

Redes Inalámbricas

Introducción:

Una red de área local inalámbrica (WLAN) es una red que cubre un área equivalente a la red local de una empresa, con un alcance aproximado de 100 metros. Permite que los nodos que se encuentran dentro del área de cobertura puedan conectarse. El medio de comunicación es a través de ondas electromagnéticas (de radio o infrarrojo) en lugar del cableado estándar. La banda de frecuencias ICM utilizada es de uso libre siempre que se respeten los límites de la potencia irradiada. *“Los servicios de radiocomunicación que funcionan en estas bandas deben aceptar la interferencia perjudicial resultante de estas aplicaciones” CNC.* La variedad en las tecnologías radica en la frecuencia de transmisión, el alcance y la velocidad que utilizan. Se debe tener en cuenta que las frecuencias utilizadas no pueden ser asignadas en forma aleatoria por el fabricante porque existen regulaciones legales en cada país para controlar el uso eficiente y adecuado del espectro electromagnético como así también la potencia de transmisión irradiada.

Actualmente se pueden diferenciar 3 tipos de redes inalámbricas:

1. WPAN (Red inalámbrica de ámbito personal): Estas redes están pensadas para cubrir un área del tamaño de una habitación. Tradicionalmente los infrarrojos fueron quienes dominaron este tipo de red. La comunicación entre dos dispositivos (PDA, Celulares, Ordenadores portátiles) es a baja velocidad y distancia corta. Actualmente, la tecnología Bluetooth es el estándar que rige este tipo de red.
2. WLAN (Red inalámbrica de ámbito local): Son las redes que cubren el ámbito de una casa, una oficina o edificio de una empresa.
3. WWAN (Red inalámbrica de área extensa): Son redes que cubren áreas más amplias como, por ejemplo, una ciudad. El desarrollo actual se encuentra por las empresas de telefonía móvil.

Protocolos

Una pila (stack) de protocolos es un conjunto de protocolos estandarizados que permiten la comunicación de los dispositivos realizando negociaciones según sus diferentes capas. Estas capas pueden estar basadas en el modelo OSI, el modelo TCP/IP u otros, el cual establece las bases para que dos dispositivos distintos se “entiendan” y puedan establecer la comunicación.

WI-FI o WLAN:

Historia:

El protocolo **IEEE 802.11** o **WI-FI** es un estándar de protocolo de comunicaciones de la IEEE que define el uso de los dos niveles más bajos de la arquitectura OSI (capa física y enlace), especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN. En general, los protocolos de la rama 802.xx definen técnicas de redes de área local. La familia 802.11 incluye seis técnicas de transmisión por modulación que utilizan todos los protocolos. El estándar original de este protocolo data de 1997, el **IEEE 802.11** que tenía velocidades de 1 hasta 2 Mbps y trabajaba en la banda de frecuencia de 2,4 GHz. En la actualidad no se fabrican productos sobre este estándar. La siguiente modificación apareció en 1999 y fue designada como **IEEE 802.11a**, esta especificación tenía velocidades de 5 hasta 11 Mbps y continuaba trabajando a 2,4 GHz. Se realizó una especificación (**802.11b**) para 5 GHz que alcanzaba los 54 Mbps pero resultaba incompatible con **802.11a**. El estándar que incorpora esa velocidad y además es compatible con **802.11a** se llama **802.11g**. La seguridad forma parte del protocolo desde el principio y fue mejorada en la revisión **802.11i**. **IEEE 802.11n** (2009) mejora significativamente

el rendimiento de la red más allá de los estándares anteriores, tales como **802.11b** y **802.11g**, con un incremento significativo en la velocidad máxima de transmisión de 54 Mbps a un máximo de 600 Mbps. A pesar de la expansión actual de la versión 802.11n, la industria ya trabaja en nuevos productos y dispositivos basados en el protocolo **802.11ac**. Permite velocidades de al menos 1.000 Mbps en la banda de los 5 GHz, esa banda al principio restringida a edificios oficiales, como embajadas. Además, el alcance de cobertura es ampliamente superior a otras versiones, de modo que llega hasta un máximo de 90-100 metros mediante el uso de tres antenas internas, suficiente como para cubrir toda el área de una casa de forma aceptable, utilizando dispositivos de la potencia reglamentaria.

Arquitectura:

Una red LAN inalámbrica 802.11 está basada en una arquitectura celular donde el sistema se subdivide en celdas, donde cada celda (llamada Basic Service Set, o BSS) se controla por una estación base (llamada Access Point o AP) (Fig. 1). El sistema puede estar formado por una única celda con un único AP (un BSS) o, más comúnmente, por varias celdas donde los APs están unidos por un tipo de enlace troncal, siendo una red Ethernet la más utilizada. Este sistema en su conjunto se llama Sistema de Distribución (Distribution System o DS).

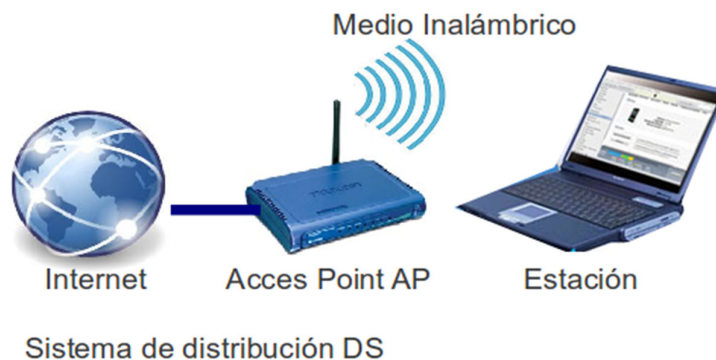


Figura 1. Elementos de una red LAN

Ubicación del estándar 802.11 en el modelo OSI:

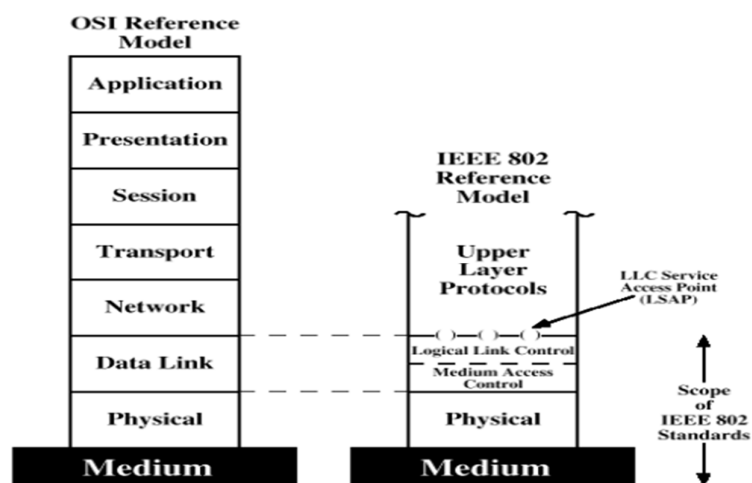


Figura 2. Ubicación del estándar 802.11 en el modelo OSI

Funciones de la Capa Física:

1. Codificación/decodificación de las señales
2. Generación y remoción de la Cabecera (para sincronización)
3. Transmisión/recepción de bits
4. Especificaciones del medio de transmisión.

Funciones de la Capa de Enlace:

Funciones de la subcapa de Control de Acceso al Medio (MAC):

1. Transmisión: Ensamblado de datos en una trama con campos de direccionamiento y detección de errores.
Recepción: Desensamblado de la trama, reconocimiento de direcciones y detección de errores.
2. Administra el acceso al medio de transmisión.

Funciones de la subcapa de Control de Enlace Lógico (LLC):

1. Provee una interfase hacia las capas superiores y realiza el control de errores y de flujo.

Capa Física:

El estándar 802.11 ha tenido una evolución constante desde su nacimiento (1997), es por esto que hoy existen varias versiones, cada una con especificaciones y mejoras diferentes. Una breve explicación de algunas de las versiones más importantes se detalla a continuación:

802.11 Legacy

Fue creado en 1997. Es conocido como la versión original. Permite velocidades de transmisión de hasta 2Mbps y opera sobre la frecuencia de 2,4 GHz. Utiliza el protocolo de acceso al medio CSMA/CA. Este estándar tiene dificultades de comunicación entre dispositivos de diferentes marcas y problemas de interferencia al utilizar la misma banda de frecuencia que electrodomésticos (microondas, teléfonos inalámbricos, etc.). Actualmente no hay implementaciones disponibles.

802.11a OFDM

Aprobada desde 1999. Permite realizar transmisiones con velocidades de hasta 54Mbps y opera sobre la banda de frecuencias de 5 GHz. El alcance aproximado es de 25 metros. Utiliza 52 subportadoras (Subcarriers) mediante la multiplexación por división de frecuencias OFDM. El cambio de la frecuencia de trabajo es una ventaja porque es afectado en menor medida por la interferencia respecto del 802.11 Legacy.

802.11b DSSS

Ratificado en 1999. Soporta velocidades en condiciones ideales de hasta 11Mbps y opera sobre la banda de frecuencias de 2.4 - 2.5 GHz. El alcance aproximado es de 50 metros. Es el más popular pues fue el primero en imponerse y existe un inventario muy grande de equipos y dispositivos que manejan esta tecnología. Al igual que su la versión original emplea CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) como técnica para el acceso al medio. Utiliza la técnica de Espectro Ensanchado por Secuencia Directa DSSS para la modulación de la señal, enviando también bits de redundancia que evitan retransmisiones y corrigen los errores en la trama.

802.11g

Fue ratificado en junio de 2003. Opera a una velocidad de transmisión máxima de 54 Mbps y emplea las mismas bandas de frecuencia que 802.11b, haciéndolo de igual manera compatible. Sin embargo, al mezclar los dos estándares en una misma red, se reduce significativamente la velocidad de

transmisión. Emplea las técnicas de modulación OFDM y DSSS. Con potencias de hasta medio vatio y antenas parabólicas apropiadas, puede llegar a hacer comunicaciones de hasta 50 Km.

802.11n MIMO

Fue ratificado en septiembre de 2009. Opera a una velocidad de transmisión máxima de 600 Mbps aunque la capa física actualmente soporta 300Mbps con el uso de dos flujos espaciales en un canal de 40MHz. Cuenta con una velocidad de modulación seis veces más rápida y una tasa de transferencia de datos entre 2 y 5 veces para una antena WiFi 802.11 a/g, mejora sustancialmente en cobertura y calidad de conexión.

