utilizan simuladores que permitan diseñar experimentos, en condiciones controladas, garantizando homogeneidad en las respuestas del sistema y por tanto mayor confiabilidad en las conclusiones que arroje un estudio determinado.

La gran diferencia entre la mayoría de simuladores que se pueden encontrar para el análisis de sistemas radica en el método que se utilice para la simulación, los dos tipos más comunes de simuladores son: simuladores de eventos discretos y simuladores de tiempo continuo.

De manera particular, las telecomunicaciones son un área de aplicación de la simulación, específicamente las redes de área local inalámbricas. La simulación en este tipo de redes corresponde a un simulador de eventos discretos, como el que se utilizará para el desarrollo de los escenarios virtuales del estándar 802.11n.

Debido a la creciente demanda de altas tasas de transferencia de datos para servicios móviles como VoIP, motores de búsqueda web, redes sociales, video y audio de alta calidad, se ha desarrollado la tecnología de cuarta generación que permite una alta tasa de transferencia. Por lo tanto, se procederá a crear un banco de pruebas, con el propósito de dar a conocer el comportamiento de los diferentes MCS (Esquema de Modulación y Codificación) del estándar 802.11n en el simulador de eventos discretos NS3.

1.3 Objetivo General

Analizar el desempeño en los diferentes esquemas de modulación y codificación con los que trabaja el estándar IEEE 802.11n, mediante un ambiente de laboratorio bajo escenarios de prueba, se utiliza un software de uso libre NS-3 para reducir costos de implementación.

1.4. Objetivos Específicos

- Determinar las características principales y relevantes del estándar IEEE 802.11n
- Realizar mediciones de los parámetros de desempeño del estándar IEEE 802.11n a cortas y largas distancias.
- Evaluar el comportamiento de los diferentes MCS (Esquemas de Modulación y Codificación) definidos por la norma 802.11n mediante el diseño de un laboratorio de prácticas en el simulador de redes NS3, observando sus resultados en base a parámetros de desempeño: frecuencia, ancho de canal e intervalo de guarda.

1.5. Hipótesis

La investigación presentada en este proyecto pretende realizar una evaluación de la tasa de transferencia, ancho de canal y frecuencia utilizada en los MCS del estándar 802.11n en el simulador NS3 y así crear un banco de pruebas basado en los fallos y mejoras que se obtengan con las simulaciones.

1.6. Justificación

Es necesario hacer una investigación del estándar IEEE 802.11 y de todas sus evoluciones, ya que es importante conocer en que consiste cada uno de los estándares, con el fin de entender y guiarse mejor con la información del nuevo estándar 802.11n actualmente en el mercado. Es muy importante conocer y tener muy claro este estándar, ya que es una tecnología nueva, la cual está generando

gran conmoción en el área de las redes inalámbricas y en mundo tecnológico debido a la gran velocidad que maneja y la cobertura que alcanza gracias a su tecnología MIMO.

Por medio del presente proyecto se realizará una evaluación de la tasa de transferencia, rendimiento, ancho de canal y frecuencia utilizada en los MCS del estándar 802.11n en el simulador NS3. Este proyecto tiene el propósito de informar de una forma organizada el gran desarrollo de este nuevo estándar que está dando mucho de qué hablar actualmente en el mercado se considera que este estándar será uno de los más beneficiosos y recordado del siglo XXI, puesto que es el primer estándar sucesor del 802.11a, 802.11b, y 802.11g creado a inicios del siglo XX y porque es capaz de superar a cada una de sus versiones anteriores con respecto a su desempeño.

Capítulo 2 Antecedentes del Proyecto

2.1. Estado del Arte

WIFI es una de las tecnologías de comunicación inalámbrica mediante ondas electromagnéticas más utilizada hoy en día, también llamada WLAN (Wireless LAN, red inalámbrica) o estándar IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) 802.11. WIFI no es una abreviatura de *Wireless Fidelity*, simplemente es un nombre comercial. (Martínez, 2016)

Aunque se pensaba que el termino viene de *Wireless Fidelity* como equivalente a Hi-Fi, High Fidelity, que se usa en la grabación de sonido, realmente la WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*) contrató a una empresa de publicidad para que le diera un nombre a su estándar, de tal manera que fuera fácil de identificar y recordar.

Phil Belanger, miembro fundador de WiFi Alliance que apoyó el nombre WIFI escribió: WIFI y el "Style logo" del Ying Yang fueron inventados por la agencia Interbrand. Nosotros (WiFi Alliance) contratamos Interbrand para que nos hiciera un logotipo y un nombre que fuera corto, tuviera mercado y fuera fácil de recordar. Necesitábamos algo que fuera algo más llamativo que IEEE 802.11b de Secuencia Directa. Interbrand creó nombres como "Prozac", "Compaq", "One-World", "Imation", por mencionar algunas. Incluso inventaron un nombre para la compañía: VIVATO. (Rivera, 2013)

Aunque la tecnología WIFI ha experimentado un gran crecimiento y está ayudando a facilitar el acceso a Internet a millones de personas en todo el mundo,

las últimas versiones del estándar no han ayudado precisamente a que los usuarios de las redes WIFI tengan claro cuál es el rendimiento real de las mismas.

La tecnología WIFI está basada en la utilización de un estándar desarrollado por el organismo mundial IEEE dedicado al desarrollo de estándares en el ámbito de las ciencias y la tecnología. La primera versión oficial del estándar se publicó en 1997 y recibió el nombre de IEEE 802.11. (González Santos, 2014)

La especificación 802.11n viene a mejorar tanto la velocidad como el rendimiento de las actuales versiones 802.11b y 802.11g, ya que puede ser capaz de alcanzar los 600 Mbps. (Salcedo, 2012)

Por el momento y para simplificar, diremos que la norma IEEE 802.11n define hasta 77 MCS (*Modulation and Coding Scheme*), es decir, 77 modos de operación diferentes y cada uno de ellos ofrece hasta cuatro velocidades máximas teóricas, dependiendo del ancho del canal y del (GI) intervalo de guarda utilizado.

Los tipos de modulación más avanzados y las velocidades de modulación altas tienen la ventaja de transmitir más bits por unidad de señal modulada, pero por el contrario son más sensibles a errores producidos por las condiciones de transmisión como obstáculos, interferencias, debilidad de la señal debido a la distancia entre los dispositivos. Cuando la tasa de errores crece, la solución es cambiar el tipo de modulación, la velocidad de modulación o ambas hasta encontrar un esquema que se vea lo menos afectado posible por las condiciones de transmisión.

Los beneficios en la utilización de este modelo es precisamente ese: permitir una velocidad de transferencia de datos seis veces mayor que con la que se trabaja en el estándar IEEE 802.11n, es decir capaz de alcanzar los 600 Mbps y lograr un área de emisión eficiente de aproximadamente 90 metros de distancia, ya que se basa en la tecnología MIMO (*Multiple input Multiple output*) lo que aumenta la capacidad del enlace inalámbrico usando varias antenas de transmisión y recepción por las que se transfieren datos de forma simultánea. (Salcedo, 2012)

MIMO (*Multiple input, Multiple output*) es una tecnología inalámbrica que utiliza varios transmisores y receptores para poder enviar y recibir más datos al mismo tiempo. Es decir, que MIMO ofrece mayores tasas de transferencia, mayores distancias de cobertura, mayor capacidad de usuarios y más fiabilidad. La tecnología MIMO ha despertado el interés desde sus inicios debido a sus posibles aplicaciones en múltiples terrenos y sectores, desde la televisión digital (DTV), a las redes de área local inalámbricas (WLAN), así como Redes de Área Metropolitana (MAN), y las comunicaciones móviles. Técnicamente, se puede afirmar que es una tecnología que se refiere específicamente al uso de múltiples señales que viajan simultáneamente y en la misma frecuencia por un solo canal de radiofrecuencia. Además, MIMO aprovecha la propagación multicamino para incrementar la eficiencia espectral del sistema de comunicaciones inalámbrico.

Esto lo consigue a través del uso de diversidad de antenas, distintas técnicas y complejos algoritmos de tratamiento digital de señales en ambos extremos del enlace: en el equipo transmisor (múltiple entrada) y en el receptor (múltiple salida).

La tecnología MIMO se aprovecha de un fenómeno de ondas de radio llamado multitrayectoria donde la información transmitida rebota en las paredes, techos y otros objetos, que llegan a la antena de recepción varias veces a través de diferentes ángulos y en diferentes tiempos.

Otra característica a destacar es que el estándar 802.11n hace uso simultáneo de las frecuencias de las tecnologías anteriores, 2.4 GHz y 5 GHz, por lo tanto, todas las versiones de 802.11, aportan la ventaja de ser compatibles entre sí, lo que significa que los equipos que tengan las normas antiguas no tendrán ningún problema de adaptación en su uso, de tal forma que el usuario no necesita nada más que su adaptador WIFI integrado, para poder conectarse a la red. (Salcedo, 2012)

WIFI tendrá un papel destacado en las comunicaciones móviles de los próximos años. Se prevé que en los próximos años más de la mitad del tráfico de datos mundial se originará desde accesos WIFI. Esta demanda impacta principalmente en el negocio de los operadores, que ven saturadas sus redes 3G. Por esta razón el acceso WIFI es una buena estrategia para reducir la carga de tráfico de las redes 3G/4G, principalmente en entornos indoor (interior) y de alta densidad de clientes, como centros comerciales, estadios e incluso hogares. Este panorama plantea un futuro muy alentador para las redes WIFI que se encuentren preparadas, ya que existirán nuevas oportunidades de negocios, sobre todo para los operadores de servicios fijos y móviles, relacionadas con la “venta” de ancho de banda a otros operadores que no llegan con su red, o también poder descargar (offloading) el tráfico de datos de la red celular, para luego transportarlo hasta algún punto de interconexión. Podemos concluir que nos encontramos frente a

un contexto interesante y único para la industria que fabrica y comercializa productos y servicios relacionados con la conectividad inalámbrica, como así también para los usuarios, que podrán maximizar sus experiencias, sin importar el dispositivo y plataforma que utilizan.

El estándar IEEE 802.11n WIFI / WLAN utiliza tecnologías como OFDM (acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales) y MIMO para lograr altas velocidades de transmisión, con picos de hasta 600 Mbps. Usa un canal de 40 MHz.

La tecnología OFDM es mucho más adecuada para entornos con presencia de desvanecimientos de señal (fading) ante posibles interferencias, debido a que modula el conjunto de datos en las diferentes subportadoras y por tanto solo se verían afectadas algunas de ellas, las cuales luego pueden ser recuperadas mediante algún método de corrección de errores, lo que proporciona mucha fiabilidad a las comunicaciones. (Hermosa & Francisco Xavier, 2017)

Los dispositivos con tecnología 802.11n son ideales para la oferta de servicios denominada "*triple play service provision*", o lo que es lo mismo, voz, video y datos y aunque aún no reemplaza totalmente a la Ethernet cableada en muchas empresas, para aquellas compañías que utilicen 100/10BaseT el estándar 802.11n puede ser una alternativa más económica.

Se puede decir que el entorno WIFI es la solución idónea que unifica movilidad y conectividad en la transmisión de datos, ofreciendo una nueva posibilidad de "oficina móvil", se esté donde se esté. (Olivares Cúcalo, 2017)

Las redes WIFI poseen una serie de ventajas, entre las cuales podemos destacar:

- Al ser redes inalámbricas, la comodidad que ofrecen es muy superior a las redes cableadas porque cualquiera que tenga acceso a la red puede conectarse desde distintos puntos dentro de un rango suficientemente amplio de espacio.
- Una vez configuradas, las redes WIFI permiten el acceso de múltiples computadoras sin ningún problema ni gasto en infraestructura, ni gran cantidad de cables.
- La WIFI Alliance asegura que la compatibilidad entre dispositivos con la marca WIFI es total, con lo que en cualquier parte del mundo se puede utilizar la tecnología WIFI con una compatibilidad total.

Pero como red inalámbrica, la tecnología a WIFI presenta los problemas intrínsecos de cualquier tecnología inalámbrica. Algunos de ellos son:

- Tiene una menor velocidad en comparación a una conexión con cables, debido a las interferencias y pérdidas de señal que el ambiente puede acarrear.
- La desventaja fundamental de estas redes existe en el campo de la seguridad. Existen algunos programas capaces de capturar paquetes, trabajando con su tarjeta WIFI en modo promiscuo, de forma que puedan calcular la contraseña de la red, y de esta forma acceder a ella. Las claves de tipo WEP son relativamente fáciles de conseguir con este sistema.

La alianza WIFI arregló estos problemas sacando el estándar WPA (WIFI *Protected Access*) y posteriormente WPA2, basados en el grupo de trabajo

802.11i. Las redes protegidas con WPA2 se consideran robustas dado que proporcionan muy buena seguridad. De todos modos, muchas compañías no permiten a sus empleados tener una red inalámbrica. (Olivares Cúcalo, 2017)

Este problema se agrava si consideramos que no se puede controlar el área de cobertura de una conexión, de manera que un receptor se puede conectar desde fuera de la zona de recepción prevista (ej. desde fuera de una oficina, desde una vivienda colindante).

Los estándares 802.11 comprenden normalmente especificaciones para la capa física y la capa MAC. La función de estos estándares es definir reglas que permitan la transmisión de datos entre distintos nodos mediante un medio inalámbrico compartido. Para lograr esto se definen muchas funcionalidades y formatos necesarios para que se puedan comunicar, pero se dejan partes sin definir en el estándar sobre funciones no imprescindibles para el correcto funcionamiento de la red, para que cada vendedor haga sus propias implementaciones y se diferencie. Esto también permite introducir mejoras al estándar y que se mantenga totalmente compatible con él. (García Fernández, 2006)

Siguiendo la idea del modelo de capas OSI, en la capa física se establece la banda de frecuencias a utilizar, el ancho de banda permitido para la transmisión, la modulación de las señales y la codificación de las mismas, las velocidades de datos permitidas, así como el formato de los bitios, etc. Todas estas definiciones permiten que los bitios se transmitan y se reciban satisfactoriamente entre dos nodos y que la comunicación se vuelva transparente para la capa MAC.

MAC - Control de acceso al medio en IEEE802.11

La capa MAC (*Medium Access Control*) se encarga del acceso al medio compartido por lo que tiene la tarea de decidir, a través de un algoritmo apropiado, que estación accede al medio y cuando. Para lograr este objetivo, existe una función dentro de la capa MAC, llamada *Distributed Coordination Function* (DCF), que utiliza un algoritmo descentralizado (CSMA/CA con ventana de backof) que permite la escalabilidad de las redes de este tipo. (Zubeldía, 2012)

El control de acceso al medio tiene como misión coordinar de la forma más eficiente posible el acceso al medio de transmisión de las distintas estaciones que lo comparten. La MAC 802.11 sigue la trayectoria de los estándares 802, adapta con éxito la MAC de Ethernet al contexto diferente de una red radio, esto se logra esencialmente reemplazando el CSMA/CD por CSMA/CA. La MAC tiene que vencer en 802.11 algunos retos específicos de la naturaleza inalámbrica de las redes WIFI, de los que se pueden destacar dos: El primero, la calidad no necesariamente óptima de los enlaces de radio. El segundo, la alta probabilidad de que las redes contengan nodos que puedan colisionar sin siquiera oírse, que es el llamado fenómeno del nodo oculto, y para el que se propone el mecanismo RTS/CTS.

Los modelos de comportamiento y prestaciones de IEEE 802.11 disponibles hasta ahora no son válidos para distancias largas entre nodos y, por lo tanto, no explican los problemas que se presentan en distancias largas ni sirven para buscar soluciones; toda la investigación publicada al respecto es válida tan solo para distancias cortas. Igualmente, los productos de simulación de redes que implementan IEEE 802.11, suelen tener de ciencias que impiden usarlos para

reproducir situaciones que se encuentran en redes extensas. (Simo Reigadas, 2007)

Una cuidadosa revisión del estándar no deja entrever ningún elemento de la capa física que limite el alcance de las comunicaciones WIFI en términos de distancia, salvo el balance de enlace. Los límites físicos de distancia alcanzable con WIFI dependerán, por lo tanto, de los siguientes parámetros:

- La máxima potencia que podamos transmitir (PIRE).
- Las pérdidas de propagación.
- La sensibilidad de recepción.

La mínima relación señal a ruido que estemos dispuestos a aceptar como suficiente para obtener enlaces estables y de calidad. Para verificar cualquier teoría sobre el funcionamiento de las redes, para simplemente probar el funcionamiento de una red particular bajo ciertas condiciones, es conveniente el uso de un simulador.

Los simuladores de la familia Network Simulator (NS1, NS2 y NS3) son una serie de simuladores para redes basados en eventos discretos. El desarrollo de NS empezó en 1989 como una variante del REAL Simulatory actualmente es mantenido por voluntarios. En este momento el NS2 es la versión más utilizada por la academia en el área de redes ya que cuenta con muchos años de trabajo en la forma de módulos para todo tipo de redes. El NS3 es una versión relativamente nueva a la cual le faltan módulos aun para equipararse con el NS2, pero se piensa que en un futuro lo suplantara completamente como el NS2 hizo con el NS1. (Garcia Robles, 2013)

El NS3 es un simulador de redes de eventos discretos con un enfoque especial en sistemas basados en Internet. NS3 es un programa de espacio de usuario que funciona en sistemas basados en UNIX, Linux y Windows. En NS3 las librerías o los componentes para la simulación están escritos en C++ y tiene soporte para permitir que los programas para la simulación sean escritos en Python. (Conejero Díaz, 2014)

NS3 está principalmente dirigido a la simulación de redes basadas en IPv4 e IPv6, aunque también soporta otras arquitecturas como redes de sensores. NS3 puede ser modificado y ampliado por los usuarios. Los usuarios tienen a su disposición programas de ejemplo que permiten iniciarse en el simulador, para que una vez lo conozcan, escriban nuevos programas, modifiquen los existentes, o creen nuevos modelos que ayuden a ampliar las funcionalidades del simulador.

Capítulo 3 Marco Teórico

3.1 Clasificación de redes de acuerdo a su área de cobertura

La clasificación de las redes se ilustra en la figura 3.1, dicha clasificación se basa en un conjunto de características que se describen a continuación:

PAN (personal area network) o red de área personal: Tiene un rango de alcance de hasta los 10 mts, conocido como el estándar 802,15 Bluetooth Su tasa de transmisión se encuentran entre los 10 bps hasta los 10Mbps, en la frecuencia 2,4GHz este tipo de redes se caracterizan por su baja complejidad en el diseño, bajo costo y reducido consumo de potencia. (García Fernández, 2006)

LAN (local area network) o red de área local: Bajo el estándar 802,11 WIFI, es una red cuyo rango de alcance es aproximadamente de 10 mts a 150 mts, con frecuencia 2.4 y 5 GHz, se distinguen por su tamaño (tiempos de transmisión limitados y conocidos.), su tecnología de transmisión operan de 10 a 100Mbps. Las nuevas LAN funcionan hasta 10 Gbps y su topología se encuentran dos principales topologías: bus y anillo.

MAN (metropolitan area network) o red de área metropolitana: Esta red utiliza el estándar 802,16 WiMax, su rango de alcance llega hasta los 50 mts, opera sobre la frecuencia 2.11 GHz es una red de alta velocidad (banda ancha) que da cobertura en un área geográfica más extensa, proporciona capacidad de integración de múltiples servicios mediante la transmisión de datos, voz y video, ofrecen velocidades de 10Mbps, 20Mbps, 45Mbps, 75Mbps, sobre pares de cobre y 1Gbps, 10Gbps en fibra óptica.

WAN (wide area network) o red de área amplia: Ofrece velocidades de transmisión hasta 384Kbps, con frecuencia 0,9, 1,8 y 2,1 GHz, se extiende sobre un área geográfica extensa empleando medios de comunicación poco habituales, como satélites, cables interoceánicos, fibra óptica, etc. Utiliza medios públicos. La diferencia de las demás es que proporciona un medio de transmisión a larga distancia de datos, voz, imágenes, videos, sobre grandes áreas geográficas que pueden llegar a extenderse hacia un país, un continente o el mundo entero, cubre distancias desde 100km hasta 1000 km. Un ejemplo claro de esta red es Internet. (Rodríguez Pineda, 2016).

