



Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ciencias
Escuela de Computación
Centro de Investigación en Comunicación y Redes (CICORE)

**Desarrollo de un Software Educativo
para la Configuración de Redes
Wi-Fi**

Trabajo Especial de Grado
presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la Bachiller:

Anaís María Desantiago Goncalves
C.I.: 17.964.195
E-mail: anais.desantiago@gmail.com

para optar al título de Licenciado en Computación

Tutoras:
Profa.: María Elena Villapol
Profa.: Karima Velásquez

Caracas, Octubre 2014

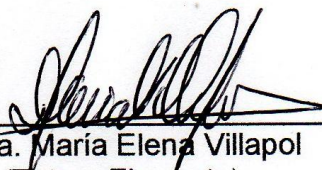
Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ciencias
Escuela de Computación
Centro de Investigación en Comunicación y Redes (CICORE)

ACTA

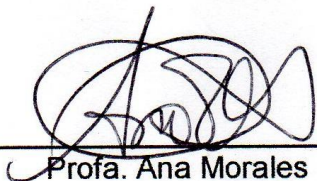
Quienes suscriben, miembros del jurado designado por el Consejo de la Escuela de Computación para examinar el Trabajo Especial de Grado, presentado por la Bachiller Anaís María Desantiago Goncalves C.I.: 17.964.195, titulado “**Desarrollo de un Software Educativo para la Configuración de Redes Wi-Fi**”, a los fines de cumplir con el requisito legal para optar al título de Licenciada en Computación, dejan constancia de lo siguiente:

Leído el trabajo por cada uno de los miembros del jurado, se fijó el día 31 de Octubre de 2014, a las 2:00 pm, para que su autora lo defendiera de forma pública, en el aula Planta Baja III, lo cual realizó mediante una exposición oral de su contenido, y luego respondió satisfactoriamente a las preguntas que le fueron formuladas por el jurado, todo ello conforme a lo dispuesto en la Ley de Universidades y demás normativas vigentes de la Universidad Central de Venezuela. Finalizada la defensa pública del Trabajo Especial de Grado, el jurado decidió aprobarlo.

En fe de lo cual se levanta la presente acta, en Caracas el 31 de octubre de 2014, dejándose también constancia de que actuó como Coordinador del jurado la Profesora Tutora María Elena Villapol.



Prof. María Elena Villapol
(Tutora Firmante)



Prof. Ana Morales
(Jurado Principal)



Prof. Jossie Zambrano
(Jurado Principal)

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada, le agradezco a Dios por haberme dado fuerzas en todo momento y no dejar que me rindiera jamás a pesar de las dificultades. También por permitirme compartir este momento con mis seres queridos.

A mis padres, Luis y Ana, por haberme dado todo, y por todos los sacrificios para siempre darnos lo mejor.

A mi hermano, Luis Ernesto, por ser el motivo de mis peleas; pero qué aburrida sería mi vida de haber sido hija única.

A mi abuela, mi Gorda, por siempre estar pendiente de todo de si comimos, si nos sentimos mal, etc; sin importar de cómo se sienta.

A mi novio, Jesús, por estar ahí, apoyarme, ayudarme cuando lo he necesitado, pero sobre todo por soportarme cuando ni yo misma lo hacía.

A CICORE por haberme abierto las puertas incluso antes de ver materias del área.

A mis tutoras, Karima y la profe Villapol, por haberme dado la oportunidad de trabajar con ustedes. Adicionalmente por haberme postulado al CoNCISa. Quisiera agradecer especialmente a Karima porque a pesar de la distancia nunca dejó de preocuparse y orientarme con la tesis.

A aquellos que me dieron ideas para poder realizar ciertas funciones del TEG y a todos aquellos que participaron en las pruebas tanto funcionales como de aceptación. Sin ustedes no hubiese podido detectar bugs y no podría haber culminado el TEG.

A mis jurados, la profesora Ana Morales y la profesora Jossie Zambrano, quienes ayudaron a que este trabajo fuese posible.

También quiero agradecerle a todos aquellos que me pusieron trabas y obstáculos ya que sin ellos no me hubiese retado a seguir luchando.

**Gracias,
Anaís Desantiago**

RESUMEN

Título:

Desarrollo de un Software Educativo para la Configuración de Redes Wi-Fi

Autor:

Anaís María Desantiago Goncalves

Tutoras:

Profa. María Elena Villapol

Profa. Karima Velásquez

Hoy en día, debido al auge que han tenido las redes de computadores y telecomunicaciones, cada vez es mayor la cantidad de personas, instituciones educativas y empresas que necesitan crear redes caseras y/o empresariales. Pero no en todos los casos es posible la implementación de las redes cableadas y por ello se desarrollaron las redes inalámbricas. Estas redes han tenido un éxito prácticamente inesperado ya que han complementado a las redes cableadas en un gran número de situaciones, debido a su facilidad de implementación y de uso.

Es por ello que se requieren profesionales que cuenten con el conocimiento y destrezas necesarias para manejar este tipo de redes. Por esta razón, existe la necesidad de incluir asignaturas o contenidos en los Planes de Estudio de las carreras en Computación y afines, con el propósito de enseñar el funcionamiento y configuración de las redes inalámbricas y de los dispositivos involucrados. Adicionalmente se busca específicamente enseñar el funcionamiento de las redes Wi-Fi, cuya definición se encuentra en el estándar IEEE 802.11.

Este trabajo de investigación se enfocó en el desarrollo de una herramienta para la enseñanza y configuración de las redes Wi-Fi. Para ello se estudiaron las diversas especificaciones del estándar IEEE 802.11, las diferentes herramientas de enseñanza de redes Wi-Fi y se determinaron las características que tendría la herramienta. Después del proceso de investigación se procedió a desarrollar una herramienta en la que se pudiera simular una red Wi-Fi, denominada *ICARO Wi-Fi Simulator*, la cual se implementó con el lenguaje de programación Java y el entorno de desarrollo Netbeans.

ICARO Wi-Fi Simulator está compuesta de una interfaz de usuario en la que se pueden agregar nodos como enrutadores, puntos de acceso y estaciones. Adicionalmente, se permite la configuración de cada uno de ellos de tal manera que se pueda formar una red inalámbrica. La aplicación también está compuesta de la implementación de *ping* y de animaciones para que el estudiante pudiera observar la conectividad entre los nodos.

ICARO Wi-Fi Simulator es un software que facilita el aprendizaje de las redes Wi-Fi a los estudiantes de la Licenciatura de Computación de la Universidad Central de Venezuela y carreras afines de otras casas de estudio, ya que de manera sencilla muestra el funcionamiento y configuración de estas redes; promoviendo estrategias para que el usuario de la aplicación tenga la base de cómo configurar una red Wi-Fi.

Palabras Claves: enrutador, emulador, simulador, Wi-Fi, IEEE 802.11, software, enseñanza.

Contenido

Contenido.....	5
Índice de Figuras	7
Índice de Tablas.....	8
1. Introducción	9
1.1 Planteamiento del problema	9
1.2 Objetivo general	9
1.3 Objetivos específicos	9
1.4 Justificación.....	9
1.5 Distribución del documento.....	10
2. Tecnologías que utilizan redes inalámbricas.....	11
2.1 Clasificación	11
2.1.1. Cobertura.....	11
2.1.2. Estructura de red	11
2.2 IEEE 802.11	12
2.2.1. Arquitectura	12
2.2.2. Topología.....	13
2.2.3. Arquitectura de Protocolos	13
2.3 Enrutadores inalámbricos	23
2.3.1 Funcionamiento	24
2.3.2 Características.....	24
2.3.3 Mecanismos de seguridad	25
2.3.4 Tipos	26
2.4 Herramientas para el aprendizaje de Wi-Fi.....	26
2.4.1. Emuladores.....	26
2.4.2. Características generales de los emuladores.....	28
2.4.3. Enrutadores evaluados.....	29
2.4.4. Comparación de los emuladores	29
2.4.5. Simuladores.....	33
2.4.6. Programa de certificación.....	35
3. ICARO Wi-Fi Simulator.....	37
3.1. Modelo en Cascada	37
3.1.1. Análisis y definición de los requerimientos	38
3.1.2. Diseño del software	38
3.1.3. Implementación y pruebas de unidades	38
3.1.4. Integración y prueba del sistema	38
3.1.5. Funcionamiento y mantenimiento	38
3.2. ICARO Wi-Fi Simulator	38
3.2.1. Análisis y definición de requerimientos.....	38
3.2.2. Diseño.....	39
3.2.3. Implementación y pruebas de unidades	43
3.2.4. Integración y prueba de sistema	45
3.2.5. Funcionamiento y mantenimiento	48
4. Pruebas de aceptación.....	50
4.1. Definición.....	50
4.2. Ejecución.....	50
4.2.1. Tareas.....	50
4.2.2. Encuesta	50

4.3.	Resultados.....	51
4.3.1.	Redes Wi-Fi.....	51
4.3.2.	Usabilidad.....	56
4.3.3.	Opiniones y sugerencias.....	59
5.	Conclusiones.....	60
5.1.	Contribución.....	60
5.2.	Recomendaciones.....	61
5.3.	Limitantes.....	61
5.4.	Trabajos futuros.....	61
	Referencias.....	62
	Anexo A: Encuesta sobre características deseables.....	64
	Características enrutadores inalámbricos.....	64
	Anexo B: Trabajos publicados.....	67

Índice de Figuras

Figura 2.1: Red con infraestructura.....	11
Figura 2.2: Red Ad-hoc.....	12
Figura 2.3: ESS.....	13
Figura 2.4: Estructura de IEEE 802.11.....	14
Figura 2.5: Problema del nodo oculto.	19
Figura 2.6: Arquitectura MAC.	20
Figura 2.7: Línea de tiempo PCF y período de contención.	21
Figura 2.8: Relación SIFS, PIFS, DIFS.....	21
Figura 2.9: Formato de la trama de datos.....	23
Figura 2.10: Formato de la trama de control ACK.	23
Figura 2.11: Formato de la trama de administración (proceso de asociación).	23
Figura 2.12: Funcionamiento de enrutador inalámbrico.	24
Figura 2.13: Enrutador inalámbrico.	25
Figura 3.1: Fases del Modelo en Cascada.	37
Figura 3.2: Casos de uso para la herramienta.....	39
Figura 3.3: Prototipo de ICARO Wi-Fi Simulator.	40
Figura 3.4: Diagrama de clases de ICARO Wi-Fi Simulator.....	42
Figura 3.5: Interfaz de usuario.....	43
Figura 3.6: Muestra de la integración entre la interfaz gráfica y los componentes.	46
Figura 3.7: Conectividad de nodos en red con infraestructura.....	46
Figura 3.8: <i>Ping</i> realizado entre dos nodos en red de infraestructura.	47
Figura 3.9: Envío de paquetes entre dos nodos.....	47
Figura 3.10: Archivo de configuración.....	48
Figura 4.1: Gráfico sobre los elementos presentes en una red Wi-Fi.	52
Figura 4.2: Gráfico sobre los elementos que conforman una red con Infraestructura.....	52
Figura 4.3: Gráfico sobre los elementos que conforman una red Ad-hoc.....	53
Figura 4.4: Gráfico sobre a qué se refiere el SSID.	53
Figura 4.5: Gráfico sobre los mecanismos de seguridad.	54
Figura 4.6: Gráfico sobre la banda utilizada por IEEE 802.11a.	54
Figura 4.7: Gráfico sobre la banda utilizada por IEEE 802.11b.	55
Figura 4.8: Gráfico de porcentaje de respuestas correctas.....	55
Figura 4.9: Gráfico de facilidad de uso.....	56
Figura 4.10: Gráfico de consulta de tamaño apropiado.....	56
Figura 4.11: Gráfico de colocación arbitraria de nodos.	57
Figura 4.12: Gráfico de conceptualización básica de las redes Wi-Fi.....	57
Figura 4.13: Gráfico de funcionamiento de la herramienta.....	58
Figura 4.14: Gráfico sobre la utilidad del <i>ping</i>	58
Figura A.1: Gráfico de las características seleccionadas en la encuesta.	66

Índice de Tablas

Tabla 2.1: Rango de frecuencias FHSS según la región.....	15
Tabla 2.2: Rango de frecuencias DSSS según la región.	16
Tabla 2.3: Rango de frecuencias OFDM según la región.....	16
Tabla 2.4: Rango de frecuencias HT-OFDM según la región.....	17
Tabla 2.5: Resumen estándares IEEE 802.11.....	18
Tabla 2.6: Enrutadores inalámbricos evaluados.....	29
Tabla 2.7: Características obligatorias según IEEE 802.11.	31
Tabla 2.8: Cantidad de enrutadores que presenta una característica determinada.	32
Tabla 2.9: Porcentaje de las características adicionales.....	33
Tabla 3.1: Actividades permitidas por la herramienta.....	40
Tabla A.1: Características consultadas.....	64

1. Introducción

En los últimos años las redes móviles e inalámbricas han tenido un gran auge, el cual se ha visto reflejado en la incorporación de dicha tecnología como soporte a la comunicación en diversas actividades del quehacer humano. Por esta razón se requieren profesionales que cuenten con el conocimiento y destrezas necesarias para manejar este tipo de redes. Por lo tanto ha sido necesario que los Planes de Estudio de las carreras en Computación y afines hayan sido actualizados para incluir asignaturas o al menos contenidos relacionados a estas redes. De particular interés dentro de toda la gama de tecnologías que abarcan la redes móviles e inalámbricas son las redes Wi-Fi, la cuales están soportadas por el estándar IEEE-802.11 [1].

1.1 *Planteamiento del problema*

No es suficiente enseñar los aspectos teóricos relacionados a las redes Wi-Fi para desarrollar las competencias que requieren los estudiantes para manejar este tipo de redes, por el contrario es necesario que ellos interactúen con esta tecnología para poder desarrollar muchas de las habilidades y destrezas necesarias. Una de las formas de hacer esto es que los estudiantes puedan operar directamente los equipos que implementan esta tecnología. Si bien esto es posible en cursos con pocos estudiantes, cuando la cantidad de los mismos aumenta esto tiene sus inconvenientes. Primero se requiere contar con los equipos necesarios para que cada grupo de estudiantes interactúe con ellos. Aunque el precio unitario de estos dispositivos podría ser bajo, cuando se trata de adquirir muchos de ellos los costos pueden ser altos. Segundo, los equipos que actualmente se encuentran en el mercado no han sido diseñados para realizar este tipo de actividades, donde los estudiantes tienen que cambiar la configuración de los equipos constantemente, por lo cual están más propensos a dañarse rápidamente. El reemplazo de un equipo en una institución educativa que tiene presupuesto reducido puede demorarse.

1.2 *Objetivo general*

El objetivo general de este trabajo es:

Desarrollar una herramienta de software con fines académicos para el estudio de la configuración de redes Wi-Fi.

1.3 *Objetivos específicos*

Los objetivos específicos que se pretenden alcanzar son:

- Estudiar las herramientas y equipos existentes para la simulación de las redes Wi-Fi que apoye los fundamentos prácticos del área de redes inalámbricas.
- Determinar los requerimientos en función de los equipos existentes.
- Diseñar una herramienta que soporte la simulación de las redes Wi-Fi.
- Implementar la herramienta de enseñanza.
- Comprobar el correcto funcionamiento de la herramienta, al realizar pruebas a la herramienta de acuerdo a los criterios de funcionalidad y de utilidad para el estudiantado.

1.4 *Justificación*

Lo expuesto anteriormente conlleva a pensar en otras alternativas para que los alumnos adquieran las habilidades y destrezas prácticas asociadas al manejo de redes Wi-Fi. Una de

ellas es la incorporación de un software educativo que permita la configuración de los equipos involucrados en una red de este tipo. Herramientas similares ya han sido utilizadas de forma exitosa por organizaciones encargadas del entrenamiento en redes. Un ejemplo es el software desarrollado por Cisco [2] para el entrenamiento CCNA. Existen experiencias no comerciales que se describen en [3] y [4] pero que no permiten realizar la configuración de los equipos de redes Wi-Fi.

Esto lleva a considerar que una estrategia educativa basada en el uso de un software educativo para manejar y configurar redes Wi-Fi podría ayudar a lograr el objetivo deseado, sin tener los inconvenientes mencionados anteriormente.

Adicionalmente a lo antes expuesto, un estudio preliminar reveló que no existe ningún software educativo que permita configurar específicamente redes Wi-Fi [5].

1.5 Distribución del documento

Este documento consta de los siguientes capítulos:

El Capítulo 1 contiene un breve resumen del documento, se explica el problema planteado, los objetivos, justificación y alcance de esta investigación, y finalmente la distribución del documento.

El Capítulo 2 contiene el marco teórico, en el cual se realiza una breve descripción de las redes inalámbricas y del estándar IEEE 802.11, también se definen los enrutadores inalámbricos y su funcionamiento; adicionalmente, se describen técnicas que sirven para la enseñanza de redes Wi-Fi tales como los emuladores, simuladores y los programas de certificación.

El Capítulo 3 describe la metodología y las herramientas utilizadas para el desarrollo del software. Se muestra en detalle la descripción, funcionamiento y elaboración de la herramienta para la configuración de las redes Wi-Fi, esta aplicación es el ICARO Wi-Fi Simulator.

El Capítulo 4 describe las pruebas de aceptación, las tareas realizadas, las características de la encuesta y sus resultados.

El Capítulo 5 muestra las conclusiones, limitaciones, recomendaciones y futuros trabajos que pueden ser realizados usando la herramienta generada en esta investigación.

2. Tecnologías que utilizan redes inalámbricas

Una red inalámbrica hace uso de las ondas electromagnéticas para la transmisión de las señales que transportan la información de los dispositivos interconectados entre sí. Sus orígenes datan a finales del siglo XIX cuando Heinrich Hertz estudió la transmisión de ondas electromagnéticas vía el espacio. Tiempo después que Hertz realizara este estudio, Guglielmo Marconi realizó una transmisión telegráfica a una distancia de 250 mts [6].

2.1 Clasificación

Las redes inalámbricas se pueden clasificar por su cobertura y por su estructura de red.

2.1.1. Cobertura

Se definen cuatro tipos de cobertura:

- Las Redes de Área Personal Inalámbrica (*Wireless Personal Area Network, WPAN*) son denominadas redes de corto alcance ya que su rango de cobertura no supera los 3 metros.
- Las Redes de Área Local Inalámbrica (*Wireless Local Area Network, WLAN*) son una extensión de las Redes de Área Local (*Local Area Network, LAN*) y su rango de alcance no supera los 100 metros.
- Las Redes de Área Metropolitana Inalámbrica (*Wireless Metropolitan Area Network, WMAN*) tienen un gran alcance pero su rango de cobertura no supera los 50 kilómetros.
- Las Redes de Área Amplia Inalámbrica (*Wireless Wide Area Network, WWAN*) son redes que tienen alcance global y son una extensión de las Redes de Área Amplia (*Wide Area Network, WAN*).

2.1.2. Estructura de red

Se definen dos tipos de estructura de red:

- Con infraestructura: son redes que utilizan un dispositivo central, llamado Punto de Acceso (*Access Point, AP*) el cual se encarga de controlar qué usuarios se conectan a la red y la comunicación de los dispositivos entre sí. En la Figura 2.1 se muestra un ejemplo de redes con infraestructura.

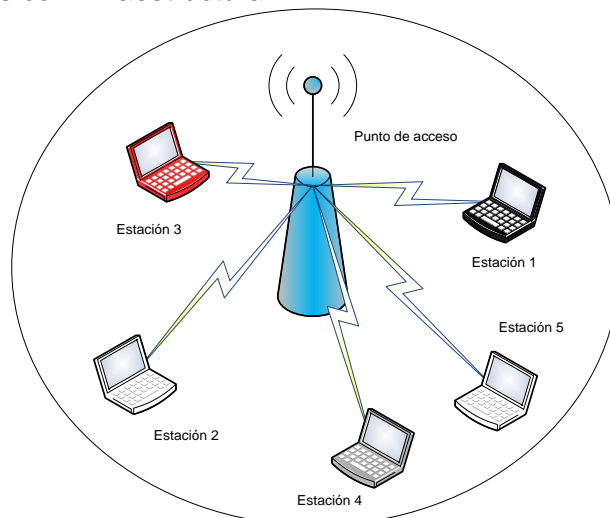


Figura 2.1: Red con infraestructura.
Fuente: Realización propia.

- Ad-hoc: son aquellas redes en la que los hosts se conectan entre sí sin un dispositivo central que los coordine. En la Figura 2.2 se observa un ejemplo de una red Ad-hoc.

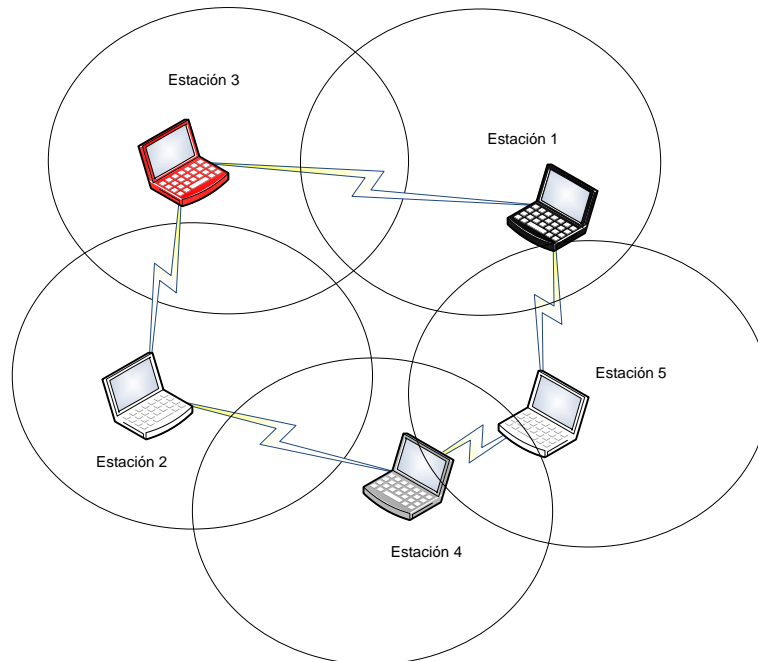


Figura 2.2: Red Ad-hoc.
Fuente: Realización propia.

2.2 IEEE 802.11

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos [7] (*Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE*) desarrolló un estándar para la comunicación inalámbrica entre computadores, laptops y otros equipos. Dicho estándar comprende diversas especificaciones que se engloban bajo la denominación IEEE 802.11 [1], mejor conocido como Wi-Fi gracias a la organización Wi-Fi Alliance [8], quien certifica la interoperabilidad de los equipos que siguen este estándar. El IEEE 802.11 define la subcapa de Control de Acceso al Medio (*Medium Access Control, MAC*) y la capa física (*Physical Layer, PHY*) para proporcionar conectividad inalámbrica entre estaciones fijas, portables y móviles en una red de área local.