Se detallan los cambios realizados en el nuevo estándar:

- *OFDM Mejorado*: Modulación OFDM nueva y más eficiente que provee anchos de banda más amplios y mayores velocidades de datos.
- *Canales de 40 MHz*: Duplica las velocidades de datos mediante el incremento del ancho de canal de transmisión.
- *Múltiple-Entrada / Múltiple-Salida*: Un sistema de radio con múltiples entradas al receptor y múltiples salidas del transmisor capaz de enviar o recibir múltiples cadenas de datos simultáneamente
- *Agregación de Tramas*: Mejora la capa MAC y reduce la transmisión de encabezados ya que permite que varias tramas de datos sean enviadas como parte de una sola transmisión.

802.11ac MU-MIMO

Conceptualmente, 802.11ac es una evolución de 802.11n. El nuevo estándar opera en el espectro de 5 GHz, frecuencia que restringe la distancia de transmisión, pero que otorga menor sensibilidad a los obstáculos físicos, sin mencionar que está mucho menos saturada de señales (muchos dispositivos de uso doméstico, como teléfonos inalámbricos y hornos de microondas, pueden degradar la señal inalámbrica en el rango de 2.4 GHz). Una red 802.11ac podría superar a una red Gigabit Ethernet.

Muchas de las técnicas utilizadas para aumentar la velocidad en 802.11ac están familiarizadas después de la introducción de MIMO. En lugar de utilizar MIMO sólo para aumentar el número de flujos de datos enviados a un solo cliente, 802.11ac utiliza multi-usuario de MIMO que permite un punto de acceso (AP) para enviar a múltiples clientes a la vez. Introduce dos nuevos tamaños de canales 80MHz y 160MHz y opera solamente en la banda de frecuencia de 5GHz y por tanto no es compatible con la banda de 2.4GHz. Algunas ventajas practicas son: i) Permite ver vídeo en calidad Full HD desde más dispositivos y en más lugares simultáneamente, ii) Transfiere el mismo volumen de datos a una velocidad muy superior y por lo tanto los dispositivos se ponen antes en el modo de bajo consumo, lo que supone una importante reducción del consumo de energía, iii) Diseñados para trabajar con el protocolo de internet IPv6.

BeamForming es una manera de manejar la señal de radiofrecuencia a través de un punto de acceso que utiliza múltiples antenas para transmitir la misma señal. Funciona enviando múltiples señales y analizando el feedback de los dispositivos clientes. Así, la infraestructura de la red inalámbrica puede ajustar estas señales enviadas y determinar cuál es el mejor camino que deberían tomar para alcanzar un dispositivo cliente.

Multi-usuario MIMO tiene el potencial de cambiar la manera en las redes Wi-Fi se construyen, ya que permite una mejor reutilización espacial. Una de las claves para la construcción de una red de cualquier tipo 802.11 está reutilizando el mismo canal en múltiples lugares.

Espectro Disperso con Salto de Frecuencia (FHSS)

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

El orden en los saltos de frecuencia se determina según una secuencia pseudoaleatoria que el emisor

y el receptor deben conocer.

Si se mantiene la sincronización en los saltos de frecuencias se consigue que, aunque en el tiempo se cambie de canal físico (frecuencia), a nivel lógico se mantenga un solo canal por el que se realiza la comunicación (el enlace es único) .

Para la banda de 2,4 GHz, el estándar 802.11 define el orden de los saltos en 3 conjuntos, con 26 secuencias cada uno. Las secuencias cubren 79 canales a lo largo de la banda, con secuencias ortogonales, es decir independientes, unas de otras en cada conjunto.

Espectro Disperso con Secuencia Directa (DSSS)

Consiste en modular la señal a transmitir con una secuencia de bits de alta velocidad, denominados en este caso chips y conocida como Secuencia de Barker, Código de Dispersión o Ruido Pseudoaleatorio (Código PN), que da como resultado una expansión de la señal.

Si bien la relación Potencia y Ancho de Banda se mantiene después del ensanchamiento de la señal, se obtiene una señal más inmune al ruido, ya que la interferencia afecta sólo unos pocos bits de la señal original (la Secuencia de Barker recomendada es de 11 chips, aunque puede llegar a 100, pero a mayor número de chips, mayor es el costo de los osciladores de radiofrecuencia necesarios para su manejo y mayor es el Ancho de Banda requerido).

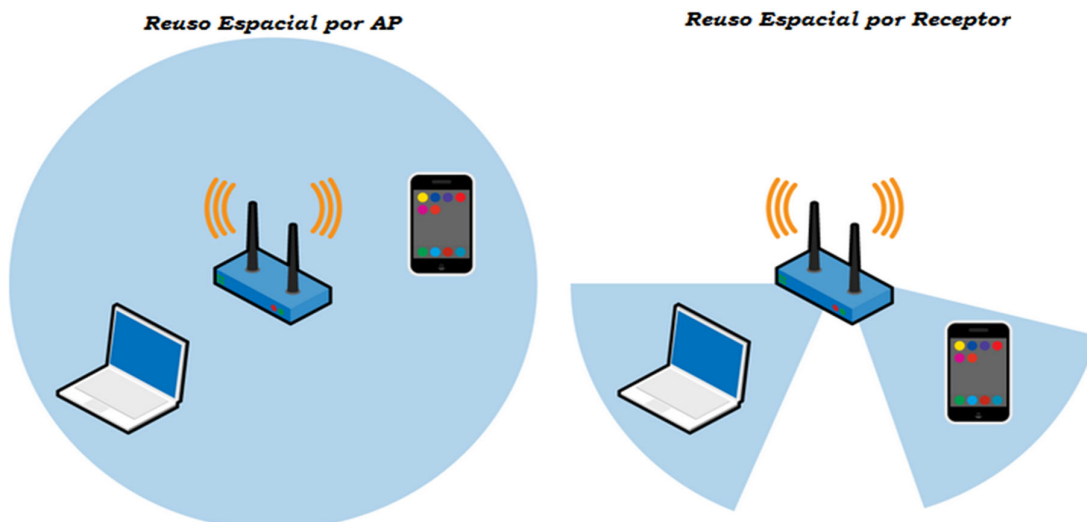
Múltiple-Entrada/ Múltiple-Salida (MIMO)

MIMO aprovecha la técnica de diversidad espacial para el extremo receptor y transmisor, todo esto tiene por objeto mejorar la fiabilidad y calidad del enlace, reduciendo la tasa de error en bit; esta reducción permite el uso de esquemas de modulación superiores y mejora la eficiencia espectral.

Como los sistemas MIMO hacen uso de múltiples antenas en transmisión y recepción, esto da lugar a la generación de subcanales equivalentes paralelos e independientes los cuales a su vez generan una ganancia que viene dada por los valores propios obteniéndose una matriz ($M \times N$), donde M es la antena y N el subcanal generado por dicha antena.

El rendimiento y la mejor eficiencia del canal MIMO se mide a través de la capacidad del canal, a partir de las expresiones de capacidad propuestas por Shannon para canales simples; la capacidad del canal MIMO solo dependerá de la relación señal ruido en el receptor y de la matriz de canal, independientemente del esquema de transmisión o codificación utilizado.

Para la transmisión tenemos el multiplexado espacial que aprovecha el dominio espacial para obtener altas tasas de transferencia y por otra parte la codificación espacio-temporal que está más orientada a mejorar la fiabilidad y calidad del enlace, mediante el uso de la diversidad espacial desde otra concepción, establece la transmisión de múltiples réplicas de cada símbolo.



Capa de Enlace**Control de acceso al medio (MAC):**

Mientras que Ethernet transmite la trama y asume que el destino lo recibe correctamente. En los enlaces de radio esto es diferente, especialmente cuando las frecuencias usadas pertenecen a las bandas de ICM (industrial, científica y médica, en inglés ISM) que están sujetas al ruido y a la interferencia. Es por esta razón que toda transmisión en 802.11 debe ser reconocida a través de un acuse de recibo (acknowledgement - ACK): si cualquiera de las partes falla, la trama se considera perdida.



Figura 3. Transmisión 802.11

Sin embargo, puede ocurrir como se muestra en la Fig. 4 donde la estación A no puede comunicarse directamente con la estación C porque el alcance no es suficiente y que se produzca una colisión que no sería detectada por dichas estaciones que transmiten el mismo tiempo y si en la estación B. Esta situación se la conoce como problema de estación oculta.

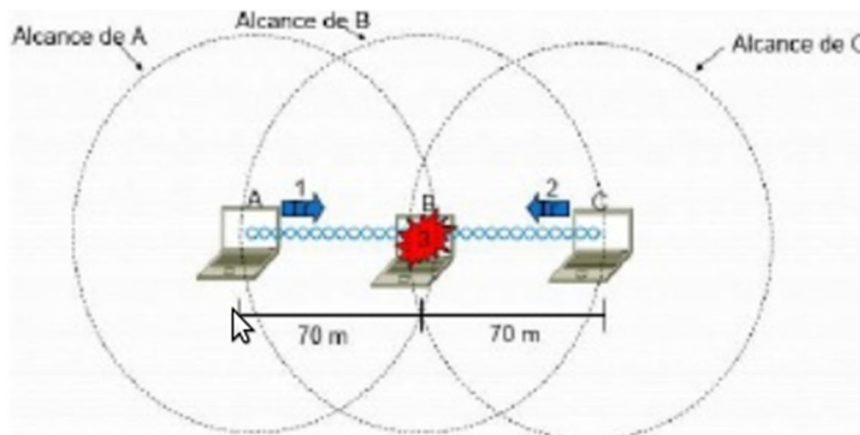


Figura 4. Problema de la estación oculta

IEEE 802.11 implementa señales de requerimiento y aceptación para el envío de datos con el propósito de reservar el enlace de radio (request to send - RTS y clear to send – CTS) y prevenir colisiones. Continuando con el ejemplo anterior (Fig. 4), este proceso sucede de la siguiente manera:

1. La estación A envía una trama RTS a la estación B.
2. La estación B envía una trama CTS como respuesta a la estación A y C.
3. La estación C se detiene y no transmite durante el tiempo que dure la transmisión.
4. La estación A envía la trama de datos a la estación B.
5. La estación B envía la trama de ACK a la estación A.

