

# IEEE 802.11ac

Javier Alejandro Meden Peralta

Universidad Católica “Nuestra Señora de la Asunción”

Sede Regional Asunción

Facultad de Ciencias y Tecnología

`javier.meden@uca.edu.py`

**Resumen** En este trabajo se presenta el nuevo estándar de redes de área local inalámbrica denominado IEEE 802.11ac, mencionando sus características, novedades y mejoras con relación a los demás estándares que existen en la actualidad. Además se hace referencia al origen y evolución de esta tecnología, así como también su implementación. Finalmente se describen los últimos dispositivos lanzados que implementan la norma 802.11ac.

**Key words:** Redes inalámbricas, IEEE 802.11, Wi-Fi

## 1. Introducción

En la actualidad, nos encontramos comunicados de manera inalámbrica mediante una infinidad de dispositivos portátiles como teléfonos móviles, impresoras y todo tipo de electrodomésticos, desde las consolas de juego hasta las cámaras digitales. Cada vez existen más dispositivos que se comunican sin la necesidad de cables, y nos permiten navegar en Internet desde cualquier parte.

Todo este proceso de comunicación está basado en un protocolo estándar desarrollado para las redes inalámbricas, denominado *802.11*, que es comercializado con el nombre de *Wi-Fi*.

A medida que los formatos evolucionan y las necesidades de ancho de banda y cobertura crecen, nuevos tipos de conexión surgen y las velocidades de transmisión aumentan cada vez más, y de manera bastante rápida, ofreciendo una mayor calidad de conexión al consumidor.

En este trabajo se presentará la última versión de la norma *802.11* propuesta por la *IEEE*, denominada *802.11ac* que lleva las velocidades de *Wi-Fi* al máximo, triplicando la velocidad del estándar utilizado hasta ahora, el *802.11n*.

## 2. Aspectos preliminares

### 2.1. Redes inalámbricas

Una red inalámbrica es un sistema de comunicación de datos que proporciona una conexión sin cables entre equipos situados dentro de una misma área de cobertura. Las redes inalámbricas transmiten y reciben datos a través de ondas electromagnéticas usando el aire como medio de transmisión [2].

Existen diferentes tipos de redes inalámbricas:

- Las *WPAN* (*Redes de Área Personal Inalámbricas*, del inglés *Wireless Personal Area Network*) que cubren un área del tamaño de una habitación y que permiten la comunicación entre dos dispositivos a baja velocidad y a una distancia cercana. La tecnología *Bluetooth* es el estándar en auge [2].
- Las *WLAN* (*Redes de Área Local Inalámbricas*, del inglés *Wireless Local Area Network*) cubren el ámbito de una casa, oficina o edificio de una empresa [2]. El estándar *IEEE 802.11* es la tecnología por excelencia en este tipo de redes.
- Las *WWAN* (*Redes de Área Amplia Inalámbricas*, del inglés *Wireless Wide Area Network*) son redes cuyo ámbito cubren áreas más extensas como un país. Por su gran tamaño, estas redes son explotadas por las empresas de telefonía móvil e *ISPs*<sup>1</sup> [2]. Tecnologías como *UMTS*<sup>2</sup>, *HSPA*<sup>3</sup>, *LTE*<sup>4</sup> son las que se utilizan en la actualidad [1].

La mayoría de las redes inalámbricas se enlazan a la red cableada en algún punto para proporcionar acceso a archivos, bases de datos e Internet [1].

### 2.2. WLAN

Una red de área local inalámbrica, también conocida como *WLAN*, es un sistema de comunicación inalámbrico flexible, muy utilizado como alternativa a las redes de área local cableadas o como extensión de éstas. Usan tecnologías de radiofrecuencia que permite mayor movilidad a los usuarios al minimizar las conexiones cableadas. Estas redes son muy populares en los hogares para compartir el acceso a Internet entre varias computadoras [9].

Cada computadora tiene un módem de radio y una antena mediante los que se puede comunicar con otros dispositivos. Puede trabajar en dos modos:

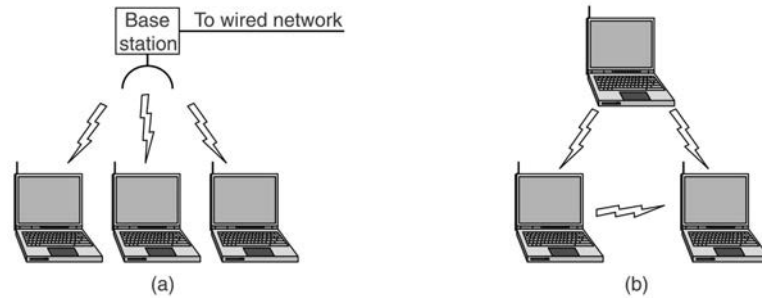
<sup>1</sup> *Proveedor de Servicios de Internet*, del inglés *Internet Service Provider*.