2.2.1. Arquitectura

La arquitectura del estándar IEEE 802.11 consiste de varios componentes que interactúan para soportar la comunicación entre los diversos dispositivos. Estos componentes se describen a continuación:

- Estaciones (*STA*): entidad lógica que es una instancia individualmente direccionable de la subcapa MAC y de la capa PHY mediante una interfaz al medio inalámbrico.
- Medio Inalámbrico (*Wireless Medium, WM*): medio utilizado para la transferencia de unidades de datos de protocolo (*Protocol Data Unit, PDU*) entre la capa física y las entidades de una WLAN.
- Puntos de Acceso (*Access Point, AP*): son los dispositivos encargados de traducir las tramas 802.11 en otro tipo de trama, por lo general de tipo Ethernet. Estos dispositivos crean un puente de red entre el medio inalámbrico y el medio cableado.

2.2.2. Topología

La topología básica de las redes de área local definidos en el estándar IEEE 802.11 se define mediante un conjunto de servicios, los cuales son agrupaciones lógicas de dispositivos. Estos conjuntos de servicios se pueden clasificar en [1]:

- Conjunto de Servicios Básicos (*Basic Service Set, BSS*): es el bloque fundamental del estándar y consiste de un grupo de estaciones bajo la coordinación de una función de coordinación (protocolo de la subcapa MAC). El área cubierta por un BSS es el área de servicio básico (*Basic Service Area, BSA*).
- Sistema de Distribución (*Distribution System, DS*): múltiples BSSs se pueden interconectar usando un DS común. Un DS se puede ver como una red *backbone*, responsable por la transmisión de Unidades de Datos de Protocolo (*Protocol Data Units, PDUs*) de la subcapa MAC. El DS puede ser una red cableada o inalámbrica.
- BSS Independiente (*Independent BSS, IBSS*): es una topología en la que un grupo de STAs se comunican directamente entre sí. Debido a que no tienen ningún dispositivo central que coordine la transmisión entre STAs, se puede decir que es una red Ad-hoc.
- Conjunto de Servicio Extendido (*Extended Service Set, ESS*): es un conjunto de uno o más BSSs interconectados y redes locales integradas. En la Figura 2.3 se puede observar una representación de un ESS.

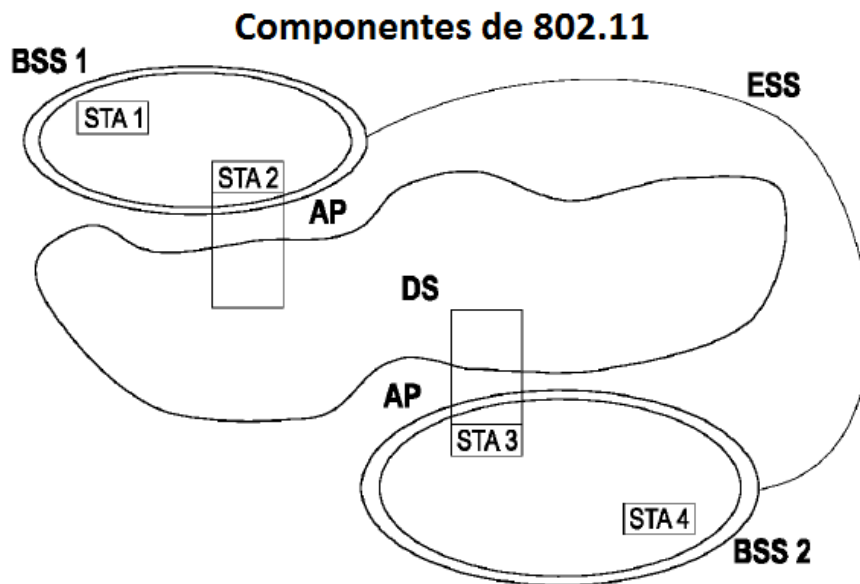


Figura 2.3: ESS.
Fuente: [1].

- Portal: es el punto lógico donde se integra una red IEEE 802.11 con una red no IEEE 802.11.

2.2.3. Arquitectura de Protocolos

La arquitectura de protocolos del IEEE 802.11 comprende la especificación de la capa física y la subcapa MAC. Esta última a su vez se subdivide en la Función de Coordinación Distribuida (*Distributed Coordination Function, DCF*) y la Función de Coordinación Puntual

(*Point Coordination Function, PCF*). La DCF es adecuada para tráfico de mejor esfuerzo y usa Acceso Múltiple Sensible a la Portadora Evitando Colisiones (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA*) [9] ya que la detección de colisión no es práctica en este tipo de redes. Por otra parte, la PCF es opcional y proporciona transferencia de tramas en un ambiente libre de contención. Estas funciones residen en el AP quien es responsable de preguntarle a las estaciones si desean enviar tramas, con la finalidad de que ellas transmitan sin competir por el medio.

La capa física, por su parte, define las características procedimentales, funcionales, físicas y de interfaz para la comunicación entre estaciones móviles.

Capa PHY

El estándar IEEE 802.11 tiene su propia estructura para la capa PHY y para la capa MAC. La capa PHY tiene dos subcapas, la subcapa de Procedimiento de Convergencia de la Capa Física (*Physical Layer Convergence Procedure, PLCP*) y la subcapa Dependiente del Medio Físico (*Physical Medium Dependent, PMD*) tal como se puede observar en la Figura 2.4.

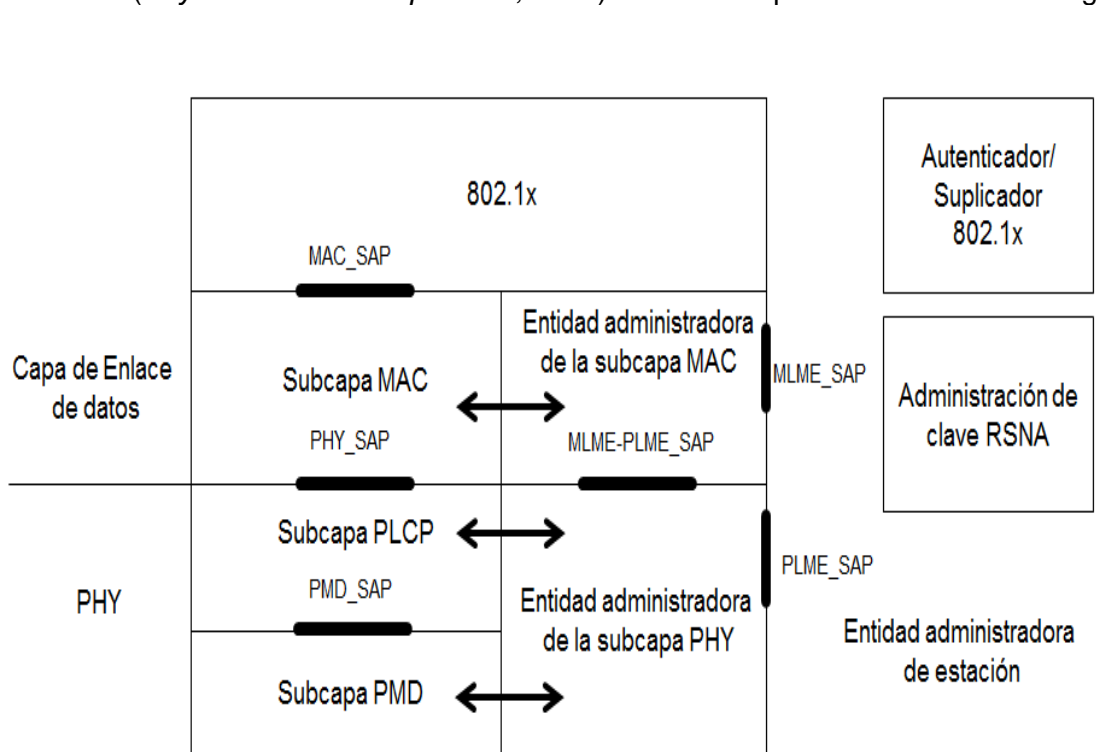


Figura 2.4: Estructura de IEEE 802.11.
Fuente: [1]

- La subcapa Dependiente del Medio Físico (*Physical Medium Dependent, PMD*) define las características y los métodos para la transmisión y recepción de los datos a través del medio inalámbrico.
- La subcapa de Procedimiento de Convergencia de la Capa Física (*Physical Layer Convergence Procedure, PLCP*) adapta las capacidades de la subcapa PMD a los servicios de la capa PHY de tal forma que se establezca un método de mapeo de la Unidad de Datos de Protocolo de la MAC (*MAC Protocol Data Unit, MPDU*) en un

formato de trama adecuado para enviar y recibir datos de usuario y administrar la información entre dos o más STAs.

- La entidad administradora de la subcapa PHY realiza las funciones locales a la capa física y trabaja conjuntamente con la entidad administradora de la subcapa MAC.

En el estándar IEEE 802.11 se definen diversas capas PHY en las que se utilizan diversos mecanismos de transmisión [1]. A pesar de la variedad de capas PHY, la subcapa MAC no varía. A continuación se explicarán las diversas capas.

- El Espectro Disperso por Salto de Frecuencia (*Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS*) es un servicio provisto por el estándar IEEE 802.11 el cual permite que las frecuencias cambien según un determinado patrón de salto [1]. Esta técnica divide el espectro en cierta cantidad de canales, los cuales están distribuidos de tal manera que las frecuencias no se solapen unas con otras. El método de modulación utilizado es el Desplazamiento de Frecuencia Gaussiana (*Gaussian Frequency Shift Keying, GFSK*). FHSS permite velocidades de 1 Mbps y de 2 Mbps. Adicionalmente, los canales existentes deben operar en una frecuencia establecida según la región; estas frecuencias pertenecen a la banda Industrial, Médica y Científica (*Industrial, Scientific and Medical, ISM*) de los 2.4 GHz. En la Tabla 2.1 se puede observar los rangos de frecuencias permitidos según la región.

Tabla 2.1: Rango de frecuencias FHSS según la región.

Fuente: [1]

Límite Inferior	Límite Superior	Rango	Región
2.402 GHz	2.480 GHz	2.400-2.485 GHz	China
2.402 GHz	2.480 GHz	2.400-2.485 GHz	América del Norte
2.402 GHz	2.480 GHz	2.400-2.485 GHz	Europa*
2.473 GHz	2.495 GHz	2.471-2.497 GHz	Japón
2.447 GHz	2.473 GHz	2.445-2.475 GHz	España
2.448 GHz	2.482 GHz	2.4465-2.4835 GHz	Francia

NOTA: Los rangos de frecuencia están sujetos a regulaciones regionales

*Se excluyen España y Francia

- El Espectro Disperso por Secuencia Directa (*Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS*) utiliza la información recibida y expande cada bit por una mayor cantidad de bits, de tal forma que se obtenga un ancho de banda mayor al que realmente se necesita. La conversión se realiza mediante un código de expansión. Al igual que FHSS, DSSS permite velocidades de 1 y 2 Mbps, pero utiliza diversas modulaciones de banda base para cada una. Estas modulaciones, respectivamente, son: Modulación por Desplazamiento Diferencial de Fase Binario (*Differential Base Phase Shift Keying, DBPSK*) y Desplazamiento Diferencial de Cuadratura de Fase (*Differential Quadrature Phase Shift Keying, DQPSK*). En la Tabla 2.2 se pueden observar los canales disponibles para cada región.

Tabla 2.2: Rango de frecuencias DSSS según la región.

Fuente: [1]

Canal	Frecuencia	X'10' FCC	X'20' IC	X'30' ETSI	X'31' España	X'32' Francia	X'40' Japón	X'50' China
1	2412 MHz	X	X	X				X
2	2417 MHz	X	X	X				X
3	2422 MHz	X	X	X				X
4	2427 MHz	X	X	X				X
5	2432 MHz	X	X	X				X
6	2437 MHz	X	X	X				X
7	2442 MHz	X	X	X				X
8	2447 MHz	X	X	X				X
9	2452 MHz	X	X	X				X
10	2457 MHz	X	X	X	X	X		X
11	2462 MHz	X	X	X	X	X		X
12	2467 MHz			X		X		X
13	2472 MHz			X		X		X
14	2484 MHz						X	

FCC: Estados Unidos de América
IC: Canadá

ETSI: Mayoría de Europa

- La técnica de DSSS de Alta Tasa (*High-rate DSSS, HR/DSSS*) permite velocidades de 5.5 y 11 Mbps y como está basado en DSSS soporta las velocidades de 1 y 2 Mbps, y utiliza el mismo rango de frecuencias. HR/DSSS utiliza el esquema de modulación de Código Clave Complementario de 8-fragmentos (*8-chip Complementary Code Keying, CCK*). Esta técnica permitió la creación del estándar IEEE 802.11b [1].
- La técnica de Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM*) permitió la utilización de la banda ISM de los 5 GHz. OFDM soporta velocidades de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps; pero establece como obligatorias las velocidades de 6, 12 y 24 Mbps [1]. OFDM utiliza tres (3) esquemas de modulación: la Codificación por Desplazamiento de Fase Binario (*Base Phase Shift Keying, BPSK*), la Codificación por Desplazamiento de Cuadratura de Fase (*Quadrature Phase Shift Keying, QPSK*) y la Modulación de Amplitud por Cuadratura (*Quadrature Amplitude Modulation, QAM*) de 16 o 64 bits. Adicionalmente, OFDM permitió la creación del estándar IEEE 802.11a. En la Tabla 2.3 se puede observar el rango de frecuencias utilizado por OFDM según la región.

Tabla 2.3: Rango de frecuencias OFDM según la región.

Fuente: [10]

Canal	Frecuencia	América	Europa	Australia	Japón	China
36	5180	X	X	X	X	
40	5200	X	X	X	X	
44	5220	X	X	X	X	
48	5240	X	X	X	X	
52	5260	X	X	X	X	
56	5280	X	X	X	X	
60	5300	X	X	X	X	
64	5320	X	X	X	X	
100	5500		X			

104	5520		X		
108	5540		X		
112	5560		X		
116	5580		X		
120	5600		X		
124	5620		X		
128	5640		X		
132	5660		X		
136	5680		X		
140	5700		X		
149	5745	X		X	X
153	5765	X		X	X
157	5785	X		X	X
161	5805	X		X	X

- La capa PHY de Tasa Extendida (*Extended-Rate PHY, ERP* [11]) es una tecnología que permite tener velocidades mayores a 54 Mbps y se utiliza en la especificación IEEE 802.11g [1]. ERP define tres (3) esquemas de modulación: la Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal de Tasa Extendida (*Extended-Rate PHY Orthogonal Frequency Division Multiplexing, ERP-OFDM*), la Codificación Convolutiva Binaria de Paquetes (*Packet Binary Convolutional Code, ERP-PBCC*) y el Espectro Disperso por Secuencia Directa de Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal de Tasa Extendida (*Direct Sequence Spread Spectrum Orthogonal Frequency Division Multiplexing, DSSS-OFDM*).
- El sistema OFDM de Alto Rendimiento (*High Throughput OFDM, HT-OFDM*) permite que una STA pueda transmitir tanto en la banda ISM de los 2.4 GHz como en la de los 5 GHz. Esta técnica permite velocidades de hasta 600 Mbps y se utiliza en la especificación IEEE 802.11n [1]. HT-OFDM usa dos (2) esquemas de modulación: la Codificación por Desplazamiento de Fase Binario (*Base Phase Shift Keying, BPSK*) y la Modulación de Amplitud por Cuadratura (*Quadrature Amplitude Modulation, QAM*) de 16 o 64 bits. Adicionalmente, puede realizar Corrección de Errores hacia Adelante (*Forward Error Correction, FEC*). En la Tabla 2.4 se puede observar el rango de frecuencias utilizadas por HT-OFDM según la región.

Tabla 2.4: Rango de frecuencias HT-OFDM según la región.

Fuente: [10]

Canal	Frecuencia	América	Europa	Israel	Japón	China
36	5180	X	X	X	X	
40	5200	X	X	X	X	
44	5220	X	X	X	X	
48	5240	X	X	X	X	
52	5260	X	X	X	X	
56	5280	X	X	X	X	
60	5300	X	X	X	X	
64	5320	X	X	X	X	
100	5500		X			
104	5520		X			
108	5540		X			

112	5560		X	
116	5580		X	
120	5600		X	
124	5620		X	
128	5640		X	
132	5660		X	
136	5680		X	
140	5700		X	
149	5745	X		X
153	5765	X		X
157	5785	X		X
161	5805	X		X

En la Tabla 2.5 se resumen las diversas capas PHY del estándar IEEE 802.11.

Tabla 2.5: Resumen estándares IEEE 802.11.
Fuente: Realización propia

Estándar	802.11		802.11b	802.11a	802.11g	802.11n
PHY	FHSS	DSSS	HR-DSSS	OFDM	ERP	HT-OFDM
Banda de Frecuencia (GHz)	2.4	2.4	2.4	5	2.4	2.4 y 5
Máx. Tasa de datos (Mbps)	2	2	11	54	54	600
Método de Modulación	GFSK	QPSK	CCK	BPSK, QPSK, QAM	ERP-OFDM, ERP-PBCC, DSSS-OFDM	BPSK, QAM

Subcapa MAC

La subcapa MAC se encarga de ofrecerle a las STAs diversos servicios, tales como: control, administración y soporte a capas superiores. Adicionalmente, es la encargada de dirigir los mecanismos para que se pueda acceder al medio de forma equitativa [12].

La subcapa MAC utiliza el método CSMA/CA, el cual permite que las estaciones escuchen el canal para determinar si está ocupado o no. En el caso de que se encuentre ocupado, la estación espera un tiempo determinado, establecido por la estación que ocupa el canal, para que se libere el canal y pueda transmitir [12].

Cabe destacar que al utilizar un medio compartido, varias estaciones pueden estar queriendo transmitir al mismo tiempo y al descubrir que el medio está libre, las estaciones empezarán a transmitir generando así colisiones y pérdidas de información. Para evitar esto, las estaciones involucradas esperan un tiempo aleatorio para volver a intentar la transmisión.

Como se mencionó anteriormente, las estaciones transmiten cuando detectan que el medio está libre, pero existen ocasiones en las que se detecte que el medio está libre aunque realmente no es así. Esto ocurre debido a que las estaciones involucradas no se encuentran dentro del rango de cobertura de las demás, pero si lo están en el área de cobertura del AP. A esta situación se le conoce como *nodo oculto* [12]. Para resolver este problema, se utilizan dos tramas de control:

- Solicitud de Envío (*Request-To-Send, RTS*): trama de control que permite reservar el medio. Es enviada al AP informando a éste y a las demás estaciones conectadas a él que hay una estación que va a enviar información y adicionalmente cuánto tiempo estima utilizar el medio.
- Libre para Enviar (*Clear-To-Send, CTS*): es la respuesta al RTS y contiene un campo que establece un tiempo lo suficientemente amplio para que se pueda transmitir. Todas las estaciones que se encuentran en el rango del AP reciben la trama CTS y actualizan un vector de reserva de red.

En la Figura 2.5 se observa un ejemplo de nodo oculto.

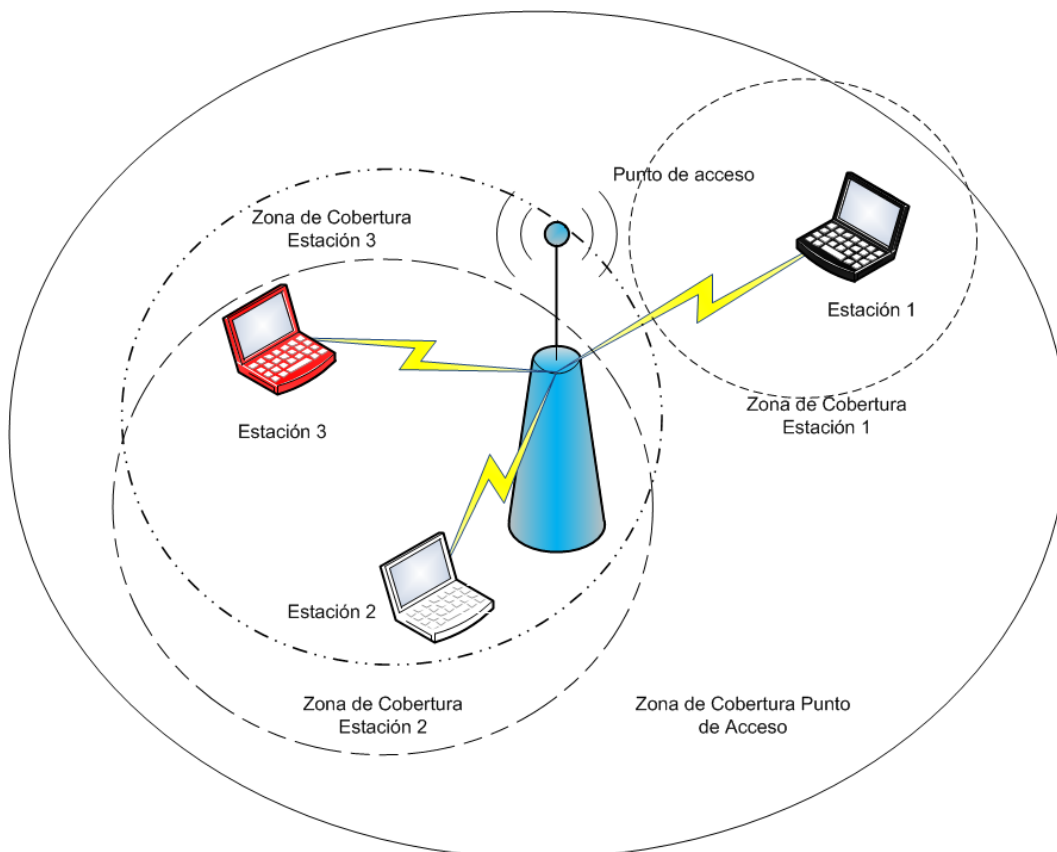


Figura 2.5: Problema del nodo oculto.
Fuente: Realización propia.

Como se mencionó anteriormente, se utiliza una técnica para determinar si el medio está en uso o no, esta técnica es denominada Portadora Sensitiva y utiliza dos métodos:

- Revisar la capa PHY y analizar si hay una portadora en el medio.

- Utilizar el Vector de Reserva de Red (*Network Allocation Vector, NAV*) en el cual se establece un tiempo de uso del canal.

La subcapa MAC posee una arquitectura propia, la cual se observa en la Figura 2.6.