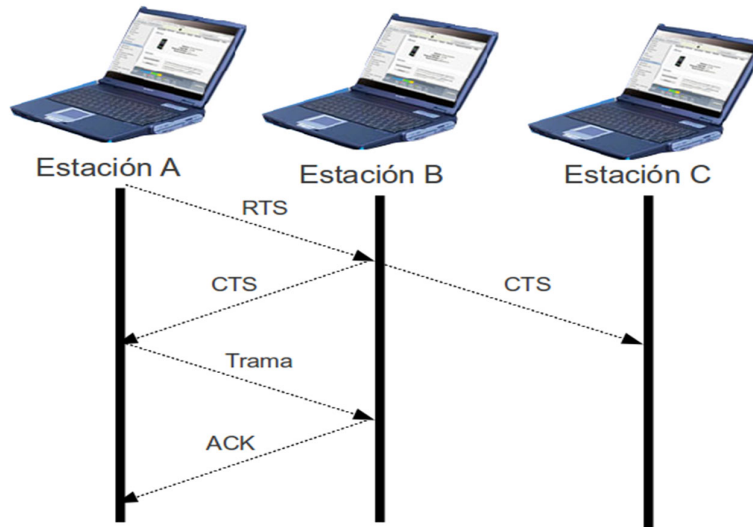


Figura 5. Solución estación oculta

Modos de acceso:

El acceso al medio inalámbrico es controlado por funciones de coordinación.

DCF (Función de Coordinación Distribuida): La DCF es el mecanismo de acceso básico del estándar CSMA/CA donde primero se verifica que el enlace de radio se encuentre limpio para transmitir. Para evitar colisiones, las estaciones retardan aleatoriamente el envío de tramas y luego escuchan el canal para poder transmitir. En algunas circunstancias, la DCF puede usar la técnica de RTS/CTS para reducir la posibilidad de colisiones.

PCF (Función de Coordinación Puntual): La PCF está asociada a transmisiones libres de colisiones las cuales utilizan técnicas de acceso deterministas. Para esta función se define una técnica de interrogación circular desde el punto de acceso AP. Esta funcionalidad es para servicios de tipo síncrono que no soportan retardos aleatorios en el acceso al medio.

Funciones de detección de portadoras:

La detección de la portadora es usada para determinar si el medio se encuentra disponible. Dos tipos de funciones de detección son manejadas por el estándar 802.11: la detección de portadora por parte de la capa física y las funciones de detección de portadoras virtuales.

Las funciones de detección de portadoras indican que el medio se encuentra ocupado. La MAC es la encargada de reportar esta situación a las capas superiores.

Las funciones de detección de portadora son provistas por la capa física dependiendo del medio y de la modulación utilizada.

Las funciones de detección de portadoras virtuales son provistas por el Vector de Asignación de Red (NAV). El NAV es un temporizador que indica la cantidad de tiempo que el medio será reservado, expresado en microsegundos. La estación coloca el NAV con el tiempo que espera ocupar el medio,

incluyendo otras tramas necesarias para completar la operación. Las otras estaciones realizan una cuenta regresiva desde el NAV hasta llegar a cero. Cuando el NAV es distinto de cero, la función de detección de portadora virtual indica que el medio está ocupado y cuando llega a cero, que indica que esta disponible.

Cuando una estación está lista para transmitir, primero envía una solicitud de RTS al AP, la cual contiene el destino y la longitud del mensaje. El AP difunde el NAV a todos los demás nodos para que todos queden informados que se va a ocupar el canal y cuál va a ser la duración de la transmisión. Dicho tiempo se encuentra basado en el tamaño de la trama a transmitir informada en la solicitud de RTS. Los nodos dejarán de transmitir durante el tiempo indicado por el NAV más un intervalo extra aleatorio (backoff). Si no encuentran problemas, el AP responde con una autorización (CTS) que permite al solicitante enviar su trama de datos. Si no se recibe la trama CTS, se supone que ocurrió una colisión y los procesos RTS empiezan nuevamente.

Luego de recibida la trama de datos se devuelve una trama de acuse de recibo (ACK) notificando al transmisor que se ha recibido correctamente la información (sin colisiones).

Un inconveniente que sigue presente radica varias estaciones envían al mismo tiempo las tramas RTS, sin embargo, estas colisiones causan menos daño porque el tiempo de duración es relativamente corto.

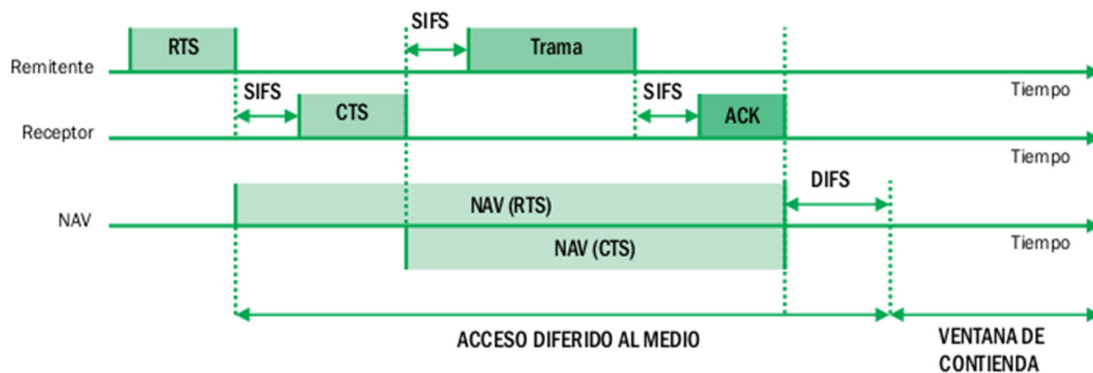


Figura 6. Esquema del proceso

Espaciamiento intertrama:

El estándar 802.11 usa cuatro diferentes espaciamientos entre tramas. Variando el espaciamiento intertrama se pueden crear diferentes niveles de prioridad para distintos tipos de tráficos. Debido a las distintas capas físicas que el estándar 802.11 puede adoptar, éstas pueden especificar diferentes tiempos de intertramas. En la Fig. 7 se muestran los cuatro casos mencionados.

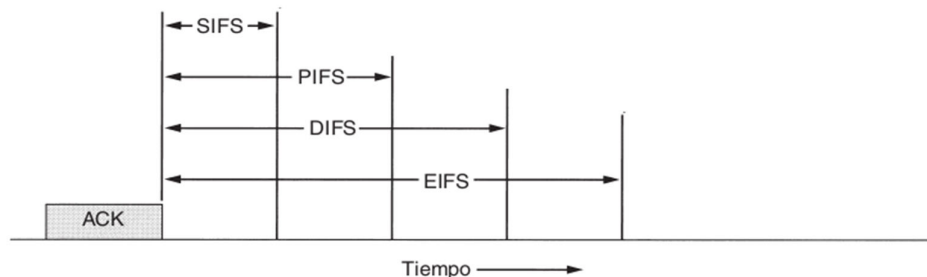


Figura 7. Espaciamiento entre tramas 802.11

- SIFS (Espaciado corto entre tramas): Es usado para transmisiones de alta prioridad, tales como tramas RTS/CTS y ACK positivas.
- PIFS (Espaciado entre tramas PCF): Es usado por la PCF durante una operación libre de contienda. Las estaciones con datos para transmitir pueden hacerlo luego del PIFS.

- DIFS (Espaciado entre tramas DCF): Es el tiempo mínimo para servicios basados en contienda en el cual el medio debe estar libre para que una estación pueda acceder. Las estaciones pueden tener inmediatamente acceso al medio si ha estado libre por un tiempo mayor que el DIFS.
- EIFS (Espaciado entre tramas extendido): Es usado solamente cuando hay un error en la transmisión de una trama.

Estructura de la trama 802.11

Existen tres tipos trama:

1. Tramas de datos: usadas para la transmisión de datos.
2. Tramas de control: usadas para el control del acceso al medio (Por ejemplo: RTS, CTS y ACK).
3. Tramas de gestión: son transmitidas de la misma manera que las tramas de datos para intercambiar información de administración, pero no son transportadas a las capas superiores .

A continuación, se muestra el formato de la trama de datos.

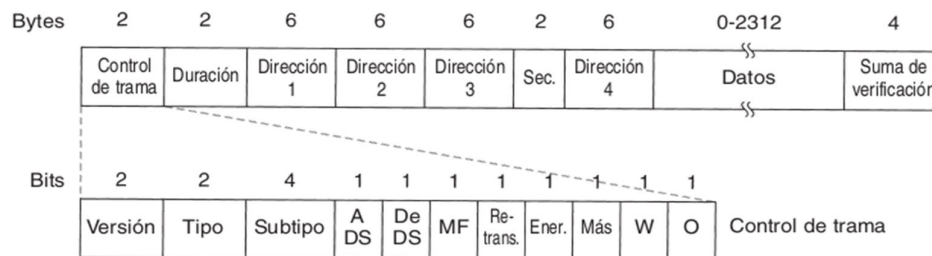


Figura 8. Trama de datos 802.11

Control de trama: Corresponde al comienzo de trama compuesto por 2 bytes:

- Versión de protocolo: Estos 2 bits indican cuál es la versión de 802.11 MAC que se encuentra contenida en la trama. Hasta el presente solamente se ha desarrollado una versión de 802.11 y el número de protocolo asignado es el 0.
- Tipo: Este campo de 2 bits indica el tipo de trama utilizado: gestión, control o datos.
- Subtipo: Este campo de 4 bits asociados con el de tipo detallan las acciones de cada una de las tramas, entre las cuales se encuentran: asociación, reasociación, prueba, Beacon, disociación, autenticación, desautenticación, RTS, CTS, ACK, Datos, etc.
- A DS y De DS: Estos bits indican si una trama es destinada al sistema de distribución. Todas las tramas sobre la red de infraestructura tienen estos bits activados.
- Mas Fragmentos (MF): Este bit indica si la trama sufre alguna fragmentación. Cuando un paquete es fragmentado por la MAC, el fragmento inicial y los siguientes, salvo el último, contienen este bit activado en 1.
- Retransmisión: Cualquier trama retransmitida tiene este bit en 1 para ayudar a la estación que la recibe en la eliminación de tramas duplicadas.
- Administración de energía: Para conservar la vida de la batería, muchos dispositivos pequeños tienen la capacidad para pasar la energización a la parte de la interfase de red. Un 1 indica que la estación entró en modo de ahorro de energía y un 0 indica que la estación ha sido activada. Los APs poseen una importante función de administración y no pueden pasar al modo de ahorro de energía, por lo que todas las tramas transmitidas poseen este bit siempre en 0.
- Mas datos: Este bit es usado por el AP para indicar que hay más tramas para esa estación.
- Privacidad Inalámbrica Equivalente (WEP o W): Si la trama está protegida por un protocolo de seguridad en la capa de enlace este bit está activado.
- Orden (O): Este bit al ser activado indica que las tramas y fragmentos van a ser transmitidas

en un estricto orden. Esto produce un incremento del procesamiento durante el envío y la recepción de las tramas MAC.