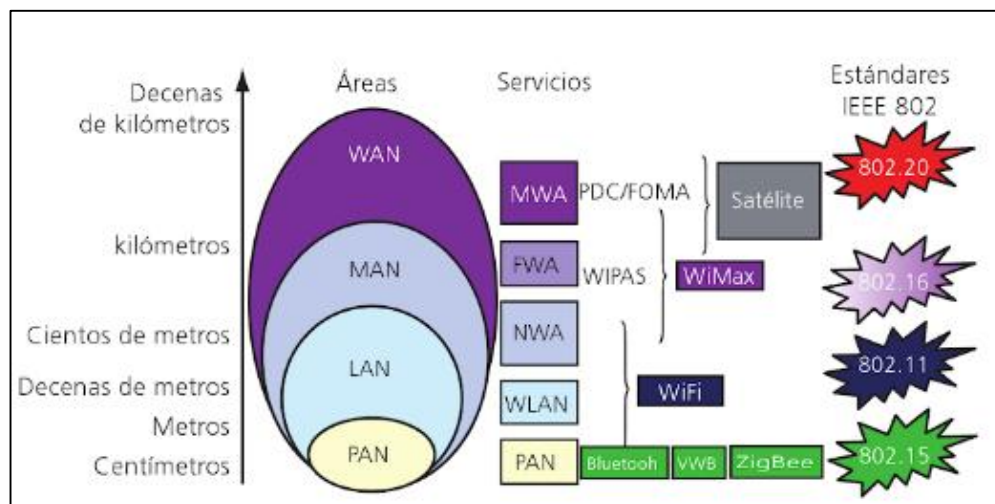


Figura 3.1 Tipos de redes (Andreu, J. 2011)

3.2 Redes Locales Inalámbricas (WLAN)

Una red de área local inalámbrica o WLAN (Wireless LAN) utiliza la tecnología de radio frecuencia (RF) que, en lugar de los tradicionales y molestos cables, utiliza el aire como medio de comunicación mediante la transmisión de ondas electromagnéticas.

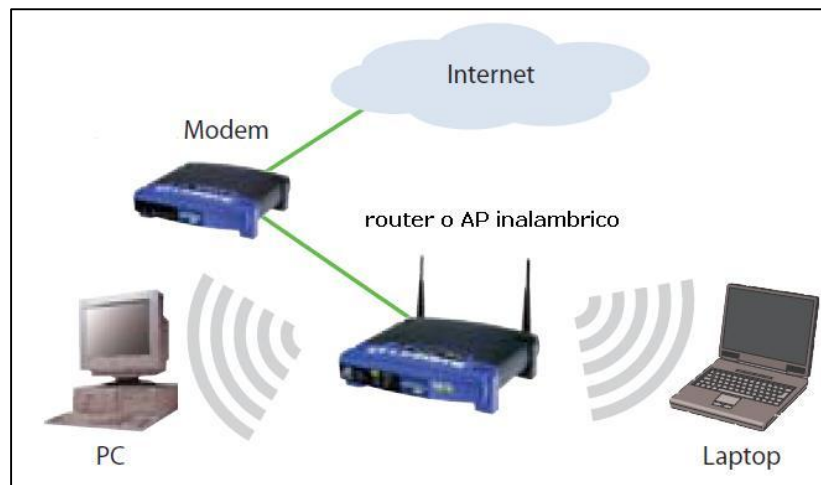


Figura 3.2 Ejemplo de Red Inalámbrica Sencilla

Las redes locales inalámbricas más que una sustitución de las LAN's convencionales son una extensión de las mismas, ya que permite el intercambio de información entre los distintos medios en una forma transparente al usuario, minimizando la necesidad de establecer una conexión física cableada y ofreciendo al usuario conexión de datos de banda ancha y movilidad. (Fernández, 2006)

El atractivo fundamental de este tipo de redes es la facilidad de instalación y el ahorro que supone la supresión del medio de transmisión cableado. Las redes inalámbricas son la alternativa ideal para hacer llegar una red tradicional a lugares donde el cableado no lo permite.

3.3 Ámbito de aplicación

Las aplicaciones de las redes de área local inalámbricas que podemos encontrar actualmente son muy variadas: (García Fernández, 2006)

- Entornos difíciles de cablear. Implementación de redes de área local en edificios históricos, de difícil acceso y en general en entornos donde la solución cableada es inviable.

- Posibilidad de reconfiguración de la topología de la red sin añadir costes adicionales. Esta solución es muy típica en entornos cambiantes que necesitan una estructura de red flexible que se adapte a estos cambios.
- Redes locales para situaciones de emergencia o congestión de la red cableada.
- Entornos en los que se debe permitir el acceso a la información mientras el usuario se encuentra en movimiento y en tiempo real. Por ejemplo, en hospitales, fabricas, almacenes.
- En ambientes industriales con severas condiciones ambientales este tipo de redes sirve para interconectar diferentes dispositivos y maquinas.
- Interconexión de redes de área local que se encuentran en lugares físicos distintos. Por ejemplo, se puede utilizar una red de área local inalámbrica para interconectar dos o más redes cableadas de área local situadas en dos edificios distintos.
- Actualmente se están desplegando las denominadas Zonas IP, que son lugares públicos donde las WLAN ofrecen conexión a Internet: aeropuertos, estaciones de ferrocarril, auditorios de congresos, hoteles y otros lugares públicos.

3.4 Alcance de las redes inalámbricas

El alcance de un componente de red inalámbrica viene determinado normalmente por el fabricante del hardware, aunque depende de los factores del entorno. En general, los fabricantes proporcionan dos valores de alcance, uno para exteriores y otro para interiores.

El valor de alcance de interiores suele ser considerablemente inferior al de exteriores, ya que las estructuras de los edificios degradan la señal.

Los valores de alcance para los interiores oscilan entre los 45 y 90 metros (150 y 300 pies), aunque pueden ser menores debido a factores como paredes u otros dispositivos que operen dentro del alcance de 2.4 GHz.

Los valores habituales correspondientes al alcance de los exteriores se sitúan alrededor de los 300 metros (1.000 pies), aunque pueden ser menos debido a la existencia de obstáculos entre los dispositivos y estructuras. (Rodríguez, 2014)

3.5 Topología y configuraciones

La versatilidad y flexibilidad de las redes inalámbricas es el motivo por el cual la complejidad de una LAN implementada con esta tecnología sea tremendamente variable. Esta gran variedad de configuraciones ayuda a que este tipo de redes se adapte a casi cualquier necesidad. (García Fernández, 2006)

Estas configuraciones se pueden dividir en dos grandes grupos, las redes Peer to Peer y las que utilizan Puntos de Acceso.

3.5.1 Configuración Peer-to-Peer (Ad-Hoc)

También conocidas como redes ad-hoc, es la configuración más sencilla ya que en ella los únicos elementos necesarios son terminales móviles equipados con los correspondientes adaptadores para comunicaciones inalámbricas. En este tipo de redes, el único requisito deriva del rango de cobertura de la señal, ya que es necesario que los terminales móviles estén dentro de este rango para que la comunicación sea posible. Por otro lado, estas configuraciones son muy sencillas de implementar y no es necesario ningún tipo de gestión administrativa de la red. Un ejemplo sencillo de esta configuración se muestra en la figura 3.3.

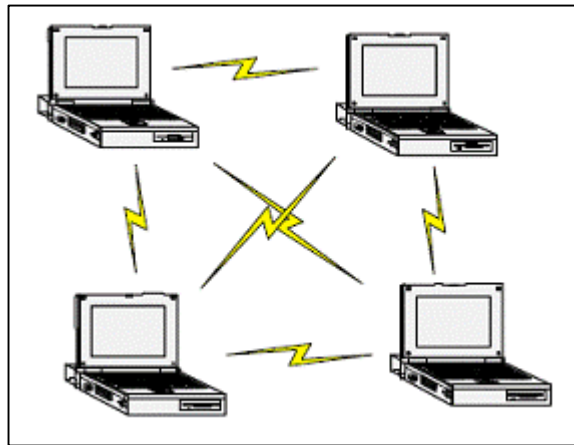


Figura 3.3. Arquitectura de peer to peer

3.5.2 Configuración en modo Punto de Acceso

También conocidas como configuraciones en Modo Infraestructura, utilizan el concepto de celda, ya utilizado en otros sistemas de comunicación inalámbrica como la telefonía móvil. Una celda podría entenderse como el área en el que una señal radioeléctrica es efectiva. A pesar de que en el caso de las redes inalámbricas

esta celda suele tener un tamaño reducido, mediante el uso de varias fuentes de emisión, es posible combinar celdas para cubrir de forma casi total un área más extensa.

La estrategia empleada para aumentar el número de celdas, y por lo tanto el área cubierta por la red, es la utilización de los llamados Puntos de Acceso, que funcionan como repetidores, y por tanto son capaces de doblar el alcance de una red inalámbrica, ya que ahora la distancia máxima permitida no es entre estaciones, sino entre una estación y un punto de acceso. (García Fernández, 2006)

Los Puntos de Acceso son colocados normalmente en alto, pero solo es necesario que estén situados estratégicamente para que dispongan de la cobertura necesaria para dar servicio a los terminales que soportan. Un único punto de acceso puede soportar un pequeño grupo de usuarios y puede funcionar en un radio de al menos treinta metros y hasta varios cientos de metros.

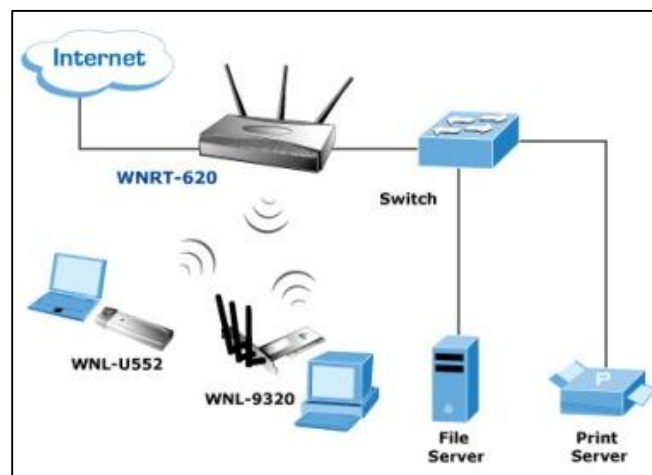


Figura 3.4. Arquitectura basada en Puntos de Acceso

La configuración de Punto de Acceso es capaz de dotar a una red inalámbrica de muchas más posibilidades como se muestra en la figura 3.4. Además del evidente aumento del alcance de la red, permite lo que se conoce como roaming, es decir

que los terminales puedan moverse sin perder la cobertura y sin sufrir cortes en la comunicación. Esto representa una de las características más interesantes de las redes inalámbricas.

3.6 Arquitectura de 802.11

El 802.11 está basado en una arquitectura celular donde el sistema se divide en celdas. Cada celda se denomina BSS (*Basic Service Set*) y es controlada por una estación base denominada AP (*Access Point*). La mayor parte de las instalaciones están compuestas por un conjunto de celdas formando una red con los APs conectados a un backbone. Este conjunto se denomina DS (*Distribution System*). El backbone de red puede ser una LAN cableada o incluso una WLAN. (Cuenca and Reverte, 2003) El conjunto completo de elementos descritos conforma una red única 802.11 para los niveles superiores del modelo de referencia OSI y se denomina ESS (*Extended Service Set*). Véase figura 3.5

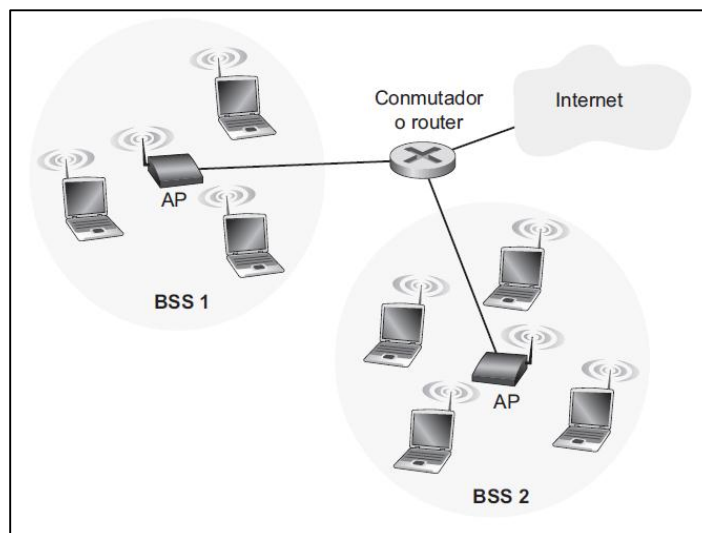


Figura 3.5. Arquitectura 802.11

3.7 Capas del IEEE 802.11

El estándar 802.11 cubre la capa física y la capa de enlace o MAC. En concreto el estándar define tres capas físicas diferentes: espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS), espectro ensanchado por salto en frecuencia (FHSS) e infrarrojos. La capa de enlace o MAC es común para las 3 capas físicas, proporcionando una interface única a los protocolos de capas superiores. MAC soporta funciones como la Fragmentación, Retransmisión y Aceptación de paquetes. (Cánovas Reverter & Sánchez Cuenca, 2003)

Capa de enlace de datos (MAC)	802.2			
	802.11			
Capa física (PHY)	<table border="1"><tr><td>DSSS</td><td>FHSS</td><td>Infrarrojo</td></tr></table>	DSSS	FHSS	Infrarrojo
DSSS	FHSS	Infrarrojo		

Figura 3.6. Capas de la IEEE 802.11

3.7.1. IEEE 802.11: Capa Física

La Capa Física de cualquier red define la modulación y la señalización características de la transmisión de datos. Los métodos de RF operan en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, ocupando aproximadamente 83 MHz de ancho de banda entre los 2,400 y 2,483 GHz. El nivel potencia máximo permitido en este rango de frecuencias varia de un país a otro según sus normas regulatorias.

IEEE 802.11 define tres posibles opciones para la elección de la capa física para la transmisión y recepción de tramas 802.11:

- Espectro expandido por secuencia directa o DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*).
- Espectro expandido por salto de frecuencias o FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*).
- Luz infrarroja en banda base sin modular.

En cualquier caso, la definición de tres capas físicas distintas se debe a las sugerencias realizadas por los distintos miembros del comité de normalización, que han manifestado la necesidad de dar a los usuarios la posibilidad de elegir en función de la relación entre costes y complejidad de implementación, por un lado, prestaciones y fiabilidad por otra. (García Fernández, 2006)

Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia (FHSS)

La tecnología de espectro ensanchado por salto en frecuencia (FHSS) consiste en transmitir una parte de la información en una determinada frecuencia durante un intervalo de tiempo llamado dwell time inferior a 400 mts. Pasado este tiempo se cambia la frecuencia de emisión y se sigue transmitiendo a otra frecuencia. De esta manera cada tramo de información se va transmitiendo en una frecuencia distinta durante un intervalo muy corto de tiempo.

El orden en los saltos en frecuencia se determina según una secuencia pseudoaleatoria almacenada en unas tablas, que tanto el emisor y el receptor deben conocer. Véase la figura 3.7

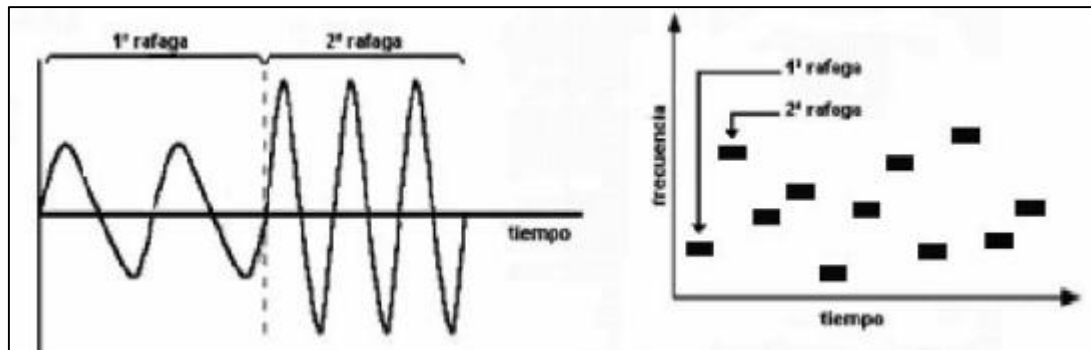


Figura 3.7. Gráfica De Codificación Con Salto De Frecuencia

Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS)

DSSS es el segundo nivel físico soportado por el 802.11 y el único especificado en el 802.11b, soportando velocidades de transmisión de 5.5 y 11Mbps. En el caso de Estados Unidos y Europa la tecnología DSSS utiliza un rango de frecuencias que va desde los 2,4 GHz hasta los 2,4835 GHz lo que permite tener un ancho de banda total de 83,5 MHz. Este ancho de banda se subdivide en canales de 5 MHz, lo que hace un total de 14 canales independientes como se muestra en la figura 3.8. Cada país está autorizado a utilizar un subconjunto de estos canales. En Europa existen 13 canales disponibles (excepto en Francia) aunque tan solo 3 están no solapados. (Navarrete Chávez, 2009)

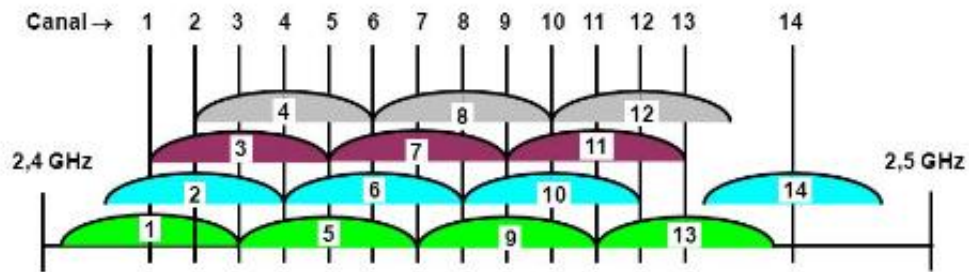


Figura 3.8. Canales DSSS

Infrarrojo

La tecnología infrarrojo cuenta con muchas características sumamente atractivas para utilizarse en WLANs: el infrarrojo ofrece una amplio ancho de banda que transmite señales a velocidades altas; tiene una longitud de onda cercana a la de la luz y se comporta como esta (no puede atravesar objetos solidos como pare-des, por lo que es inherentemente seguro contra receptores no deseados); debido a su alta frecuencia, presenta una fuerte resistencia a las interferencias electromagnéticas artificiales radiadas por dispositivos hechos por el hombre (motores, luces ambientales, etc.); la transmisión infrarroja con láser o con diodos no requiere autorización especial en ningún país (excepto por los organismos de salud que limitan la potencia de la señal transmitida); utiliza un protocolo simple y componentes sumamente económicos y de bajo consumo de potencia, una característica importante en dispositivos móviles portátiles. (García Fernández, 2006)

3.7.2. IEEE 802.11: Capa Mac

El estándar IEEE 802.11 especifica dos mecanismos de acceso al medio: una función de coordinación distribuida obligatoria (DCF) y una función coordinada opcional (PCF).

DCF (Función de coordinación distribuida)

Este mecanismo trabaja en un esquema tipo “escuchar antes de hablar” basado en CSMA/CA donde las estaciones escuchan el medio para determinar cuando este está libre. (Navarrete Chávez, 2009)

En la Fig. 3.9 se muestra el mecanismo DFC; antes de iniciar una transmisión, cada estación necesita “escuchar” el medio. Si el medio está desocupado y continua durante un intervalo de tiempo DIFS, la estación puede comenzar a transmitir la trama. Si el medio ya estuviera ocupado o pasara a estarlo antes de transcurrir el periodo DIFS, se añade un tiempo de backoff o disputa, tras el cual intentar a transmitir nuevamente la trama.