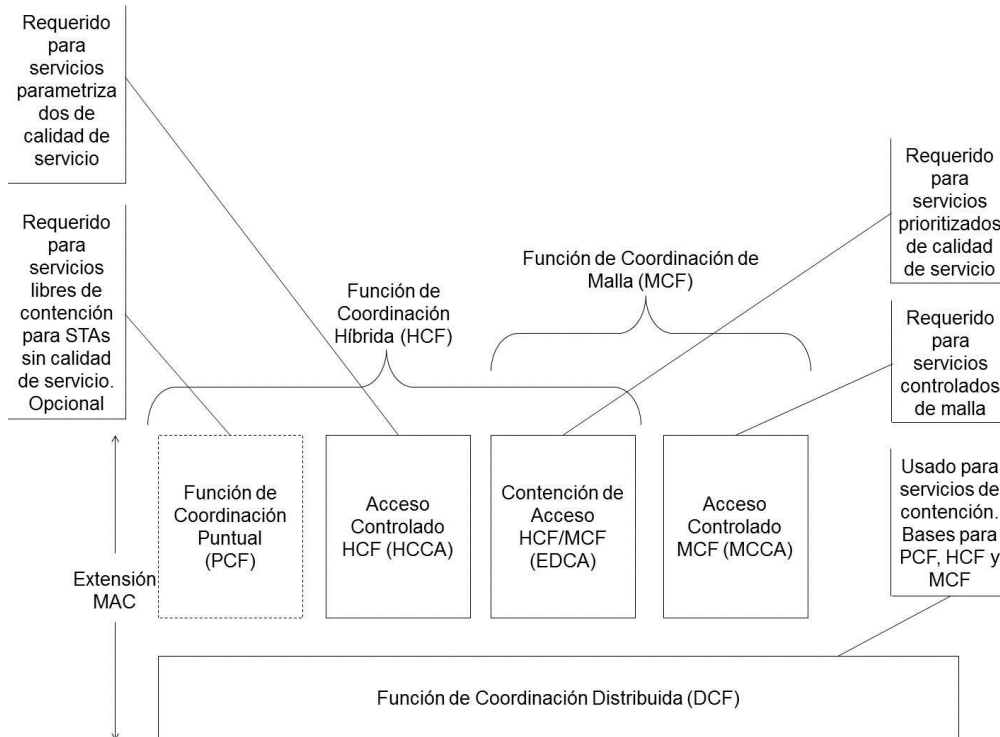


Figura 2.6: Arquitectura MAC.
Fuente: [1]

- La **Función de Coordinación Distribuida (*Distributed Coordination Function, DCF*)** establece un tiempo por el cual una estación va a esperar para que se libere el medio. Este tiempo se llama **Espacio entre Tramas DCF (*DCF Interframes Space, DIFS*)**. Una vez que el DIFS culmine, el medio queda libre para que otra estación pueda transmitir. Para evitar que dos o más estaciones transmitan al mismo tiempo, DCF utiliza un **Algoritmo de Alejamiento Aleatorio (*Random Backoff Algorithm*)** en el cual se escoge aleatoriamente un valor entre 0 y el tamaño de la ventana de contención. Este valor aleatorio determina cuántos *slots* de tiempo debe esperar la estación para que se libere el medio y así poder transmitir [12].
- Las tramas de reconocimiento tienen como función indicarle al emisor que el receptor recibió la trama enviada. Estas tramas esperan un tiempo especial que es solo para ellas, éste se llama **Espacio Corto entre Tramas (*Short Interframes Space, SIFS*)** y es 2 *slots* de tiempo más corto que el DIFS.
- La **Función de Coordinación Puntual (*Point Coordination Function, PCF*)** es un método de acceso opcional que sólo funciona en redes con infraestructura ya que el AP se establece como un **Coordinador Puntual (*Point Coordinator, PC*)** con el fin de determinar qué estación tiene el derecho de transmitir. Se utiliza un **Período Libre de Contención (*Contention-Free Period, CFP*)** el cual es un tiempo asignado a las STAs cuando tienen el derecho de transmitir. En la Figura 2.7 se puede observar la línea de tiempo del PCF y del período de contención [12].

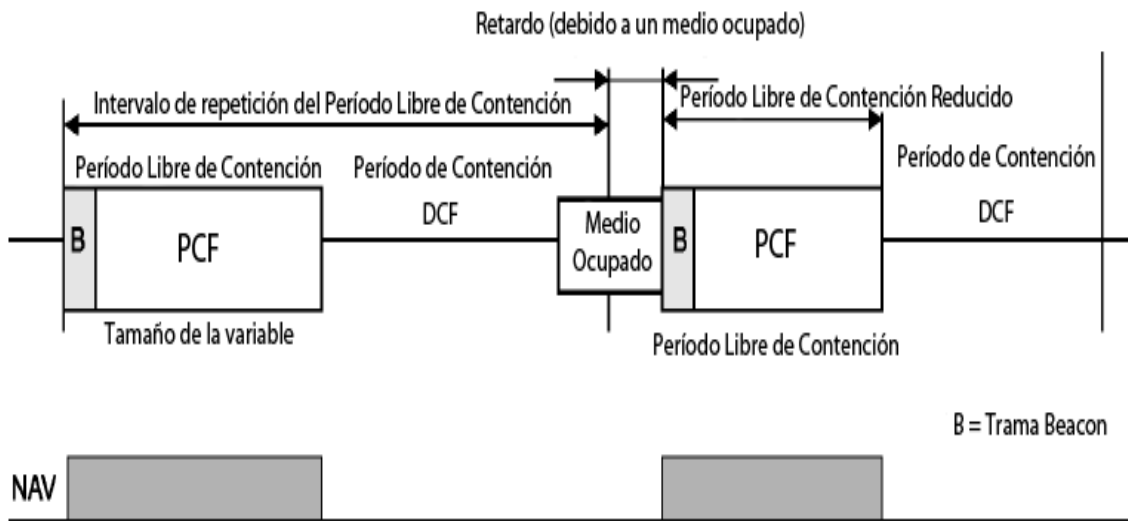


Figura 2.7: Línea de tiempo PCF y período de contención.
Fuente: [1]

- El Espacio entre Tramas por Prioridad (*Priority Interframe Space, PIFS*) es un tiempo en el que se intenta acceder al medio luego de que el período libre de contención haya comenzado. La Figura 2.8 muestra la relación entre los SIFS, DIFS y PIFS [12].

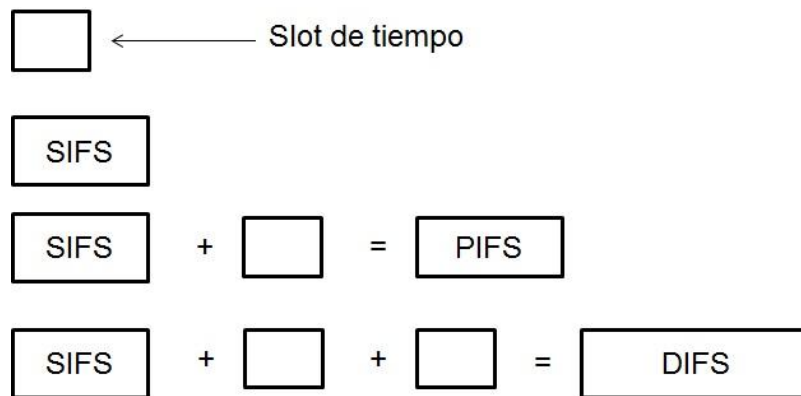


Figura 2.8: Relación SIFS, PIFS, DIFS.
Fuente: [12]

- La Función de Coordinación Híbrida (*Hybrid Coordination Function, HCF*) sólo está presente en configuraciones de red que soporten calidad de servicio pero no en estaciones malladas. Combina funciones de DCF y PCF con mecanismos específicos de calidad de servicio para permitir el intercambio de las tramas durante el período de contención y el período libre de contención [1]. Para cada período se utiliza un método de acceso al canal:
 - El mecanismo Mejorado de Acceso Distribuido al Canal (*Enhanced Distributed Channel Acces, EDCA*) es utilizado para los períodos de contención y define

cuatro categorías de acceso que proveen soporte para la entrega del tráfico con prioridad de usuarios en las STAs.

- El mecanismo de Acceso Controlado al Canal (*Controlled Channel Access, HCCA*) es utilizado para los períodos libres de contención y se define un coordinador centralizado de calidad de servicio al cual se le asigna una prioridad mayor para que pueda acceder al medio.
- La Función de Coordinación Mallada (*Mesh Coordination Function, MCF*) sólo es utilizada en BSS mallado. Es compatible con DCF y PCF y los mecanismos utilizados son: EDCA y el Acceso Controlado al Canal MCF (*MCF Controlled Channel Access, MCCA*) respectivamente [1].

Adicionalmente, la subcapa MAC realiza las siguientes operaciones [12]:

- Conectividad de la Estación: detalla cómo una estación se acopla a un BSS, para ello se realizan tres intercambios de tramas:
 - Proceso de Rastreo o Sondeo: es utilizado por las STAs para determinar a cuál AP deben conectarse. La STA envía una trama 802.11 requiriendo el sondeo en cada canal permitido según la región; esta trama contiene información sobre las tasas de datos soportadas por la STA y a qué conjunto de servicios pertenece mediante el envío del Identificador del Conjunto de Servicios (*Services Set Identifier, SSID*). Cuando el AP recibe exitosamente la trama, éste responde indicando una marca de tiempo, el intervalo de la trama *beacon*; permite determinar si existen APs cerca de la STA, el SSID, las tasas de datos soportadas y los parámetros de configuración de la capa PHY. Al culminar este proceso, la STA ha determinado a qué AP conectarse.
 - Proceso de Autenticación: básicamente consiste en la autenticación del dispositivo mediante dos modos de autenticación: abierta (sin contraseña) y de clave compartida (con contraseña), y se determina si el dispositivo está autorizado en la red.
 - Proceso de Asociación: le permite al AP mapear un puerto lógico o un Identificador de Asociación (*Association Identifier, AID*) con la STA. Este proceso se inicia cuando la STA envía una trama de solicitud de asociación que contiene información como el intervalo durante el cual la STA escuchará el medio en espera de una respuesta del AP, el SSID y la tasa de datos soportada por la STA. Esta información es completada por el AP en la trama de respuesta e incluye el éxito o el fracaso de la asociación y en caso de éxito envía el AID con el cual se enviarán las tramas y qué tasas de datos él soporta.
- Ahorro de Energía: la subcapa MAC permite el ahorro de energía y lo realiza con el fin de conservar la vida útil de las baterías de los dispositivos móviles. Se proveen operaciones para el ahorro de energía, las cuales son:
 - Operación de Trama Unicast: al realizarse el proceso de asociación de la STA, a través de una trama, se establece un tiempo en el que se escuchará el medio esperando una respuesta. En esta trama se incluye un Mapa de Indicación de Tráfico (*Traffic Indication Map, TIM*) el cual contiene la lista de todos los AIDs, que tienen buffer de tráfico en el AP, y se le notifica a la STA que tiene buffer de tráfico. Cuando la STA determina que hay tramas en buffer para ella, envía una trama de gestión 802.11 conocida como Sondeo de Ahorro de Energía (*Power Save Poll, PS-Poll*). El AP responde a esta trama y le indica al cliente si tiene más tramas en buffer obligando a la STA a enviar tramas PS-Poll por cada trama que esté en buffer.

- Operación de Trama Multicast/Broadcast: básicamente presenta el mismo funcionamiento que la operación de trama Unicast, con la diferencia de que el tiempo de escucha es determinado por un administrador y las STAs reciben las tramas por broadcast o multicast. Existe un TIM especial llamado Mapa de Indicación de Entrega de Tráfico (*Delivery TIM, DTIM*) que indica si el AP tiene buffer de tráfico multicast o broadcast y todas las STAs tienen buffer de tráfico broadcast o multicast siempre y cuando haya al menos una STA asociada al AP que sea de ahorro de energía.
- Formato de las Tramas 802.11: existen tres categorías para las tramas en la subcapa MAC de 802.11
 - Tramas de Datos: contienen la información de una STA enviada entre el transmisor y el receptor. En la Figura 2.9 se observa el formato de la trama de datos [12].

Trama de control	Duración	DA	BSSID	SA	Control de Seq	Carga útil	FCS
2 Bytes	2 Bytes	6 Bytes	6 Bytes	6 Bytes	2 Bytes	0-2312 Bytes	4 Bytes

Figura 2.9: Formato de la trama de datos.
Fuente: [12]

- Tramas de Control: facilitan las tramas de datos durante intercambios normales de datos 802.11. Estas tramas son: PS-Poll, RTS, CTS, ACK, CF-End y CF-ACK; las cuales sirven para ahorro de energía, solicitar el envío de datos, autorizar el envío de datos, reconocer el envío de los datos, indicar el fin del período libre de contención y la trama de reconocimiento que se utiliza en el período libre de contención, respectivamente. La Figura 2.10 muestra el formato de la trama de control ACK [12].

Trama de control	Duración	RA	FCS
2 Bytes	2 Bytes	6 Bytes	4 Bytes

Figura 2.10: Formato de la trama de control ACK.
Fuente: [12]

- Tramas de Gestión: facilitan la conectividad, autenticación y el estado de una WLAN. En la Figura 2.11 se observa el formato de trama para el proceso de asociación [12].

Trama de control	Duración	DA	SA	BSSID	Control de Seq	Campo de información de capacidad	Campo de código de estado	Campo AID	Tasas IE Soportadas
------------------	----------	----	----	-------	----------------	-----------------------------------	---------------------------	-----------	---------------------

Figura 2.11: Formato de la trama de administración (proceso de asociación).
Fuente: [12]

2.3 Enrutadores inalámbricos

Un enrutador inalámbrico es un dispositivo que transmite información entre la red local y las redes externas, como Internet [13]. Esta información puede ser transmitida inalámbricamente o vía cableada.

2.3.1 Funcionamiento

Los enrutadores inalámbricos cumplen básicamente tres funciones:

- Enrutador: función encargada de traducir y gestionar el tráfico entre redes de computadores o entre segmentos de red.
- Switch: función encargada de manejar un segmento de red a través de medios cableados.
- Access Point: función encargada de proveer a las STAs servicios de distribución utilizando el medio inalámbrico.

En la Figura 2.12 se puede observar el funcionamiento de un enrutador inalámbrico.

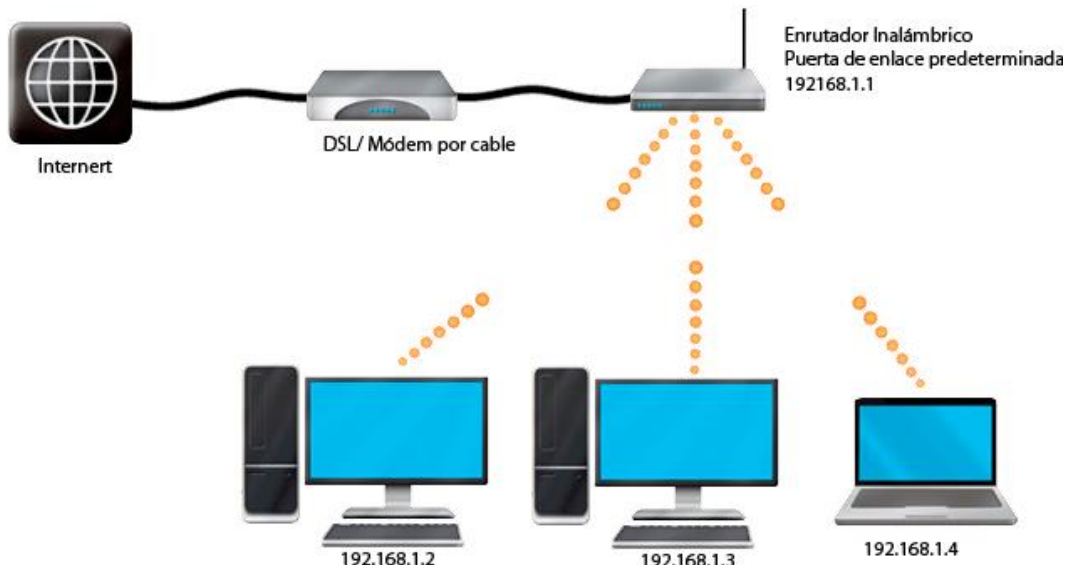


Figura 2.12: Funcionamiento de enrutador inalámbrico.
Fuente: [14]

2.3.2 Características

Los enrutadores inalámbricos constan como mínimo de:

- Puertos LAN: son puertos que permiten conectar computadores utilizando cables con la tecnología Ethernet.
- Puerto WAN: es un puerto que permite la conexión a Internet o redes externas.
- Interfaz de radio 802.11: permite que los dispositivos inalámbricos se conecten al enrutador, a su vez tiene un alcance y cantidad de antenas determinados por el fabricante y puede ser externa o interna. Normalmente cumple las especificaciones del estándar IEEE 802.11.

En la Figura 2.13 se muestra un enrutador inalámbrico con múltiples antenas externas, varios puertos LAN y un puerto WAN.

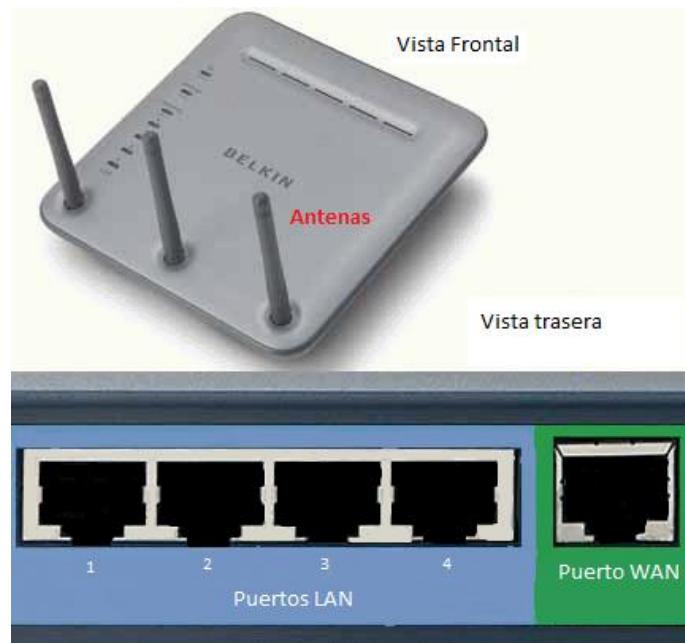


Figura 2.13: Enrutador inalámbrico.
Fuente: [15]

2.3.3 Mecanismos de seguridad

Actualmente los enrutadores inalámbricos proveen mecanismos de seguridad o de autenticación, pero aún existen dispositivos que salieron al mercado antes de que se implementaran las políticas de seguridad.

Entre los mecanismos de seguridad que pueden encontrarse implementados en los enrutadores inalámbricos están:

- WEP: Privacidad Equivalente a Cableada (*Wired Equivalent Privacy, WEP*) es un protocolo de seguridad diseñado para que la seguridad de una WLAN sea tan buena como la de LAN. Cada estación tiene una clave secreta que comparte con la estación base y la forma de distribución de la misma queda a juicio del fabricante del enrutador. Utiliza el algoritmo de encriptación RC4 pero al divulgarse el algoritmo se convirtió en un sistema sumamente vulnerable ya que utiliza un Vector de Inicialización (*Initialization Vector, IV*) de 24bits, lo que implica que al cumplirse las 2^{24} combinaciones se tenga que reutilizar el IV, lo cual facilita el descifrado de los paquetes enviados [9].
- WPA/WPA2: Acceso Protegido a Wi-Fi (*Wi-Fi Protected Access, WPA*) es un estándar de seguridad para redes inalámbricas con el fin de proveer alta protección a los datos y controlar el acceso a la red. Soluciona las vulnerabilidades presentadas por WEP ya que utiliza un algoritmo de cifrado de 128 bits. Presenta dos versiones:
 - WPA Personal: protege a la red de accesos no autorizados mediante una clave pre-compartida o una frase de acceso.
 - WPA Enterprise: verifica a los usuarios de la red mediante un servidor de autenticación [16].
- RADIUS: el Servicio de Autenticación Remota de Usuario (*Remote Authentication Dial In User Service, RADIUS*) es un protocolo de autenticación, autorización y configuración de la información entre un servidor de acceso a la red y un servidor de autenticación compartido. Este protocolo permite que se le asignen servicios según los privilegios del usuario autenticado. Se establece un usuario y una contraseña y se envía la contraseña

cifrada entre el servidor de acceso a la red y el servidor RADIUS con el fin de eliminar la posibilidad de que se observe la red para determinar una contraseña. No tiene un mecanismo de seguridad establecido ya que soporta varios mecanismos [17]. En ocasiones es utilizado en WPA Enterprise [16].

2.3.4 Tipos

En el mercado existe una gran variedad de empresas que producen enrutadores inalámbricos y los producen según las necesidades de cada quien:

- Enrutadores domésticos o de empresas pequeñas: están diseñados para usos generales y son aquellos que tienen mayores limitaciones, como no realizar calidad de servicio avanzado, modificar emisiones de radio, utilizar en algunos casos doble banda, múltiples nombres de red, soportar grandes cargas y ráfagas de tráfico.
- Enrutadores empresariales: están diseñados para proporcionar comunicaciones fiables, y superar cualquier reto de crecimiento planteado del negocio. Adicionalmente, están equipados con más funcionalidades que los enrutadores domésticos [18].

2.4 Herramientas para el aprendizaje de Wi-Fi

En esta sección se presenta una descripción de varias herramientas que pueden ser utilizadas para comprender el funcionamiento de los enrutadores inalámbricos y de las redes Wi-Fi. La sección fue dividida en tres aspectos: emuladores, simuladores y certificaciones. Estas herramientas podrían ser utilizadas por los estudiantes para obtener las destrezas a nivel de manejo y configuración de redes Wi-Fi.

2.4.1. Emuladores

Un emulador es un sistema que tiene como finalidad imitar las acciones de otro procurando igualarlas e incluso excederlas [19]. Un uso común de los emuladores es imitar la arquitectura de una consola de videojuegos para poder reproducirlos. En el caso de esta investigación, se evaluaron emuladores cuyo propósito es imitar el comportamiento y configuración de los enrutadores inalámbricos; para ellos se consiguieron emuladores de algunos fabricantes y versiones de firmware.