Duración: Este campo tiene dos significados dependientes del tipo de trama:

1. Modo ahorro de energía corresponde al ID de la estación.
2. Indica la duración calculada que utiliza el NAV.

Campos de direcciones: Una trama puede contener hasta 4 direcciones dependiendo de los bits A DS y De DS definidos en el campo de control.

- Dirección1: Es siempre la dirección del receptor. Si A DS está activado representa la dirección del AP y desactivado es la dirección de la estación.
- Dirección2: Es siempre la dirección del transmisor. Si De DS está activado representa la dirección del AP y desactivado es la dirección de la estación.
- Dirección3: Cuando el bit De DS esta activo representa la dirección de la fuente de origen. Si en cambio el bit A DS esta activo y no interesa el valor del bit De DS representa a la dirección de destino.
- Dirección4: Es usado en casos especiales cuando un sistema de distribución inalámbrico es usado, y las tramas son transmitidas desde un AP a otro. En este caso los bits A DS y De DS están activados.

Control de Secuencias (Sec): Este campo es usado para representar el orden de diferentes fragmentos dentro de una misma trama y para el reconocimiento de paquetes duplicados. Está constituido por el número de fragmento y el número de secuencia.

Suma de verificación: Es un campo de 32 bits conteniendo un CRC (Chequeo de redundancia cíclica) para la detección de errores de la trama.

Control de Enlace Lógico (LLC):

Especifica los mecanismos para el direccionamiento de estaciones conectadas al medio y para controlar el cambio de datos entre usuarios de la red. La operación y formato de este estándar esta basado en el protocolo HDLC. Establece tres tipos de servicio: 1) sin conexión y sin reconocimiento, 2) con conexión y 3) con reconocimiento y sin conexión.

El IEEE 802.2 define la capa LLC para toda familia de redes IEEE 802.

Redes WPAN:

Se usan generalmente para conectar dispositivos periféricos (impresoras, celulares, cámaras fotográficas) o un asistente personal digital (PDA) a un ordenador sin conexión por cables. También se pueden conectar de forma inalámbrica dos ordenadores cercanos. La tecnología que se emplea en estas redes procura hacer eficiente el uso de recursos. Para lograr tal fin se diseñaron protocolos simples y los más óptimos para cada necesidad de comunicación y aplicación.

Se usan varios tipos de tecnología para las WPAN:

- I. **Bluetooth:** Fue lanzado por Ericsson en 1994. Ofrece una velocidad máxima de 1 Mbps con un alcance máximo dependiendo de la clase. La tecnología Bluetooth, también conocida como *IEEE 802.15.1*, tiene la ventaja de tener un bajo consumo de energía, algo que resulta ideal para usarla en periféricos de pequeño tamaño.
- II. **HomeRF (Home Radio Frequency):** Fue lanzada en 1998 por HomeRF Working Group , compañía formada por fabricantes como Hewlett-Packard, Intel, Siemens, Motorola,

Microsoft. Ofrece una velocidad máxima de 10 Mbps con un alcance de 50 a 100 metros sin amplificador. A pesar de estar respaldado por Intel, el estándar HomeRF se abandonó en enero de 2003 porque los fabricantes de procesadores empezaron a usar la tecnología Wi-Fi en placa.

III. La tecnología **Zigbee** (también conocida como *IEEE 802.15.4*). Se puede utilizar para conectar dispositivos en forma inalámbrica a un muy bajo costo y con bajo consumo de energía. Su principal aplicación esta en pequeños aparatos electrónicos (electrodomésticos, sistemas estéreos y juguetes). Funciona en la banda de frecuencia de 2,4 GHz con 16 canales y puede alcanzar una velocidad de transferencia de hasta 250 Kbps con un alcance máximo de unos 100 metros.

IV. Las conexiones **infrarrojas** se pueden utilizar para crear conexiones inalámbricas en un radio de unos pocos metros, con velocidades que puedan alcanzar unos pocos megabits por segundo. Esta tecnología se usa ampliamente en aparatos electrónicos del hogar (como los controles remotos), pero puede sufrir interferencias debidas a las ondas de luz.

Estándares:

El estándar que rige las redes WPAN es IEEE 802.15. En base a la tasa de transferencia de datos, consumo de energía y calidad de servicio (QoS) se han definido 4 clases:

- a) 802.15.1: Se adoptó Bluetooth como base del estándar.
- b) 802.15.2: Definición de modelos de coexistencia entre redes WPAN y WLAN.
- c) 802.15.3: Estándar WPAN de alta velocidad para servicios multimedia.
- d) 802.15.4: Estándar WPAN de baja velocidad, baja complejidad y bajo costo.

Bluetooth:

La idea de poner como nombre “Bluetooth” al estándar IEEE 802.15.1 surgió debido a un personaje quien fue un rey danés vikingo llamado “Harald Blatand” y su logo surge de la unión de las runas nórdicas, H (Hagall) y B (Berkanan).



La tecnología Bluetooth comprende hardware, software y requerimientos de interoperabilidad, por lo que su desarrollo ha necesitado la participación de los principales fabricantes de los sectores de las telecomunicaciones y la informática, además, entre sus principales características, pueden nombrarse su robustez, baja complejidad, consumo de energía y costo.

Funcionamiento:

Cada dispositivo está equipado con un microchip, llamado Transceptor que transmite y recibe en la frecuencia de 2.4 GHz. Cada dispositivo tiene una dirección única de 48 bits basado en el estándar IEEE 802.15.1. Estos dispositivos se clasifican como Clase 1, Clase 2 o Clase 3 en referencia a su potencia de transmisión, siendo totalmente compatibles los dispositivos de una clase con los de las otras.

Debido a la naturaleza de las transmisiones, los dispositivos no tienen que estar alineados y pueden incluso estar en habitaciones separadas si la potencia de transmisión lo permite. Por lo general, el receptor (una computadora) será de clase 1, mientras que el emisor (un smartphone) pertenecerá a la clase 3. De esta manera, la mayor sensibilidad y potencia de transmisión del dispositivo de clase 1 permite que la señal llegue con energía suficiente hasta el dispositivo de clase 3. Además, la mayor

sensibilidad del dispositivo de clase 1 reconocerá la señal del dispositivo de clase 3 aunque sea débil.

Clase	Potencia Máxima	Alcance
Clase 1	100mW	100m
Clase 2	2.5mW	10m
Clase 3	1mW	1m

Arquitectura:

La unidad básica de un sistema Bluetooth es una piconet, que consta de un nodo maestro y hasta siete nodos esclavos activos a una distancia de 10 metros. En una misma sala se puede encontrar varias piconets y se pueden conectar mediante un nodo puente, como se muestra en la Fig. 9. Un conjunto de piconets interconectadas se denomina scatternet.

Además de los siete nodos esclavos activos de una piconet, puede haber hasta 255 nodos estacionados en la red. Éstos son dispositivos que el nodo maestro ha cambiado a un estado de bajo consumo de energía para reducir el desgaste innecesario de sus pilas. Lo único que un dispositivo en estado estacionado puede hacer es responder a una señal de activación por parte del maestro. También hay dos estados intermedios hold y sniff.

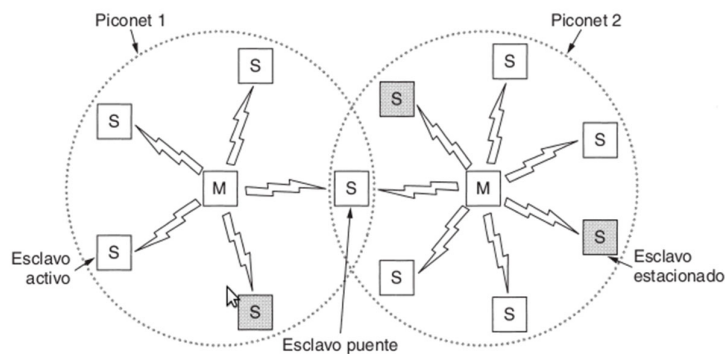


Figura 9. Arquitectura de Bluetooth

Protocolos de Bluetooth

El estándar Bluetooth cuenta con muchos protocolos agrupados con poco orden en capas. La estructura de capas no sigue el modelo OSI, el modelo TCP/IP, el modelo 802 o algún otro modelo conocido.

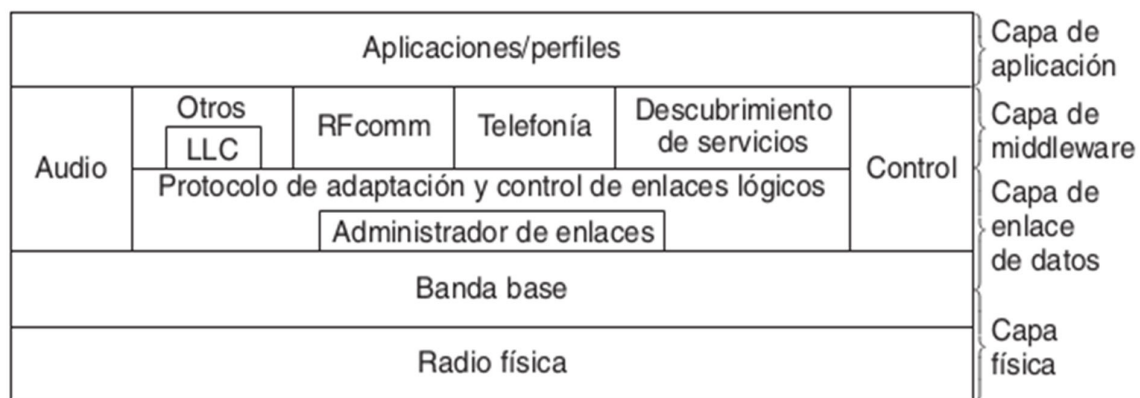


Figura 10. Protocolo de Bluetooth – IEEE 802.15

Capa de Radio Física:

La capa de radio traslada los bits del maestro al esclavo, o viceversa. Es un sistema de baja potencia con un rango de 10 metros que opera en la banda ISM de 2.4 GHz. La banda se divide en 79 canales de 1 MHz cada uno. La modulación es por desplazamiento de frecuencia, con 1 bit por Hz, lo cual da una tasa de datos aproximada de 1 Mbps, pero gran parte de este espectro la consume la sobrecarga. Para asignar los canales de manera equitativa, el espectro de saltos de frecuencia se utiliza a 1600 saltos por segundo y un tiempo de permanencia de 625 μ seg. Todos los nodos de una piconet saltan de manera simultánea, y el maestro establece la secuencia de salto. Debido a que tanto el 802.11 como Bluetooth operan en la banda ISM de 2.4 GHz en los mismos 79 canales, interfieren entre sí. Puesto que Bluetooth salta mucho más rápido que el 802.11, es más probable que un dispositivo Bluetooth dañe las transmisiones del 802.11 que en el caso contrario.