Si otra estación ocupara el medio durante el tiempo de backoff, la estación almacenará el tiempo (ranuras) que le queda por esperar. Tras ello esperar un intervalo DIFS, para luego esperar solo el tiempo de backoff almacenado para empezar a transmitir la trama.

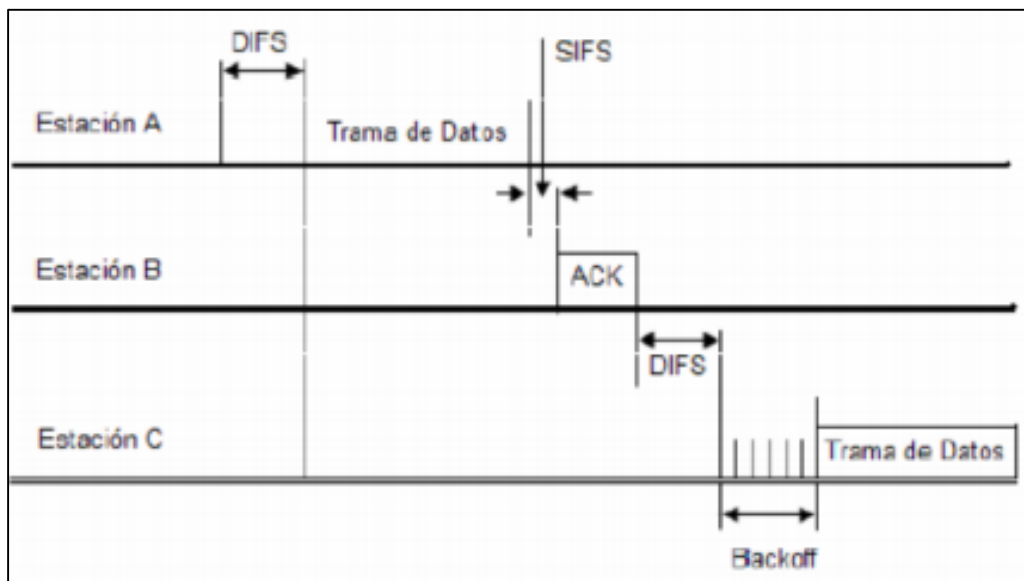


Figura 3.9. Mecanismo DFC

El tiempo de backoff ranurado se genera aleatoriamente entre un valor de 0 y el tamaño de la ventana de contención (CW). En un primer intento, CW es igual a su valor mínimo (CW_{min}) y por cada transmisión fallida, ira aumentando el doble de su tamaño anterior hasta llegar a su valor máximo (CW_{max}). Si la transmisión es exitosa, el valor de la CW se resetea a 0.

Si dos estaciones analizan su proceso de backoff simultáneamente y detectan el medio libre, se producirá una colisión ya que ambas transmitirán al mismo tiempo. Por ello es necesaria la confirmación de la correcta recepción de cada trama con un ACK; de tal forma que permita al emisor, programar la retransmisión de la trama si no se recibe esta confirmación pasado un tiempo determinado.

PCF (Función de coordinación puntual)

Este mecanismo provee una transmisión libre de contención introducido para dar soporte a las aplicaciones multimedia, aunque solo puede usarse en modo infraestructura debido a que está basado en un esquema de polling. (Navarrete Chávez, 2009)

El mecanismo PCF ilustrado en la Fig. 3.10, el tiempo es dividido en intervalos periódicos llamados intervalos de beacon, compuestos por un periodo de contención (CP) y otro periodo libre de contención (CFP). Durante un CP, el punto de acceso mantiene una lista de estaciones registradas sobre las cuales realiza periódicamente una "encuesta" solo después que una estación sea encuestada podrá comenzar a transmitir.

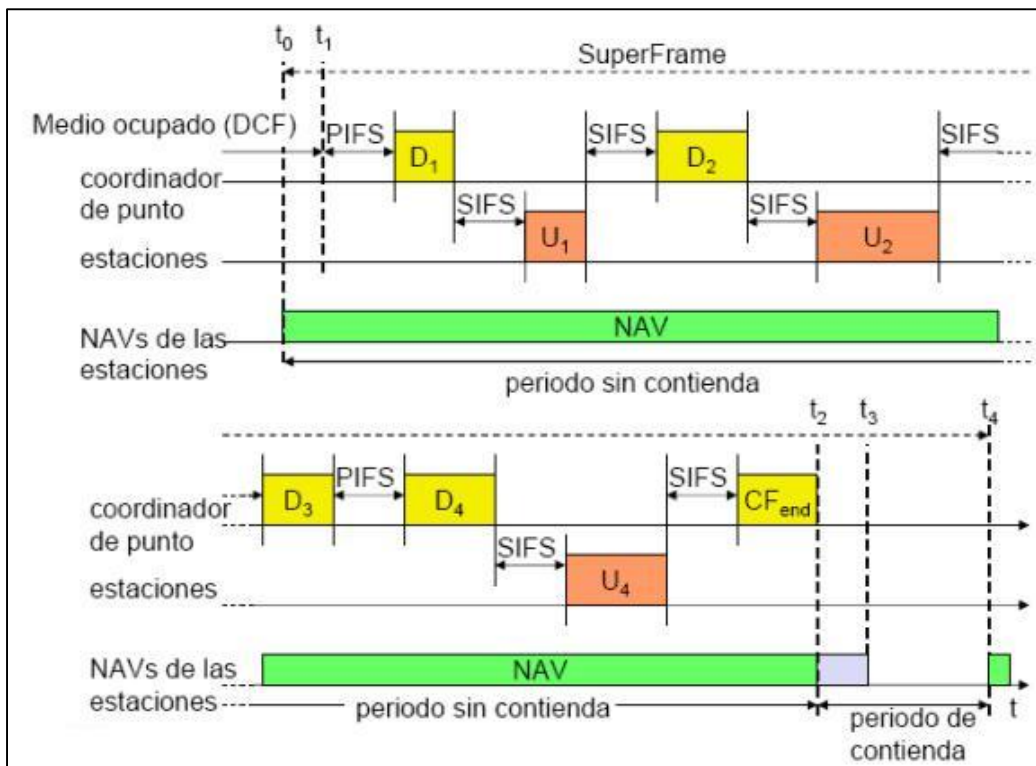


Figura 3.10. Mecanismo PCF

El tamaño de cada trama de datos está limitado por el tamaño máximo de trama MAC (2304 bytes).

El tiempo usado por el punto de acceso para generar las tramas de beacon (TBTT) y el siguiente TBTT es anunciado por el punto de acceso dentro de la trama actual de beacon. Para brindar una mayor prioridad a PCF, se utiliza un intervalo de tiempo más pequeño llamado PIFS.

3.8 Algoritmos de enrutamiento

Los algoritmos de enrutamiento se muestran en la figura 3.11, estos se emplean porque son responsables de la especificación del enlace en cada paquete, de esta forma, el algoritmo debe encontrar un nodo en la red para enlazar los datos de un punto a otro. Se toma en cuenta que un enrutador puede realizar dos

procesos internos, uno maneja los paquetes conforme van llegando a la red y el otro actualiza las tablas de enrutamiento para decidir cuales ruta va a utilizar al momento de dirigir la información. Este algoritmo utiliza los puertos de salida para transmitir la información organizada, confiada y dirigida por el nivel de red en función de su dirección IP de destino. Los algoritmos de enrutamiento más utilizados son:

- Vector distancia
- Estado de enlace
- Source Routing

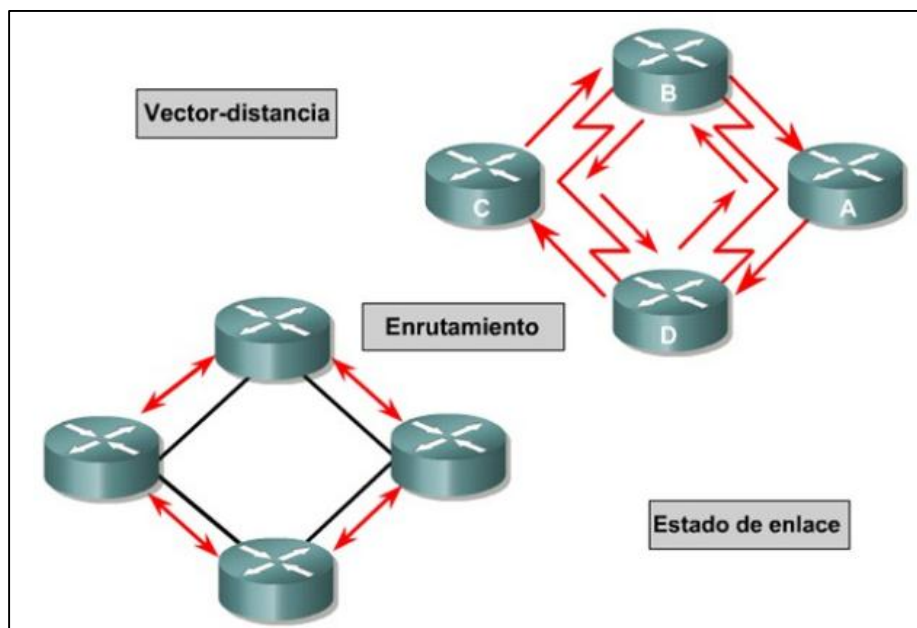


Figura 3.11. Clases de algoritmo de enrutamiento

3.8.1 Algoritmo Vector-Distancia

El nodo conoce ya el costo de los enlaces a los que está conectado. Cada nodo comunica a su vecino qué otros nodos puede alcanzar y a qué costo como se muestra en la figura 3.12. Así cada nodo recalcula su propia tabla de

enrutamiento siguiendo las informaciones que ha recibido, y utilizando un algoritmo que tiene en cuenta el camino a menor costo.

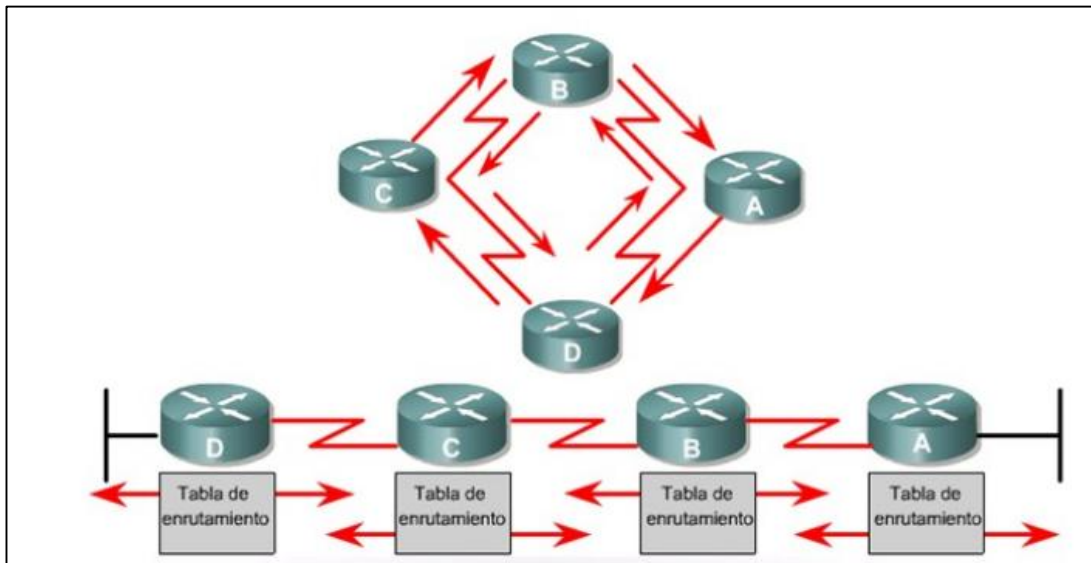


Figura 3.12. Algoritmo Vector Distancia

3.8.2 Algoritmo de Estado de Enlace

Se asigna un costo a cada enlace o conexión y cada nodo administra un mapa completo de la topología de la red. Periódicamente cada nodo difunde el costo de los enlaces a los cuales está conectado, y los restantes nodos actualizan el mapa de la red y la tabla de enrutamiento, aplicando un algoritmo que tiene en cuenta el camino a menor costo. (Rey, L. C., Quiñones, T. O. L., & García, W. B. (2014).

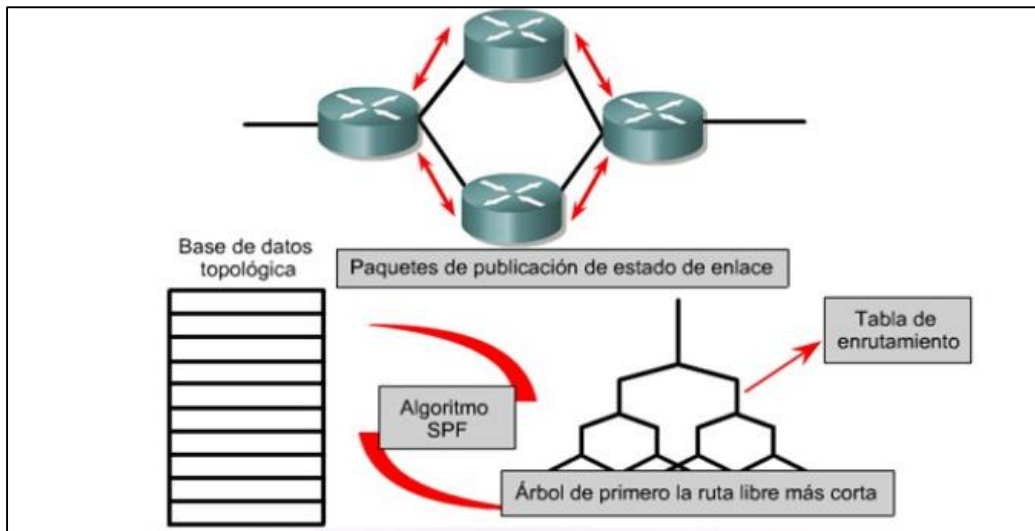


Figura 3.13. Algoritmo de estado enlace

3.8.3 Source Routing

Los enlaces o las rutas ya están establecidos para los paquetes ya que todas las decisiones relacionadas al enrutamiento de origen vienen procesadas desde las fuentes. Véase figura 3.14.

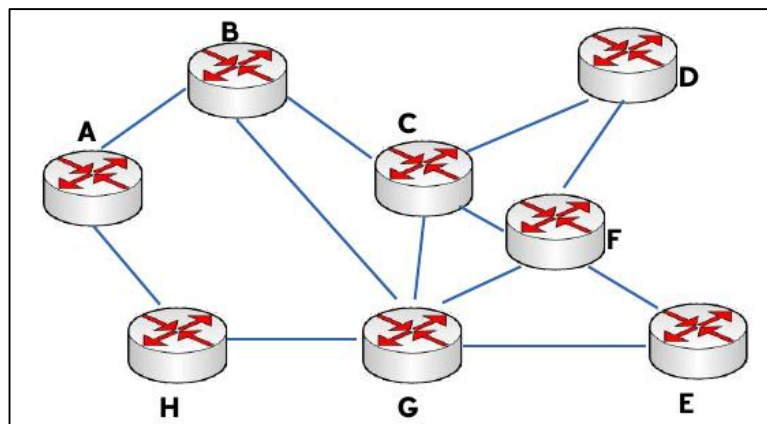


Figura 3.14. Algoritmo source routing – Enrutamiento de Origen

3.9 Intervalo de guarda (Guard Interval, GI)

El intervalo de guarda es un período de tiempo entre símbolos OFDM que se utiliza para preparar al sistema ante la llegada tardía de símbolos a través de caminos largos. En escenarios multitrayecto los símbolos viajan por diferentes caminos. El hecho de que las señales recorran distancias diferentes hace que dos símbolos emitidos en distintos instantes de tiempo puedan interferir entre sí al llegar al receptor. Este efecto se conoce como interferencia entre símbolos (ISI). Cuando 802.11a fue diseñado, los diseñadores usaron un valor conservador de 200 ns para el retraso de expansión, y siguiendo la regla anterior fijaron el GI a 800 ns. Después la experiencia ha demostrado que en la mayoría de entornos interiores casi nunca se llega a los 100 ns de retraso de expansión y a menudo suele estar comprendido entre los 50 y 75 ns. Por eso para conseguir un rendimiento mayor del enlace radio, 802.11n incluye una opción para intervalo de guarda corto, el cual se reduce a 400 ns. El éxito del GI corto depende de la expansión multitrayecto. En general, la interferencia multitrayecto es peor cuando hay importantes reflexiones debido a metales. (Cano Pérez, 2012)

Capítulo 4 Metodología

Antes de iniciar cualquier trabajo se considera importante el que se investigue si existe la necesidad de realizar un estudio sobre el tráfico de la red o del desempeño de la misma. Si la necesidad existe, se debe plantear cuál es el problema que se desea estudiar y si la técnica de simulación es válida para analizar el problema.

Si se opta por el método de simulación para el análisis del problema, se deben conocer los recursos y las herramientas con los que cuenta la institución o empresa para llevar a cabo una simulación por computadora. Para esto se debe revisar si existen, en la institución, programas de captura de tráfico y de simulación de redes, además de apoyo en recursos humanos para el procesamiento de datos.

En la ingeniería de software el desarrollo en cascada también conocido como modelo en cascada, es el enfoque metodológico que ordena rigurosamente las etapas del proceso para el desarrollo de software.

4.1 Preanálisis

4.1.1 Búsqueda de información relacionada con la tesis

El primer paso es estudiar cómo funcionan los programas con los que se cuenta para la captura de tráfico y la simulación de redes.

Se debe destinar tiempo para familiarizarse con los programas a utilizar, para hacer ejercicios prácticos con ellos, y revisar los manuales de usuario correspondientes. Esto con el fin de conocer las potencialidades de ambos programas y sus capacidades para realizar un estudio de desempeño de red o análisis de tráfico.

Para el trabajo realizado se utilizaron tres “software”:

- El software de virtualización Oracle VM (VirtualBox) para arquitecturas x86/amd64, creado originalmente por la empresa alemana innotek GmbH. Actualmente es desarrollado por Oracle Corporation como parte de su familia de productos de virtualización.
- El sistema operativo Ubuntu, el cual es una distribución de GNU/Linux y que se distribuye como software libre.
- El simulador de redes NS3 basado en eventos discretos. Se usa principalmente en ambientes educativos y de investigación. Permite simular tanto protocolos unicast como multicast y se utiliza intensamente en la investigación de redes móviles.

Es importante analizar si el programa que se utilizará para la captura del tráfico de la red, provee información para los parámetros del modelo que se creará con el programa para la simulación. Esto es muy importante porque de ello depende la cantidad de procesamiento manual de los datos que se deberá hacer, la veracidad de la definición de los parámetros del modelo y el proceso de validación.

Los atributos de los componentes serían sus características, por ejemplo, un atributo del canal podría ser la velocidad de transmisión, un ejemplo de atributos de las estaciones podrían ser: velocidad de procesamiento, capacidad de los “buffers” de entrada y salida al canal. Y las actividades son los procesos que pueden cambiar el estado del sistema, en el trabajo realizado se estudió el tráfico de la red, por tal motivo, la actividad definida para este modelo fue el arribo de paquetes a la red y la salida de paquetes de la red, puesto que los arribos y salidas de paquetes cambian el estado del sistema.

La definición de los componentes, atributos y actividades depende de lo que se desea modelar, por lo tanto, en esta parte es importante hacer un reconocimiento de la red que se va a estudiar y definir estos elementos como una primera aproximación.

4.1.2 Estudio del estándar 802.11n

Se realizó un análisis sistemático de las técnicas que el IEEE 802.11n implementa para conseguir altas prestaciones; y así, poder determinar su aplicabilidad al entorno rural y de largas distancias. Esto se ve complementado por la experimentación a través del simulador de red NS3, que pretende determinar el efecto que la agregación de tramas tiene en los niveles de caudal y cómo éstos son superiores a los conseguidos con 802.11g.