- TP-LINK (*Twisted Pair Link*) es una empresa de origen chino fundada en 1996. En el 2003 se lanzan los primeros productos 802.11b con una capacidad de 11 Mbps. A partir del 2005 se convirtió en un proveedor a nivel mundial de productos para redes de comunicaciones inalámbricas, ADSL, Enrutadores, Switches, etc. Estos emuladores presentan las siguientes ventajas y desventajas [20].
 - Ventajas: permite interactuar con un gran número de dispositivos de la empresa, en el que se escoge qué dispositivo utilizar y además indica qué versión de hardware y de firmware tiene el simulador. Adicionalmente muestra la interfaz de configuración de cada dispositivo listado y una ayuda referente a cada campo.
 - Desventaja: el emulador no ofrece soporte a todos los dispositivos fabricados por la empresa, lo que trae un problema si se quiere trabajar con otros dispositivos.
- Linksys: empresa que realiza productos para redes domésticas y de pequeñas empresas. Fundada en 1988 en California - EEUU, se encargó de distribuir productos que incluían hubs Ethernet, tarjetas de red y cables. A partir del año 2000 comenzó a fabricar y distribuir enrutadores los cuales tenían soporte al Protocolo Simple de Administración de Red (*Simple Network Management Protocol, SNMP*) y prestaban

Calidad de Servicio (*Quality of Service, QoS*). En el año 2003 fue comprada por la empresa Cisco Systems. Linksys ofrece diversos emuladores para los dispositivos fabricados por ellos. Estos emuladores presentan las siguientes ventajas y desventajas [21].

- Ventajas: permite interactuar con un gran número de dispositivos de la empresa. Cada dispositivo tiene un conjunto de versiones de firmware. Muestra la interfaz de configuración de cada dispositivo según el firmware y una ayuda referente a cada campo.
- Desventajas: existen páginas de emuladores que no se pueden revisar debido a que los enlaces están rotos o erróneos y no existe una clasificación para los dispositivos, lo que extiende el proceso de búsqueda.
- TalkTalk: TalkTalk Telecom Group PLC es una empresa que provee servicios de televisión paga, telecomunicaciones y acceso a Internet a negocios y consumidores en el Reino Unido. Fue fundada en el año 2003 por The Carphone Warehouse PLC. TalkTalk ofrece diversos emuladores para los dispositivos fabricados por ellos. Estos emuladores presentan las siguientes ventajas y desventajas [22].
 - Ventaja: muestra la interfaz de configuración de un dispositivo y una ayuda referente a cada campo.
 - Desventaja: sólo está disponible para el Modelo: SNA5630NS/05.
- TrendNet: es un proveedor global de soluciones de red para hogares y PYMES (Pequeñas y Medianas Empresas). Fundada en 1990, permite a los usuarios compartir acceso de banda ancha, contenido multimedia y periféricos de red con conectividad desde cualquier lugar. Sus productos cumplen las normas de la región donde son fabricados y vendidos para el cuidado del medio ambiente. TrendNet ofrece diversos emuladores para los dispositivos fabricados por ellos. Estos emuladores presentan las siguientes ventajas y desventajas [23].
 - Ventajas: permite interactuar con una gran cantidad de dispositivos. Antes de seleccionar un dispositivo, se muestra una descripción del mismo; lo que facilita la búsqueda y selección de dispositivos.
 - Desventajas: no permite seleccionar una versión de firmware. Existen páginas de emuladores que no se pueden revisar debido a que los enlaces están rotos o erróneos.
- Netgear: es una empresa estadounidense fundada en 1996 especializada en la producción y venta de sistemas de redes. Su producción incluye tarjetas de red, hubs, enrutadores DSL, Firewalls, servidores de impresión, componentes para WLAN, entre otros. Netgear ofrece diversos emuladores para los dispositivos fabricados por ellos. Estos emuladores presentan las siguientes ventajas y desventajas [24].
 - Ventajas: permite interactuar con una gran cantidad de dispositivos. Las páginas que se encuentran en inglés brindan más opciones, más información y mejor funcionamiento.
 - Desventajas: no permite seleccionar una versión de firmware. No se muestra una descripción para cada dispositivo, lo que dificulta la búsqueda. Algunos emuladores están en francés ocasionando que se utilicen traductores de tal forma de poder determinar qué característica se menciona. Existen páginas de emuladores que no se pueden revisar debido a que los enlaces están rotos o erróneos. Hay páginas que en el estado de la configuración señalaba la presencia de la opción "Wireless" pero no existía una opción que permitiera configurarlo. Los botones y pestañas de algunas páginas no funcionaban.
- D-Link: en el año 1986 se funda la empresa Datex Systems, Inc. La cual se encargaba de distribuir adaptadores Ethernet y hub Ethernet. En 1992 se renombró a D-Link

Corporation y fue el primero en distribuir switches Fast Ethernet con enrutador remoto ISDN. D-Link fue uno de los primeros en sacar al mercado productos de redes de área local inalámbrica 802.11a en la banda de 5 GHz y es la primera compañía en introducir el concepto de Green Ethernet [25], la cual permite que los dispositivos ahorren energía, en sus switches a Gigabit. D-Link ofrece diversos emuladores para los dispositivos fabricados por ellos. Estos emuladores presentan las siguientes ventajas y desventajas [26].

- Ventaja: permite la selección de una gran cantidad de dispositivos.
- Desventajas: existen páginas de emuladores que no se pueden revisar debido a que los enlaces están rotos o erróneos. No existen emuladores para todos los dispositivos.
- DrayTek: en el año 1997 se funda la empresa Draytek, encargada de producir hardware de calidad orientado a las redes y a las telecomunicaciones. Fue la primera empresa en diseñar el USB ISDN TA [27], es un adaptador que permite conectar dispositivos a la red mediante el puerto USB y admite enviar transmisiones de audio y video simultáneamente [28]. Estos emuladores presentan las siguientes ventajas y desventajas.
 - Ventaja: tiene un conjunto de dispositivos a escoger.
 - Desventaja: no muestra una descripción de los dispositivos.
- DD-WRT es un firmware alternativo basado en Linux OpenSource adaptado para una gran variedad de enrutadores inalámbricos y sistemas embebidos, como dispositivos USB. El énfasis principal radica en proporcionar la manipulación más sencilla posible y, al mismo tiempo, apoyar un gran número de funcionalidades en la plataforma de hardware utilizado. DD-WRT permite un funcionamiento fiable con una funcionalidad claramente más grande que también cumple con las exigencias del despliegue profesional. DD-WRT ofrece diversos emuladores para los dispositivos fabricados por ellos. Estos emuladores presentan las siguientes ventajas y desventajas [29].
 - Ventajas: muestra una introducción al firmware y una descripción de cómo se puede acceder a la interfaz y adicionalmente qué opciones se incluyen en el firmware. Ofrece diversos emuladores.
 - Desventaja: Existen páginas de emuladores que no se pueden revisar debido a que los enlaces están rotos o erróneos.

2.4.2. Características generales de los emuladores

Cabe destacar que los emuladores descritos anteriormente presentan características en común, y éstas son:

- Los emuladores se pueden acceder desde la Web.
- Permiten establecer los parámetros de configuración del dispositivo.
- Los emuladores no almacenan la información que se les coloca, por ende, los emuladores son editables pero no configurables de forma permanente.
- Cuando se presentan diversos firmwares para un dispositivo, ocurre lo siguiente:
 - Son firmwares totalmente iguales: interfaz, características, etc.
 - Existen firmwares con características iguales, pero las interfaces son distintas.
 - Existen firmwares con interfaces iguales, pero tienen características diferentes.
 - Existen firmwares totalmente distintos tanto en la interfaz como las características soportadas.

2.4.3. Enrutadores evaluados

Después de haber encontrado los emuladores descritos anteriormente, se realizó un estudio para determinar cuáles son los enrutadores que están presentes en cada uno de los emuladores. El estudio arrojó un total de 267 dispositivos y/o versiones de firmware.

En la Tabla 2.6 se observa un resumen de los modelos evaluados para cada fabricante. En la columna Modelos Evaluados se hace referencia a la serie del modelo. Para algunos modelos se hizo revisión sobre diferentes versiones de firmware. Cuando se hace referencia a las siglas xyz se indica que se evaluaron varios modelos para esa serie de enrutadores. En el caso de DD-WRT, se hace referencia a la versión de firmware evaluada.

Tabla 2.6: Enrutadores inalámbricos evaluados.
Fuente: Realización propia.

Fabricante	Modelos Evaluados	Cantidad de Enrutadores Evaluados
TP-Link	TL-MR3xyz, TL-WA5110G, TL-WDRxyz, TL-WRxyz	34
Linksys	BEFxyz, Exyz, EAxyz, HR200, M10, WAGxyz, WRxyz, WRTxyz, WRVxyz, X2000, X3000	126
TalkTalk	SNA5630NS/05	1
TrendNet	TEW-xyz, TPL-111BR	45
NetGear	DG834xyz, FVG318, MR184v2, WGR614, WGR624	14
D-Link	WBR-xyz, DI-xyz, DIR-xyz, DAP-1350, DGL-xyz	23
DrayTek	Vigorxyz Series, VigorPro xyz Series	22
DD-WRT	V23-DD-WRT, V24beta-DD-WRT	2

2.4.4. Comparación de los emuladores

Con el fin de determinar las características soportadas por los emuladores mencionados anteriormente, se revisaron los dispositivos ofertados por éstos. Para ello, se clasificó cada característica encontrada por fabricante del enrutador y se contabilizó la cantidad de enrutadores que soportan cada característica, al finalizar la evaluación, se procedió a totalizar los resultados obtenidos para cada fabricante y se calculó un porcentaje, el cual consistió en el total de enrutadores que soportaban dicha característica dividido por el total de enrutadores evaluados.

La evaluación de los enrutadores inalámbricos arrojó un total de ciento veintitrés (123) características. Debido a la cantidad de características encontradas, se decidió investigar cuáles eran obligatorias según el estándar IEEE 802.11 [1] y estas son:

- Configuración del Canal: permite seleccionar el canal dónde operará el BSS.
- Cambio del SSID: permite la modificación del Identificador del Conjunto de Servicio (*Service Set Identifier, SSID*), mejor conocido como el nombre de la red, lo cual facilita que el usuario reconozca rápidamente a qué red se debe conectar.
- Configuración LAN: se utiliza para establecer los parámetros de la red de área local tales como la dirección IP y la configuración del Protocolo de Configuración Dinámica de Host (*Dynamic Host Configuration Protocol, DHCP*).
- Seguridad Inalámbrica: permite habilitar las opciones de seguridad para la red Wi-Fi. Los mecanismos obligatorios son: WEP, el Sistema de Autenticación Abierto (*Open System Authentication, OSA*) el cual admite cualquier STA en el DS y la Autenticación

de Clave Compartida (*Shared Key Authentication, SKA*) se basa en WEP para demostrar el conocimiento de la clave cifrada.

- Intervalo de la Trama Beacon: permite configurar cada cuánto tiempo se enviará una trama Beacon.
- Configuración de RTS/CTS: permite configurar el tiempo requerido para enviar las tramas RTS/CTS.
- Selección de Región: se debe configurar en qué región geográfica se encuentra el AP, ya que cada una de las regiones tienen regulaciones de uso propias.
- Selección de Modo: permite seleccionar con cuál estándar IEEE 802.11 va a funcionar el enrutador inalámbrico (por ejemplo, a/b/g/n).
- Selección de Antena: a partir de la edición del estándar del año 2007 [30] se introduce el concepto de múltiples antenas, y gracias a esto se debe escoger cuál antena será la emisora y cuál la receptora.
- Umbral de Fragmentación: permite configurar el tamaño máximo del paquete fragmentado.
- Selección Dual-band: ofrece la opción de seleccionar entre las dos bandas soportadas por el estándar: 2.4 GHz y 5 GHz.

Posteriormente, se decidió determinar cuáles son las características que más se presentan en los enrutadores inalámbricos. Para ello se calculó un porcentaje, el cual se ve reflejado en (1), donde $característica_i$ es igual a 1 si la característica está presente en el enrutador inalámbrico i y 0 en caso contrario; y el $porcentaje_j$ indica la proporción de enrutadores inalámbricos que soportan la característica j ($j = 1, \dots, 123$). Consecutivamente, se procedió a seleccionar aquellas características no obligatorias que tenían un porcentaje mayor al 50% como se observa en (2).

$$porcentaje_j = \frac{\sum_{i=1}^{267} caracteristica_i}{267} * 100 \quad (1)$$

$$porcentaje_j \geq 50\% \quad (2)$$

Adicionalmente, no solo se escogieron las características que cumplían la condición mostrada en la ecuación (2), sino también se escogieron aquellas que se consideraron relevantes para la enseñanza de redes Wi-Fi, tal como estadísticas de uso y soporte IPv6. Las características que se seleccionaron y que estarán en la herramienta a desarrollar se describen a continuación:

- Configuración WAN: se utiliza para establecer los parámetros de red (por ejemplo dirección IP) de forma tal que un dispositivo asociado a este enrutador pueda tener acceso a la red de área amplia.
- Configuración DHCP: permite establecer si las direcciones IP serán configuradas de manera automática o no.
- Control de Acceso: permite controlar las actividades de los nodos hacia Internet, como por ejemplo se puede restringir el acceso a contenido indebido.
- Enrutamiento: permite establecer el protocolo de enrutamiento que el enrutador usará para calcular las rutas usadas en el encaminamiento de los paquetes, por ejemplo el Protocolo de Información de Enrutamiento (*Routing Information Protocol, RIP*).
- Filtrado MAC: permite asignar privilegios o restricciones de conexión a dispositivos que se conecten al enrutador inalámbrico mediante su dirección MAC.

- Calidad de Servicio: permite controlar el ancho de banda a utilizar según las necesidades de cada aplicación; adicionalmente permite segmentar el ancho de banda para cada cliente conectado al enrutador inalámbrico.
- Estado: permite observar el estado actual del enrutador inalámbrico y cualquier cambio que se haya realizado en la configuración.
- Herramientas del Sistema: permite configurar reportes, correos, estadísticas, idioma, zona horaria y reiniciar y actualizar el enrutador inalámbrico.
- Modo de operación: permite seleccionar si el dispositivo funcionará como un AP, enrutador o switch.
- Zona Desmilitarizada (*Demilitarized Zone, DMZ*): ofrece la opción de configurar una zona desmilitarizada, usualmente empleada para ubicar servidores a los que se debe tener acceso remoto.
- Estadísticas: muestra un resumen estadístico acerca del uso del enrutador inalámbrico.
- IPv6: configuración del protocolo de red IPv6 (requiere soporte del protocolo).
- Configuración Rápida (*Quicksetup*): facilita una configuración rápida y asistida del enrutador inalámbrico.
- LAN Virtual (*Virtual LAN, VLAN*): ofrece una opción de configuración de VLANs.
- Red Virtual Privada (*Virtual Private Network, VPN*): permite la configuración de una VPN.

En la Tabla 2.7 se encuentran las características que son obligatorias según el estándar IEEE 802.11 y el porcentaje de presencia de estas características en los 267 enrutadores evaluados, y se calculó el porcentaje utilizando la ecuación (1).

Tabla 2.7: Características obligatorias según IEEE 802.11.

Fuente: Realización propia.

Características	Porcentaje
Configuración Canal	99,6%
Configuración SSID	100%
Configuración LAN	100%
Seguridad inalámbrica	100%
Intervalo de la trama Beacon	83,8%
Configuración de RTS/CTS	37,4%
Selección de región	19,4%
Selección de Modo	92,1%
Selección de antena	3,3%
Threshold de fragmentación	83,8%
Selección dual-band	8,9%

En la Tabla 2.8 se muestran las características seleccionadas por la ecuación (2), complementadas con algunas características deseables para la enseñanza de las redes inalámbricas. En la tabla se lista el fabricante y cuántos dispositivos cumplen cada característica.

Tabla 2.8: Cantidad de enrutadores que presenta una característica determinada.
Fuente: Realización propia.

Característica	TP-Link	Linksys	TalkTalk	Trend Net	NetGear	D-Link	Dray Tek	DD-WRT
Cantidad total	34	126	1	45	14	23	22	2
Calidad de Servicio	11	102	1	12	0	2	19	2
Cambio SSID	34	126	1	45	14	23	22	2
Configuración Canal	33	126	1	45	14	23	22	2
Configuración DHCP	34	126	1	45	14	23	22	2
Configuración LAN	34	126	1	45	14	23	22	2
Configuración WAN	34	126	1	45	14	23	22	2
Control de Acceso	27	118	1	45	14	20	22	2
DMZ	34	126	1	45	14	23	22	2
Doble Banda	3	17	0	3	0	1	0	0
Enrutamiento	34	122	1	43	14	6	21	2
Estadísticas	34	0	1	30	8	5	1	0
Filtrado MAC	34	119	1	43	0	23	15	2
Herramientas del Sistema	34	124	1	44	14	23	22	2
IPv6	0	9	0	0	0	2	4	1
Modo de Operación	8	37	0	10	0	1	18	2
<i>QuickSetup</i>	34	0	0	2	0	0	4	0
Reserva de Direcciones	34	61	0	26	14	22	0	0
Seguridad	34	126	1	45	14	23	22	2
Selección Antena	0	4	0	0	0	1	2	2
Selección de Modo	33	117	1	40	13	18	22	2
Status	34	126	0	44	14	23	22	2
VLAN	0	3	0	0	0	0	21	2
VPN	32	125	0	42	7	23	22	2

En la Tabla 2.9 se pueden observar los porcentajes que se obtuvieron de las características mencionadas anteriormente, según el total de emuladores evaluados.

Tabla 2.9: Porcentaje de las características adicionales.
Fuente: Realización propia.

Característica	Total	Porcentaje
Calidad de Servicio	149	55,8%
Cambio SSID	267	100%
Configuración Canal	266	99,6%
Configuración DHCP	267	100%
Configuración LAN	267	100%
Configuración WAN	267	100%
Control de Acceso	249	93,2%
DMZ	267	100%
Doble Banda	24	8,9%
Enrutamiento	243	91,%
Estadísticas	79	29,5%
Filtrado MAC	237	88,7%
Herramientas del Sistema	264	98,8%
IPv6	16	5,9%
Modo de Operación	76	28,4%
<i>QuickSetup</i>	40	14,9%
Reserva de Direcciones	157	58,8%
Seguridad	267	100%
Selección Antena	9	3,3%
Selección de Modo	246	92,1%
Status	265	99,2%
VLAN	26	9,7%
VPN	253	94,7%

2.4.5. Simuladores

A diferencia de un emulador, el simulador reproduce el comportamiento de un sistema en determinadas condiciones y es utilizado principalmente para aprender y entender el funcionamiento del sistema [31]. A continuación se describen algunos simuladores que pueden usarse para redes Wi-Fi.

- Pythagor Simulator: es un simulador con propósito académico del protocolo IEEE 802.11 que soporta las versiones 802.11a, 802.11b y 802.11g [1]. Pythagor Simulator presenta las siguientes ventajas y desventajas [3].
 - Ventajas: posee métricas de rendimiento, tales como: throughput, utilización de la red, retardo de acceso al medio, retardo de la cola, retardo total del paquete, longitud de la cola del paquete, intentos de retransmisión del paquete, y jitter. Soporta todos los tipos de capas físicas y tasas de datos incluidos en cada

especificación. Además permite que se configure el nodo utilizando un archivo de configuración.

- Desventajas: sólo funciona en sistemas Windows. No permite configurar un enrutador inalámbrico, sólo permite establecer parámetros para una red 802.11 como cantidad de nodos, tasa de transmisión, etc.
- CNET: es un simulador de red desarrollado por The University of Western Australia, y al estar basado en el Modelo de Referencia OSI permite la experimentación con una diversidad de capas de enlaces de datos, de red, y de transporte. Fue diseñado específicamente para estudiantes de pregrado de los cursos de redes de dicha universidad; es una herramienta utilizada por William Stallings para complementar el material de su libro "Data and Computer Communications, 7th ed." [4].
 - Ventajas: permite la implementación de nuevos protocolos mediante la utilización del lenguaje C. Las redes móviles e inalámbricas pueden ser configuradas para modelar redes IEEE 802.11 utilizando protocolos CSMA/CA. Permite estudiar el comportamiento de las redes móviles e inalámbricas.
 - Desventajas: no funciona en sistemas Windows. No permite configurar enrutadores inalámbricos.
- VisSim: es un lenguaje de diagramas por bloques para crear sistemas complejos dinámicos no lineales. Es utilizado para crear cualquier tipo de modelos, prototipos, etc [32].
 - Ventajas: sirve para explicar el funcionamiento de la capa física y de la subcapa MAC. Permite el estudio de varias tecnologías inalámbricas.
 - Desventajas: sólo funciona en sistemas Windows. Es propietario, y su uso requiere el pago de una licencia. No permite configurar enrutadores inalámbricos.
- ns-3: es un simulador de red (*Network Simulator 3, ns-3*) de eventos discretos, utilizado principalmente con fines investigativos y educativos. Se adapta a las necesidades de simulación de las redes modernas [33].
 - Ventajas: permite configurar parámetros de la capa física y de la subcapa MAC. Permite configurar enrutadores inalámbricos. Utiliza C++ y Python como lenguajes de programación.
 - Desventajas: sólo funciona en sistemas Linux. Es orientado a línea de comando y es poco didáctico.
- GNS3: el Simulador Gráfico de Red (*Graphical Network Simulator 3, GNS3*) permite simulaciones de redes complejas y es ideal como herramienta complementaria en el estudio de las redes de computadores [34].
 - Ventajas: soporta diversos sistemas operativos como Windows, Linux y MAC OS. Permite configuración de enrutadores inalámbricos. Permite conectarse a la red física. Permite utilizar la línea de comando o la interfaz gráfica.
 - Desventajas: depende de imágenes del Sistema Operativo de Interred (*Internetwork Operating System, IOS*), las cuales son provistas por Cisco Systems. Necesita que el enrutador físico sea soportado por la aplicación, como enrutadores Juniper, Cisco 1700, entre otros.
- MiXiM: es un framework de simulación de redes móviles e inalámbricas basado en el simulador Omnet++ [35].
 - Ventaja: permite el estudio de la capa física y de la subcapa MAC tanto del estándar IEEE 802.11 como de otras redes inalámbricas.
 - Desventaja: no permite establecer enrutadores inalámbricos y por lo tanto no permite configurarlos [36].

- Cisco Packet Tracer: es un software para aprendizaje que fue desarrollado para los estudiantes de los diversos programas educativos de Cisco System. Éste es un programa de simulación de redes el cual permite experimentar con el comportamiento de la red. El uso de Cisco Packet Tracer presenta las siguientes ventajas y desventajas [2]:
 - Ventajas:
 - Posee dos modos de operación para visualizar el comportamiento de la red: el modo de tiempo real (la red se comporta como lo hacen los dispositivos reales, obteniendo respuesta inmediata de todas las actividades de la red) y el modo de simulación (se pueden establecer y controlar intervalos de tiempo, transferencia de datos y la propagación de los datos a través de la red).
 - Posee dos espacios de trabajo (*workspaces*): el lógico y el físico [2]. El espacio de trabajo lógico permite a los usuarios construir topologías lógicas de red, mediante la colocación y conexión de los dispositivos virtuales de red. El espacio de trabajo físico: provee una dimensión física gráfica de la red lógica lo que permite tener una idea de cómo se vería en un ambiente real. Adicionalmente, provee una representación geográfica de la red, incluyendo ciudades, edificios, etc.
 - Permite configurar enrutadores, hubs y switches.
 - Tiene como opción mostrar la interfaz gráfica real del dispositivo, lo que facilita el uso si ya se conoce la misma; a la vez de entrenar al usuario en un ambiente real.
 - Proporciona una interfaz propia de configuración, la cual es más simple que la propia interfaz gráfica.
 - Se consigue abundante información sobre su uso.
 - Desventajas: la ejecución de la simulación no es intuitiva. No se encuentra disponible para usuarios MAC OS. Es un software propietario por lo que hay que pagar una licencia para poder usarlo.