Capa de Banda Base:

La capa de banda base de Bluetooth es lo más parecido a una subcapa MAC. Esta capa convierte el flujo de bits puros en tramas y define algunos formatos clave. En la forma más sencilla, el maestro de cada piconet define una serie de ranuras de tiempo de 625 μ seg y las transmisiones del maestro empiezan en las ranuras pares, y las de los esclavos, en las ranuras impares. Ésta es la tradicional multiplexión por división de tiempo, en la cual el maestro acapara la mitad de las ranuras y los esclavos comparten la otra mitad. Las tramas pueden tener 1, 3 o 5 ranuras de longitud.

La sincronización de saltos de frecuencia permite un tiempo de asentamiento de 250-260 μ seg por salto para que los circuitos de radio se estabilicen.

Cada trama se transmite por un canal lógico, llamado enlace, entre el maestro y un esclavo. Hay dos tipos de enlaces.

El primero es el ACL (Asíncrono no Orientado a la Conexión), que se utiliza para datos conmutados en paquetes disponibles a intervalos irregulares. Estos datos provienen de la capa L2CAP en el nodo emisor y se entregan en la capa L2CAP en el nodo receptor. El tráfico ACL se entrega sobre la base de mejor esfuerzo. No hay garantías. Las tramas se pueden perder y tienen que retransmitirse. Un esclavo puede tener sólo un enlace ACL con su maestro.

El otro tipo de enlace es el SCO (Síncrono Orientado a la Conexión), para datos en tiempo real, como ocurre en las conexiones telefónicas. A este tipo de canal se le asigna una ranura fija en cada dirección. Por la importancia del tiempo en los enlaces SCO, las tramas que se envían a través de ellos nunca se retransmiten.

Administrador de Enlace (LMP):

Se encarga de la señalización entre dispositivos bluetooth para el control de banda base. Establecimiento de la conexión, negociación de parámetros y cambio en las políticas del enlace. Incluye funciones de control de la piconet, la conmutación maestro-esclavo, el establecimiento de enlaces ACL y SCO y el control de los modos de baja potencia. También se encarga de las funciones de configuración del enlace, como la gestión de la calidad de servicio (intervalo de polling, envío de los mensajes de broadcast), el control de potencia y la negociación del tipo de paquetes. Finalmente, tiene también funciones de seguridad, encargándose de la autenticación y el cifrado.

Capa de adaptación y control de enlace lógico (L2CAP):

La capa L2CAP tiene tres funciones principales. Primera, acepta paquetes de hasta 64 KB provenientes de las capas superiores y los divide en tramas para transmitirlos. Las tramas se reensamblan nuevamente en paquetes en el otro extremo.

Segunda, maneja la multiplexión y demultiplexión de múltiples fuentes de paquetes. Cuando se

reensambla un paquete, la capa L2CAP determina cuál protocolo de las capas superiores lo manejará, por ejemplo, el RFcomm o el de telefonía.

Tercera, la capa L2CAP se encarga de la calidad de los requerimientos de servicio, tanto al establecer los enlaces como durante la operación normal. Asimismo, durante el establecimiento de los enlaces se negocia el tamaño máximo de carga útil permitido, para evitar que un dispositivo que envíe paquetes grandes sature a uno que reciba paquetes pequeños. Esta característica es importante porque no todos los dispositivos pueden manejar paquetes de 64 KB.

Estructura de la trama Bluetooth:

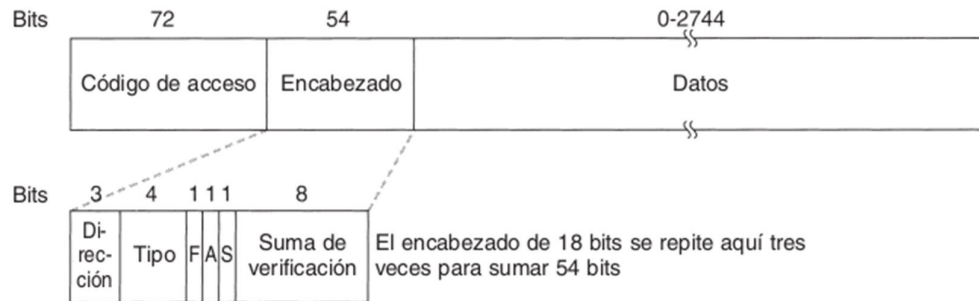


Figura 11. Trama Bluetooth

Código de acceso: Identifica al maestro de cada piconet y cuyo propósito es que los esclavos que se encuentren en el rango de alcance de dos maestros sepan que tráfico está destinado a ellos.

Encabezado: Consta de 54 bits que contiene campos comunes de la subcapa MAC.

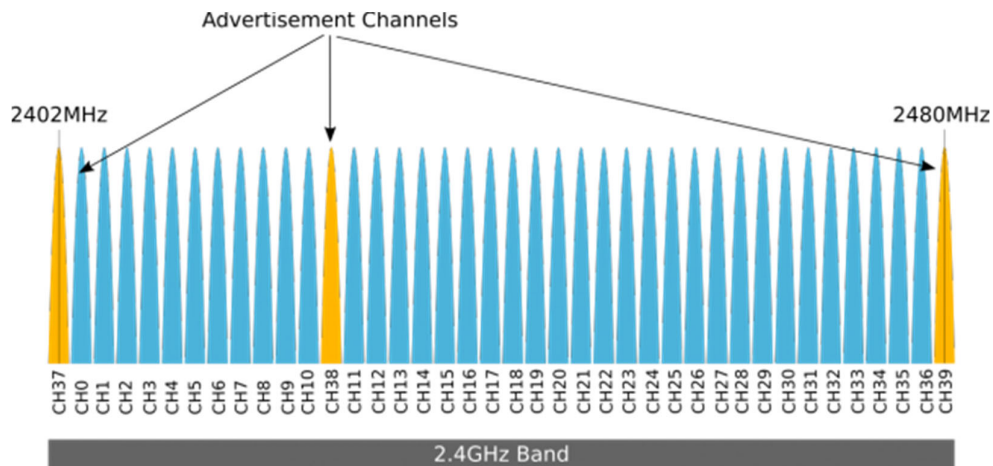
- **Dirección:** Identifica a cual de los ocho dispositivos activos esta destinada la trama.
- **Tipo:** Indica el tipo de trama (ACL, SCO, de sondeo o nula), el tipo de corrección de errores que se utiliza en el campo de datos y cuantas ranuras de longitud tiene la trama.
- **F (de flujo):** Un esclavo establece este bit (de flujo) cuando su buffer esta lleno y no puede recibir más datos. Esta es una forma primitiva de control de flujo.
- **A (Confirmación de recepción o Acknowledgement):** Se utiliza para incorporar un ACK en la trama.
- **S (de secuencia):** Sirve para numerar las tramas con el propósito de detectar retransmisiones. El protocolo es de parada y espera, por lo que 1 bit es suficiente.
- **Suma de verificación:** Consta de 8 bits y cumple la misma función que el protocolo IEEE 802.11.

Todo el encabezado de 18 bits se repite tres veces para formar el encabezado de 54 bits. En el receptor se comprueban las tres copias de cada bit y si coinciden, se acepta. De lo contrario se impone la opinión de la mayoría.

Datos: Varía desde 240 hasta 2744 bits (para una transmisión de cinco ranuras). Para una sola ranura de tiempo, el formato es el mismo excepto que el campo de datos es de 240 bits.

Bluetooth Smart:

Bluetooth Low Energy (BLE, también comercializado como Bluetooth Smart) se inició como parte de la especificación esencial Bluetooth 4.0. Aunque BLE es completamente diferente en objetivos de diseño y desarrollo al Bluetooth clásico se lo suele presentar como una versión más pequeña y altamente optimizada respecto del clásico. El sistema BLE opera en la banda de 2.4 GHz y usa 40 canales RF. Estos canales están centrados en la frecuencia que resulta de aplicar la siguiente ecuación $f_{\text{channel}} = 2402 + k * 2 \text{ MHz}$ con k entre 0 y 39.



Comparación entre protocolos inalámbricos

	BLE	Wi-Fi	Zigbee
Frequency Band	2.4GHz	2.4GHz / 5GHz	2.4GHz
Modulation	GFSK	OFDM, DSSS	DSSS
Range	<100m	<300m	< 100m Point to Point, More with Meshing
Network Topology	Scatternet	Star	Mesh
Data Rate	1Mbps	11Mbps, 54Mbps, 150Mbps+	250kbps
Peak Current Consumption	<15mA	60mA RX, 200mA TX	19mA RX, 35mA TX
Standby Current	< 2uA	< 100uA	5uA

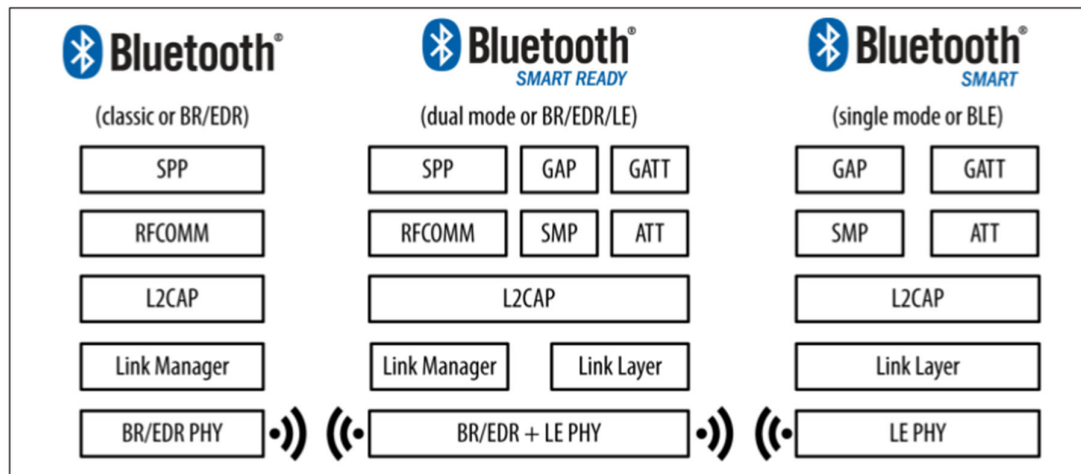
Configuración

La especificación cubre tanto el Bluetooth clásico como smart. Estos dos estándares de comunicación inalámbrica no son directamente compatibles y los dispositivos Bluetooth calificados en cualquier versión de la especificación antes de la 4.0 no pueden comunicarse de alguna manera con un dispositivo BLE. El protocolo asociado a las capas superiores y las aplicaciones son diferentes e incompatibles entre las dos tecnologías.