4.1.3 Estudio de diferentes tecnologías a utilizar

Si bien existen una variedad de simuladores en cuanto a la cantidad de dispositivos virtuales y protocolos que pueden soportar. La mayoría buscan la formación del usuario y/o investigación en materia de redes informática. Los simuladores tienden a servir de apoyo en las prácticas de laboratorio para formación académica universitaria.

Algunos de los simuladores son básicos y no tienen versatilidad para cambiar la topología existente como JIMSIM y TOGGIT. Otros no tan básicos, trabajan con topologías definida por el usuario y en general con el protocolo TCP/IP como es el

caso de KivaNS, Marionnet, NETSimulator y PSimulator2. También se encuentran aquellos simuladores que son productos de grandes corporaciones o instituciones, ofrecen gran abanico de protocolos, laboratorios, apoyo, amplia documentación, etc. como los son CORE, NS2, NS3, GNS3, OMNET++, OPNET.

4.2 Análisis

4.2.1 Obtención de software requerido

Existen muchas herramientas de simulación para estudios de fenómenos de tráfico en la red. A continuación se detallan algunas características distintivas de NS3 en contraste con otras herramientas.

- NS3 está diseñado como un conjunto de bibliotecas que se pueden combinar juntas y también con otras bibliotecas de software externas. Mientras que algunas plataformas de simulación proporcionan a los usuarios un único entorno de interfaz gráfica de usuario integrado en el que se llevan a cabo todas las tareas, NS3 es más modular en este sentido. Se pueden usar varios animadores externos y herramientas de visualización y análisis de datos con NS3. Sin embargo, los usuarios deben esperar trabajar en la línea de comandos y con las herramientas de desarrollo de software C ++ y / o Python.
- NS3 se usa principalmente en sistemas Linux, aunque existe soporte para FreeBSD, Cygwin (para Windows) y el soporte nativo de Windows Visual Studio está en proceso de desarrollo.

- NS3 no es un producto de software con soporte oficial de ninguna compañía. El soporte para NS3 se realiza según el mejor esfuerzo en la lista de correo de NS3-users.

4.3 Diseño

4.3.1 Diseño de la red

Este paso está muy influenciado por el “software” de simulación que se utilice, y prácticamente el modelo que se crea depende mucho de las capacidades del “software”, por esto es necesario al principio estudiar el “software” de simulación, para poder crear un modelo acorde con las capacidades de diseño y creación del mismo.

Para el trabajo, se crearon los siguientes componentes: (nodos) que son un grupo de computadoras, nodo de procesamiento que simularían los servidores y dos nodos (cliente).

Se crean las fuentes de tráfico y el enlace. Se crearon objetos generadores de fuentes de tráfico para todos los nodos de grupo de computadoras, objetos fuentes de respuesta para todos los nodos de procesamiento, y se creó el objeto de canal o enlace.

Se definen las funciones de distribución de probabilidad de los parámetros del modelo, en el trabajo se definió la función de distribución de probabilidad para el parámetro tiempo entre arribos, el modelo de probabilidad ofrece un nivel satisfactorio de confiabilidad en los resultados obtenidos.

4.4 Pruebas

4.4.1 Documentación de cada una de las simulaciones

Se selecciona o diseñan los reportes que se desean de acuerdo con lo que se va a estudiar. NS3 muestra una lista de reportes que el usuario puede escoger, para el trabajo se eligieron reportes sobre: los diferentes modelos de frecuencia, nivel de utilización del canal, retraso de transmisión de paquetes e intervalo de guarda.

4.5 Implantación

4.5.1 Análisis de resultados

Con los resultados de las pruebas obtenidos, se analizan los resultados para comprobar si se han cumplido los criterios que se especificaron para asegurar que las simulaciones han sido exitosas.

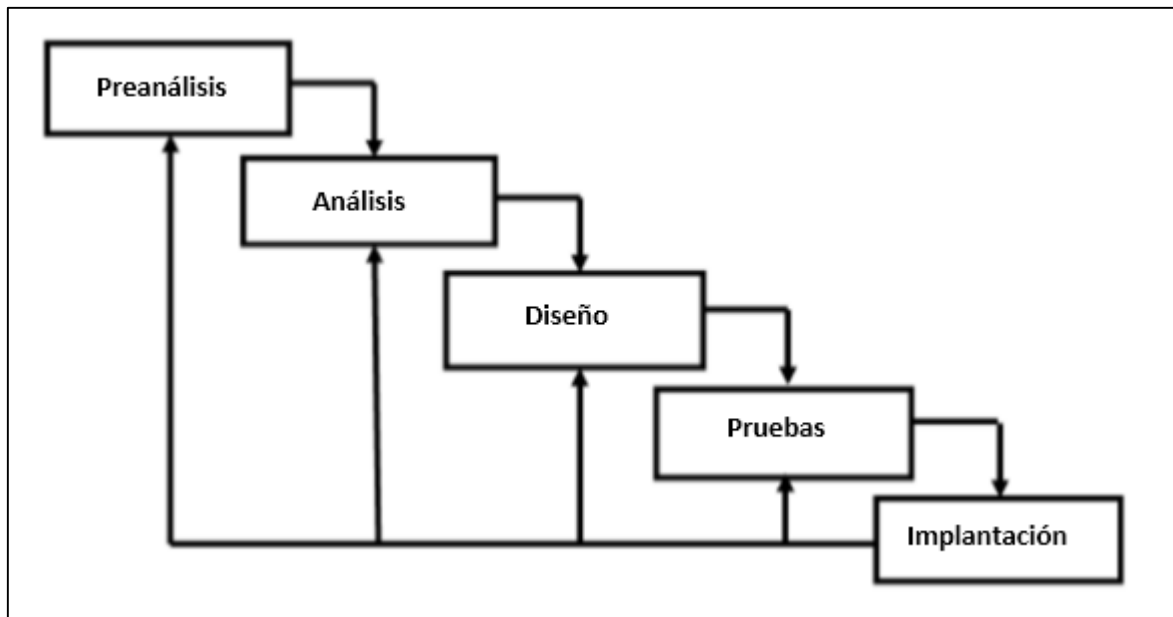


Figura 4.1 Modelo en cascada para el desarrollo de pruebas de laboratorio.

Capítulo 5 Simulaciones y Resultados

5.1 Herramienta de simulación NS3

El NS3 es un simulador de redes basado en eventos discretos. Se emplea, principalmente, en ámbitos educativos y de investigación. La infraestructura del software NS3 fomenta el desarrollo de modelos de simulaciones que son lo suficientemente realistas como para ser usados como un emulador de redes a tiempo real. (Rodríguez Estévez, B. 2017).

Cada tres meses se lanza una nueva versión de NS3 con nuevos modelos desarrollados por investigadores y comprobaciones realizadas por terceras personas, con el fin de ofrecer la máxima calidad posible.

NS3 es una librería C++ que proporciona modelos de simulación de redes implementados como objetos C++ y con interfaces en python. Los usuarios interactúan con esta librería mediante aplicaciones C++ o python que instancian unos modelos de simulación para montar el escenario de interés, entrar en el bucle principal de la simulación, y salir cuando la simulación esté completa.

Este software es un programa de código abierto y depende de las continuas contribuciones de la comunidad de usuarios e investigadores. Es posible colaborar con este proyecto mediante varias vías:

- Listas de discusión.
- Reportar errores que se sospecha que se han encontrado.
- Proporcionar tutoriales o manuales.

- Aportar código, tanto si se ha desarrollado un nuevo modelo como modificado uno existente.

La página web principal está localizada en <http://www.nsnam.org/> y proporciona acceso a información básica sobre el sistema NS3. La documentación detallada está disponible en <http://www.nsnam.org/documentation/> donde, principalmente, viene una lista de todas las clases con sus respectivos atributos y métodos. Hay una wiki que complementa a la web principal de NS3, que está en <http://www.nsnam.org/wiki/> donde se encuentran respuestas a las preguntas frecuentes, así como guías de solución de problemas, códigos de terceras personas. El código fuente está disponible en <https://code.nsnam.org/>. Doxygen es la herramienta estándar para generar documentación de tipo C++. El software NS3 dispone también de dicho instrumento en el enlace <https://www.nsnam.org/doxygen/index.html>.

La instalación del simulador NS3 se explica a detalle en el manual de usuario presentado en el Anexo C.

5.2 Abstracciones empleadas en NS3

Para trabajar en NS3 se consideran algunas abstracciones que usa el simulador como:

Nodos: Un nodo en NS3 es una computadora o host a la cual se le pueden añadir ciertas funcionalidades como la pila de protocolos, aplicaciones o interfaces de red. Esta abstracción se emplea mediante la clase Node la cual provee funciones para el manejo de los hosts en la simulación. Otra clase relacionada es NodeContainer, la cual provee la abstracción de un arreglo de nodos.

Aplicación: En NS3, una aplicación es un programa de software que corre sobre los nodos para realizar ciertas tareas a nivel de usuario. Esta abstracción es implementada por la clase `Application`, la cual provee funciones para el manejo de aplicaciones a nivel de usuario.

Canal: Un canal en NS3 permite la conexión entre nodos. Es una representación del medio físico por el cual fluyen los datos entre dos nodos. La clase que realiza esta abstracción es `Channel`, la cual provee funciones para el manejo de la conexión entre los nodos. Una clase específica derivada de `Channel` es `PointToPointChannel`.

Dispositivos de Red: Para NS3, un dispositivo de red cubre el software y el hardware de una tarjeta de red. Cuando un dispositivo de red se asocia a un nodo, el nodo está en la capacidad de comunicarse con otros mediante un canal. A la clase que maneja esta abstracción se la denomina `NetDevice`, la cual maneja las funciones para comunicar los nodos a través de un canal. En NS3 se debe tener una asociación correcta entre un tipo de canal y un tipo de dispositivo de red, pues una clase específica como `PointToPointNetDevice` solo podrá asociarse a un canal de la clase `PointToPointChannel`. La clase `NetDeviceContainer` permite crear un arreglo de dispositivos de red.

TopologyHelper: Esta abstracción en NS3 facilita la asociación entre los distintos nodos, dispositivos de red y canales. Clases específicas son, por ejemplo: `DceManagerHelper`, `InternetStackHelper`.

5.3 MCS en el estándar 802.11n

MCS son las siglas de *Modulation and Coding Scheme*, que podría traducirse como “Sistema de Modulación y Codificación”. En LAN inalámbricas 802.11n es el término utilizado para describir la combinación del esquema de modulación de la portadora de radio. Cada MCS es una combinación de una modulación determinada (por ejemplo, BPSK, QPSK, 64-QAM), la tasa de codificación (Coding Rate) (por ejemplo, 1 / 2, 3 / 4), el intervalo de guarda o Guard Interval (800ns o 400ns) el cual tiene como propósito introducir inmunidad a los retardos, a los ecos y a las reflexiones de propagación, a los cuales los datos digitales son normalmente muy sensibles. Y el número de secuencias espaciales (Spatial Streams). Todos los puntos de acceso 802.11n deben soportar (como mínimo) desde MCS0 hasta MCS15 y los clientes 802.11n desde MCS0 hasta MCS7.

Con 802.11n, los factores que afectan la velocidad de datos incluyen (en cada caso con una velocidad de datos creciente):

- El esquema de modulación: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
- Tasa de codificación o Coding Rate : 1/2, 2/3 , 3/4, 5/6
- Número de secuencias espaciales o Spatial Streams: 1, 2, 3, 4
- El ancho de banda del canal de RF: 20MHz, 40 MHz
- Intervalo de guarda o Guard Interval OFDM: 800ns, 400ns

802.11n es un estándar en el que se utilizan técnicas de modulación especiales y no es específico para frecuencias como 2.4 o 5 GHz. Este se puede utilizar en cualquier banda.

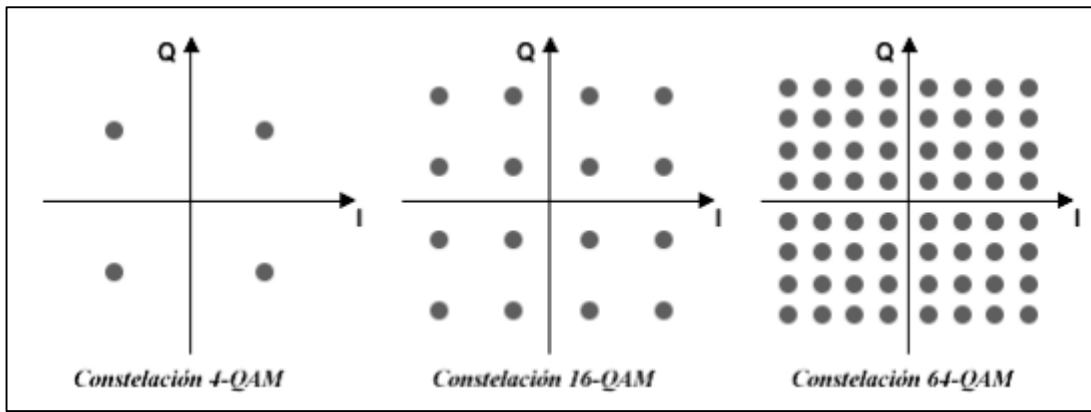


Figura 5.1 Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM).

Modulación de amplitud en cuadratura o QAM es uno de los tipos de modulación más rápidos, el cual envía realmente dos señales que están fuera de fase entre ellas y luego, de alguna manera, “une las piezas de nuevo” obteniendo incluso una mayor capacidad.

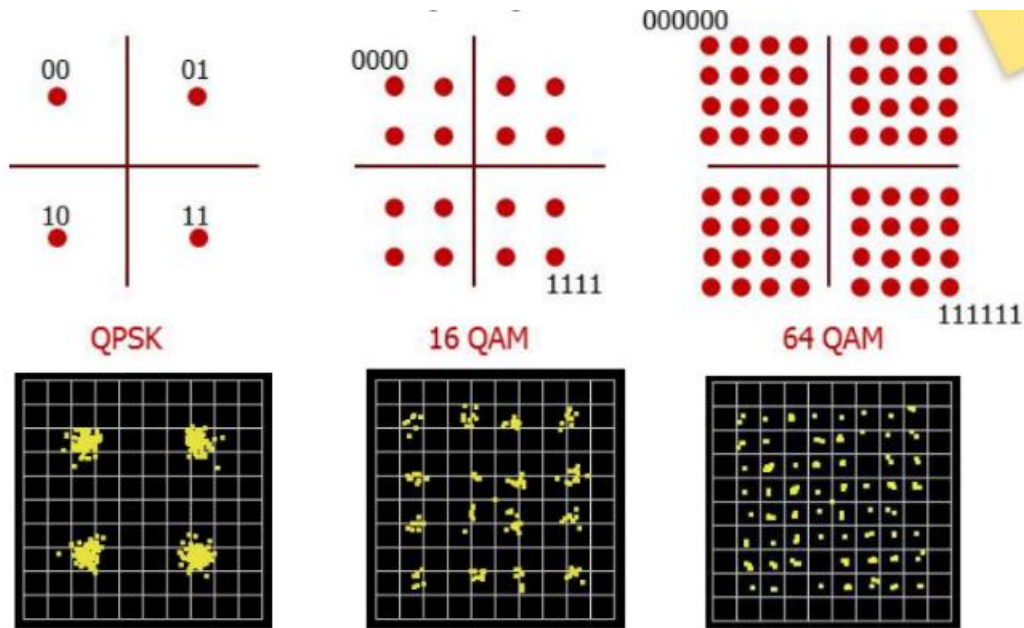


Figura 5.2. Cálculo de transferencia de datos

Los valores del índice de esquema de modulación y codificación (MCS) se pueden usar junto con los valores del ancho del canal para que pueda calcular la tasa de datos disponible de cualquier hardware inalámbrico.

La lista de valores del índice MCS proporciona cada combinación de “número de flujos espaciales + tipos de modulación + tasa de codificación” que puede realizarse.

MCS index	Spatial streams	Modulation type	Coding rate	Data rate (Mbit/s)			
				20 MHz channel		40 MHz channel	
				800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
0	1	BPSK	1/2	6.50	7.20	13.50	15.00
1	1	QPSK	1/2	13.00	14.40	27.00	30.00
2	1	QPSK	3/4	19.50	21.70	40.50	45.00
3	1	16-QAM	1/2	26.00	28.90	54.00	60.00
4	1	16-QAM	3/4	39.00	43.30	81.00	90.00
5	1	64-QAM	2/3	52.00	57.80	108.00	120.00
6	1	64-QAM	3/4	58.50	65.00	121.50	135.00
7	1	64-QAM	5/6	65.00	72.20	135.00	150.00
8	2	BPSK	1/2	13.00	14.40	27.00	30.00
9	2	QPSK	1/2	26.00	28.90	54.00	60.00
10	2	QPSK	3/4	39.00	43.30	81.00	90.00
11	2	16-QAM	1/2	52.00	57.80	108.00	120.00
12	2	16-QAM	3/4	78.00	86.70	162.00	180.00
13	2	64-QAM	2/3	104.00	115.60	216.00	240.00
14	2	64-QAM	3/4	117.00	130.00	243.00	270.00
15	2	64-QAM	5/6	130.00	144.40	270.00	300.00
16	3	BPSK	1/2	19.50	21.70	40.50	45.00
17	3	QPSK	1/2	39.00	43.30	81.00	90.00
18	3	QPSK	3/4	58.50	65.00	121.50	135.00
19	3	16-QAM	1/2	78.00	86.70	162.00	180.00

20	3	16-QAM	3/4	117.00	130.70	243.00	270.00
21	3	64-QAM	2/3	156.00	173.30	324.00	360.00
22	3	64-QAM	3/4	175.50	195.00	364.50	405.00
23	3	64-QAM	5/6	195.00	216.70	405.00	450.00
24	4	BPSK	1/2	26.00	28.80	54.00	60.00
25	4	QPSK	1/2	52.00	57.60	108.00	120.00
26	4	QPSK	3/4	78.00	86.80	162.00	180.00
27	4	16-QAM	1/2	104.00	115.60	216.00	240.00
28	4	16-QAM	3/4	156.00	173.20	324.00	360.00
29	4	64-QAM	2/3	208.00	231.20	432.00	480.00
30	4	64-QAM	3/4	234.00	260.00	486.00	540.00
31	4	64-QAM	5/6	260.00	288.80	540.00	600.00

Tabla 1. Combinación para cada índice MCS del 0 al 31.