2.4.6. Programa de certificación

Esta sección habla de los programas de certificación, los cuales permiten ampliar conocimientos en una determinada área de aprendizaje. Los programas de certificación que se mencionan a continuación tienen como especialización el área de redes de computadores.

- Certificaciones Cisco: Cisco Systems también posee programas que tienen como fin la formación de personal profesional especializado en el diseño, administración y mantenimiento de redes informáticas. Las certificaciones Cisco tienen como ventaja que son reconocidas a nivel mundial, pero para obtener una certificación Cisco se debe asistir a los cursos y además tiene un costo. Algunos de estos programas son:
 - Asociado de Diseño con Certificación Cisco (*Cisco Certified Design Associate, CCDA*).
 - Profesional de Diseño con Certificación Cisco (*Cisco Certified Design Professional, CCDP*).
 - Experto de Redes con Certificación Cisco (*Cisco Certified Internetwork Expert, CCIE*).
 - Profesional de Redes con Certificación Cisco (*Cisco Certified Internetwork Professional, CCIP*).
 - Asociado de Redes con Certificación Cisco (*Cisco Certified Network Associate, CCNA*).

- Profesional de Redes con Certificación Cisco (*Cisco Certified Network Professional, CCNP*).
- Profesional de Seguridad con Certificación Cisco (*Cisco Certified Security Professional, CCSP*).
- Certificaciones CCWA: el Asociado de WAN con Certificación Cambridge (*Cambridge Certified WAN Associate, CCWA*) es un programa de certificación de redes WAN basado en Cisco y en la iniciativa de la UNESCO de “Educación para Todos para el 2015” [37]. Las certificaciones CCWA presentan las siguientes ventajas y desventajas [38]:
 - Ventajas: permite la obtención de certificaciones gratis y desde cualquier lugar del mundo mediante Internet. Presenta videos en donde se explican los diversos contenidos necesarios para obtener la certificación. No hay que registrarse ni hay un límite de videos diarios, por lo que se facilita el estudio.
 - La desventaja que presenta es que no posee cursos, tutoriales, certificaciones sobre las redes inalámbricas.

3. ICARO Wi-Fi Simulator

En este capítulo se describen el conjunto de actividades realizadas para el desarrollo del software, llamado ICARO Wi-Fi Simulator, la metodología y las herramientas utilizadas. Para la implementación de ICARO Wi-Fi Simulator se utilizó el Modelo en Cascada

3.1. Modelo en Cascada

El modelo en Cascada es un proceso de desarrollo de software en el cual se consideran las actividades para la implementación de la aplicación. Este modelo consta de las siguientes etapas [39]:

- Análisis y definición de requerimientos.
- Diseño del software.
- Implementación y prueba de unidades.
- Integración y prueba de sistema.
- Funcionamiento y mantenimiento.

En la Figura 3.1 se puede observar las fases del Modelo en Cascada.

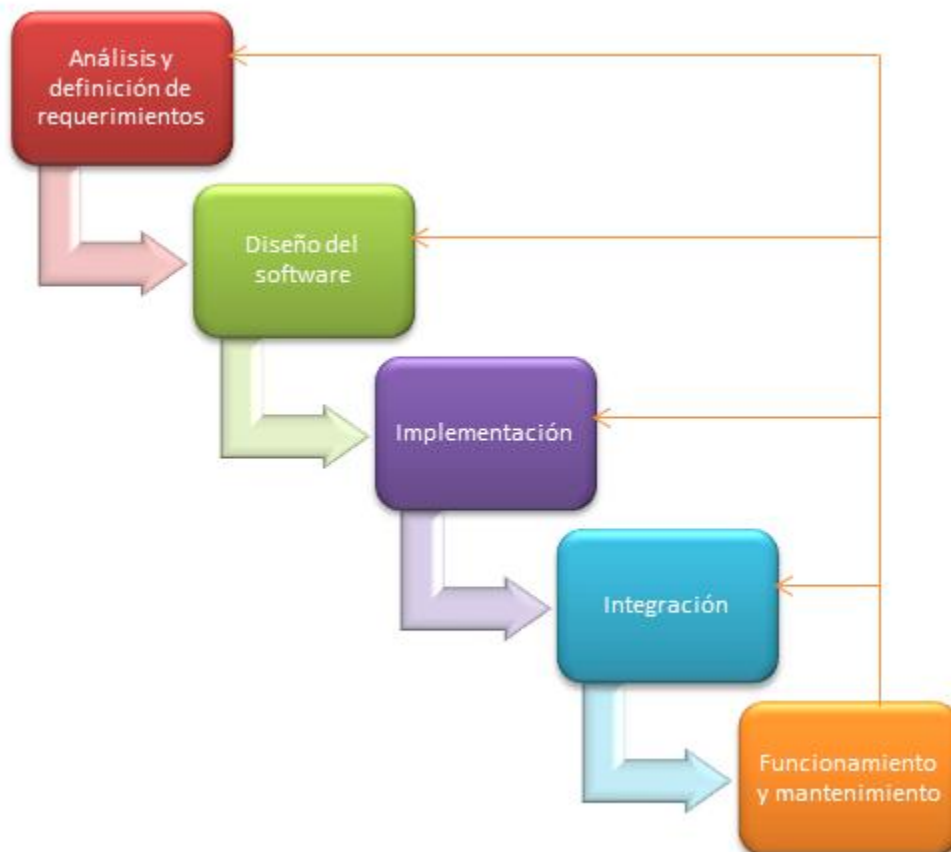


Figura 3.1: Fases del Modelo en Cascada.
Fuente: Realización propia.

3.1.1. Análisis y definición de los requerimientos

Esta etapa consiste en definir y analizar los servicios, limitaciones y metas para el desarrollo del software [39].

3.1.2. Diseño del software

En esta etapa se separan cuáles son los requerimientos de software y de hardware. Para el diseño de software se identifican y se describen las abstracciones fundamentales del software y sus relaciones [39].

3.1.3. Implementación y pruebas de unidades

En esta etapa se lleva a cabo la implementación de la herramienta según los requerimientos y el diseño. La implementación se puede dar en conjunto o en unidades de programa. Adicionalmente se realizan pruebas de unidades, las cuales consisten en verificar que se cumplan las especificaciones en cada una [39].

3.1.4. Integración y prueba del sistema

En esta etapa, las unidades de programa se integran para formar un todo y se realizan pruebas para determinar que la integración ha sido exitosa y que se cumplan los requerimientos.

3.1.5. Funcionamiento y mantenimiento

Después de haber realizado las etapas anteriores, se pone en funcionamiento la herramienta y además se corrigen los errores que no se presentaron en las fases precedentes. En algunos casos, la ejecución de esta etapa implica que se tenga que regresar a otra etapa y poder así realizar los cambios pertinentes [39].

3.2. ICARO Wi-Fi Simulator

ICARO Wi-Fi Simulator es una herramienta que tiene como finalidad complementar los conceptos teóricos de las redes Wi-Fi, específicamente, los enrutadores inalámbricos. Con ICARO Wi-Fi Simulator se podrá configurar enrutadores inalámbricos, conectar STAs a los enrutadores inalámbricos, crear BSSs, y crear IBSSs.

Adicionalmente, es un software que emula la herramienta *ping* [40] y el envío de paquetes desde una estación a otra. A continuación se describen las etapas del Modelo en Cascada adaptadas a este trabajo.

3.2.1. Análisis y definición de requerimientos

Entre los requerimientos de este trabajo están:

- Adición de componentes, como enrutadores inalámbricos y estaciones.
- Configuración de los componentes a una red de infraestructura y/o a una red Ad-hoc.
- Visualización de conexión.

Para este trabajo, no sólo se consultaron cuáles son los requerimientos de la herramienta sino que también se procedió a realizar un estudio en el que se detectan qué características deben estar presentes en ella. Este estudio se puede encontrar en la Sección 2.4.1, en la Sección 2.4.4 y en el Anexo A. En la Figura 3.2 se puede observar el diagrama de casos de uso.

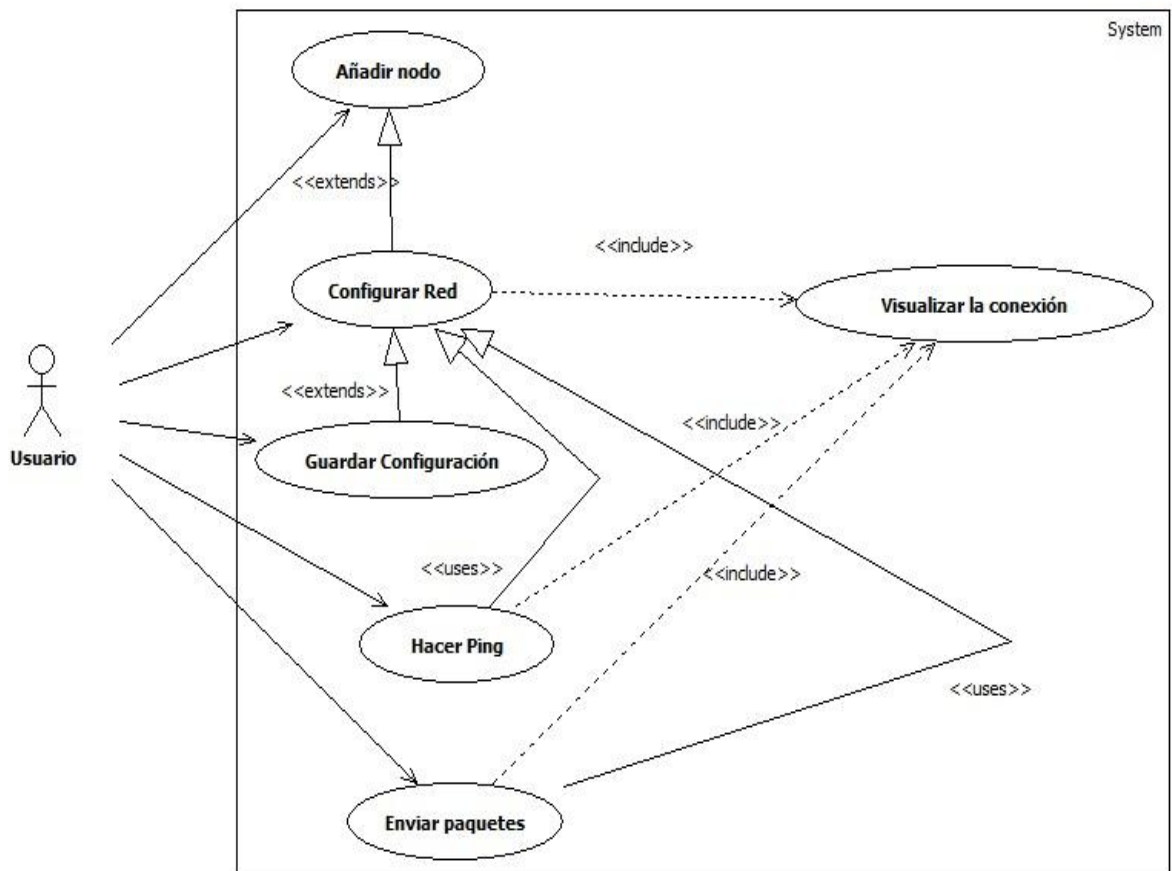


Figura 3.2: Casos de uso para la herramienta.
Fuente: Realización propia.

3.2.2. Diseño

Se consideró realizar una herramienta que permita la enseñanza de las redes Wi-Fi y que esté destinada a estudiantes de las asignaturas Comunicación de Datos, Redes de Computadores y Redes Móviles e Inalámbricas del plan de estudios de la Escuela de Computación de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela.

Para el diseño de la herramienta de configuración de redes Wi-Fi se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Opciones de configuración de la red inalámbrica: contendrá todas las características de configuración obligatorias de acuerdo al estándar. Además, se incluirán los aspectos opcionales establecidos de acuerdo al estudio de los enrutadores inalámbricos evaluados.
- Topología de la red: según el estándar IEEE 802.11, existen dos modos de funcionamiento para las redes Wi-Fi, con infraestructura y Ad-hoc. Se pretende dar soporte a ambas opciones.
- Modo de ejecución: se consideran dos opciones:
 - Realizar un simulador, donde se agreguen de forma arbitraria elementos a una topología de red, en la que se deberían configurar los diferentes componentes.

- Realizar un emulador, colocando una interfaz de red Wi-Fi a un PC y ejecutando las configuraciones necesarias, de tal manera que se pudiese lograr la conectividad con otras estaciones de trabajo.
- Interacción del estudiante con la herramienta: determina la manera cómo el estudiante configure la red inalámbrica usando la herramienta. Se considera que el hacer uso de una interfaz interactiva, que facilite la participación del estudiante en las actividades planteadas. La interfaz también deberá ser intuitiva, de tal manera que el estudiante se concentre en el aprendizaje de los conceptos referentes a redes Wi-Fi.
- Soporte instruccional: además de contribuir al aprendizaje de los conceptos técnicos relacionados a las redes Wi-Fi y la adquisición de las habilidades y destrezas necesarias para realizar las posibles configuraciones de red, la herramienta debe proporcionar actividades instruccionales, así como también las correspondientes opciones de evaluación y retroalimentación del profesor hacia el estudiante. En la Tabla 2.1 se muestra las posibles actividades que permitirá la herramienta.

Tabla 3.1: Actividades permitidas por la herramienta.

Fuente: Realización propia.

Actividad	Descripción
Cuestionario	Permite crear, editar y eliminar un cuestionario en línea por parte del profesor, para que sea resuelto por los estudiantes
Tarea	Permite crear, editar y eliminar una tarea, la cual puede ser resuelta por el estudiante, quien podrá subir la respuesta posteriormente
Resolución de problemas en la red (Troubleshooting)	Permite crear, editar y eliminar un problema en la red a ser resuelto por el estudiante, tal como, desconexión de un equipo, dirección IP duplicada, etc.

Adicionalmente, se realizaron prototipos para así tener una guía visual de los componentes y distribución de la aplicación. En la Figura 3.3 se puede observar el prototipo de la aplicación. Este prototipo fue inspirado en la interfaz de la herramienta DARS [41]

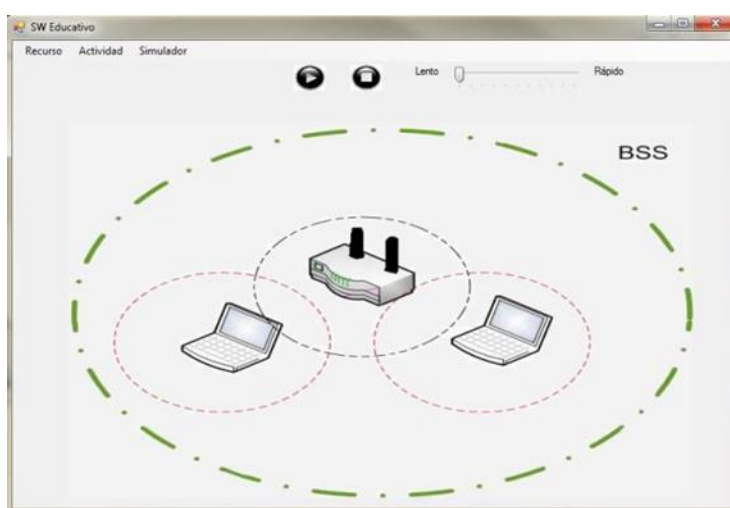


Figura 3.3: Prototipo de ICARO Wi-Fi Simulator.

Fuente: Realización propia.

En la Figura 3.4 se puede observar el diagrama de clases utilizado en el diseño de ICARO Wi-Fi Simulator.

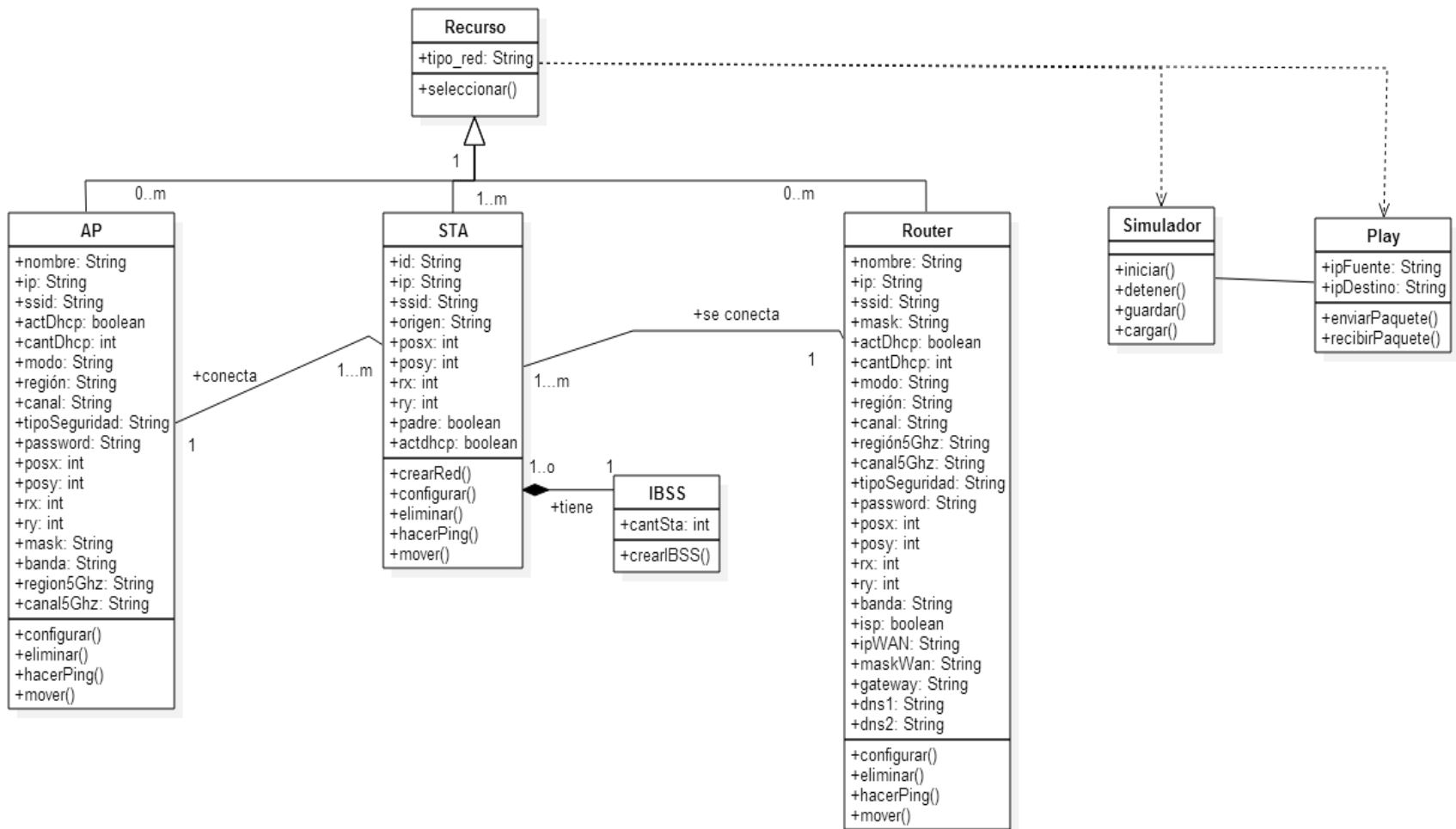


Figura 3.4: Diagrama de clases de ICARO Wi-Fi Simulator.
Fuente: Realización propia

3.2.3. Implementación y pruebas de unidades

ICARO Wi-Fi Simulator fue creado utilizando las siguientes herramientas:

- NetBeans es un entorno de desarrollo que soporta múltiples lenguajes de programación y además ayuda al desarrollador ya que presenta diferentes facilidades como la creación de interfaces gráficas [42].
- Java es un lenguaje de programación interpretado, orientado a objetos e independiente de la plataforma. Java permite la creación de dos tipos de programas:
 - Aplicación: es un programa que se ejecuta en la computadora.
 - Applet: es una aplicación diseñada para ser transmitida por Internet y ejecutada en un navegador Web compatible [43].

La implementación de ICARO Wi-Fi Simulator se puede resumir en cinco unidades de programa:

- Interfaz gráfica y sección de Ayuda.
- Adición de componentes.
- Conexión entre nodos.
- *Ping* y envío de paquetes.
- Almacenamiento y carga de la configuración.

Interfaz gráfica y sección de Ayuda

En esta unidad de programa se realizó la implementación de la interfaz gráfica y la sección de ayuda. En la Figura 3.5 se muestra la interfaz del ICARO Wi-Fi Simulator.

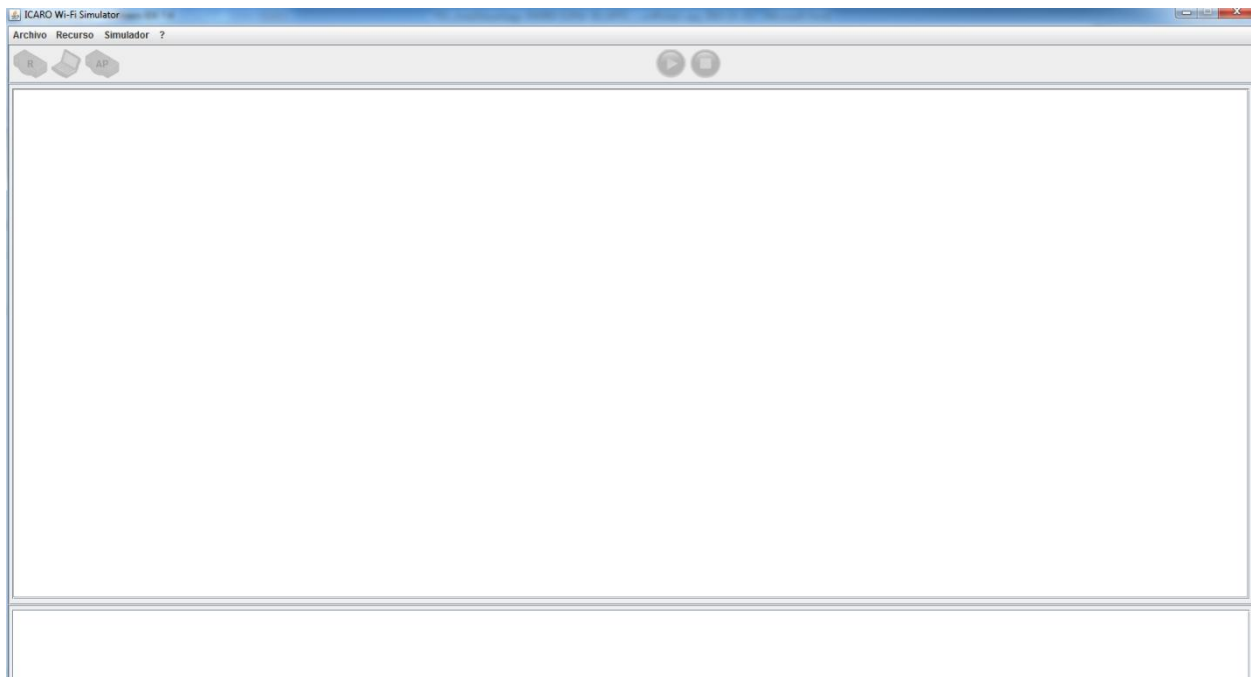


Figura 3.5: Interfaz de usuario.
Fuente: Realización propia.