Dispositivo	Clásico	Smart
Pre-4.0	√	X
4.x Modo-Único	X	√
4.x Modo-Dual	√	√

Modo-único: Un dispositivo que implementa BLE, que puede comunicarse con los dispositivos de modo único y de modo dual, pero no con los dispositivos que soporta solamente BR/EDR.

Modo-dual: Un dispositivo que implementa tanto BR/EDR y BLE, que puede comunicarse con cualquier dispositivo Bluetooth.



Topología de red

Un dispositivo BLE puede comunicarse con el mundo mediante dos topologías: broadcasting o conexiones.

Broadcasting

Mediante broadcasting se puede enviar datos a cualquier dispositivo que este explorando el medio o cualquier receptor en el rango de audición. Este mecanismo permite esencialmente enviar datos en un solo sentido a cualquiera que sea capaz de entender los datos transmitidos.

El transmisor BLE envía periódicamente paquetes de anuncio (advertising) a cualquier dispositivo que este dispuesto a recibirlos, mientras que el receptor BLE explora repetidamente las frecuencias de anuncio enviadas por algún transmisor.

Conexiones

Cuando se necesita transmitir datos en ambas direcciones o cuando los datos tienen más capacidad que los dos payloads de los paquetes de anuncio se utiliza una topología del tipo conexión. Una conexión es permanente y periódicamente se intercambian paquetes de datos entre dos dispositivos. La topología consta de dos roles: maestro y esclavo.

Maestro o central: Escanea repetidamente las frecuencias predeterminadas para los paquetes de anuncio y cuando es apropiado inicia una conexión. Una vez establecida la conexión, el maestro gestiona la sincronización e inicia el intercambio de datos en forma periódica.

Esclavo o periférico: Envía paquetes de anuncio periódicamente y acepta las conexiones entrantes. Una vez que la conexión esta activa, el esclavo intercambia datos en forma regular con el maestro.

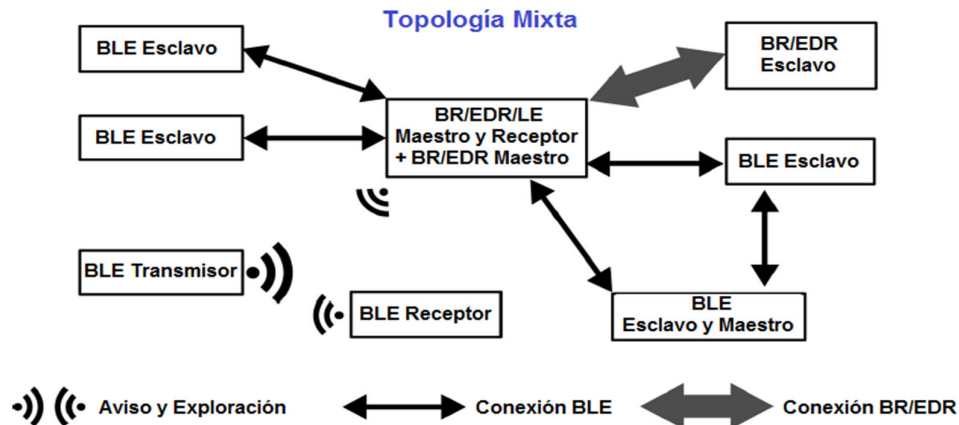
Configuraciones posibles:

- Un dispositivo puede actuar como maestro y esclavo al mismo tiempo.
- Un maestro puede ser conectado a múltiples esclavos.
- Un esclavo puede ser conectado a múltiples maestros.

La principal ventaja respecto al modo broadcasting es la capacidad de organizar los datos con un

control más preciso sobre cada campo o propiedad mediante el uso de capas de protocolos adicionales y específicamente Perfil de Atributo Genérico (GATT).

Estas topologías pueden ser combinadas libremente como se muestra en la siguiente figura. Un dispositivo BR/EDR/LE puede ser usado como puente para conectar un BLE con BR/EDR. El número de combinaciones y participantes sobre la red esta restringida solamente por las limitaciones del espectro utilizado y los protocolos que tienen implementados cada dispositivo.



Perfiles Genéricos

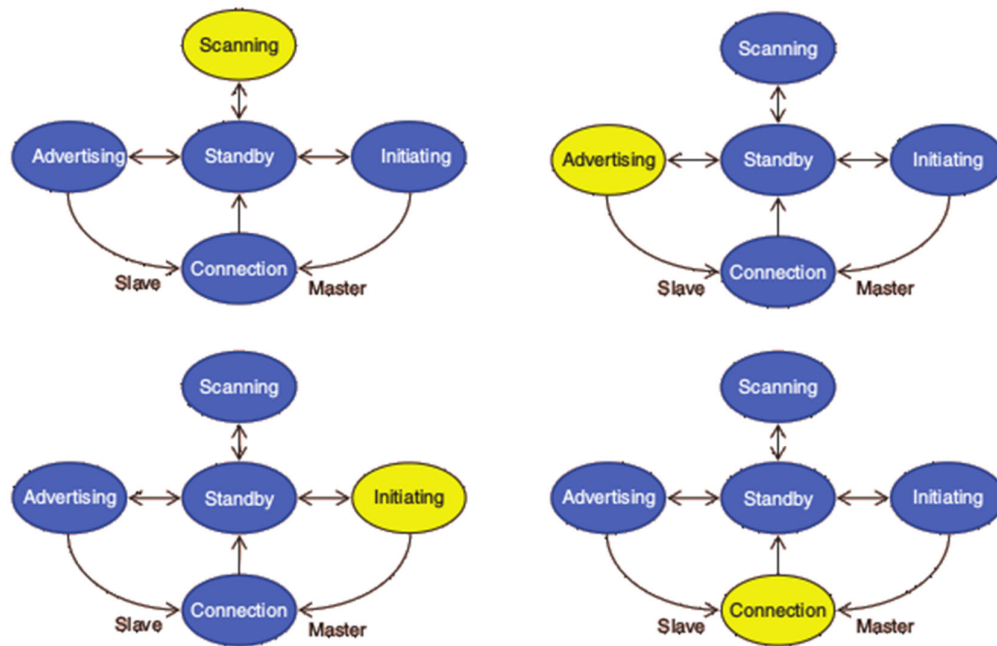
Perfil de Acceso Genérico (GAP): Abarca el modelo de los protocolos de radio de las capas inferiores para definir las funciones, procedimientos y modos que permiten a los dispositivos para transmitir datos, descubrir dispositivos, establecer conexiones, gestión de conexiones, y negociar los niveles de seguridad. GAP es la capa de control superior de BLE y es obligatorio para todos los dispositivos BLE.

Perfil de Atributo Genérico (GATT): Trata el intercambio de datos en el BLE, el GATT define un modelo de datos y los procedimientos básicos para permitir que los dispositivos para descubrir, leer y escribir los elementos de datos. Es la capa de datos más alta del BLE.

Capa de enlace

Un BLE tiene varios estados, pero solamente uno de ellos es permitido por tiempo

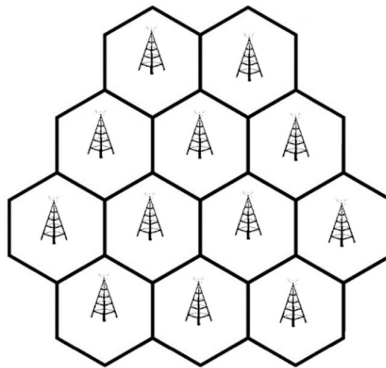
- **Espera (Standby):** El dispositivo no está transmitiendo ni recibiendo. Usualmente, esta asociado con el modo de ahorro de energía donde el dispositivo esta dormido.
- **Anuncio (Advertising):** Un dispositivo que tiene un rol de esclavo entrará en el estado de anuncio donde se enviarán paquetes en los canales de anuncio. En este estado también se escuchan cualquier respuesta a los paquetes desde un maestro.
- **Exploración (Scanning):** Escucha los paquetes de anuncio que se envían a través de esos canales. Este modo se utiliza para buscar los dispositivos.
- **Inicialización (Initiating):** Este estado es utilizado por el maestro antes de establecer una conexión. El maestro esta atento a anuncios de los esclavos hasta que recibe el anuncio de un esclavo deseado y se conecta mediante el envío de datos.



Sistemas de telefonía y comunicaciones móviles

La telefonía es el servicio más utilizado de los que ofrecen los sistemas de comunicaciones móviles. Todos los sistemas tienen la función de telefonía incorporada. Si bien la telefonía móvil empezó siendo analógica, en la actualidad todo el servicio es digital.

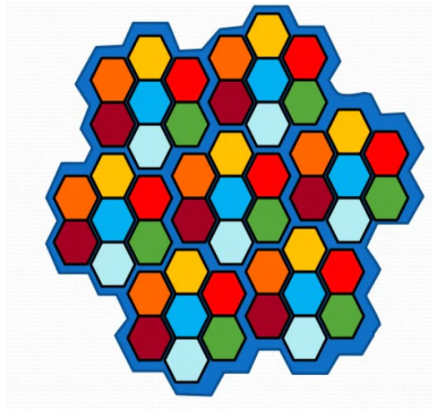
Durante la década del 70 se desarrolló en USA una de las técnicas que más importancia ha tenido en la gran expansión de la telefonía móvil. Esta técnica es la división celular del área donde se ofrece el servicio de telefonía. La división celular consiste en dividir el área en muchas zonas relativamente pequeñas y reutilizar los canales disponibles en esas zonas, que se llamarán células. Este hecho permite ofrecer un servicio de calidad a una cantidad muy superior de usuarios.



Sistema celular de telefonía móvil

Reutilización de frecuencias

El concepto de telefonía celular está íntimamente ligado con la planificación de reutilización de frecuencias. El espectro se divide siempre en una serie de canales. La reutilización de frecuencias se basa en asignar a cada celda un grupo de frecuencias (portadoras). Para evitar interferencias que complicarían las comunicaciones, las celdas vecinas nunca usarán las mismas frecuencias. El grupo de celdas que no reutiliza ningún canal se llama cluster.