5.4 Ejecución de un script en NS3

Después de la instalación del simulador es posible ejecutar un equivalente en NS3 del conocido programa (script) de ejemplo Hello World, llamado “hello-simulator”. Para ello se emplea la herramienta de compilación denominada *waf*, misma que está desarrollada en Python y fue diseñada para permitir a los usuarios configurar e instalar aplicaciones en sistemas operativo Linux. Se ejecuta este comando seguido de la opción *--run*, junto al nombre del script, tal como se muestra en la siguiente línea de comando.

```
~/ns3/ns-3-allinone/ns-3-dev$. /waf --run hello-simulator
```

```

guille@guille-VirtualBox: ~/ns3/ns-3-allinone/ns-3-dev
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
guille@guille-VirtualBox:~$ cd ns3
guille@guille-VirtualBox:~/ns3$ cd ns-3-allinone/ns-3-dev
guille@guille-VirtualBox:~/ns3/ns-3-allinone/ns-3-dev$ ./waf --run hello-simulator
Waf: Entering directory `/home/guille/ns3/ns-3-allinone/ns-3-dev/build'
Waf: Leaving directory `/home/guille/ns3/ns-3-allinone/ns-3-dev/build'
Build commands will be stored in build/compile_commands.json
'build' finished successfully (5.832s)
guille@guille-VirtualBox:~/ns3/ns-3-allinone/ns-3-dev$

```

Figura 5.3. Ejecución del script del ejemplo “hello-simulator”

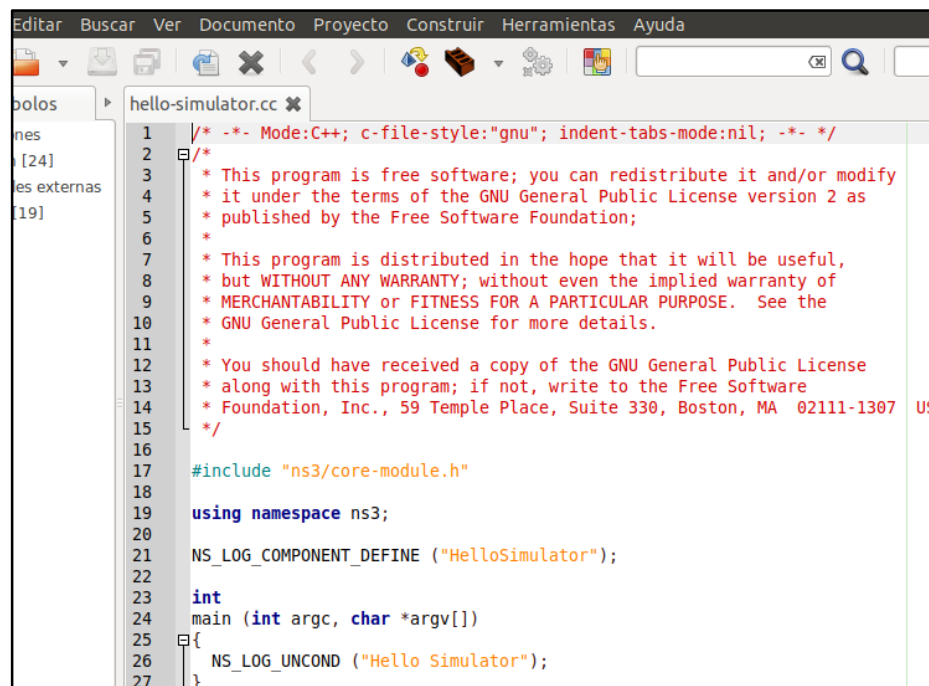
5.5 Herramientas adicionales en NS3

5.5.1 Geany

La edición de los scripts es algo fundamental en la programación de los scripts, para ello existe la herramienta de edición de código denominada Geany. Se elige esta herramienta debido a su sencillez y ligereza, además de ser un software libre y estar disponible en la mayoría de las plataformas. La instalación se efectúa con la siguiente línea de comando: ***sudo apt install geany***.

Una vez instalado Geany, se procede a su utilización con el ejemplo que despliega el mensaje “Hello Simulator”. Este archivo lleva por nombre “hello-simulator.cc” y se encuentra en la ruta: *ns-3-allinone/ns-3-dev/examples/tutorial*.

Después se ejecuta el comando Geany se abre la ventana de la Figura 19.



```
1  /* -*- Mode:C++; c-file-style:"gnu"; indent-tabs-mode:nil; -*- */
2
3  /*
4   * This program is free software; you can redistribute it and/or modify
5   * it under the terms of the GNU General Public License version 2 as
6   * published by the Free Software Foundation;
7   *
8   * This program is distributed in the hope that it will be useful,
9   * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
10  * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
11  * GNU General Public License for more details.
12  *
13  * You should have received a copy of the GNU General Public License
14  * along with this program; if not, write to the Free Software
15  * Foundation, Inc., 59 Temple Place, Suite 330, Boston, MA 02111-1307 US
16  */
17
18 #include "ns3/core-module.h"
19
20 using namespace ns3;
21
22 NS_LOG_COMPONENT_DEFINE ("HelloSimulator");
23
24 int
25 main (int argc, char *argv[])
26 {
27     NS_LOG_UNCOND ("Hello Simulator");
28 }
```

Figura 5.4. Ventana del editor de texto Geany

5.6 Creación del script principal

La simulación gira en torno a un script principal, es decir, un archivo con extensión .cc el cual se encuentra en la siguiente ruta dentro del directorio scratch *~ns3/ns-3-allinone/ns-3-dev/scratch/sim6-80211n.cc*

Dentro de la codificación se realizan ajustes mediante el código a los parámetros del script, a sus características y escenarios en donde se desenvuelven, como lo haríamos en una configuración sobre estructura en un entorno real.

5.6.1 Módulos de inclusión

Como primera parte del código se estructura dentro del mismo los módulos incluidos dentro de la simulación, Se muestran los módulos utilizados.

```
#include "ns3/gnuplot.h"
#include "ns3/command-line.h"
#include "ns3/config.h"
#include "ns3/uinteger.h"
#include "ns3/boolean.h"
#include "ns3/double.h"
#include "ns3/string.h"
#include "ns3/yans-wifi-helper.h"
#include "ns3/ssid.h"
#include "ns3/mobility-helper.h"
#include "ns3/udp-client-server-helper.h"
#include "ns3/packet-sink-helper.h"
#include "ns3/on-off-helper.h"
#include "ns3/ipv4-global-routing-helper.h"
#include "ns3/packet-sink.h"
#include "ns3/yans-wifi-channel.h"
#include "ns3/netanim-module.h"
```

5.6.2 Incorporación de nombres

Se incluyen los nombres de espacios utilizados dentro del código, para el manejo de variables e integrar sus funciones que contiene la librería.

```
using namespace ns3;
```

5.7 Pruebas

Para realizar la simulación de una red inalámbrica se debe definir en un *script* de entrada todas las variables y características que conforman la red, como son el número de nodos, el protocolo de transporte, el tiempo de simulación, la frecuencia utilizada, entre otros, a continuación se presentan los escenarios en los cuales se observa el desempeño de los 31 MCS con los que trabaja el estándar 802.11n.

Para la simulación de los escenarios se utilizó la topología multi-anillo mostrada en la figura 5.5; de esta forma se definen los nodos vecinos y se inicia el envío de información por varios canales entre los nodos vecinos para el control de la información y el manejo de los paquetes de control de la red, de programación y el control de los mismos, para mantener la conectividad. A continuación se muestran los resultados de las simulaciones.

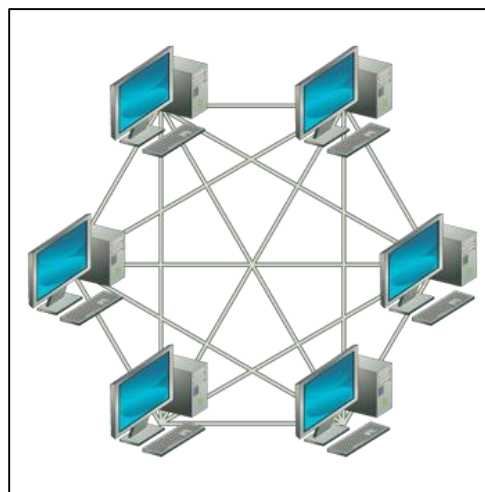


Figura 5.5. Topología Multi-anillo

Simulación escenario 1:

Esta simulación consiste en enviar tráfico desde un nodo a otro separándolos a una distancia de 100 m recopilando datos de los Mbit/s transmitidos por intervalos cada 10 m, con el objetivo de apreciar el funcionamiento de los diferentes MCS que maneja el estándar 802.11n, utilizando el protocolo de transporte TCP a una frecuencia de 5.0 GHz, intervalo de Guarda de 800 ns y un canal de RF = 20 MHz; donde se validará que esquema mantiene mayor conectividad y hace más eficiente el envío de paquetes.

Parámetros de simulación:

- Protocolo de transporte: TCP
- Tiempo de simulación: 5 seg.
- Frecuencia: 5.0 GHz
- Distancia: 100 m
- Intervalo de Guarda: 800 ns.
- Ancho de canal: 40 MHz
- Número de Nodos: 2

Una vez configurados los parámetros los resultados son los siguientes:

```
gulle@gulle-VirtualBox:~/NS3/ns-3-allinone/ns-3-dev$ ./waf --run scratch/sim6-80211n
waf: Entering directory `/home/gulle/NS3/ns-3-allinone/ns-3-dev/build'
[2573/2624] Compiling scratch/sim6-80211n.cc
[2584/2624] Linking build/scratch/sim6-80211n
waf: Leaving directory `/home/gulle/NS3/ns-3-allinone/ns-3-dev/build'
Build commands will be stored in build/compile_commands.json
'build' finished successfully (1m15.317s)
HTMcs0
Distance = 0m:
10.6248 Mbit/s
Distance = 10m:
10.7639 Mbit/s
Distance = 20m:
10.7662 Mbit/s
Distance = 30m:
10.6179 Mbit/s
Distance = 40m:
10.7361 Mbit/s
Distance = 50m:
10.7662 Mbit/s
Distance = 60m:
10.6735 Mbit/s
```

Figura 5.6. Simulación Escenario 1

Al término de la simulación del escenario 1 se obtienen los siguientes resultados de los 31 MCS, los valores de transmisión de datos más altos obtenidos se muestran en la tabla 2; al estudiar los esquemas se observa que en común todos ellos trabajan con una modulación de tipo 64-QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura) la cual es uno de los tipos de modulación más rápidos ya que es capaz de transmitir 6 bits por símbolo. Los valores de transmisión de datos más bajos se encuentran en la tabla 3; estos esquemas trabajan con la modulación BPSK (Modulación por Desplazamiento de Fase Binario) y QPSK (Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura).

metros	HtMcs31	HtMcs30	HtMcs29	HtMcs23	HtMcs22	HtMcs28	HtMcs21
0	334.37	309.462	285.645	269.157	247.761	226.759	225.663
10	329.959	310.685	283.166	268.573	247.782	227.496	225.99
20	333.432	309.161	283.138	272.578	246.287	225.64	226.817
30	333.2	312.247	285.49	267.544	251.681	226.474	225.483
40	330.665	308.887	284.848	0	128.3	228.45	221.604
50	0	1.25339	246.806	0	0	214.522	0
60	0	0	0	0	0	0.0023168	0
70	0	0	0	0	0	0.0023168	0
80	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 2. Valores más altos de los 31 MCS del escenario 1

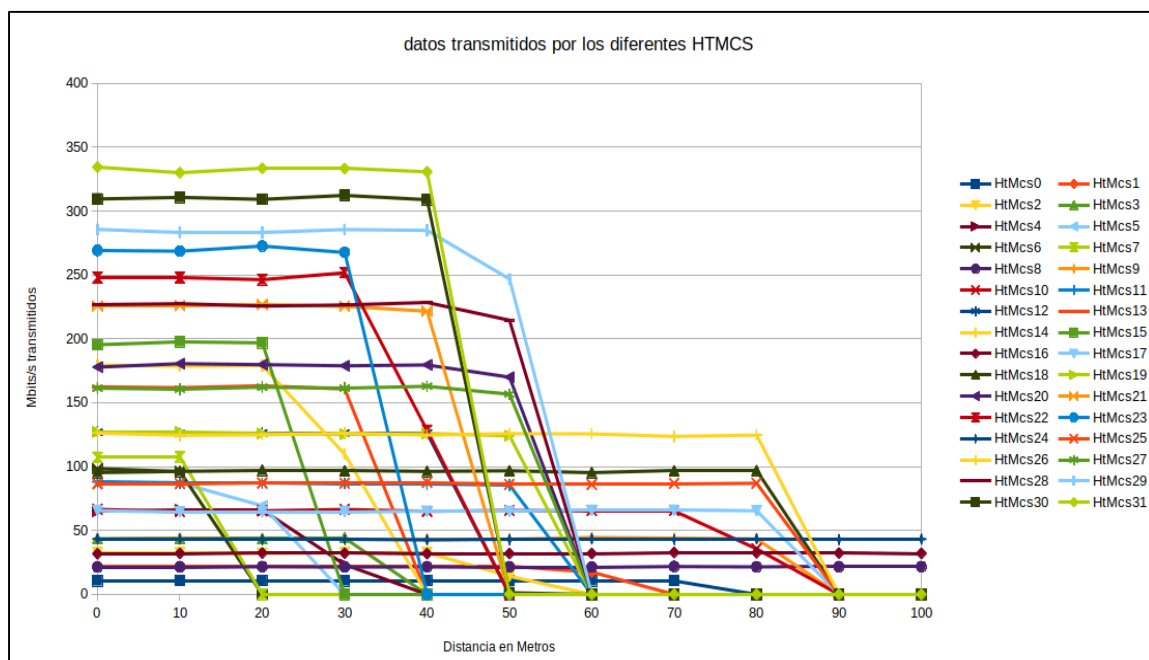
metros	HtMcs0	HtMcs8	HtMcs1	HtMcs16	HtMcs2	HtMcs24	HtMcs9
0	10.6248	21.3725	21.669	31.6915	32.8013	43.3033	43.1481
10	10.7639	21.4628	21.7594	32.0228	32.4375	43.206	43.6647
20	10.7662	21.6389	21.6737	32.317	32.0367	42.833	43.4168
30	10.6179	21.3725	21.866	32.1827	32.5117	42.9396	43.5165
40	10.7361	21.5184	21.6435	31.8398	32.7387	42.606	43.3774
50	10.7662	21.5022	21.6366	31.9162	14.1649	42.7357	43.5002
60	10.6735	21.296	17.4339	31.8931	0	43.3589	44.5266
70	10.699	21.7687	0	32.6924	0	42.7311	44.0099
80	0	21.493	0	32.4885	0	43.4052	43.3867
90	0	21.6157	0	32.2406	0	42.8956	0.0023168
100	0	21.6018	0	32.0159	0	43.206	0

Tabla 3. Valores más bajos de los 31 MCS del escenario 1

En la gráfica 1 se observa el resultado que se obtiene al realizar la simulación del archivo *sim6-802.11n.cc* en el simulador NS3, éste nos muestra los datos transmitidos por cada uno de los 31 MCS, recolectando el valor de los Mbit/s transmitidos a distancias de 10 m, empezando desde 0 hasta llegar a una distancia máxima de 100 m.

Se puede apreciar que a pesar de que el MCS 31 obtuvo la mejor tasa de transferencia en comparación con los otros esquemas alcanzando un total de 334.37 Mbit/s transmitidos, decae su envío de paquetes a un 100 % en cuanto llega a una distancia de 50 m, de igual manera los esquemas que alcanzan una transmisión mayor decaen a una distancia máxima de 60 m.

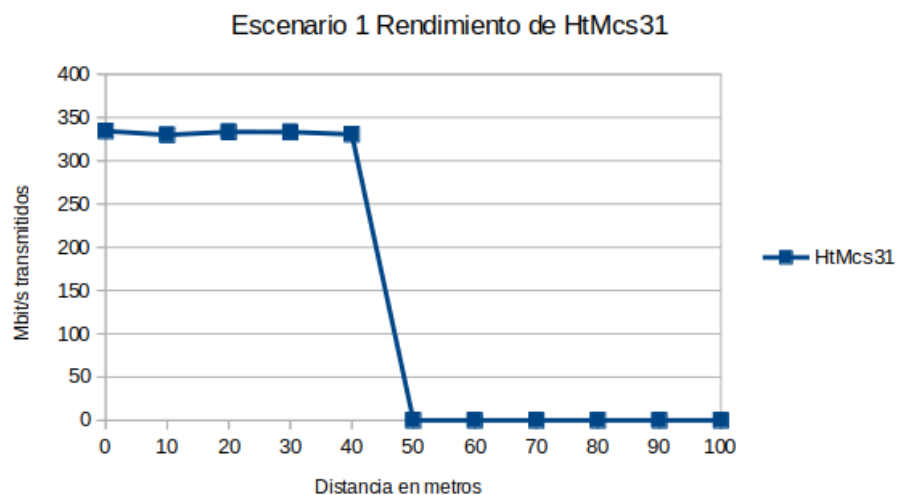
Los esquemas 0,8,1,16,24,3 y 17 obtuvieron menor tasa de transferencia con un valor que va entre 10.76 y 21.76 Mbit/s transmitidos en comparación con los que obtuvieron mayor transmisión de datos, no tienen tantas variaciones y son más estables siendo capaz de transmitir paquetes a la máxima distancia de 100 m.



Gráfica 1. Datos transmitidos por los 31 MCS del escenario 1

La gráfica 2 muestra más a detalle el MCS 31 del escenario 1, el cual presenta una mejor transmisión de datos a una distancia de 0 a 10 m, se mantiene estable hasta llegar a una distancia de 40 metros, en donde empieza a disminuir su tasa de transferencia hasta llegar a una distancia de 50 metros en la cual se pierden totalmente los datos transmitidos, esto refleja un 54% de SINR (Señal a interferencia y relación de ruido). Esto se debe a que este escenario trabaja con una frecuencia de 5.0 GHz, la cual pierde mucha señal y velocidad con la distancia y sobre todo al atravesar obstáculos.

```
HtMcs31
Distance = 0m:
334.37 Mbit/s
Distance = 10m:
329.959 Mbit/s
Distance = 20m:
333.432 Mbit/s
Distance = 30m:
333.2 Mbit/s
Distance = 40m:
330.665 Mbit/s
Distance = 50m:
0 Mbit/s
Distance = 60m:
0 Mbit/s
Distance = 70m:
0 Mbit/s
Distance = 80m:
0 Mbit/s
Distance = 90m:
0 Mbit/s
Distance = 100m:
0 Mbit/s
```



Gráfica 2. Rendimiento de MCS 31 del escenario 1

Simulación escenario 2:

Esta simulación consiste en enviar tráfico desde un nodo a otro separándolos a una distancia de 100 m recopilando datos de los Mbit/s transmitidos por intervalos cada 10 m con el objetivo de apreciar el funcionamiento de los diferentes esquemas de modulación y codificación que maneja el estándar 802.11n, utilizando el protocolo de transporte TCP a una frecuencia de 2.4 GHz, intervalo de Guarda de 800 ns y

un canal de RF = 20 MHz; donde se validará que esquema de modulación mantiene mayor conectividad y hace más eficiente el envío de paquetes.