La interfaz se divide en cuatro segmentos:

- La barra de menú: esta barra permite seleccionar las distintas funciones que realizará ICARO Wi-Fi Simulator. Están presentes cuatro menús.
 - Archivo: permite agregar una nueva área de trabajo, guardar, registrar usuario, cerrar.
 - Recurso: establece el tipo de red a utilizar (Ad-hoc o infraestructura) y añadir componentes según el tipo de red y además permite añadir ruido.
 - Simulador: permite iniciar, detener, guardar y cargar la simulación.
 - Ayuda: el usuario podrá consultar el uso de la herramienta y mayor información sobre ella en la sección Ayuda.
- El panel de botones: contiene accesos directos a funciones pertenecientes a la barra de menú, tales como agregar componentes e iniciar y detener la simulación. Adicionalmente, permite establecer el porcentaje de interferencia presente.
- El panel central es el área de trabajo en el que se agregarán los diversos componentes, y se podrán mover y configurar.
- El panel inferior es el área de consola en el que se podrá mostrar la información de cada uno de los componentes según se seleccione, además se mostrará otra información relevante como el resultado de *ping*.

Adición de los componentes

Se agregan los componentes al área de trabajo, los cuales son enrutadores inalámbricos, APs, y STAs. Adicionalmente, los componentes se añaden según el tipo de red a utilizar. Todos los componentes poseen características como:

- Nombre.
- Representación gráfica de cada componente.
- Menú secundario.
- Representación gráfica del alcance.

Conexión entre nodos

Esta unidad de programa se basó en la implementación de la configuración de los componentes (enrutadores, APs y STAs). Además de establecer la conectividad entre ellos. Esto se realizó tanto para redes Ad-hoc como para redes con infraestructura.

Adicionalmente, se realizó la implementación de BSS y de IBSS según sea el caso.

***Ping* y envío de paquetes**

Esta unidad de programa se enfocó en la implementación de la herramienta *ping*. Para ello a cada nodo se le asignó la opción de hacer *ping* a otro nodo, mediante la solicitud de la IP de destino. Los resultados del *ping* son mostrados en la consola y está compuesto por tres tipos de mensajes:

- Tiempo de espera agostado: este mensaje es mostrado cuando se está intentando hacer *ping* a una IP de la cual no se conoce su ubicación.
- Nodo inalcanzable: este mensaje es mostrado cuando se está intentando hacer *ping* a una IP que se conoce su ubicación pero que no puede ser alcanzado. La causa de este

mensaje es que el nodo al que se le quiere hacer *ping* no se encuentra en el área de cobertura.

- *Ping* exitoso: este mensaje es mostrado cuando se está intentando hacer *ping* a una IP y se obtiene respuesta de esa dirección IP.

También se simula el envío de paquetes entre un nodo y otro. Para ello, el usuario debe hacer clic en el botón de *play* para que se escoja aleatoriamente quiénes estarán involucrados en el envío de paquetes. Esta función quedará en ejecución hasta que el usuario así lo decida presionando el botón de *stop*.

El envío de paquetes se muestra en la consola como mensajes indicando quién es el emisor y quién es el receptor y el tiempo que tarda el mensaje en llegar.

Almacenamiento y de la configuración

Se implementó que se pudiera almacenar la configuración de cada nodo en un archivo externo de tal manera que se pueda cargar posteriormente dicha configuración.

Existe un tipo de configuración para cada uno de los nodos. Adicionalmente, la configuración de las estaciones cambia según el tipo de red que se implemente. En el caso de la red con infraestructura se tendrá la configuración de:

- Enrutadores: los cuales estarán indicados con la palabra *Router*.
- Estaciones: las cuales estarán identificados con la palabra *STA*. Además de mostrar la configuración indican a qué tipo de nodo están conectadas.
- Puntos de acceso: los cuales estarán identificados con la palabra *AP*.

En el caso de la red Ad-Hoc, sólo se contará con un tipo de nodo que es la estación y difiere de la configuración de las estaciones en la red con infraestructura ya que indica qué nodo es el que creó la red y si ese nodo es el que la creó o no.

Cabe acotar que en cada uno de las unidades de programa se revisó si cumplían con los requerimientos.

3.2.4. Integración y prueba de sistema

Después del diseño e implementación de la interfaz gráfica, se procedió a la adición de los componentes (enrutadores inalámbricos, puntos de acceso y estaciones) según el tipo de red y con todas sus características. Se corroboró que se añadían correctamente en la interfaz, es decir que se añadieran con todas las características establecidas, como alcance y nombre del nodo, y que se añadieran en el panel central. En la Figura 3.6 se puede observar que los nodos son añadidos en el lugar correcto.

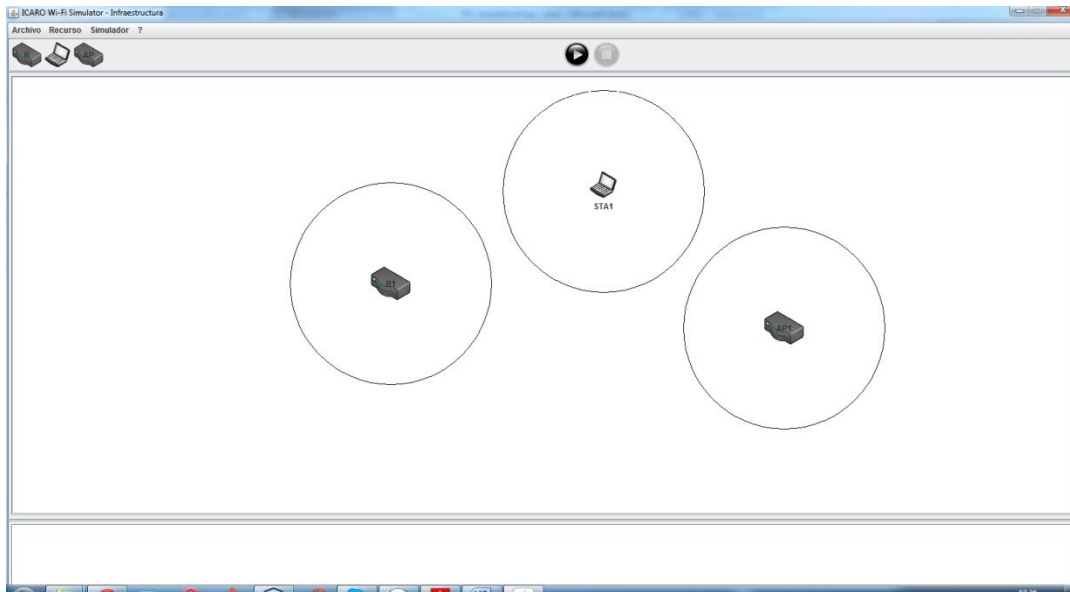


Figura 3.6: Muestra de la integración entre la interfaz gráfica y los componentes.
Fuente: Realización propia.

Posteriormente, se procedió a realizar las conexiones entre los nodos mediante el establecimiento de la configuración. Se verificó que se pudieran configurar los nodos y que éstos almacenaran la configuración hasta que la aplicación cerrase o el usuario eliminara el nodo. En la Figura 3.7 se observa la conectividad de las estaciones.

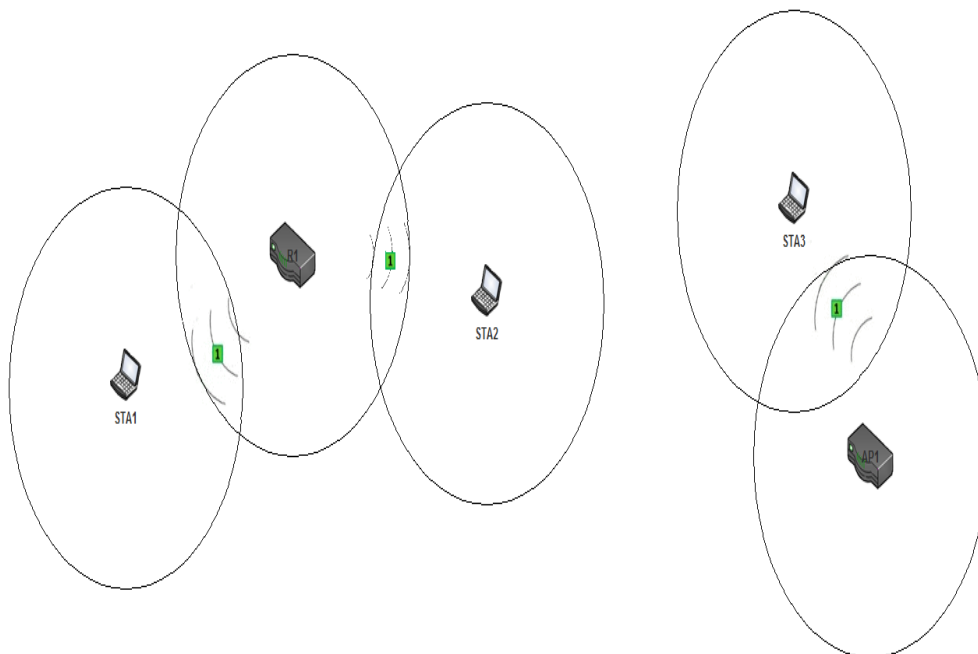


Figura 3.7: Conectividad de nodos en red con infraestructura.
Fuente: Realización propia.

Luego, se realizó la implementación del *ping* y del envío de paquetes. Para estas actividades se verificó que se obtenían los datos de la configuración y que se mostrara el

proceso tanto de *ping* como de envío de paquetes. En la Figura 3.8 se puede observar el *ping* realizado entre dos nodos.

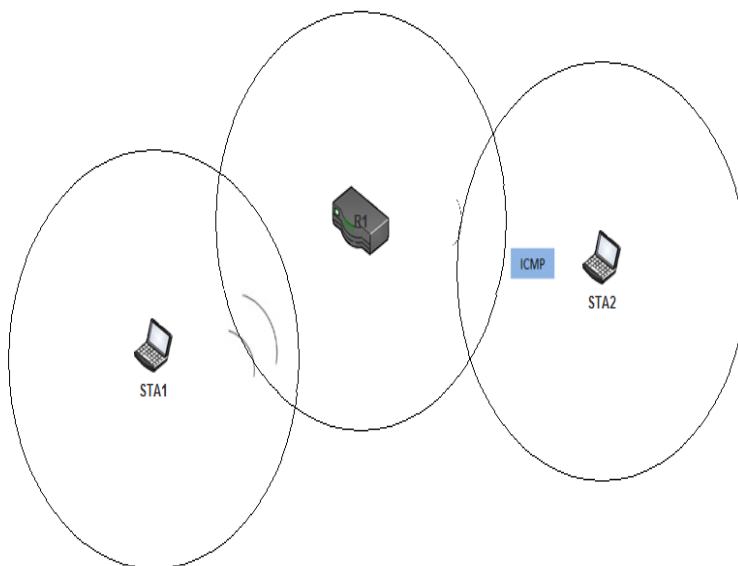


Figura 3.8: *Ping* realizado entre dos nodos en red de infraestructura.
Fuente: Realización propia.

En la Figura 3.9 se observa el envío de paquetes entre dos nodos.

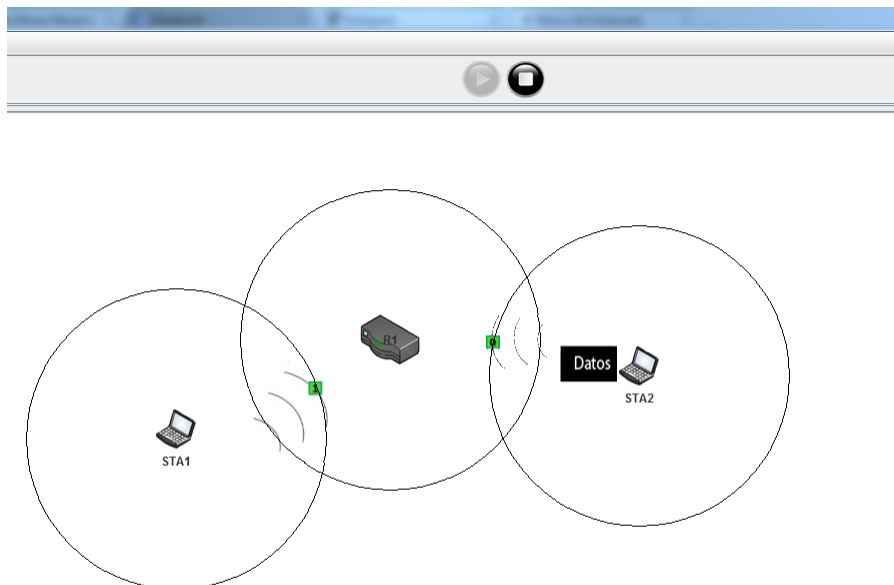


Figura 3.9: Envío de paquetes entre dos nodos.
Fuente: Realización propia.

La última unidad de programa que se implementó fue que el usuario pudiera almacenar en un archivo externo la configuración realizada y posteriormente cargarla en la aplicación. Para ello se probó que el archivo tuviera la misma configuración de los nodos. En la Figura 3.10 se observa una muestra del archivo de configuración.

```
Router
Router1-10.0.0.1-255.0.0.0-Activado-2-teg-802.11b-2.4 GHz-USA-5-null-0-Ninguna--ISP-106.59.40.4-255.0.0.0-106.59.40.254-8.8.8.8-8.8.8.8-620-202-300-300#
Router~~~
AP
AP1-192.168.0.1-255.255.255.0-Activado-1-tegAP-802.11a-5 GHz-null-0-Australia-44-Ninguna--1361-352-300-300#
AP~~~
STA
STA1-10.98.227.186-255.0.0.0-teg-Router-Activado-Ninguna--416-297-300-300#
STA2-10.170.113.202-255.0.0.0-teg-Router-Activado-Ninguna--879-234-300-300#
STA3-192.168.0.199-255.255.255.0-tegAP-AP-Activado-Ninguna--1273-165-300-300#
STA~~~
```

Figura 3.10: Archivo de configuración.
Fuente: Realización propia.

3.2.5. Funcionamiento y mantenimiento

Al concluir las etapas anteriores, se realizaron las pruebas funcionales.

Las pruebas funcionales tienen como propósito determinar si la herramienta cumple con los objetivos establecidos. Para ello se establecieron etapas, las cuales son:

- Casos de prueba: luego del desarrollo de las funcionalidades, se estableció cuáles serían los casos de prueba que se deben utilizar. Estos casos de prueba son los siguientes:
 - Configuración: se realizaron pruebas para determinar si la configuración que se les hacía a los nodos se almacenaban correctamente, y al agregar nodos nuevos no se eliminaba la configuración de los definidos previamente, y que los nuevos no copiaran la configuración de otros nodos.
 - Conectividad: se realizaron pruebas para determinar si una estación detectaba las redes disponibles a las que se podía conectar y además al detectar las redes si las estaciones se podían configurar en base a las redes disponibles.
 - Movilidad: se realizaron pruebas de movilidad de los nodos, adicionalmente se evaluó si al moverlos éstos cambiaban el alcance de la red y el área de cobertura.
 - Animación: se establecieron pruebas con el fin de determinar si las animaciones se agregaban en el momento y ubicación indicada, si la animación que se agregó era la correcta y si la animación se eliminaba y/o cambiaba según lo establecido.
 - Almacenamiento: se comprobó que todos los nodos y sus respectivas configuraciones se pudieran almacenar en un archivo de texto y además que fueran las correctas.

- Cargar: después de comprobar que se podían guardar las configuraciones de los nodos, se probó que se pudieran cargar la cantidad de nodos que indica el archivo y además que se cargaran con las distintas configuraciones y animaciones según el caso.
- Corrección de errores: después de haber establecido los casos de prueba se solventaron aquellos que presentaron errores o no funcionaban correctamente.
- Validación: en esta etapa se validó que la herramienta desarrollada cumpla con los objetivos establecidos.

Después de haber realizado numerosas pruebas para determinar si la herramienta funciona correctamente y de haber realizado la corrección de errores; se determinó que el funcionamiento es el esperado.

4. Pruebas de aceptación

Este capítulo consta de la realización de las pruebas de aceptación y en el análisis de sus resultados.

4.1. Definición

Las pruebas de aceptación son las pruebas finales que se realizan antes que el software se coloque en funcionamiento [39].

4.2. Ejecución

Se realizaron pruebas de aceptación para determinar si los usuarios adquieren los conocimientos ofrecidos por la herramienta sobre las redes Wi-Fi. Adicionalmente, obtener información sobre el funcionamiento de la misma y la opinión de los usuarios.

Para realizar las pruebas de aceptación, se convocó a un grupo de catorce (14) estudiantes, de la asignatura de Comunicación de Datos de la Licenciatura en Computación de la Universidad Central de Venezuela. Adicionalmente, se les hizo entrega de una guía, en la cual se les pedía que realizaran unas tareas específicas con el fin de configurar una red Wi-Fi con infraestructura y una red Ad-hoc.

4.2.1. Tareas

Entre las tareas que realizaron los estudiantes para configurar una red con infraestructura se tienen:

- Configuración del enrutador.
- Configuración del punto de acceso.
- Conexión de las estaciones al enrutador.
- Conexión de las estaciones al punto de acceso.
- Hacer *ping* a una dirección IP.
- Realizar el envío de paquetes.
- Almacenar y cargar la configuración desde un archivo.

Entre las tareas que realizaron los estudiantes para configurar una red Ad-hoc están:

- Creación de dos redes Ad-hoc.
- Conexión de las estaciones a las redes Ad-hoc.
- Hacer *ping* a una dirección IP.
- Realizar el envío de paquetes.
- Almacenar y cargar la configuración

4.2.2. Encuesta

Al culminar con las tareas expuestas anteriormente, se les solicitó que llenaran una encuesta en la cual se les consultó si tienen conocimientos previos en redes Wi-Fi, se determina si adquirieron otros conocimientos y una sección acerca de la herramienta.

La encuesta estuvo dividida en dos secciones:

- Redes Wi-Fi.
- Usabilidad.

Redes Wi-Fi

En esta sección se evaluaron conocimientos básicos de las redes Wi-Fi, como:

- Elementos presentes en una red Wi-Fi.
- Definición de red con Infraestructura.
- Definición de una red Ad-hoc.
- Definición de SSID.
- Mecanismos de seguridad.
- Banda utilizada por IEEE 802.11a.
- Banda utilizada por IEEE 802.11b.
- Entendimiento del *ping* y del envío de paquetes.
- Verificación de conceptos utilizados en la herramienta.

Usabilidad

En esta sección se consultó la opinión de los usuarios acerca del funcionamiento de la herramienta, entre los aspectos que se consultaron están:

- Visibilidad correcta de los componentes.
- Facilidad de uso.
- Colocación arbitraria de nodos.
- Funcionamiento correcto de la herramienta.

4.3. Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos tanto para la sección de las redes Wi-Fi como de la sección de Usabilidad. Según la encuesta, el 100% de los participantes tienen conocimiento previo de las redes Wi-Fi.

4.3.1. Redes Wi-Fi

En esta sección se les consultó a los estudiantes sobre conceptos elementales de las redes Wi-Fi.

En la Figura 4.1 se pueden observar las respuestas obtenidas sobre cuáles son los elementos presentes en una red Wi-Fi, de las cuales las respuestas correctas son: estaciones, puntos de acceso y enrutadores inalámbricos.

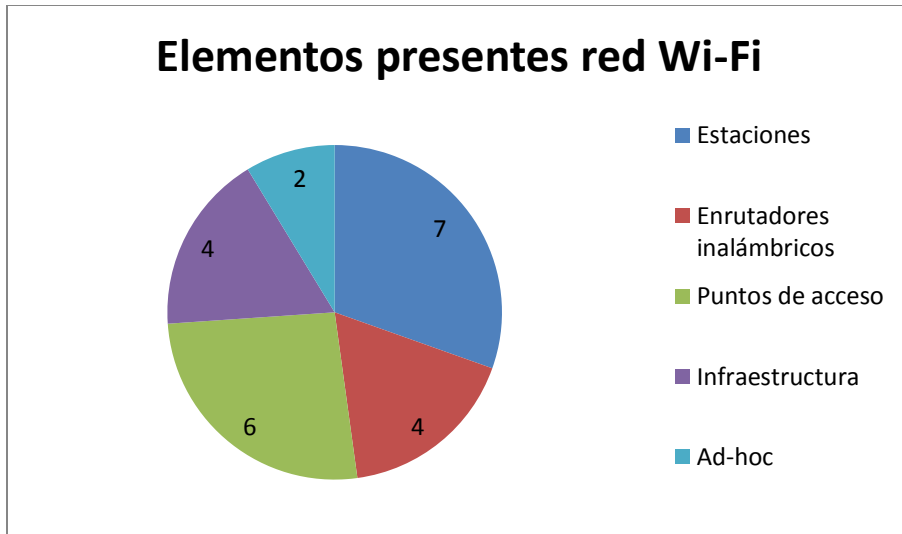


Figura 4.1: Gráfico sobre los elementos presentes en una red Wi-Fi.
Fuente: Realización propia.

En la Figura 4.2 se pueden observar las respuestas obtenidas sobre los elementos que conforman una red con Infraestructura. En este caso, los estudiantes respondieron correctamente ya que el BSS es un servicio de la red con Infraestructura.