Reuso de frecuencias en la telefonía celular

Modo de funcionamiento

- **Símplex:** en la comunicación existen dos sentidos de comunicación, el sentido móvil-estación base (enlace ascendente) y el sentido estación base-móvil (enlace descendente). Un equipo símplex no puede transmitir (recibir) simultáneamente en los dos enlaces que componen la comunicación. Por ello, es necesario conmutar en el móvil entre transmisión y recepción
- **Dúplex:** las comunicaciones en los dos enlaces, ascendente y descendente, utilizan portadoras distintas, suficientemente separadas en frecuencia. Un equipo dúplex es capaz de transmitir (recibir) en los dos sentidos simultáneamente. Para conseguirlo, el terminal móvil debe contar con un elemento llamado duplexor que separa los dos sentidos de la comunicación en frecuencia. Los terminales dúplex suelen ser utilizados en los sistemas de telefonía celular.

Clasificación de sistemas

La clasificación más comúnmente usada para referirse a los sistemas de comunicaciones móviles es la siguiente:

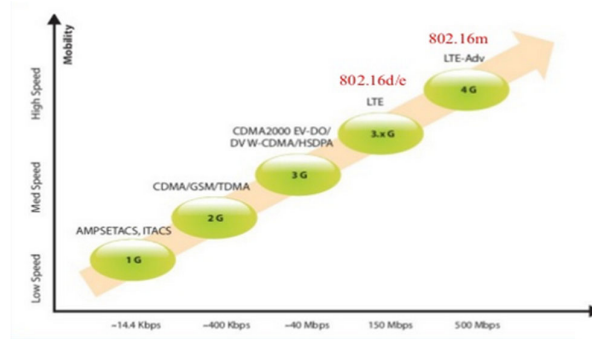
- Primera generación 1G o analógicos (AMPS, NTM, TACS...)
- Segunda generación 2G o digitales (GSM).
- Segunda generación avanzada 2.5G (GPRS) y 2.75G (EGPRS).
- Tercera generación 3G (UMTS).
- Tercera generación avanzada 3.5G (HSDPA), 3,75G (HSUPA) y 3.8G - 3.85G (HSPA+).
- Cuarta generación 4G (LTE), 4G+ (LTE Advanced).
- Quinta generación 5G (sin estandarizar).

Long Term Evolution (LTE):

Long Term Evolution (LTE) es uno de los últimos pasos en una serie de avance de los sistemas de telecomunicaciones móviles. LTE se basa en las normas desarrolladas por el 3^{era} Generation Partnership Project (3GPP). LTE puede también ser referenciado más formalmente como Evolved UMTS Terrestrial Radio Acceso (E-UTRA) y Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN). A continuación, se detallan los principales objetivos:

- Incrementar las tasas de datos de los usuarios (downlink y uplink)

- Reducir retardos tanto en el establecimiento de la conexión como en la transmisión
- Ancho de banda escalable
- Mejorar la eficiencia espectral
- Arquitectura de red simplificada y con IP
- La interfase debe poder soportar diferentes tipos de usuarios
- Consumo de energía razonable para los terminales móviles



LTE incorpora eficiencias espectrales de pico de 5 bps/Hz y aumentables hasta 16 bps/Hz con esquemas MIMO 4x4, todo ello gracias a una mayor variedad de esquemas de modulación y una codificación Turbo mejorada, además se logran latencias menores y el enfoque es completamente al envío de tráfico de datos con una red troncal únicamente de conmutación de paquetes, entre otras mejoras con respecto a sistemas 3G. La siguiente figura ilustra a modo de resumen los principales elementos que juegan un papel destacado en el contexto de la interfaz radio LTE.



Arquitectura genérica de los sistemas celulares

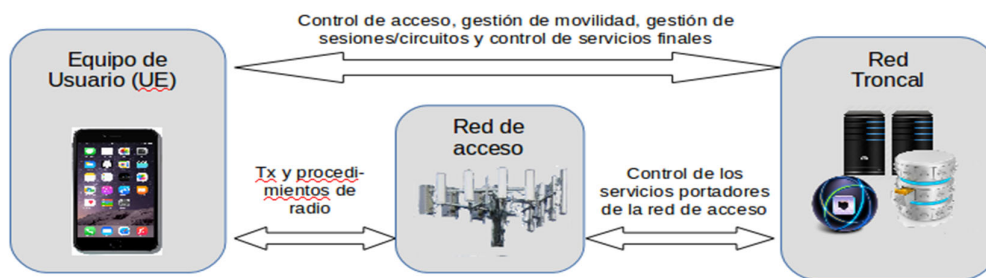
La arquitectura de los sistemas celulares representa un modelo de red a muy alto nivel donde se identifican tres componentes básicos:

- **Equipo de usuario:** Es un dispositivo que permite al usuario acceder a los servicios de la red. El equipo de usuario puede incluir una tarjeta inteligente que contenga la información necesaria para permitir la conexión a la red y la utilización de sus servicios. El equipo de usuario se conecta a la red de acceso a través de una interfaz radio.
- **Red de acceso:** Es la parte del sistema responsable de sustentar la transmisión de radio con los equipos de usuario de cara a proporcionar la conectividad necesaria entre éstos y los equipos de la red troncal. Los servicios de transmisión ofrecidos por la red de acceso para transportar la información de los equipos de usuario (tanto información de datos como señalización) hacia/desde la red troncal son servicios portadores, es decir, servicios cuya

última finalidad es la provisión de una cierta capacidad de transmisión. La red de acceso es la responsable de gestionar el uso de los recursos radio disponibles para la provisión de servicios portadores de forma eficiente. La activación de los recursos de transmisión en la red de acceso se controla generalmente desde la red troncal.

- Red troncal: Es la parte del sistema encargada de aspectos tales como control de acceso a la red celular (e.g., autenticación de los usuarios del sistema), gestión de la movilidad de los usuarios, gestión de las sesiones de datos o circuitos que transportan la información de los usuarios, mecanismos de interconexión con otras redes, etc. La red troncal está formada por equipos que albergan funciones de conmutación de circuitos, encaminamiento de paquetes, bases de datos, etc.

Arquitectura general de los sistemas 3GPP



Estas arquitecturas contempladas en la familia de sistemas especificados por 3GPP se adaptan a la arquitectura genérica de los sistemas celulares. Por tal motivo constan del equipo de usuario (UE) y de una infraestructura de red que se divide en una red de acceso (AN) y una infraestructura de red troncal (CN).

El equipo de usuario en 3GPP está compuesto de dos elementos. i) el dispositivo móvil o terminal (ME), ii) tarjeta UICC (USIM). La USIM es la encargada de almacenar la información y sustentar los procedimientos que tienen que ver con la suscripción del usuario a los servicios proporcionados por la red. Esta separación permite que un usuario pueda utilizar diferentes terminales para acceder a la red.

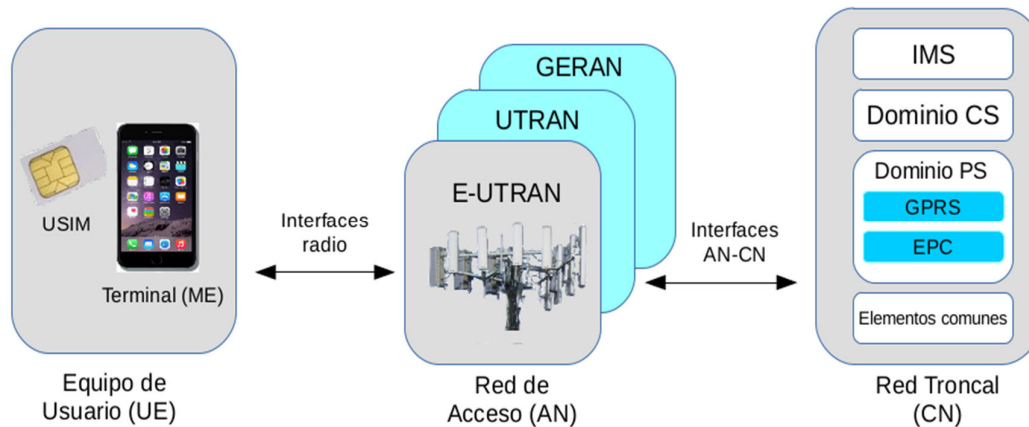
En este tipo de arquitectura se han especificado tres tipos de red de acceso: GERAN, UTRAN y E-UTRAN. Las redes de acceso GERAN y UTRAN forman parte del sistema 3G UMTS mientras que E-UTRAN es la nueva red de acceso del sistema LTE. Cada red de acceso define su propia interfaz radio para la comunicación con los equipos de usuario: GERAN o GSM utiliza un acceso basado en TDMA, UTRAN utiliza WCDMA mientras que E-UTRAN utiliza OFDMA. Asimismo, la interconexión de las redes de acceso a la red troncal se realiza mediante interfaces AN-CN específicas a cada una de ellas.

La red troncal está dividida en tres: un dominio de circuitos (CS), un dominio de paquetes (PS) y el subsistema IP Multimedia (IMS).

- El dominio CS alberga a todas las entidades de la red troncal que participan en la provisión de servicios de telecomunicación basados en conmutación de circuitos. El dominio CS es accesible a través de las redes de acceso UTRAN y GERAN sin embargo con E-UTRAN no se contempla el acceso porque todos los servicios se proporcionan a través del dominio PS.
- El dominio PS incluye a las entidades de la red troncal que proporcionan servicios de telecomunicación basados en conmutación de paquetes. Existen dos implementaciones diferentes del dominio PS: GPRS y EPC. GPRS es la implementación que se desarrolló inicialmente en el contexto de redes GSM y que actualmente también forma parte del sistema UMTS. Los servicios de conectividad por paquetes de GPRS son accesibles tanto a través de UTRAN como de GERAN. Por otro lado, EPC es la nueva especificación del dominio PS

desarrollada en el contexto del sistema LTE.

- El subsistema IMS comprende los elementos relacionados con la provisión de servicios IP multimedia basados en el protocolo SIP (Protocolo de inicio de sesión) de IETF. Es responsable de la señalización asociada a los servicios multimedia y utiliza como mecanismo de transporte los servicios de transferencia de datos proporcionados por el dominio PS.