Parámetros de simulación:

- Protocolo de transporte: TCP
- Tiempo de simulación: 5 seg.
- Frecuencia: 2.4 GHz
- Distancia: 100 m
- Intervalo de Guarda: 800 ns.
- Ancho de canal: 20 MHz
- Número de Nodos: 2

Una vez configurados los parámetros los resultados son los siguientes:

Al término de la simulación del escenario 2 se obtienen los siguientes resultados de los 31 MCS, los valores de transmisión de datos más altos obtenidos se muestran en la tabla 4; al estudiar los esquemas se observa que en común todos ellos trabajan con una modulación de tipo 64-QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura), la cual es uno de los tipos de modulación más rápidos ya que es capaz de transmitir 6 bits por símbolo. Los valores de transmisión de datos más bajos se encuentran en la tabla 5; en la cual se puede apreciar en la tabla 1 que estos esquemas trabajan con la modulación BPSK (Modulación por Desplazamiento de Fase Binario) y QPSK (Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura).

metros	HtMcs31	HtMcs30	HtMcs29	HtMcs23	HtMcs22	HtMcs21	HtMcs28
0	167.475	168.726	145.168	130.98	133.357	118.722	120.203
10	166.745	163.388	152.934	131.768	120.342	108.964	107.93
20	185.323	154.375	155.226	147.008	120.242	109.782	107.995
30	166.988	170.245	138.607	130.593	116.468	109.024	108.014
40	167.345	171.503	152.728	131.36	133.471	107.453	109.416
50	166.986	153.412	154.1	132.231	119.667	120.138	119.667
60	187.413	154.327	154.271	130.973	133.473	119.709	108.093
70	168.167	152.913	138.728	143.352	132.352	108.864	118.317
80	182.425	170.106	152.608	0.0092672	116.188	106.686	117.995
90	0.0046336	0.0023168	0.0023168	0	0	0.0046336	0.0046336
100	0	0	0.0023168	0	0	0	0.0023168

Tabla 4. Valores más altos de los 31 MCS del escenario 2

metros	HtMcs0	HtMcs8	HtMcs1	HtMcs16	HtMcs24	HtMcs3	HtMcs17
0	5.01124	10.1175	10.1847	15.3326	20.3346	20.7678	30.9154
10	5.09464	10.1708	10.3654	15.2538	20.3322	20.8975	31.2536
20	5.02514	10.2403	10.2866	15.6639	20.5338	20.9277	30.5424
30	4.94173	10.1847	10.2681	15.2353	20.3878	20.4434	31.2397
40	4.99965	10.1569	10.1708	15.087	20.6682	20.9022	31.1239
50	5.07843	10.1059	10.3352	15.3418	20.3299	20.923	30.9084
60	5.02977	10.187	10.3862	15.2909	20.3809	20.733	30.7625
70	4.98112	10.2866	10.319	15.3303	20.5454	20.8327	31.3602
80	4.98112	10.0711	10.275	15.6824	20.506	0.0834048	30.9571
90	5.05989	10.2078	10.2472	15.4368	19.9847	0	30.9826
100	5.07611	10.2055	10.2148	15.036	20.6774	0	30.8505

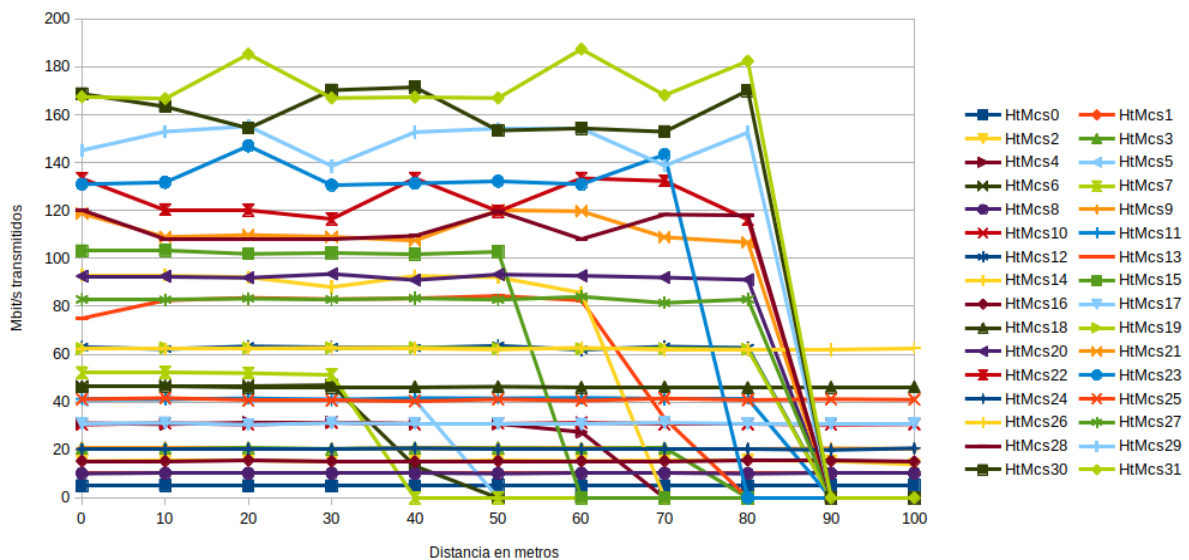
Tabla 5. Valores más bajos de los 31 MCS del escenario 2

En la gráfica 3 se observa el resultado que se obtiene al realizar la simulación del archivo *sim7-802.11n.cc* en el simulador NS3, éste nos muestra los datos transmitidos por cada uno de los 31 MCS, recolectando el valor de los Mbit/s transmitidos en intervalos de 10 m, empezando desde 0 hasta llegar a una distancia máxima de 100 m.

Se puede apreciar que el MCS 31 obtuvo la mejor tasa de transferencia en comparación con los otros esquemas alcanzando un máximo de 187.413 Mbit/s transmitidos a una distancia de 60 metros, decae el envío de paquetes en cuanto

llega a una distancia entre los 80 y 90 metros; de igual manera los esquemas que alcanzan una transmisión mayor decaen a una distancia máxima de 90 m.

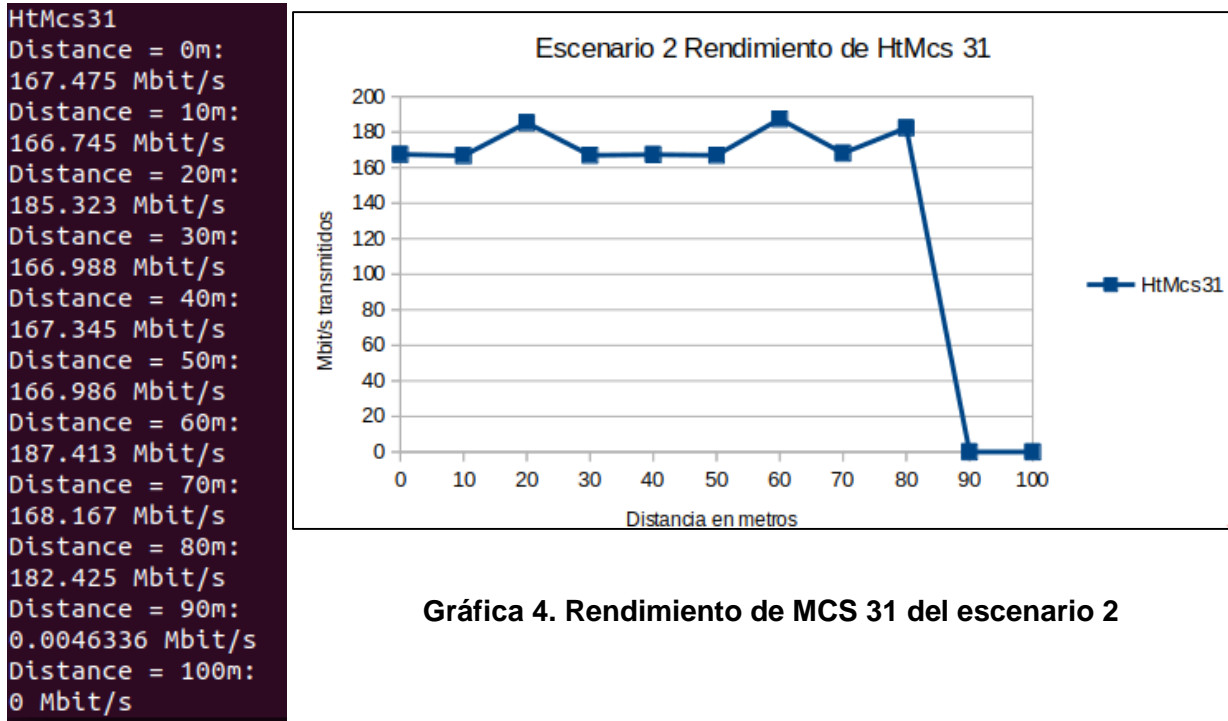
Los esquemas que obtuvieron menor tasa de transferencia con un valor que va entre 5.09 y 10.28 Mbit/s transmitidos, en comparación con los que obtuvieron mayor transferencia de datos, no tienen tantas variaciones y son más estables siendo capaz de transmitir datos a la máxima distancia de 100 m.



Gráfica 3. Datos transmitidos por los 31 MCS del escenario 2

La gráfica 4 muestra más detalladamente el MCS 31 del escenario 2, el cual presenta una mejor transmisión de datos a una distancia de 60 m se mantiene estable hasta llegar a una distancia de 90 metros, en donde empieza a disminuir su tasa de transferencia hasta llegar a una distancia de 100 metros en la cual se pierden totalmente los datos transmitidos, esto refleja un 0.9% de SINR. Esto se debe a que este escenario trabaja con una frecuencia de 2.4 GHz, prácticamente todos los dispositivos que se puedan conectar a Internet van a tener asegurada esta frecuencia, por lo que la señal puede recibir interferencias por parte de vecinos; por

lo que esta frecuencia pueden producir problemas, haciendo que se pierda la conexión o que la transmisión de datos sea demasiado baja.



Gráfica 4. Rendimiento de MCS 31 del escenario 2

Simulación escenario 3:

Esta simulación consiste en enviar tráfico desde un nodo a otro separándolos a una distancia de 100 m recopilando datos de los Mbit/s transmitidos por intervalos cada 10 m con el objetivo de apreciar el funcionamiento de los diferentes esquemas de modulación y codificación que maneja el estándar 802.11n, utilizando el protocolo de transporte UDP a una frecuencia de 5.0 GHz, intervalo de Guarda de 400 ns y un canal de RF = 40 MHz; donde se validará que esquema de modulación mantiene mayor conectividad y hace más eficiente el envío de paquetes.

Parámetros de simulación:

- Protocolo de transporte: UDP
- Tiempo de simulación: 5 seg.

- Frecuencia: 5.0 GHz
- Distancia: 100 m
- Intervalo de Guarda: 400 ns.
- Ancho de canal: 40 MHz
- Número de Nodos: 2

Una vez configurados los parámetros los resultados son los siguientes:

Al término de la simulación del escenario 3 se obtienen los siguientes resultados de los 31 MCS, los valores de transmisión de datos más altos obtenidos se muestran en la tabla 6; al estudiar los esquemas se observa que en común todos ellos trabajan con una modulación de tipo 64-QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura), la cual es uno de los tipos de modulación más rápidos ya que es capaz de transmitir 6 bits por símbolo. Los valores de transmisión de datos más bajos se encuentran en la tabla 7; estos esquemas trabajan con la modulación BPSK (Modulación por Desplazamiento de Fase Binario) y QPSK (Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura).

metros	HtMcs31	HtMcs30	HtMcs29	HtMcs23	HtMcs22	HtMcs28	HtMcs21
0	456.52	420.884	381.095	360.786	330.493	298.284	297.542
10	457.083	420.549	380.998	360.324	330.126	298.19	297.799
20	457.316	420.601	380.728	361.12	330.425	298.062	297.888
30	456.709	420.5	380.803	360.699	330.451	298.124	298.161
40	451.077	420.632	380.815	0	163.816	297.744	291.868
50	0	63.8448	334.933	0	0	283.208	0
60	0	0	0	0	0	0.0989184	0
70	0	0	0	0	0	0.0635904	0
80	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 6. Valores más altos de los 31 MCS del escenario 3

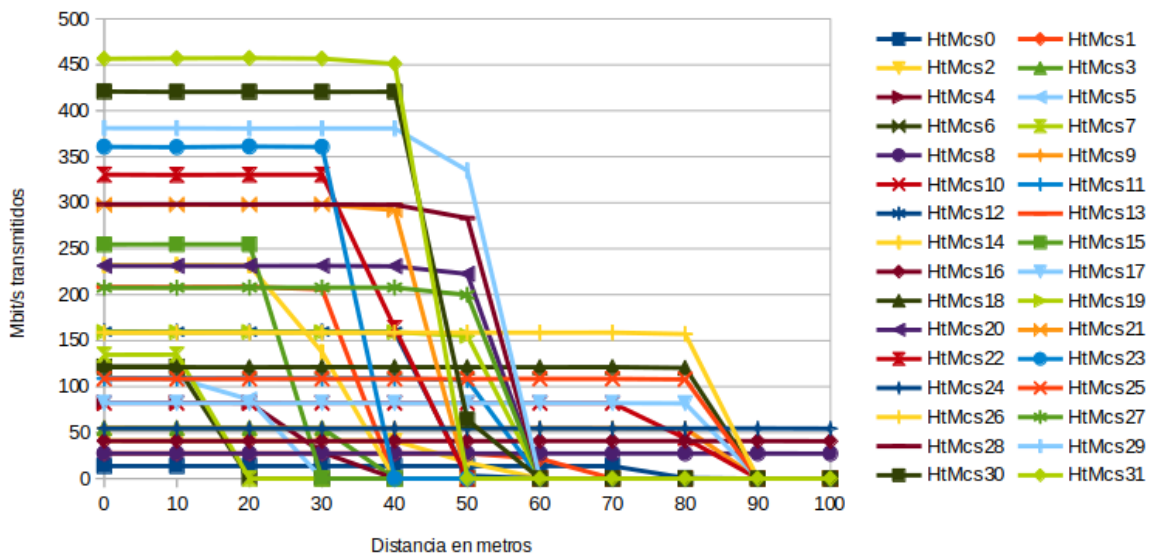
metros	HtMcs0	HtMcs8	HtMcs1	HtMcs16	HtMcs2	HtMcs24	HtMcs3
0	13.5966	27.3085	27.4169	40.8557	41.1124	54.4593	55.0222
10	13.5942	27.252	27.4169	40.7732	41.0417	54.5441	55.0057
20	13.5966	27.2685	27.431	40.7779	41.0747	54.5205	55.001
30	13.5942	27.3015	27.4169	40.7874	41.0865	54.4193	54.9186
40	13.6036	27.2991	27.431	40.7897	41.0464	54.5064	0
50	13.606	27.2544	27.398	40.7874	17.525	54.5111	0
60	13.6083	27.3062	21.5595	40.8721	0	54.5276	0
70	13.533	27.2567	0	40.8557	0	54.4876	0
80	0.619418	27.2614	0	40.8486	0	54.4452	0
90	0	27.2803	0	40.8015	0	54.5229	0
100	0	27.1719	0	40.6296	0	54.3321	0

Tabla 7. Valores más bajos de los 31 MCS del escenario 3

En la gráfica 5 se observa el resultado que se obtiene al realizar la simulación del archivo *sim8-802.11n.cc* en el simulador NS3, éste nos muestra los datos transmitidos por cada uno de los 31 MCS, recolectando el valor de los Mbit/s transmitidos en intervalos de 10 m empezando desde 0 hasta llegar a una distancia máxima de 100 m.

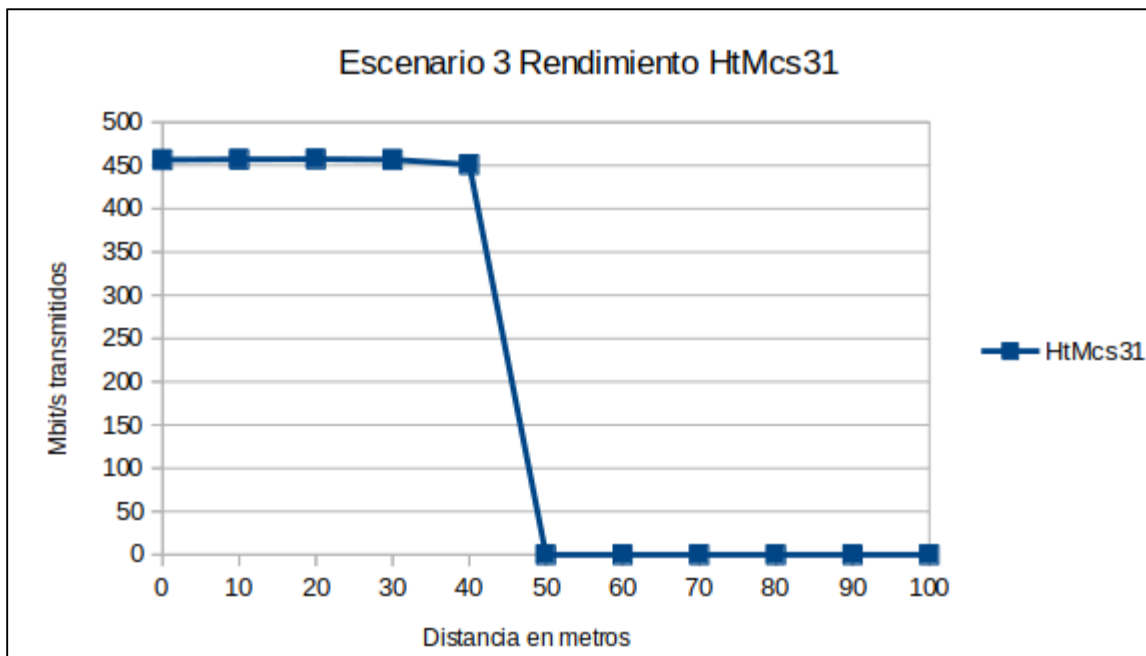
Se puede apreciar que a pesar de que el MCS 31 obtuvo la mejor tasa de transferencia en comparación con los otros esquemas alcanzando un total de 457.316 Mbit/s transmitidos, decae su envío de paquetes a un 100 % en cuanto llega a una distancia de 50 m, de igual manera los esquemas que alcanzan una transmisión mayor decaen a una distancia máxima de 60 m.

Los esquemas que obtuvieron menor tasa de transferencia con un valor que va entre 13.60 y 27.30 Mbit/s transmitidos en comparación con los que obtuvieron mayor transferencia de datos, no tienen tantas variaciones y son más estables siendo capaz de transmitir datos a la máxima distancia de 100 m.



Gráfica 5. Datos transmitidos por los 31 MCS del escenario 3

La grafica 6 muestra más detalladamente el MCS 31 del escenario 3, el cual presenta una mejor transmisión de datos a una distancia de 20 m con 457.316 Mbit/s transmitidos; se mantiene estable hasta llegar a una distancia de 40 metros, en donde empieza a disminuir su tasa de transferencia hasta llegar a una distancia de 50 metros en la cual se pierden totalmente los datos transmitidos, esto refleja un 54% de SINR. Esto se debe a que además de trabajar con una frecuencia de 5.0 GHz, la cual pierde mucha señal y velocidad con la distancia, trabaja con el protocolo de transporte de red UDP el cual no introduce retardos para establecer una conexión, no mantiene estado de conexión alguno y no realiza seguimiento de estos parámetros, por lo cual es un sistema rápido para el transporte de datos.



Gráfica 6. Rendimiento de MCS 31 del escenario 3

Simulación caso 4:

Esta simulación consiste en enviar tráfico desde un nodo a otro separándolos a una distancia de 100 m recopilando datos de los Mbit/s transmitidos por intervalos cada 10 m con el objetivo de apreciar el funcionamiento de los diferentes esquemas de modulación y codificación que maneja el estándar 802.11n, utilizando el protocolo de transporte UDP a una frecuencia de 2.4 GHz, intervalo de Guarda de 400 ns y un canal de RF = 20 MHz; donde se validará que esquema de modulación mantiene mayor conectividad y hace más eficiente el envío de paquetes.