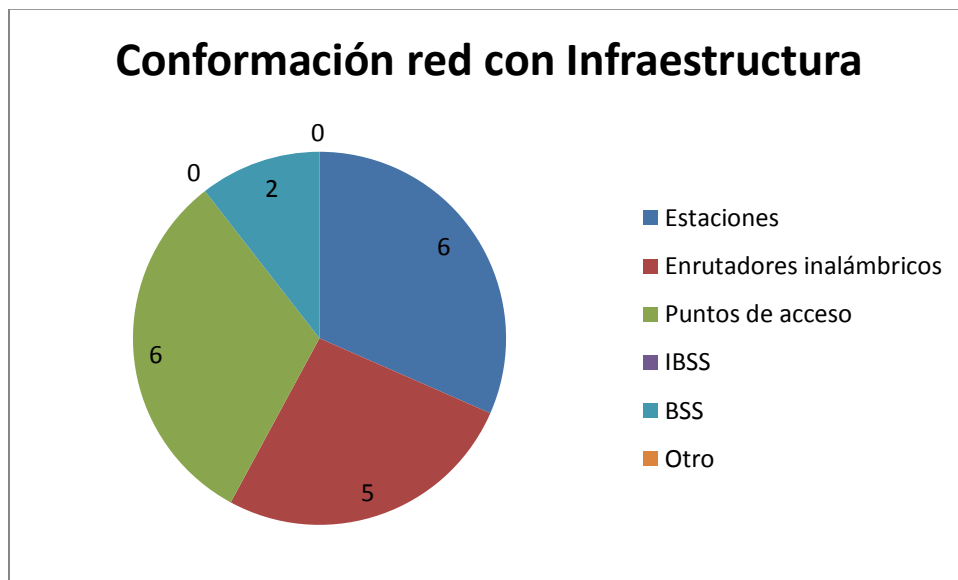


Figura 4.2: Gráfico sobre los elementos que conforman una red con Infraestructura.
Fuente: Realización propia.

En la Figura 4.3 se pueden observar los resultados obtenidos sobre los elementos que conforman las redes Ad-hoc. En este caso, los estudiantes respondieron correctamente ya que el IBSS es un servicio de la red Ad-hoc.

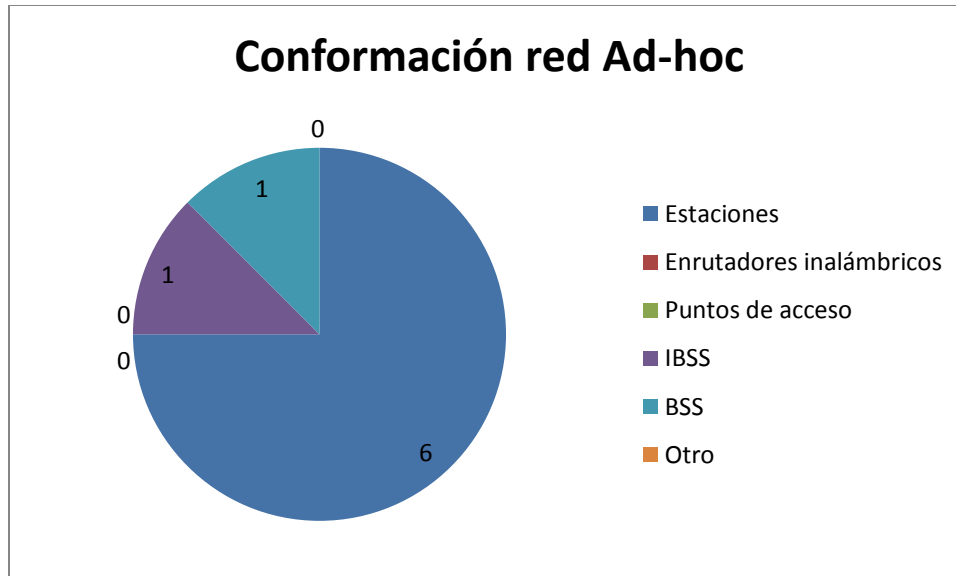


Figura 4.3: Gráfico sobre los elementos que conforman una red Ad-hoc.
 Fuente: Realización propia.

En la Figura 4.4 se observan las respuestas obtenidas al consultar a qué hace referencia las siglas SSID. Se muestra que la mayoría de los estudiantes respondieron correctamente.

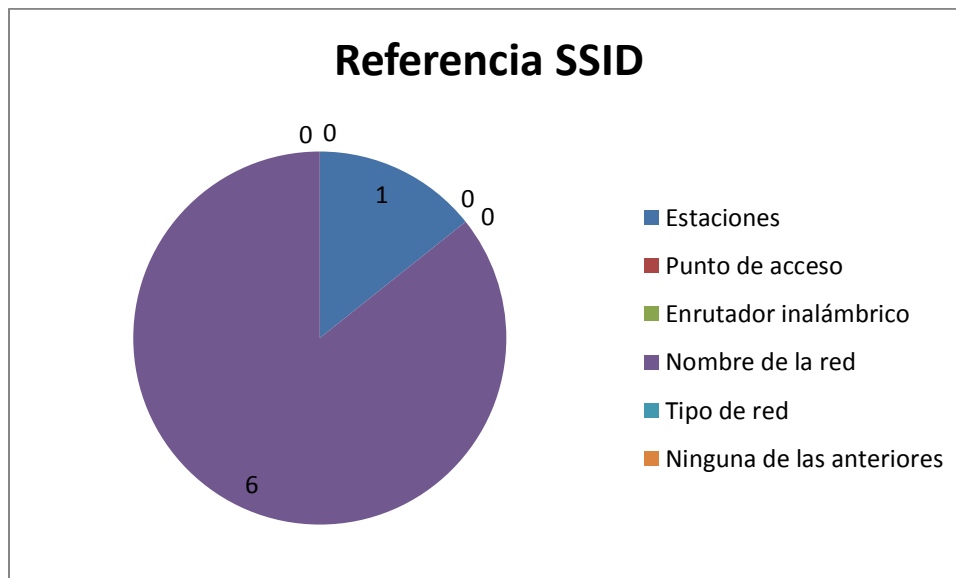


Figura 4.4: Gráfico sobre a qué se refiere el SSID.
 Fuente: Realización Propia.

En la Figura 4.5 se pueden observar los resultados obtenidos sobre los mecanismos de seguridad presentes en las redes Wi-Fi y se muestra que la mayoría respondió correctamente, ya que WEP, WPA/WPA2 y RADIUS son mecanismos de seguridad presentes en las redes Wi-Fi.



Figura 4.5: Gráfico sobre los mecanismos de seguridad.
Fuente: Realización propia.

En la Figura 4.6 se pueden observar los resultados obtenidos sobre la banda utilizada por la especificación del estándar IEEE 802.11a [1]. Esta especificación utiliza la banda ISM de los 5 GHz por lo que la mayoría respondió correctamente.

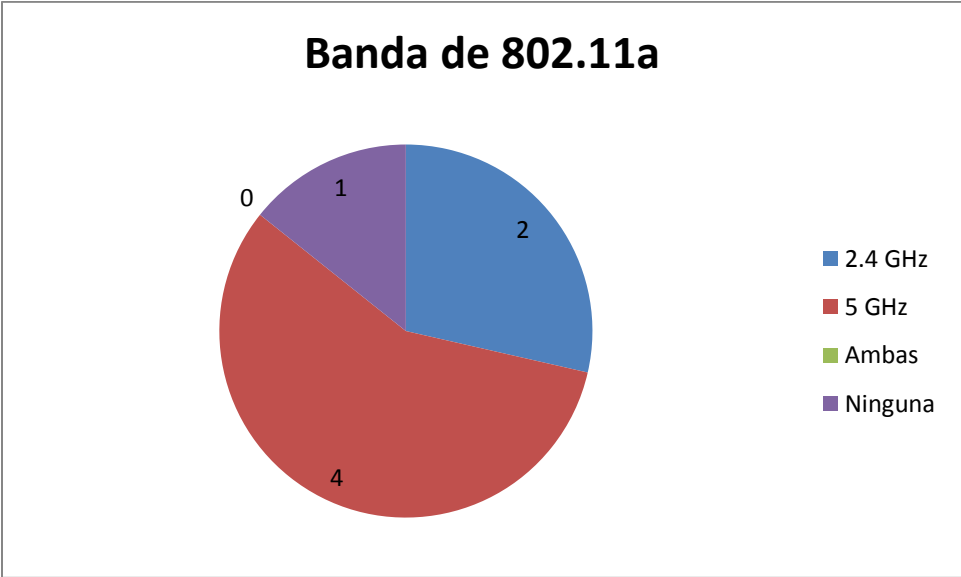


Figura 4.6: Gráfico sobre la banda utilizada por IEEE 802.11a.
Fuente: Realización propia.

En la Figura 4.7 se pueden observar los resultados obtenidos sobre la banda utilizada por la especificación del estándar IEEE 802.11b [1]. Esta especificación utiliza la banda ISM de los 2.4 GHz, por lo que la mayoría respondió correctamente.

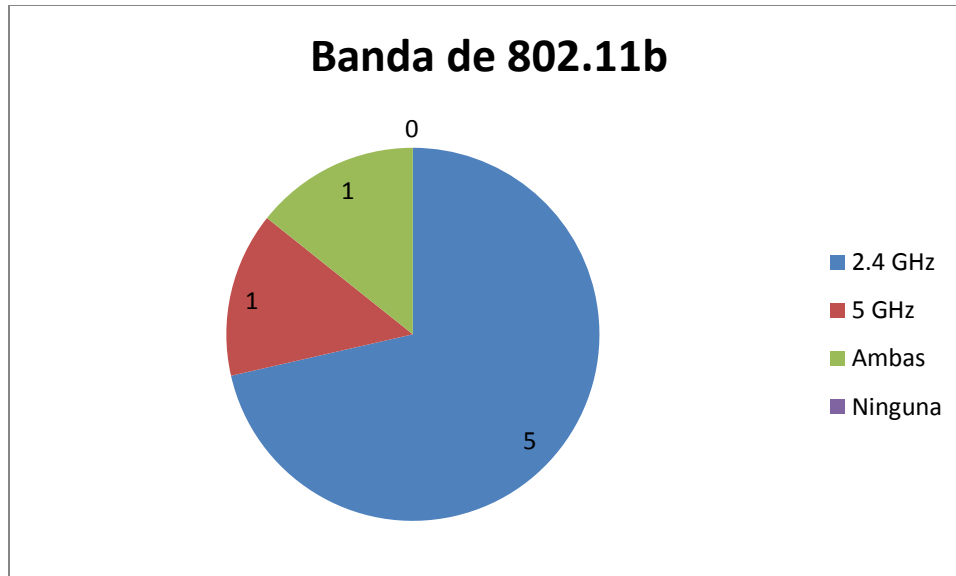


Figura 4.7: Gráfico sobre la banda utilizada por IEEE 802.11b.
 Fuente: Realización propia.

Después de haber obtenido los resultados de la encuesta, se procedió a verificar si las respuestas son las correctas y comparar la cantidad de respuestas correctas e incorrectas obtenidas por la encuesta. En la Figura 4.8 se ve reflejado el porcentaje de respuestas correctas e incorrectas obtenidas.

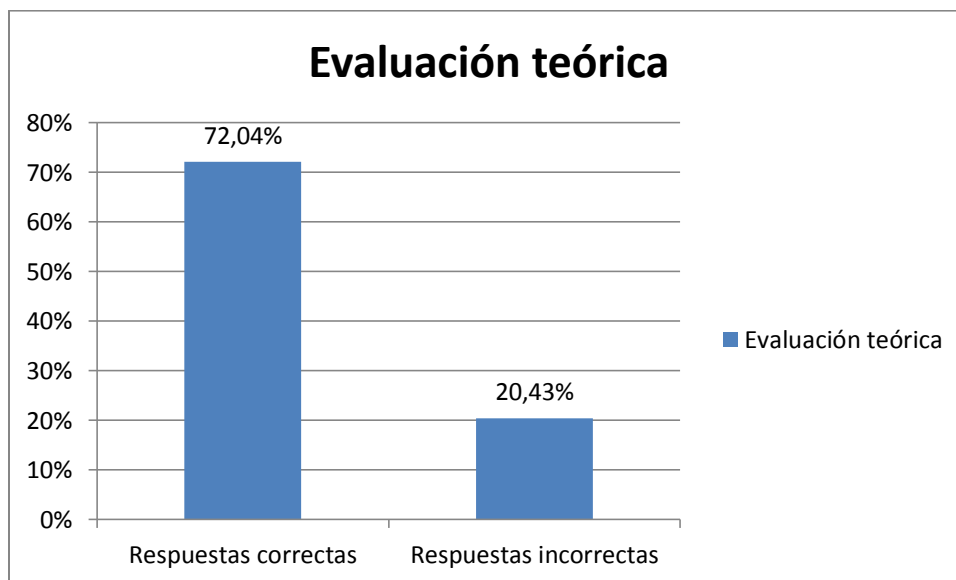


Figura 4.8: Gráfico de porcentaje de respuestas correctas.
 Fuente: Realización propia.

Como se puede observar, a pesar de que el 100% de los encuestados afirmó que tenían conocimiento previo de las redes Wi-Fi, no se obtuvo la totalidad de respuestas correctas. Esto implica que no tienen los conocimientos necesarios de las redes Wi-Fi, es por ello que se debe utilizar la herramienta para complementar los aspectos teóricos de las redes Wi-Fi.

4.3.2. Usabilidad

En esta sección se les consultó a los estudiantes qué les pareció la herramienta en general, evaluando aspectos como interfaz, facilidad de uso, entre otros.

En la Figura 4.9 se pueden observar las respuestas obtenidas sobre la facilidad de uso de la herramienta. Dichas respuestas indicaron que la herramienta es fácil de utilizar.

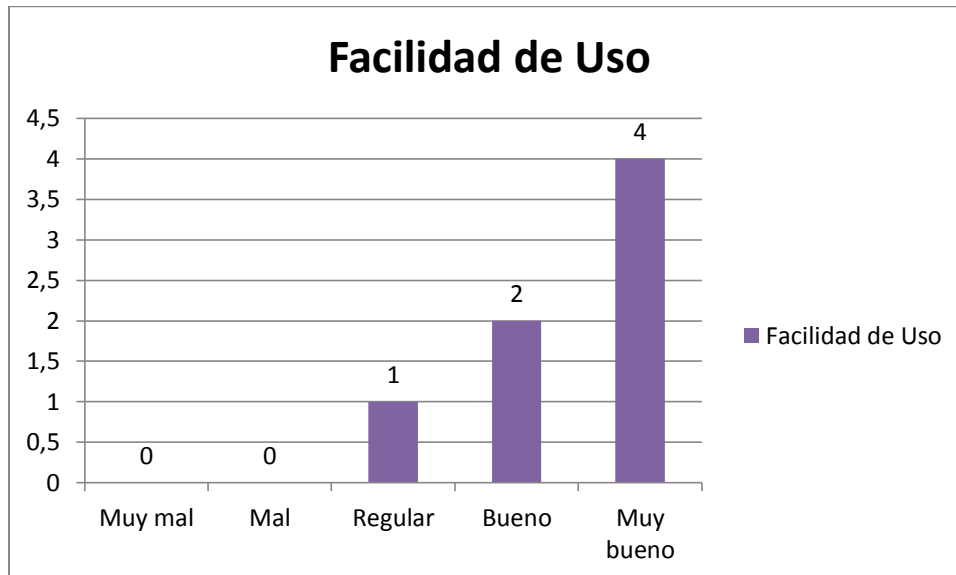


Figura 4.9: Gráfico de facilidad de uso.
Fuente: Realización propia.

En la Figura 4.10 se verifica si los componentes de la herramienta poseen un tamaño apropiado. Como se puede observar la interfaz y sus componentes tienen un tamaño apropiado para el usuario, facilitando así su visualización.

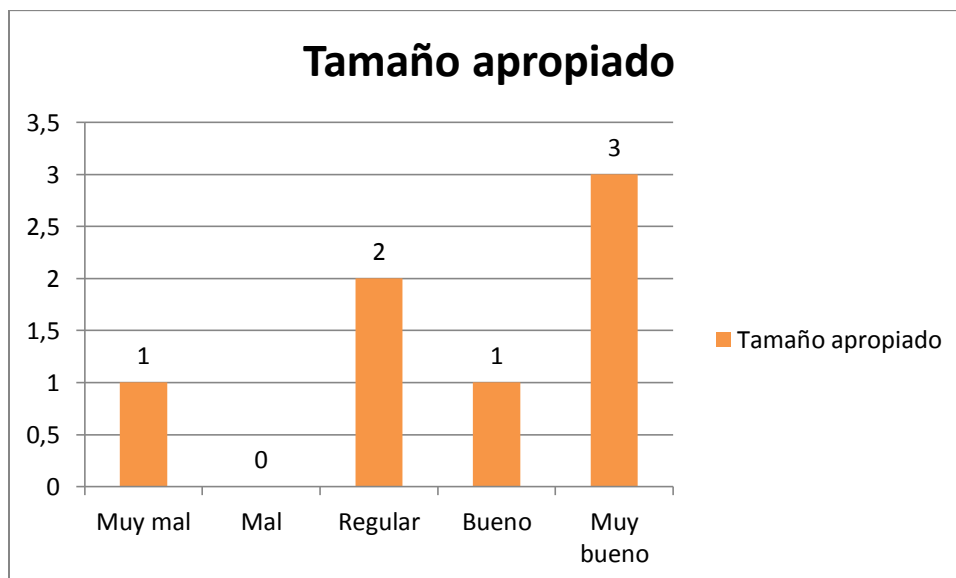


Figura 4.10: Gráfico de consulta de tamaño apropiado.
Fuente: Realización propia.

Se les consultó si la herramienta permite la adición de nodos de forma arbitraria y como se puede observar en la Figura 4.11, la respuesta es afirmativa. La herramienta permite que los nodos sean añadidos y colocados en cualquier ubicación.

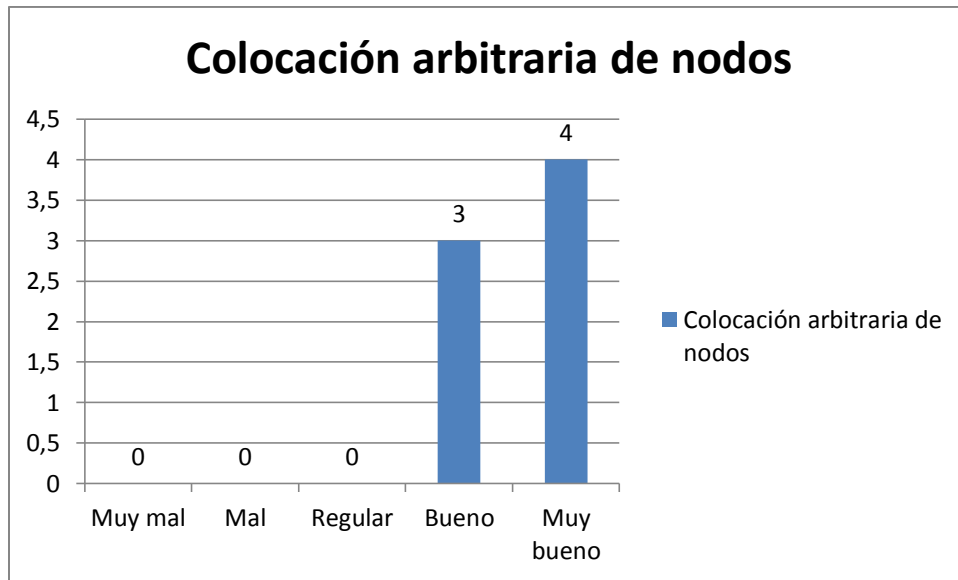


Figura 4.11: Gráfico de colocación arbitraria de nodos.
Fuente: Realización propia.

Adicionalmente, se les consultó cómo consideraban los conceptos utilizados sobre las redes Wi-Fi. En la Figura 4.12 se observa que la forma en la que se emplearon los conceptos es buena pero se puede mejorar.

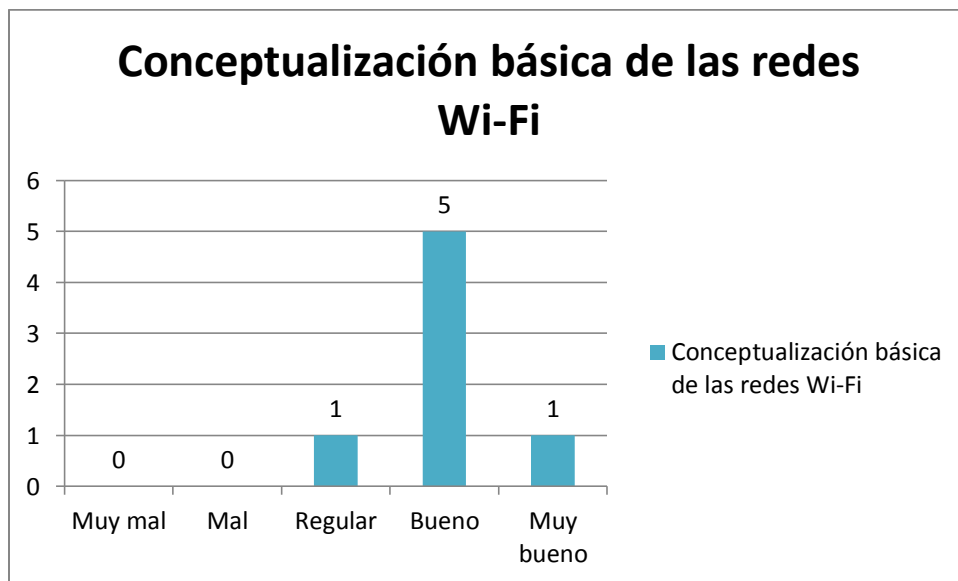


Figura 4.12: Gráfico de conceptualización básica de las redes Wi-Fi.
Fuente: Realización propia.

Otra de las preguntas de la encuesta era que catalogaran el funcionamiento de la herramienta. Esta valoración se encuentra en la Figura 4.13. Se observa que desde el punto de

vista del estudiantado la herramienta cumple una buena expectativa pero a pesar de eso serán necesarios ajustes y evolución de la misma.