<sup>2</sup> Del inglés *Universal Mobile Telecommunications System*

<sup>3</sup> Del inglés *High-Speed Packet Access*

<sup>4</sup> Del inglés *Long Term Evolution*

- En presencia de una estación base: Toda la comunicación se hace a través de la estación base, conocida como *AP* (*Punto de Acceso*, del inglés *Access Point*).
- En ausencia de una estación base: Las computadoras pueden enviarse mensajes entre sí directamente. Este modo se llama red *ad hoc* [1].



**Figura 1.** (a) Red inalámbrica con un *AP*. (b) Red *ad hoc*

Existe un estándar para las *LANs* inalámbricas, llamado *IEEE 802.11*, el cual se entrará en detalles en este trabajo.

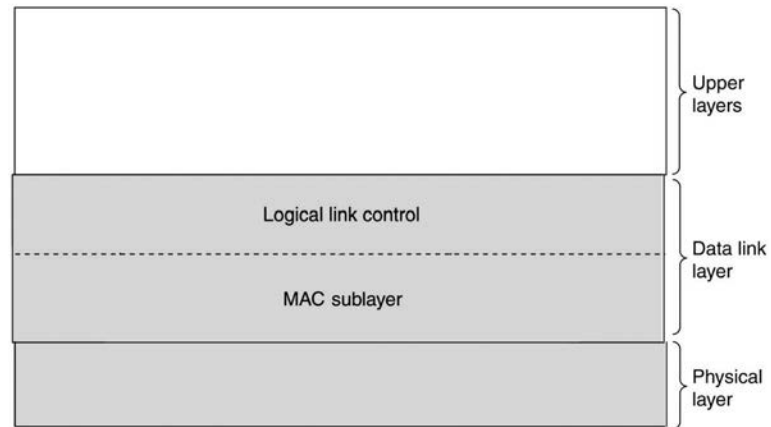
### 2.3. IEEE 802

*IEEE 802* es un conjunto de estándares elaborado por el *Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)* sobre redes de computadoras, concretamente sobre *Redes de Área Local (LAN)* y *Redes de Área Metropolitana (MAN)*.

Se centra en definir las capas más bajas (según el Modelo de Referencia OSI). Subdivide la segunda capa, llamada de *Enlace de Datos*, en dos subcapas:

- *LLC* (*Control Lógico de Enlace*, del inglés *Logical Link Control*): Brinda el servicio a la Capa de Red como si fuera la Capa de Enlace de Datos tradicional (Modelo OSI). Definido en *802.2*.
- *MAC* (*Control de Acceso al Medio*, del inglés *Medium Access Control*): Se encarga de ver cómo conseguir el medio para poder transmitir los datos [10] [1].

El resto de los estándares actúan tanto en la *Capa Física* como en la *Subcapa de Control de Acceso al Medio* [10].



**Figura 2.** Ámbito de los estándares *IEEE 802*

Número	Tópico
802.3	Ethernet
802.11	LANs inalámbricas
802.15	Redes de Área Personal
802.16	MANs inalámbricas

**Figura 3.** Estándares de redes más importantes definidos por la *IEEE*.

### 3. ¿Qué es 802.11?

El estándar *IEEE 802.11* es el que define el uso de las dos capas inferiores de la arquitectura OSI (Física y Enlace de Datos), especificando sus normas de funcionamiento en una *WLAN* [6].

#### 3.1. Orígenes

En el momento en que aparecieron las computadoras portátiles, las personas ya soñaban con entrar a una oficina y que su laptop se conectara a Internet sin la necesidad de cables. Fue por este motivo que varios grupos empezaron a trabajar en formas para lograr este objetivo.

El trabajo en este campo condujo rápidamente a que varias empresas empezaran con la comercialización de las redes *LAN inalámbricas*. El problema era que ni siquiera había dos de ellas que fueran compatibles. La difusión de estándares implicaba que una computadora equipada con un radio de una marca no iba a poder trabajar en un lugar con una estación base de otra marca. A mediados de la década de 1990, la industria decidió que sería muy conveniente tener un estándar para las redes *LAN inalámbricas*, de modo que el comité *IEEE* que había estandarizado las redes *LAN cableadas* recibió la tarea de idear un estándar para las redes *LAN inalámbricas*.

Al estándar se le dio el número *802.11*. Un problema fue hallar una banda de frecuencia adecuada que estuviera disponible, de preferencia a nivel mundial. En vez de un espectro costoso bajo licencia, los sistemas *802.11* operan en bandas sin licencia como las bandas *ISM* (*Industriales, Científicas y Médicas*, del inglés *Industrial, Scientific and Medical*) definidas por el *ITU-R*<sup>5</sup> (902-929 MHz, 2.4-2.5 MHz, 5.725-5.825 MHz).

El estándar *802.11* provocó una revolución en las redes inalámbricas que está destinada a continuar. Aparte de los edificios y hogares, se ha empezado a instalar en plazas, trenes, aviones, barcos y automóviles de modo que las personas puedan navegar por Internet en cualquier parte a donde vayan [1].