Parámetros de simulación:

- Protocolo de transporte: UDP
- Tiempo de simulación: 5 seg.
- Frecuencia: 2.4 GHz

- Distancia: 100 m
- Intervalo de Guarda: 400 ns.
- Ancho de canal: 20 MHz
- Número de Nodos: 2

Una vez configurados los parámetros los resultados son los siguientes:

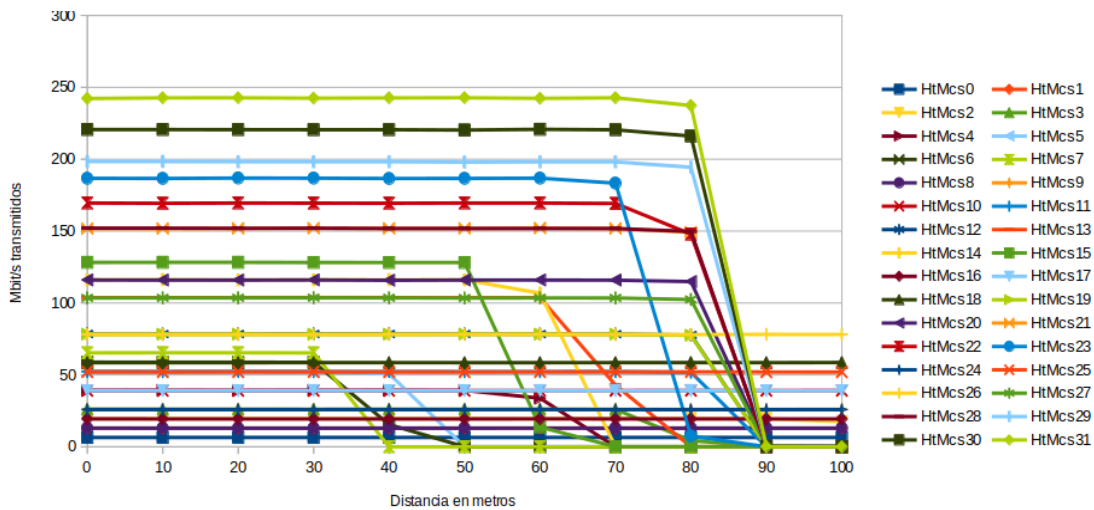
Al término de la simulación del escenario 4 se obtienen los siguientes resultados de los 31 MCS, los valores de transmisión de datos más altos obtenidos se muestran en la tabla 8; al estudiar los esquemas se observa que en común todos ellos trabajan con una modulación de tipo 64-QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura), la cual es uno de los tipos de modulación más rápidos ya que es capaz de transmitir 6 bits por símbolo. Los valores de transmisión de datos más bajos se encuentran en la tabla 9; estos esquemas trabajan con la modulación BPSK (Modulación por Desplazamiento de Fase Binario) y QPSK (Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura).

metros	HtMcs31	HtMcs30	HtMcs29	HtMcs23	HtMcs22	HtMcs28	HtMcs21
0	242.251	220.616	198.393	186.725	169.539	152.031	151.729
10	242.68	220.614	198.383	186.659	169.367	152.04	151.783
20	242.736	220.56	198.249	186.918	169.53	151.948	151.868
30	242.477	220.517	198.232	186.85	169.485	152.019	152.047
40	242.647	220.522	198.263	186.605	169.421	151.797	151.894
50	242.746	220.291	197.985	186.683	169.537	151.811	151.906
60	242.381	220.795	198.178	186.845	169.548	151.833	152.096
70	242.727	220.466	198.162	183.348	169.24	151.823	151.814
80	237.355	216.097	194.424	7.49189	147.85	149.722	149.233
90	0.0023552	0.197837	0.0989184	0	0	0.0989184	0.0023552
100	0	0.0023552	0.0989184	0	0	0.0989184	0

Tabla 8. Valores más altos de los 31 MCS del escenario 4

metros	HtMcs0	HtMcs8	HtMcs1	HtMcs16	HtMcs24	HtMcs3	HtMcs17
0	6.4768	12.9654	13.0148	19.4163	25.8507	26.1239	39.0445
10	6.4768	12.9348	13.0172	19.3762	25.886	26.1239	39.0563
20	6.47916	12.9442	13.0219	19.3786	25.8789	26.1145	39.0351
30	6.4768	12.9583	13.0148	19.3857	25.8295	26.0768	39.094
40	6.48151	12.956	13.0219	19.3833	25.8695	26.0886	39.0374
50	6.48151	12.9348	13.0078	19.3809	25.8719	26.1192	39.028
60	6.48387	12.9607	13.0125	19.4233	25.8884	26.0862	39.0822
70	6.48151	12.9371	13.029	19.4139	25.8601	25.9802	39.0186
80	6.47916	12.9418	13.0125	19.4116	25.8413	4.30766	39.094
90	6.4768	12.9512	13.0148	19.3904	25.8789	0	39.0351
100	6.47209	12.9489	13.0219	19.388	25.8625	0	39.028

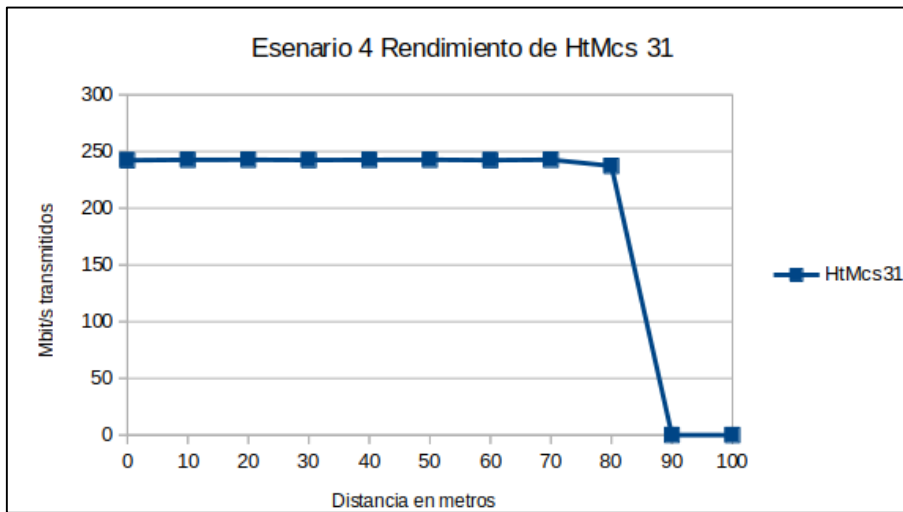
Tabla 9. Valores más bajos de los 31 MCS del escenario 4



Gráfica 7. Datos transmitidos por los 31 MCS del escenario 4

La grafica 4 muestra más detalladamente el MCS 31 del escenario 2, el cual presenta una mejor transmisión de datos a una distancia de 50 metros con 242.746 Mbit/s transmitidos; se mantiene estable hasta llegar a una distancia de 90 metros, en donde empieza a disminuir su tasa de transferencia hasta llegar a una distancia de 100 metros en la cual se pierden totalmente los datos transmitidos, esto refleja un 0.9% de SINR (Señal a interferencia y relación de ruido). Esto se debe a que este escenario trabaja con una frecuencia de 2.4 GHz, prácticamente todos los dispositivos que se puedan conectar a Internet van a tener asegurada esta frecuencia, por lo que la señal puede recibir interferencias por parte de vecinos; por

lo que esta frecuencia pueden producir problemas haciendo que se pierda la conexión o que la transmisión de datos sea demasiado baja.



```
HtMcs31
Distance = 0m:
242.251 Mbit/s
Distance = 10m:
242.68 Mbit/s
Distance = 20m:
242.736 Mbit/s
Distance = 30m:
242.477 Mbit/s
Distance = 40m:
242.647 Mbit/s
Distance = 50m:
242.746 Mbit/s
Distance = 60m:
242.381 Mbit/s
Distance = 70m:
242.727 Mbit/s
Distance = 80m:
237.355 Mbit/s
Distance = 90m:
0.0023552 Mbit/s
Distance = 100m:
0 Mbit/s
```

Gráfica 8. Rendimiento de MCS 31 del escenario 4

5.8 Comparación de escenarios

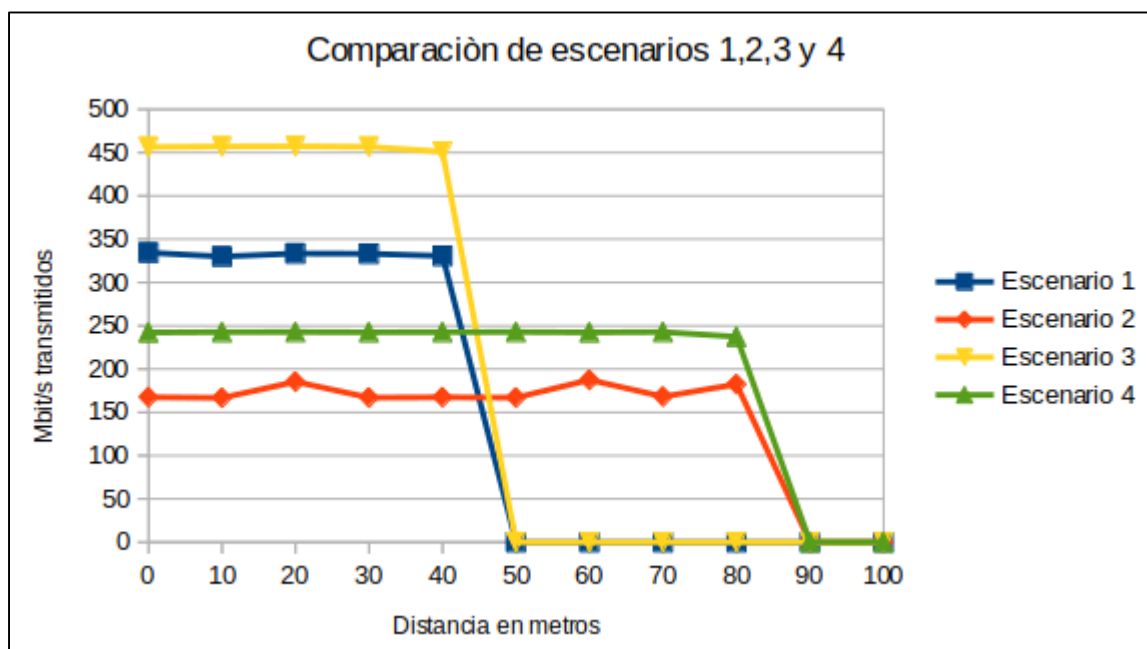
En la tabla 10 se puede apreciar la comparación de la mejor tasa de transferencia de cada MCS de los cuatro escenarios desarrollados.

PARÁMETROS UTILIZADOS EN CADA ESCENARIO				
Protocolo de transporte	TCP	TCP	UDP	UDP
Tiempo de simulación	5 seg.	5 seg.	5 seg.	5 seg.
Frecuencia	5 GHz	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz
Intervalo de Guarda	800 ns.	800 ns.	400 ns.	400 ns.
Ancho de canal	40 MHz	20 MHz	40 MHz	20 MHz
Mbit/s Transmitidos del MCS mas alto de cada escenario				
metros	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
0	334.37	167.475	456.52	242.251
10	329.959	166.745	457.083	242.68
20	333.432	185.323	457.316	242.736
30	333.2	166.988	456.709	242.477
40	330.665	167.345	451.077	242.647
50	0	166.986	0	242.746
60	0	187.413	0	242.381
70	0	168.167	0	242.727
80	0	182.425	0	237.355
90	0	0.0046336	0	0.0023552
100	0	0	0	0

Tabla 10. Mbit/s Transmitidos de MCS 31 de escenarios 1, 2, 3 y 4

El escenario 3 muestra un mayor rendimiento a diferencia de los otros escenarios, esto se debe a que trabaja con el protocolo de transporte UDP el cual tiene requisitos de carga pequeños y puede admitir la comunicación punto a punto y de un punto a varios puntos, por lo que, es un sistema rápido para el transporte de datos; un canal de radio frecuencia = 40 MHz, con el cual aumentamos el caudal de velocidad; un Intervalo de Guarda= 400ns, este mejora la tasa de transferencia de datos; una frecuencia de 5.0 GHz, la cual es capaz de transmitir datos en varios canales simultáneos, por lo que las interferencias son mucho menores.

La discusión de los resultados se hará más ampliamente en el apartado de conclusiones.



Gráfica 9. Comparación de Escenarios 1, 2, 3 y 4

Conclusiones

La evolución tecnológica y sobre todo en el campo de las redes de comunicaciones ha permitido que más y más dispositivos se conecten a la red ya sea por medios guiados o por medios inalámbricos, permitiendo el despliegue de redes hacia sitios en donde hace algunos años era imposible que se pudiera ofrecer servicios de red. La herramienta de simulación NS-3, es apta para la investigación de redes inalámbricas, con el uso de artículos relacionados, se puede verificar que es ampliamente flexible en cuanto a su arquitectura, y a su vez siendo Open Source, permite la contribución de terceros en nuevos modelos, con lo que se experimenta en un ambiente de continuo crecimiento, que permite la investigación de modelos de movilidad inalámbricos y protocolos de ruteo.

Con los conocimientos adquiridos y mediante el uso del simulador NS-3 se logró diseñar y simular redes móviles en cuatro distintos escenarios, concluyendo que es de vital importancia realizar una definición apropiada de los parámetros que intervienen en dicha simulación, ya que de ello depende la obtención de resultados relevantes que permitan tomar una determinada decisión.

Los escenarios 3 y 1 presentan un mayor rendimiento con 457.316 y 334.37 Mbit/s transmitidos exitosamente, a comparación con los escenarios 4 y 2 con una transmisión de datos de 242.746 y 187.413 Mbit/s respectivamente, esto se debe a que los escenarios con mayor rendimiento se simularon con una frecuencia de 5GHz, la cual tiene mucho más ancho de banda y generalmente tiene menor interferencia, por no estar tan saturada; ya que no admite una gran cantidad de dispositivos, la principal desventaja de esta frecuencia es que adquiere un mejor

funcionamiento a cortas distancias . A diferencia de los de escenarios 3 y 1, los escenarios 4 y 2 se simularon con una frecuencia de 2.4 GHZ, los cuales muestran menor rendimiento en el envío de paquetes, esto se debe a que la frecuencia está más saturada ya que es compatible con una gran cantidad de dispositivos, la ventaja de esta frecuencia es que trabaja a mayores distancias.

Los escenarios 1 y 2 fueron simulados con el protocolo de transporte TCP (Protocolo de Control de Transporte) el cual tiene requisitos de carga mayores y solo admite la conexión punto a punto, por lo que es un sistema relativamente lento. Los escenarios 3 y 4 fueron simulados con el protocolo de transporte UDP (Protocolo de Datagrama de Usuario), el cual tiene requisitos de carga pequeños y puede admitir la comunicación sin conexión, por lo que es un sistema rápido para el transporte de datos. Dependiendo de lo que se esté buscando, se debe utilizar una red u otra. Si lo que se requiere es buena cobertura y compatibilidad con cualquier dispositivo, la red que se debe elegir es la de 2.4Ghz, sin embargo, si se desean altas velocidades (por ejemplo, para hacer streaming) y una conexión sin interferencias, se debe conectar a la red de 5 Ghz.

Se analizaron los resultados obtenidos con los cuales se creó un banco de pruebas, cumpliendo con los objetivos específicos planteados.

A través de las simulaciones realizadas con la ayuda del simulador NS3, se ha comprobado el enorme potencial que supone el uso de este estándar sobre redes WIFI y la gran diferencia que supone su uso en parámetros fundamentales como son el protocolo de transporte, la frecuencia y el ancho de canal en el que se transmiten los datos dentro de las comunicaciones con esto se concluye que se cumple la hipótesis planteada.

ANEXO A. Aseguramiento Técnico Material

El aseguramiento técnico material de un proyecto es la información relacionada con el equipo técnico, recursos materiales y financieros disponibles o requeridos por la investigación. Descripción del equipo técnico, presupuesto o costo de la investigación. Por lo que para comprobar la viabilidad del sistema se deben de contemplar los costos de desarrollo que contempla la adquisición de dichas herramientas, así como el costo humano por las horas invertidas en la codificación del sistema.

En la siguiente tabla se especifican las características y los costos de las herramientas necesarias para el desarrollo del proyecto.

Descripción	Características	Consto MXN
Computadora	HP Probook 4430s, Sistema Operativo Windows 7, Disco duro: 1 TB, Memoria: 8Gb, Procesador: Intel i3	\$11,870.00
Impresora	HP Deskjet 3050 J610a, Tecnología de inyección térmica de tinta, Calidad de impresión en color hasta 4800 x 1200 ppp	\$3,033.00
Virtual box	Software libre, licenciado bajo la licencia GPLv2	\$0.00
Sistema Operativo Ubuntu	Software libre, licenciado bajo la licencia GPLv2	\$0.00
Simulador NS3	Software libre, licenciado bajo la licencia GPLv2	\$0.00
Material de oficina	Papel Bond, 100 Hojas, carta \$50	\$1,112.00

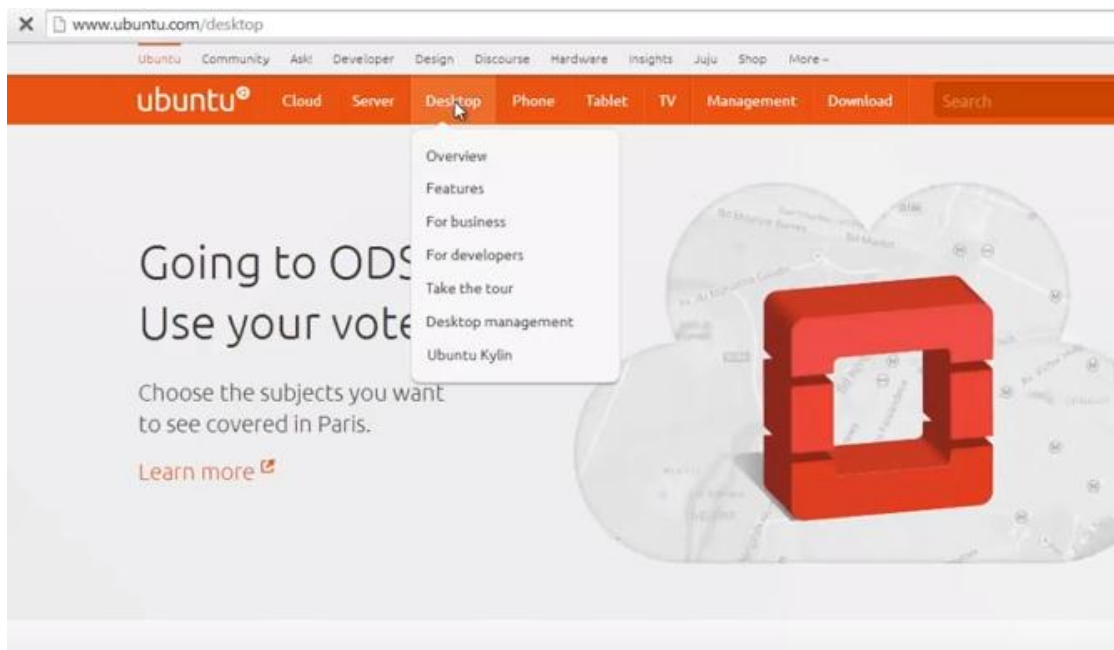
	Cartucho Hp 122x Tricolor P Deskjet 3050 \$912 BIC cristal dura, Boligrafo \$39 Folder Tamaño Carta \$111	
Personal	Honorarios de Investigación (líder de proyecto) (5 meses) \$9000 Honorarios del Programador Analista (3 meses) \$7000	\$16,000.00
Total		\$ 32,015.00

ANEXO B. Instalación de Ubuntu en virtual box

Se necesita tener virtual box instalado, el cual se encuentra en la página www.virtualbox.org, para descargar e instalar la última versión.



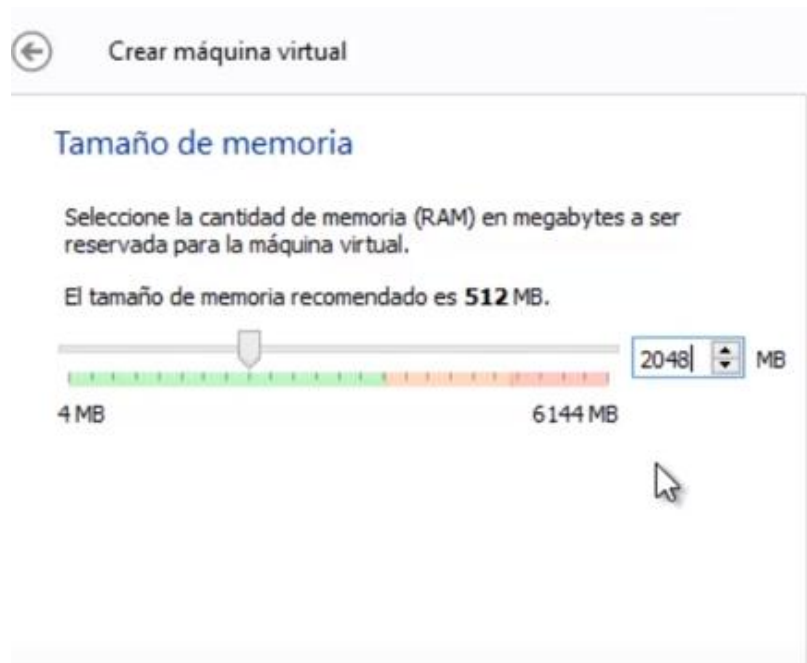
Ya que está instalado virtual box, se descargará el sistema operativo Ubuntu, en la página www.ubuntu.com.-> Desktop, se selecciona la arquitectura ya sea de 64 o 32 bits dependiendo de la arquitectura del sistema operativo que se tenga.