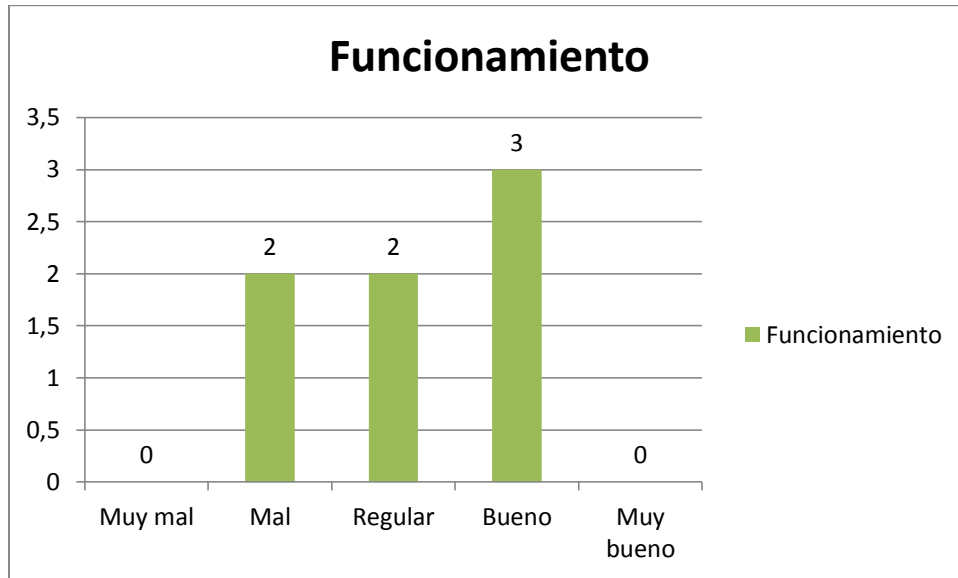


Figura 4.13: Gráfico de funcionamiento de la herramienta.
Fuente: Realización propia.

Además de los aspectos anteriores, se les consultó si la utilidad *ping* les ayudó a entender cómo funciona una red Wi-Fi. En la Figura 4.14 se puede observar que efectivamente los ayudó a entender el funcionamiento de las redes Wi-Fi pero que aún podría mejorarse.

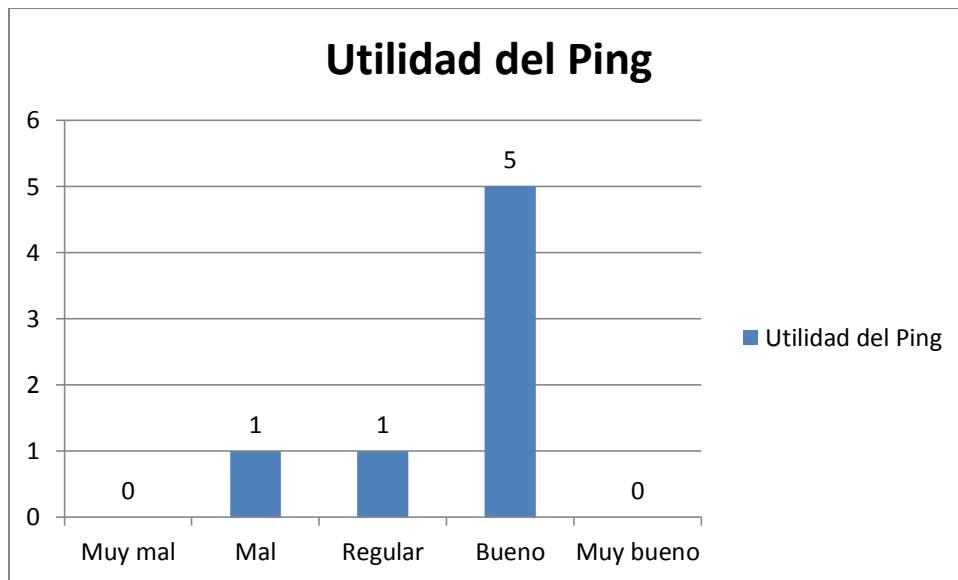


Figura 4.14: Gráfico sobre la utilidad del *ping*.
Fuente: Realización propia.

Al culminar la realización de las pruebas de aceptación, se pudo determinar que los estudiantes no presentaron dificultad en el uso de la herramienta, posee una visualización apropiada de los elementos, el *ping* les ayudó a comprender el comportamiento de las redes

Wi-Fi y que la herramienta complementa la enseñanza de las redes Wi-Fi, aunque hay aspectos que mejorar.

4.3.3. Opiniones y sugerencias

Al culminar la encuesta se les solicitó que dieran su opinión acerca de la herramienta y si tenían alguna sugerencia.

Entre las opiniones están:

- “La herramienta es muy buena pero se debería tener un área donde se den conceptos teóricos de los términos utilizados.”
- “Buena herramienta para comprensión de redes Wi-Fi.”
- “Una herramienta que permite simular redes Wi-Fi y Ad-hoc.”

Entre las sugerencias están:

- “Al momento de cargar un archivo se debe seleccionar el modo, la aplicación debería ser capaz de cargar un archivo cualquiera que sea su tipo.”
- “Podría implementarse IPv6.”

5. Conclusiones

En este trabajo de investigación, se realizó el diseño y desarrollo de un software educativo para la configuración de redes Wi-Fi. Para universidades públicas de países en vías de desarrollo, se hace difícil realizar prácticas experimentales complementarias a las clases magistrales, donde se imparten los conceptos teóricos. Resulta necesario integrar actividades donde el estudiante pueda ver en funcionamiento los conceptos previamente aprendidos y que pueda interactuar con los componentes de una red Wi-Fi, de forma similar a como lo realizaría en un entorno distinto al académico.

En primera instancia se realizó una revisión de Wi-Fi, estudiando sus componentes, topologías y la arquitectura del protocolo, para de esta manera contar con el conocimiento necesario de los conceptos que deberán ser incorporados en el software educativo. Adicionalmente, se hizo un estudio de diversas herramientas de simulación y emulación de redes de computadores, donde se incluye el estudio de redes Wi-Fi. En cuanto a los emuladores, se puede decir que son muy restringidos, ya que no permiten la interacción de diversos componentes en una red Wi-Fi. Por otro lado, los simuladores no son lo suficientemente flexibles, ya que no se permiten la configuración de todos los componentes de la red (como por ejemplo, el enrutador inalámbrico), y se restringen los dispositivos configurables a los modelos de un mismo fabricante.

También, se realizó una evaluación minuciosa de 267 modelos de enrutadores inalámbricos de uso personal y de oficina, mediante la revisión de herramientas de emulación disponibles en los sitios web de los distintos fabricantes. En esta revisión se pudo detectar la presencia de varias características descritas por el estándar IEEE 802.11, así como características adicionales para la configuración de red. Con esta información, se determinaron las opciones de configuración que fueron integradas en el software educativo.

En función del estudio realizado, se desarrolló una herramienta educativa para el aprendizaje y configuración de redes Wi-Fi, llamado ICARO Wi-Fi Simulator, que incluye las características descritas en el estándar y ciertas características adicionales detectadas en los enrutadores inalámbricos estudiados, y que resultan de interés. También, hereda las bondades encontradas en otras herramientas estudiadas.

A pesar de la complejidad que tiene desarrollar una aplicación como esta, ICARO Wi-Fi Simulator es una herramienta que facilita el aprendizaje de las redes Wi-Fi a los estudiantes de la Licenciatura de Computación de la Universidad Central de Venezuela, ya que de manera sencilla muestra el funcionamiento y configuración de estas redes, garantizando así que el usuario de la aplicación tenga una sólida base de conocimientos que le permita saber cómo configurar una red Wi-Fi.

5.1. Contribución

Entre las contribuciones de este trabajo podemos enumerar las siguientes:

- Desarrollo de una herramienta para la enseñanza de las redes Wi-Fi: dicha herramienta estará disponible en el centro CICORE de tal forma que los estudiantes puedan utilizarla y así aprender sobre estas redes.
- Complementar las actividades de los laboratorios de las asignaturas Comunicación de Datos y Redes Móviles e Inalámbricas.

- Gracias a la revisión hecha de los emuladores, se puede informar acerca de las diversas características presentes en los enrutadores inalámbricos.
- Se dio a conocer las preferencias de los usuarios en cuanto a qué características les gustaría que tuviesen los enrutadores inalámbricos.
- Aunque la herramienta esté enfocada hacia los estudiantes, todo aquel que desee aprender sobre las redes Wi-Fi podrá usar ICARO Wi-Fi Simulator para ello.

5.2. Recomendaciones

De los resultados obtenidos en este trabajo existen un conjunto de recomendaciones:

- Se recomienda hacer énfasis en que los enrutadores inalámbricos presentes en el mercado poseen mayores opciones de configuración que las expuestas en la herramienta.
- Se recomienda indicar los factores que pueden afectar a las conexiones de las redes Wi-Fi.

5.3. Limitantes

Este trabajo se vio limitado por los siguientes factores:

- Debido a la complejidad de la herramienta hubo ciertos requerimientos que no se pudieron cumplir; tales como la implementación de la interferencia y la sección de soporte instruccional.
- Para evitar que la herramienta se viera sobrecargada y por cuestiones de memoria, se limitó la cantidad de nodos que se pueden agregar.
- Aunque en la herramienta se muestren los tipos de seguridad WEP y WPA, ellos no están implementados; solamente realizan una validación de igualdad de contraseñas.
- Para el funcionamiento correcto de la herramienta, se requiere utilizar la versión 1.7.0_45 del *jdk* o superior.

5.4. Trabajos futuros

A continuación se plantean las posibles adaptaciones de ICARO Wi-Fi Simulator:

- Implementación de ESS de tal manera que los nodos de otras redes se puedan comunicar entre sí.
- Implementación de interferencia, para que así el estudiante pueda observar cómo la señal de las redes Wi-Fi se ve afectada por obstáculos y otros factores como el ruido.
- Implementación de evaluaciones con el fin de que el usuario se evalúe y obtenga una calificación que pueda ser utilizada por el docente.
- Realizar la captura de las tramas MAC, de tal forma que se pueda observar cuáles son las tramas presentes en las redes Wi-Fi.
- Permitir que las redes creadas en la herramienta se comuniquen con las redes físicas.

Además de las adaptaciones sugeridas, se puede desarrollar una herramienta similar para tecnologías como Bluetooth [44].

Referencias

- [1] Society, IEEE Computer, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control, New York, 2012.
- [2] Cisco Packet Tracer, [En línea]. Available: http://www.cisco.com/web/learning/netacad/course_catalog/PacketTracer.html.
- [3] Pythagor Simulator, [En línea]. Available: http://www.icsd.aegean.gr/telecom/Pythagor/pyth_main.htm.
- [4] CNET, [En línea]. Available: <http://www.csse.uwa.edu.au/cnet/>.
- [5] A. Desantiago, K. Velásquez y M. E. Villapol, «Diseño de un Software Educativo para la Configuración de Redes Wi-Fi,» de *I Conferencia Nacional de Computación, Informática y Sistemas (CoNCISa)*, Naiguatá, 2013.
- [6] M. Villapol, Introducción a las Redes Móviles e Inalámbricas, Caracas, 2010.
- [7] IEEE, [En línea]. Available: <http://www.ieee.org/about/index.html>.
- [8] Wi-Fi Alliance, [En línea]. Available: <http://www.wi-fi.org/>.
- [9] A. Tanenbaum, Redes de Computadoras, México: Pearson Prentice Hall, 2003.
- [10] Radio Channel Frequencies, [En línea]. Available: <http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/routers/access/3200/software/wireless/3200WirelessConfigGuide/RadioChannelFrequencies.pdf>.
- [11] M. Gast, 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide, O'Reilly Media, Inc., 2005.
- [12] P. Roshan y J. Leary, 802.11 Wireless LAN Fundamentals, Indianapolis: Cisco Press, 2003.
- [13] Definición Enrutador Inalámbrico, [En línea]. Available: <http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/54783/wireless-router>. [Último acceso: Agosto 2012].
- [14] Imagen nodos conectados al Ap, [En línea]. Available: <http://www.hp.com/global/ve/es/wireless/wireless-network-help4.html>.
- [15] Imagen características enrutadores, [En línea]. Available: http://www.pcmag.com/encyclopedia_term/0,2542,t=wireless+router&i=54783,00.asp.
- [16] WPA Wi-Fi Alliance, [En línea]. Available: <http://www.wi-fi.org/knowledge-center/glossary/wpa%E2%84%A2>.
- [17] Rigney, C.; et al, Remote Authentication Dial In User Service (RADIUS), RFC 2865, Junio, 2000.
- [18] Cisco Systems, [En línea]. Available: http://www.cisco.com/web/ES/solutions/smb/products/routers_switches/routing_switching_primer.html.
- [19] Definición de Emulador, [En línea]. Available: <http://lema.rae.es/drae/?val=emulador>.
- [20] Emulador TP-Link, [En línea]. Available: <http://www.tp-link.com/ar/support/emulators/>.
- [21] Emulador Linksys, [En línea]. Available: <http://ui.linksys.com/files/>.
- [22] Emulador TalkTalk, [En línea]. Available: <http://www.phillips.talktalk.net/>.
- [23] Emulador Trendnet, [En línea]. Available: <http://www.trendnet.com/emulators/>.
- [24] Emulador NetGear, [En línea]. Available: <http://www.voiproblem.com/emulators/Netgear>.
- [25] Green Ethernet, [En línea]. Available: <http://www.dlinkgreen.com/default.asp>.
- [26] Emulador D-Link oficial, [En línea]. Available: http://us.dlink.com/support/faq/default.aspx?prod_id=1457.

- [27] ISDN, [En línea]. Available: <http://hea-www.harvard.edu/~fine/ISDN/overview.html>.
- [28] Emulador Draytek, [En línea]. Available: http://www.draytek.com/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=2562&Itemid=302&lang=en.
- [29] Emulador DD-WRT, [En línea]. Available: http://www.dd-wrt.com/wiki/index.php/Web_Interface#Simulation.
- [30] Society, IEEE Computer, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC), New York, 2007.
- [31] Definición simulador, [En línea]. Available: <http://lema.rae.es/drae/?val=simulador>.
- [32] VisSim, [En línea]. Available: http://www.vissim.com/products/vissim/comm/wireless_lan.html?gclid=CMe4otnA07ECFQe d7Qod8QsA5A.
- [33] NS3, [En línea]. Available: <http://www.nsnam.org/overview/what-is-ns-3/>.
- [34] GNS3, [En línea]. Available: <http://www.gns3.net/>.
- [35] «OMNeT++», [En línea]. Available: <http://www.omnetpp.org/>.
- [36] MiXiM, [En línea]. Available: <http://www.omnest.com/mixim.php>.
- [37] UNESCO, [En línea]. Available: <http://www.unesco.org/new/en/education/themes/leading-the-international-agenda/education-for-all/the-efa-movement/>.
- [38] CCWA, [En línea]. Available: <http://cambridgeuniv.org/tutorial/ccwa1.htm>.
- [39] I. Sommerville, Ingeniería del Software, 7a. edición ed., Madrid: PEARSON Educación, S.A., 2005.
- [40] «The TCP/IP Guide,» [En línea]. Available: http://www.tcpipguide.com/free/t_TCPIPCommunicationVerificationUtilityping6-2.htm.
- [41] [En línea]. Available: <http://www.antepedia.com/detail/p/8383561.html>.
- [42] «An Introduction to NetBeans,» [En línea]. Available: <https://netbeans.org/about/index.html>. [Último acceso: Agosto 2014].
- [43] P. Naughton y H. Schildt, Java Manual de Referencia, Madrid: McGraw-Hill, 1997.
- [44] Bluetooth, [En línea]. Available: <https://www.bluetooth.org/en-us>.

Anexo A: Encuesta sobre características deseables.

En este anexo se muestran los resultados de una encuesta realizada a diversos estudiantes de la Licenciatura en Computación con el fin de determinar las características deseables en un enrutador inalámbrico.

Características enrutadores inalámbricos

Se realizó una encuesta a estudiantes de diversos semestres, a profesores y egresados de la Escuela de Computación de la Universidad Central de Venezuela, en la que se les consultó qué característica quisiera que tuviera su enrutador inalámbrico. La encuesta se dividió en tres (3) grupos: estudiantes por debajo del quinto semestre; estudiantes del sexto semestre en adelante, profesores y/o egresados que no escogieron la mención de Redes de Computadores; estudiantes del sexto semestre en adelante, profesores y/o egresados que escogieron la mención de Redes de Computadores.

Se encuestaron un total de treinta y siete (37) personas, de las cuales catorce (14) escogieron la opción de Redes de Computadores, cinco (5) estudiantes del quinto semestre o inferiores y dieciocho (18) personas que no escogieron la opción de Redes de Computadores. En la Tabla A.1 se muestran los resultados obtenidos en la encuesta según los grupos mencionados anteriormente.

Tabla A.1: Características consultadas.
Fuente: Realización propia.

Característica	<5to semestre	Otras áreas	Redes de Computadores	Total
Ayuda	1	8	5	14
Calidad de Servicio	N/A	N/A	8	8
Cambio SSID	1	9	8	18
Clonación MAC	1	5	5	11
Configuración Canal	1	5	5	11
Configuración DHCP	2	14	8	24
Configuración LAN	2	13	7	22
Configuración NAT	N/A	N/A	7	7
Configuración WAN	2	8	8	18
Control de Acceso	2	10	7	19
Control de Ancho de Banda	2	8	10	20
DMZ	N/A	N/A	4	4
Doble Banda	3	13	9	25
Enrutamiento	1	12	7	20
Estadísticas	1	9	6	16
Filtrado IP	2	9	6	17
Filtrado MAC	2	9	6	17
Firewall	N/A	N/A	8	8
Forwarding	N/A	N/A	6	6
Idioma	1	6	6	13
IPv6	2	9	6	17
Modo de Operación	0	8	7	15
Múltiple SSID	0	6	7	13
Parámetros avanzados de	N/A	N/A	7	7

redes inalámbricas				
Radius	N/A	N/A	4	4
Reserva de direcciones	2	7	6	15
Seguridad inalámbrica	3	14	11	28
Selección de Antena	0	6	6	12
Selección de Modo	2	8	7	17
Spanning Tree	N/A	N/A	6	6
VLAN	N/A	N/A	8	8
VPN	N/A	N/A	5	5
Otros	0	1	3	4

Se puede observar que existe una opción llamada “Otros”. En esta se le ofrecía al encuestado la posibilidad de describir una opción que no estuviese previamente listada en la encuesta. Algunas de las respuestas obtenidas fueron:

- Brindar soporte a DNS dinámico (*Dynamic DNS, DDNS*).
- Respalda la configuración en la nube.
- Respalda la configuración.

En la Figura A.1 se observa un gráfico con las características presentadas y el total de personas que la escogieron.

Características Enrutador

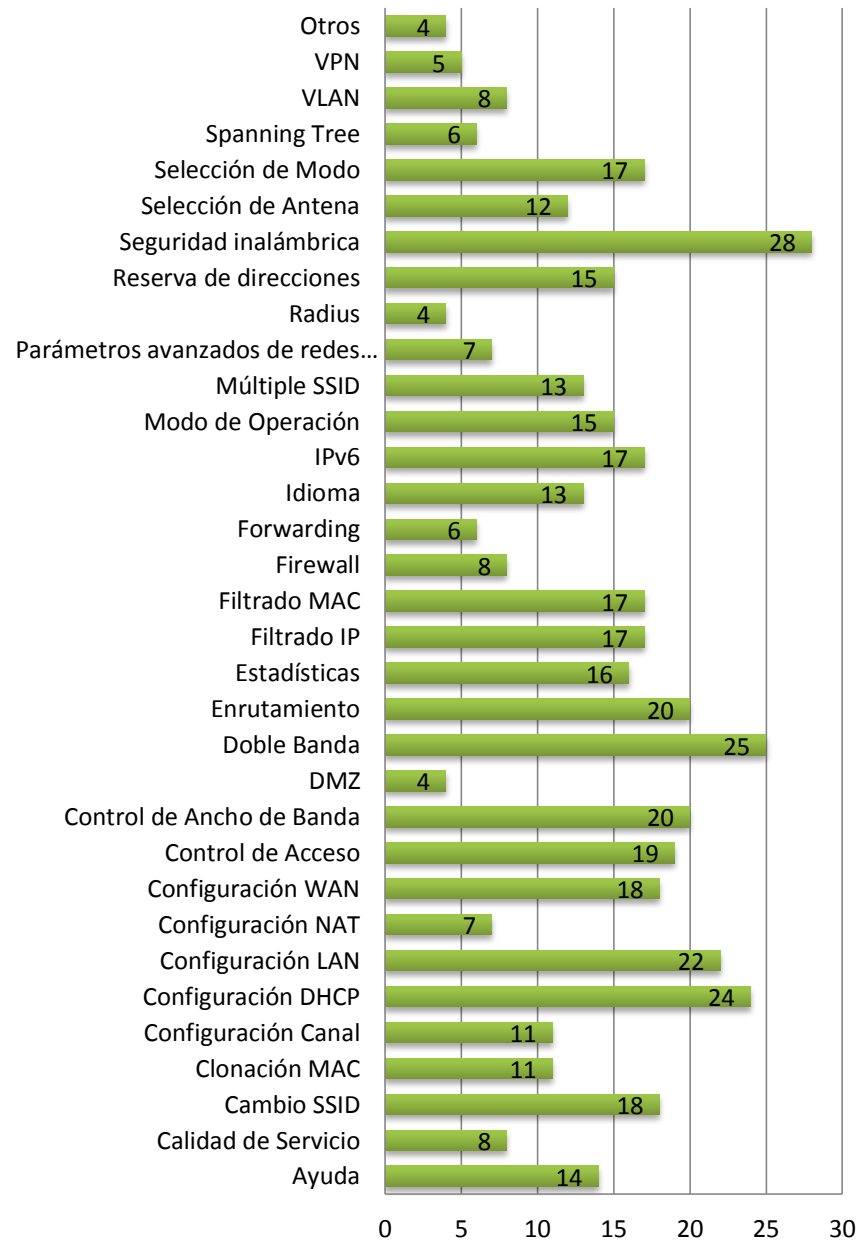


Figura A.1: Gráfico de las características seleccionadas en la encuesta.
Fuente: Realización propia.

Anexo B: Trabajos publicados

Anáis M. Desantiago G., Karima Velásquez y María Elena Villapol. “*Diseño de un Software Educativo para la Configuración de Redes Wi-Fi*”. *I Conferencia Nacional de Computación, Informática y Sistemas (CoNCISa)*, en el marco de la *XXXIX Conferencia Latinoamericana en Informática (CLEI 2013)*. Octubre, 2013. Naiguatá, Venezuela.

Resumen:

El aprendizaje del funcionamiento de las redes Wi-Fi en ocasiones se ve limitado a discusiones teóricas. Este es el caso particular de muchas universidades públicas, especialmente en países en vías de desarrollo, donde el acceso a dispositivos con soporte para este tipo de redes es comúnmente limitado o nulo. Sería de especial interés contar con una herramienta que permita complementar las clases magistrales con experimentos prácticos que refuercen el proceso de aprendizaje. En este artículo se presenta el diseño preliminar de una herramienta de software libre que facilite la enseñanza de redes Wi-Fi. También, se realiza una exhaustiva evaluación sobre enrutadores inalámbricos de uso personal y de oficina para incorporar en el software los parámetros configurables de red que usualmente se incluyen en estos dispositivos, para preparar al estudiante al momento de enfrentarse a la configuración de dispositivos de esta naturaleza.