Arquitectura del sistema LTE

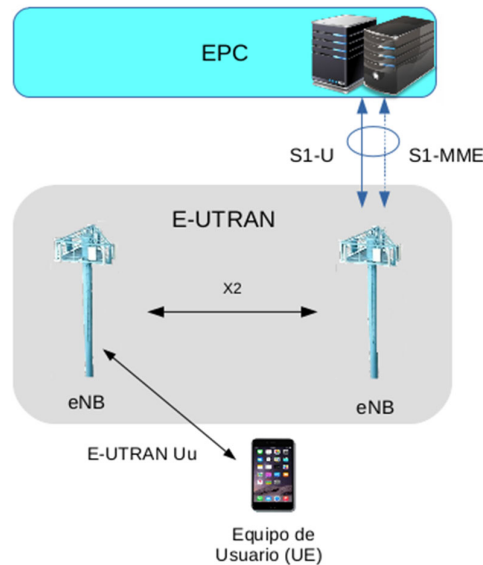
La arquitectura básica de una red LTE se llama EPS (Evolved Packet System) y se caracteriza por ser enteramente basada en paquetes IP, a diferencia de las tecnologías antecesoras. Tanto los servicios en tiempo real (como llamadas de voz) como los servicios de comunicación de datos son transportados utilizando el protocolo IP. Una dirección IP es asignada al dispositivo móvil (UE – User Equipment) cuando se enciende y luego, se libera cuando se apaga.

Los componentes fundamentales del sistema LTE son la red de acceso E-UTRAN, el dominio de paquetes EPC de la red troncal y la evolución del subsistema IMS. La red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC proporcionan de forma conjunta servicios de transferencia de paquetes IP entre los equipos de usuario y redes de paquetes externas tales como plataformas IMS y/o otras redes de telecomunicaciones como Internet. Un punto a destacar es la contemplación del acceso a sus servicios a través de UTRAN y GERAN así como mediante la utilización de otras redes de acceso que no pertenecen a la familia 3GPP (CDMA2000, Mobile WiMAX, redes 802.11).

La arquitectura de la red de acceso se compone de una única entidad de red denominada evolved NodeB (eNB) constituyendo la estación base de E-UTRAN. Cada eNB proporciona la conectividad entre los equipos de usuario (UE) y la red troncal EPC y se comunica con el resto de elementos del sistema mediante tres interfaces: E-UTRAN Uu, S1 y X2.

La interfaz E-UTRAN Uu permite la transferencia de información por el canal radio entre el eNB y los equipos de usuario. Todas las funciones y protocolos necesarios para realizar el envío de datos y controlar la operativa de la interfaz E-UTRAN Uu se implementan en el eNB.

El eNB se conecta a la red troncal EPC a través de la interfaz S1. Dicha interfaz está desdoblada en realidad en dos interfaces diferentes: S1-MME para sustentar el plano de control y S1-U para soportar el plano de usuario. La separación entre el plano de control y usuario es una característica importante de la red LTE que permite dimensionar de forma independiente los recursos de transmisión necesarios para el soporte de la señalización del sistema y para el envío del tráfico de los usuarios. Los eNBs pueden conectarse entre sí mediante la interfaz X2 para intercambiar tanto mensajes de señalización destinados a permitir una gestión más eficiente del uso de los recursos radio así como tráfico de los usuarios del sistema cuando estos se desplazan de un eNB a otro durante un proceso de handover.



El eNB realiza la transmisión de los paquetes IP hacia/desde los equipos de usuario junto con los mensajes de señalización necesarios para controlar la operación de la interfaz radio. El servicio de transferencia de paquetes IP entre un eNB y un equipo de usuario se denomina formalmente como servicio portador radio (RB). La principal funcionalidad de un eNB consiste en la gestión de los recursos radio. Por lo tanto un eNB contiene funciones de control de admisión de los servicios portadores radio, control de movilidad, asignación dinámica de los recursos radio tanto en el enlace downlink como uplink (denominadas funciones de scheduling), control de interferencias entre estaciones base, control de la realización y del envío de medidas desde los equipos de usuario que puedan ser útiles en la gestión de recursos

Capa Física

Se basa en la utilización de técnicas de acceso múltiple OFDMA en el enlace descendente (eNB a Móvil) y SC-FDMA en el enlace ascendente (Móvil a eNB). En ambos casos la separación entre subportadoras es fija e igual a 15 KHz.

Los posibles esquemas de modulación son: QPSK, 16QAM y 64QAM para el enlace descendente (DL) y QPSK y 16 QAM para el enlace ascendente (UL).

Los recursos destinados a control y señalización en LTE oscilan alrededor de un 15% aproximadamente del total disponible. Asimismo, Las velocidades de pico reales alcanzadas por un usuario dependen de muchos factores, por ejemplo, la calidad del canal radio, el número de usuarios simultáneos en la celda, el tipo de despliegue realizado por el operador, el tipo de servicio considerado y la calidad (QoS) asociada, la capacidad del terminal móvil, etc.

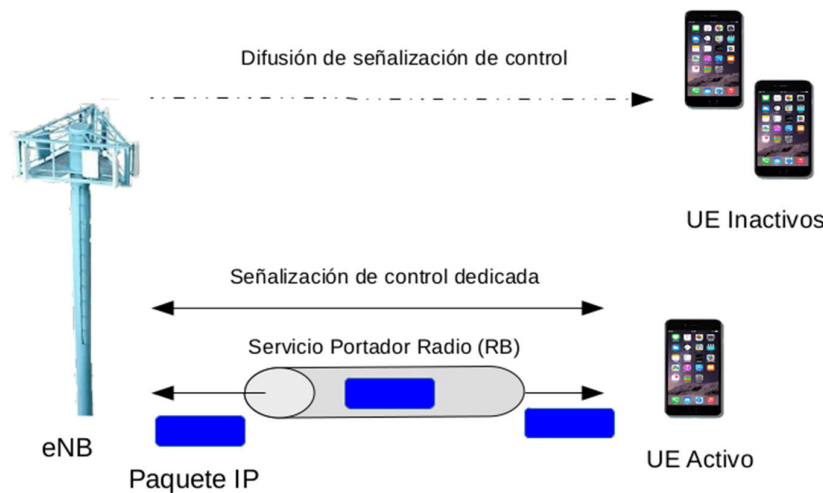
Interfaz de radio

La interfaz de radio soporta básicamente tres tipos de mecanismos de transferencia de la información en el canal radio: difusión de señalización de control, envío de paquetes IP y transferencia de señalización de control dedicada entre un equipo de usuario y el eNB.

- Difusión (broadcast) de señalización de control en la zona de cobertura de la celda. La información enviada permite a los equipos de usuario detectar la presencia del eNB y conocer sus parámetros básicos de operación, así como la identidad de los operadores de red a los que

puede accederse a través del eNB. La información difundida corresponde tanto a información específica de la red de acceso a la red troncal. La difusión de señalización de control también sirve para forzar que un equipo de usuario que no tenga una conexión de control establecida con el eNB, inicie un acceso a la red.

- Los servicios de transferencia entre un eNB y un equipo de usuario se denominan servicios portadores radio (RB). Los RB de E-UTRAN solo pueden soportar tráfico IP y no permiten la transferencia de otros protocolos (paquetes X.25, tramas Ethernet).
- Transferencia de señalización de control dedicada entre el eNB y un equipo de usuario. El establecimiento de una conexión de control dedicada resulta imprescindible de cara a poder gestionar el uso de los servicios portadores radio, así como para realizar cualquier gestión de señalización con la red troncal.



La técnica de acceso múltiple OFDMA utilizada en el enlace descendente de LTE presenta las siguientes ventajas:

- Diversidad multiusuario: La asignación de subportadoras a usuarios se realiza en forma dinámica permitiendo cambiar en períodos cortos de tiempo dicha asignación a través de estrategias de scheduling.
- Diversidad frecuencial: Es posible asignar a un mismo usuario subportadoras no contiguas, suficientemente separadas como para que el estado del canal en las mismas sea independiente.
- Robustez frente a la propagación multicamino: Esta técnica logra ser muy robusta frente a la interferencia intersimbólica resultante de la propagación multicamino y además puede combatir la distorsión por medio de técnicas de ecualización en el dominio de la frecuencia.
- Flexibilidad en la banda asignada: Proporciona una forma sencilla de acomodar diferentes velocidades de transmisión a los diferentes usuarios en función de los requerimientos de servicio de cada uno.
- Elevada granularidad en los recursos asignables: Útil para acomodar servicios con diferentes requerimientos de calidad.

Sin embargo, presenta dos desventajas:

1. Elevada relación entre la potencia instantánea y la potencia media.
2. Susceptibilidad frente a errores de frecuencia: Cuando existen desplazamientos en la frecuencia de las subportadoras respecto de su frecuencia de referencia se produce interferencia entre subportadoras. Por lo tanto, es necesario la disponibilidad de mecanismos

de sincronización eficientes para corregir los errores en frecuencia.

Por otro lado, la técnica de acceso múltiple SC-FDMA (contiene una única portadora) utilizada en el enlace ascendente de LTE presenta las siguientes ventajas:

- Variaciones reducidas en la potencia instantánea de la señal transmitida.
- Posibilidad de llevar a cabo de forma sencilla mecanismos de ecualización en el dominio de la frecuencia.
- Capacidad de proporcionar una asignación de banda flexible.

Referencias:

- I. Andrew Tanenbaum. “Redes de computadoras.” PEARSON Educación. México. 2003. Cuarta Edición.
- II. IEEE Standard Asociation. IEEE 802.11-2012
- III. IEEE 802.15.1-2005. Bluetooth.
- IV. Fundamentals of Wireless LANs. MicroCisco
- V. K. Townsend, C. Cufí, Akiba, R. Davidson. Getting Started with Bluetooth Low Energy. Tools and Techniques for Low-Power Networking. O'Reilly Media, 2014.
- VI. R. Comes, F. Álvarez, et al. LTE, nuevas tendencias en comunicaciones móviles. Fundación Vodafone España, 2010.
- VII. Decuir, “Introducing Bluetooth smart: Part 1: A look at both classic and new technologies,” IEEE Consum. Electron. Mag., vol. 3, no. 1, pp. 12–18, 2014.
- VIII. J. Decuir, "Introducing Bluetooth Smart-Part II: Applications and Updates", *IEEE Consumer Electronics Magazine*, vol. 4, pp. 25-29, 2014.
- IX. S. Sesia, I. Toufik, M. Baker. LTE - The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice. John Wiley & Sons, Ltd. Second Edition, 2011.
- X. E. Dahlman, S. Parkvall, J. Sköld. 4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband. Oxford. Academic Press - Second Edition, 2014.
- XI. Juan P García, José M García-Pardo, Leandro J Llácer. Sistemas de Comunicaciones Móviles - Caracterización del Canal Móvil -. Universidad Politécnica de Cartagena, 2014