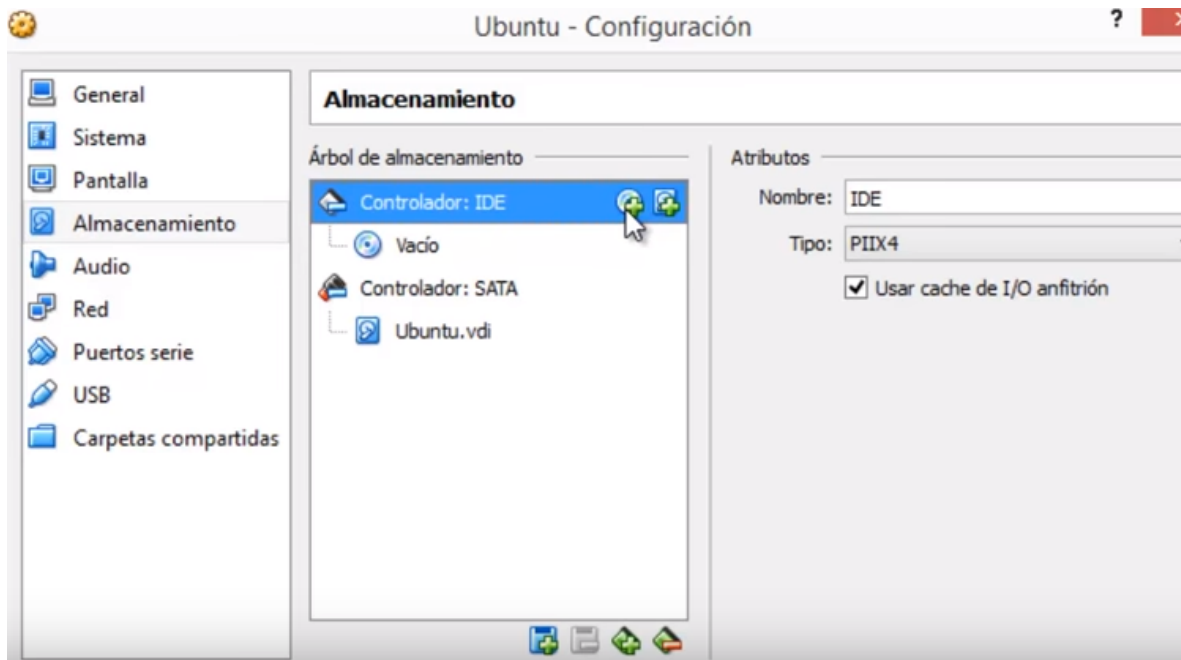
Se Ejecuta virtual box, creamos una nueva máquina virtual, y escribimos los siguientes atributos nombre: Ubuntu, tipo: Linux, versión: la versión varía dependiendo del sistema operativo que se tenga, puede ser de 64 o 32 bits.



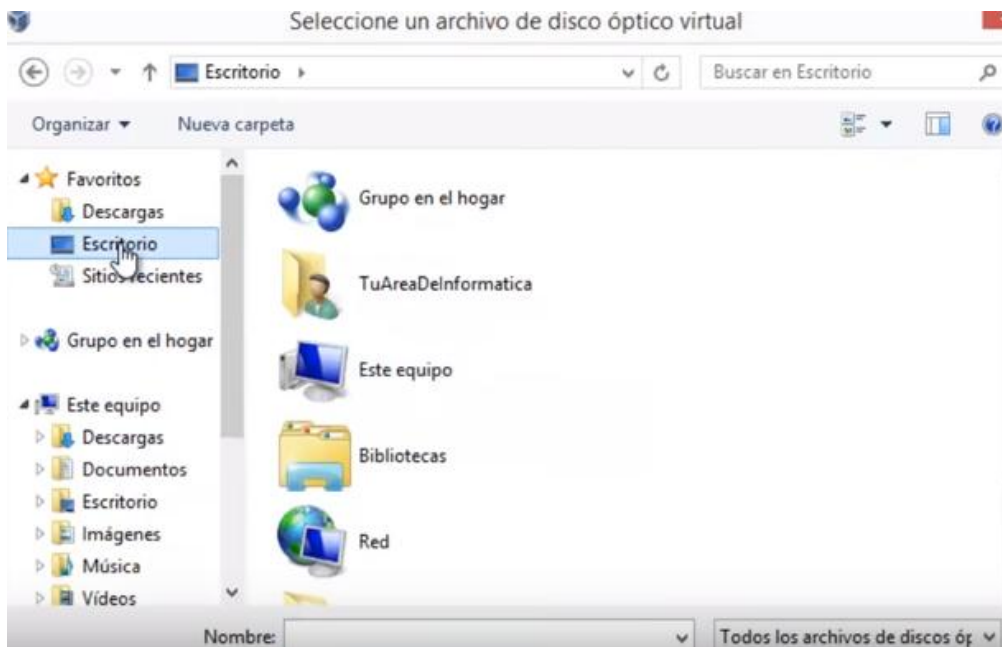
Se le asigna el tamaño a la memoria RAM, lo recomendable es no poner más del 50%, en este caso se le asigna 2048 MB. ->En la siguiente ventana se crea el disco duro virtual, se selecciona la opción VDI (Virtualbox Disk Image).-> en almacenamiento en la unidad de disco duro se deja la opción “reservado dinámicamente”.

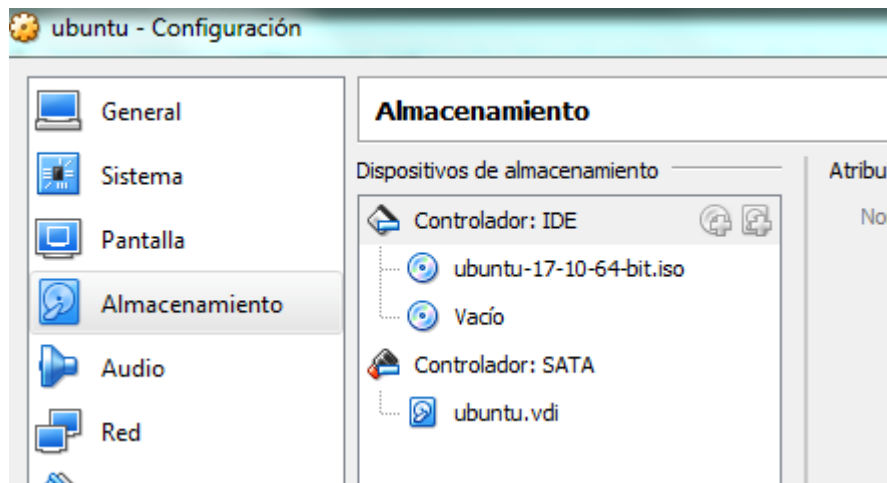


En la ventana de ubicación del archivo le asignamos desde 10 o más GB dependiendo para que se utilice el sistema operativo. Ya que se creó la máquina virtual, -> en la opción de configuración nos dirigimos a almacenamiento-> se selecciona la opción IDE-> se agrega un disco.



En la computadora se busca el sistema operativo Ubuntu que se ha descargado





Se inicia la máquina virtual y se procede a hacer la configuración normal del sistema operativo.



Preparándose para instalar Ubuntu

Descargar actualizaciones al instalar Ubuntu
Esto ahorrará tiempo después de la instalación.

Install third-party software for graphics and Wi-Fi hardware, MP3 and other media

This software is subject to license terms included with its documentation. Some is proprietary.

El complemento Fluendo MP3 incluye la tecnología de decodificación MPEG Layer-3 licenciada por Fraunhofer IIS y Technicolor SA.

Salir

Atrás

Continuar

¿Dónde se encuentra?



Mexico City

Atrás

Continuar

Disposición del teclado

Elija la distribución del teclado:

Dzongkha
English (Australian)
Eslovaco
Esloveno
Español
Español (latinoamericano)
Esperanto
Estonio
Faroés

Español - Asturiano (España, con H y L con punto bajo)
Español - Catalán (España, con L con punto medio)
Español - Español (Dvorak)
Español - Español (Macintosh)
Español - Español (eliminar teclas muertas)
Español - Español (incluir tilde muerta)
Español - Español (teclas Windows)
Español - Español (teclas muertas de Sun)

Escriba aquí para probar el teclado

Detectar la distribución del teclado

Atrás

Continuar



ANEXO C. Instalación de NS3 en Ubuntu

NS3 es un simulador de red de eventos discretos, que es ampliamente utilizado para la investigación en el dominio de la red. La ventaja de usar NS3 en lugar de NS2 es que podemos codificar usando c ++, mientras que el anterior se basa en TCL. En este post, cubriremos la instalación de esto en Ubuntu 14.04.

Paso 1: instalación de paquetes compatibles y biblioteca.

- compilador gcc y g ++

\$ sudo apt-get install gcc g ++ python

- Entorno de desarrollo de Python

\$ sudo apt-get install python-dev

- qt marco de trabajo

\$ sudo apt-get install qt4-dev-tools

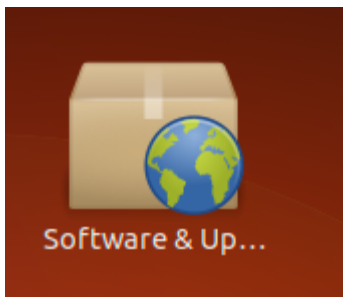
- Mercurial para la gestión de repositorios

\$ sudo apt-get install mercurial

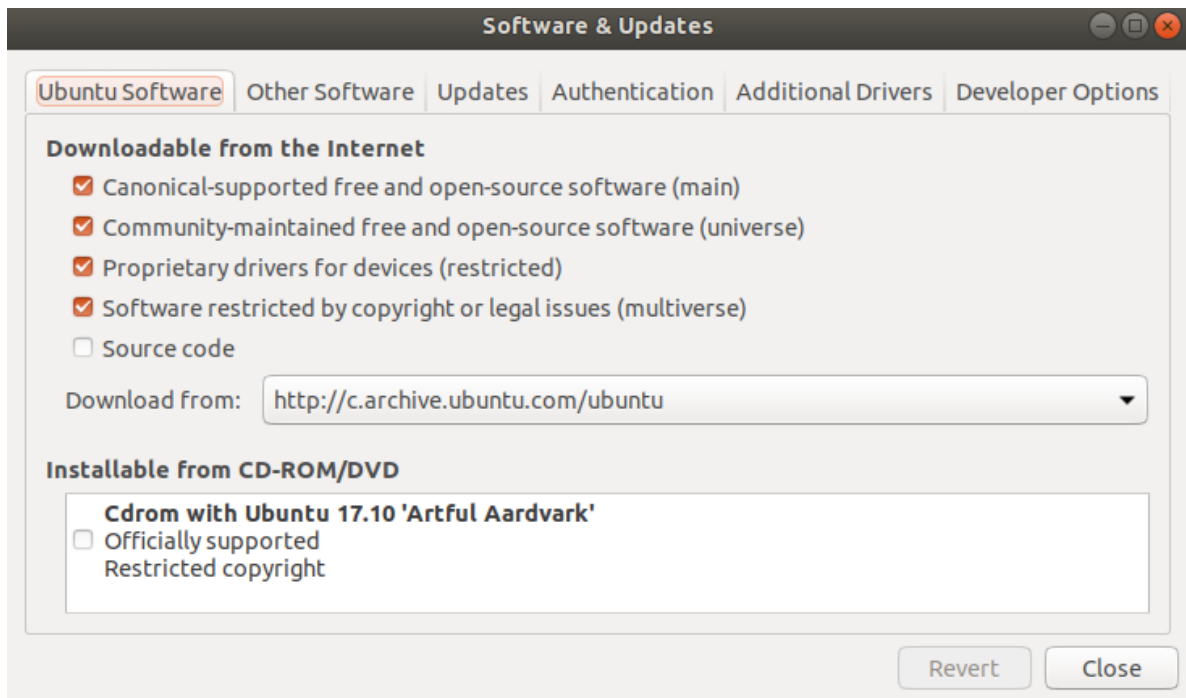
```
ubuntu@ubuntu:~$ sudo apt-get update && sudo apt-get install mercurial
Ign:1 cdrom://Ubuntu 17.10 _Artful Aardvark_ - Release amd64 (20171018) artful
InRelease
Hit:2 cdrom://Ubuntu 17.10 _Artful Aardvark_ - Release amd64 (20171018) artful
Release
Hit:4 http://security.ubuntu.com/ubuntu artful-security InRelease
Hit:5 http://archive.ubuntu.com/ubuntu artful InRelease
Hit:6 http://archive.ubuntu.com/ubuntu artful-updates InRelease
Reading package lists... Done
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
Package mercurial is not available, but is referred to by another package.
This may mean that the package is missing, has been obsoleted, or
is only available from another source

E: Package 'mercurial' has no installation candidate
```

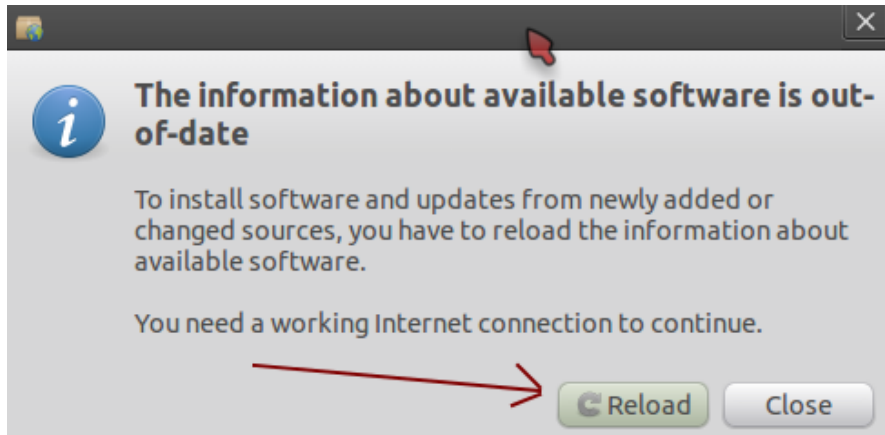
Abrir tablero y escribir fuente de software



A continuación, abra el recurso de software y haga clic en el repositorio del universo



Cerrar y volver a cargar el caché



- Control de revisión Bazaar para enlace de pitón

\$ sudo apt-get install

- Paquetes de compilación

\$ sudo apt-get install cmake libc6-dev libc6-dev-i386 g++ -multilib

- Herramientas de depuración, valgrind para depuración de la memoria y fugas

\$ sudo apt-get install gdb valgrind

- gsl es gnu biblioteca científica para función matemática en c, c ++

\$ sudo apt-get install gsl-bin libgsl0-dev libgsl0ldbl

```
ubuntu@ubuntu:~$ sudo apt-get install gsl-bin libgsl0-dev libgsl0ldbl
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
Note, selecting 'libgsl-dev' instead of 'libgsl0-dev'
Package libgsl0ldbl is not available, but is referred to by another package.
This may mean that the package is missing, has been obsoleted, or
is only available from another source
However the following packages replace it:
 libgsl23 libgslcblas0
```

Remplazamos libgsl0-dev libgsl0ldbl

```
ubuntu@ubuntu:~$ sudo apt-get install gsl-bin libgsl23 libgslcblas0
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
Suggested packages:
  gsl-ref-psdoc | gsl-doc-pdf | gsl-doc-info | gsl-ref-html
The following NEW packages will be installed:
  gsl-bin libgsl23 libgslcblas0
0 upgraded, 3 newly installed, 0 to remove and 281 not upgraded.
Need to get 914 kB of archives.
```

- Bison es generador de analizadores en proyecto gnu

\$ sudo apt-get install flex bison libfl-dev

- Tcpdump es una herramienta de captura de paquetes de red, generalmente instalada como por defecto.

\$ sudo apt-get install tcpdump

- sqlite para soporte de base de datos

\$ sudo apt-get install sqlite sqlite3 libsqlite3-dev

- Soporte de biblioteca XML

\$ sudo apt-get install libxml2 libxml2-dev

- Bibliotecas GTK que se utilizan para crear una interfaz gráfica de usuario.

\$ sudo apt-get install libgtk2.0-0 libgtk2.0-dev

- Contenedor Linux, virtualización basada en sistema operativo. Vtun es un túnel virtual

\$ sudo apt-get install vtun lxc

- Descomprime el uso para la modificación del código fuente

\$ sudo apt-get install uncrustify

- imagemagic para editar imágenes y texlive para documentación

\$ sudo apt-get install doxygen graphviz imagemagick

\$ sudo apt-get install texlive texlive-extra-utils texlive-latex-extra texlive-font-utils dvipng

\$ sudo apt-get install python-sphinx dia

- las bibliotecas de Python para el gráfico

\$ sudo apt-get install python-pygraphviz python-kiwi python-pygoocanvas libgoocanvas-dev

- bibliotecas c ++

\$ sudo apt-get install libboost-signals-dev libboost-filesystem-dev

- Uso de la interfaz de paso de mensajes para la informática de alto rendimiento.

```
$ sudo apt-get install openmpi-bin openmpi-common openmpi-doc  
libopenmpi-dev
```

Bibliografía

- Andreu, J. (2011). Redes inalámbricas (Servicios en red). Madrid: Editex.
- Camana Acosta, M. (2016). Estudio comparativo de calidad del servicio utilizando simulacion en una WLAN con el estándar IEEE 802.11e para tráfico de voz, video y datos. Quito: Escuela Politécnica Nacional .
- Cano Pérez, L. A. (2012). Configuración y Evaluación de redes 802.11n. Granada: Universidad de Granada.
- Cánovas Reverter, o., & Sánchez Cuenca, M. (2003). Una arquitectura de control de acceso a redes de. Madrid: XIV Jornada del Pararelismo.
- Conejero Díaz, A. (2014). Redes de sensores inalámbricos, su simulación en el network simulator versión 3.
- Coya Rey, L., Ledesma Quiñones, T., & Baluja García, W. (2014). Protocolos de enrutamiento aplicables a redes MANET. Telem@tica, Vol. 13, Núm. 3.
- De Luz, S. (29 de 03 de 2012). redeszone. Obtenido de www.redeszone.net
- Falcón, J. A. (2010). Wi-Fi : lo que se necesita conocer. Madrid: RC Libros.
- García Fernández, N. (2006). Modelo de cobertura en redes inalámbricas basado en radiosidad por refinamiento progresivo. TESIS DOCTORAL .
- Garcia Robles, D. (2013). Evaluación de algoritmos de propagación de mensajes en redes oportunistas. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.

- González Santos, M. (28 de 08 de 2014). Velocidad de las redes WiFi N en entornos residenciales. Obtenido de Redes Telemáticas.
- Hermosa, C., & Francisco Xavier. (2017). Análisis de la calidad de servicio en redes MANET en base a los protocolos de enrutamiento. Quito: Universidad de las Américas.
- Luques, M. (2009). Redes wireless - Tecnología MIMO - Análisis y performance del estándar de comunicaciones inalámbricas 802.11n. Facultad de Informática.
- Navarrete Chávez, C. (2009). Evaluación de la tecnología IEEE 802.11n con la plataforma OPNET. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Olivares Cúcalo, R. (18 de mayo de 2017). EcuRed.
- Rodríguez Estévez, B. (2017). Desarrollo de un sistema de comunicaciones punto a punto con ns3. Sevilla: Universidad de Sevilla. Obtenido de <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/65496>
- Simo Reigadas, F. (2007). Modelado y optimización de IEEE 802.11 para su aplicación en el despliegue de redes extensas en zonas rurales aisladas de países en desarrollo. Madrid, España: Universidad Politecnica de Madrid.
- Zubeldía, M. (2012). EFICIENCIA Y JUSTICIA EN REDES WI-FI. Uruguay: Universidad ORT.