#### 3.2. Evolución

El estándar inicial publicado en 1997 definió una *LAN inalámbrica* que podía operar a 1 Mbps o 2 Mbps mediante saltos entre frecuencias o también se podía extender la señal a lo largo del espectro permitido. También define el protocolo *CSMA/CA* (*Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Evitación de Colisiones*, del inglés *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) como

<sup>5</sup> Unión Internacional de Telecomunicaciones - Sector de Radiocomunicaciones, del inglés *International Telecommunication Union - Radiocommunication Sector*

método de acceso al medio. Casi de inmediato surgieron las quejas de las personas diciendo que era muy lenta, por lo que se empezó a trabajar en estándares más veloces.

En 1999, un grupo de empresas se reunieron para crear la *WECA* (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*). El objetivo de la misma fue designar una marca que permitiese fomentar más fácilmente la tecnología inalámbrica y asegurar la compatibilidad de equipos.

La revisión *802.11b* del estándar original fue ratificada ese mismo año. Tiene una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbps y utiliza el mismo método de acceso definido en el estándar original (*CSMA/CA*). El estándar *802.11b* funciona en la banda de 2.4 GHz.

Luego fue aprobado el *802.11a*, también en 1999. El estándar utiliza el mismo juego de protocolos base que el estándar original, opera en la banda de 5 GHz y utiliza un esquema de modulación distinto llamado *OFDM* (*Multiplexión por División de Frecuencias Ortogonales*, del inglés *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) con una velocidad máxima de 54 Mbps. Se puede pensar que el *802.11a* debe ir antes que el *802.11b*, pero en este caso no fue así. Aunque el grupo *802.11a* se estableció primero, el estándar *802.11b* se aprobó antes y su producto llegó al mercado mucho antes de los productos *802.11a*, en parte debido a la dificultad de operar en la banda más alta de 5 GHz.

En abril de 2000, *WECA* (ahora denominada *Wi-Fi Alliance*) certifica la interoperabilidad de equipos según la norma *802.11b*, bajo la marca *Wi-Fi*. De ahí, es que se volvió el nombre más utilizado en la jerga computacional para hacer referencia al estándar de redes inalámbricas.

En junio de 2003, se ratificó un tercer estándar de modulación: *802.11g*, que es la evolución de *802.11b*. Buena parte del proceso de diseño del nuevo estándar lo tomó en hacer compatible con el estándar *802.11b*. El estándar *802.11g* utiliza la banda de 2.4 GHz (al igual que *802.11b*) pero opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbps. Utiliza también la tecnología *OFDM*. Este esquema mejorado logró un aumento considerable en la transmisión, pero las personas querían una velocidad aún mayor para soportar usos más demandantes.

En enero de 2004, la *IEEE* anunció la formación de un nuevo grupo de trabajo *802.11* para desarrollar una nueva versión del estándar *802.11*. Finalmente, en setiembre de 2009 el estándar *802.11n* fue ratificado con un límite teórico de 600 Mbps. A diferencia de las otras versiones de *Wi-Fi*, *802.11n* puede trabajar en dos bandas de frecuencias: 2.4 GHz (la que emplean *802.11b* y *802.11g*) y 5 GHz (la que usa *802.11a*). Gracias a ello, *802.11n* es compatible con dispositivos basados en todas las ediciones anteriores. Además, es útil que trabaje en la banda de 5 GHz, ya que está menos congestionada y en *802.11n* permite alcanzar

un mayor rendimiento [1] [6].

### 3.3. ¿802.11 o Wi-Fi?

*Wi-Fi* es una marca de la *Wi-Fi Alliance*, una organización comercial fabricantes de hardware y software cuyo objetivo es promover el uso de la tecnología *802.11* y velar por su interoperabilidad [22].

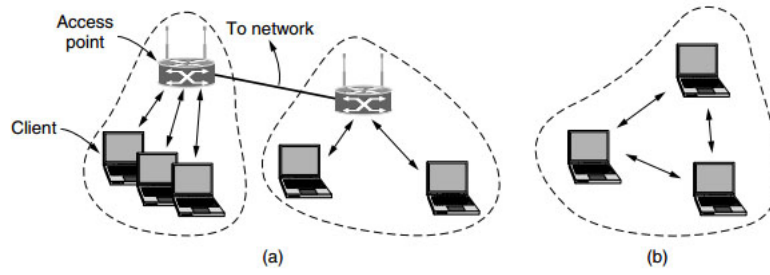
El estándar *802.11* define muchas velocidades de transmisión pero no dice cuándo un emisor debe utilizar cierta velocidad, lo cual es un factor clave para un buen desempeño. Esto queda a criterio del fabricante del producto. A menudo es difícil obtener una interoperabilidad de esta forma, ya que hay muchas opciones de implementación y los estándares por lo general definen muchas opciones [1].

La *Wi-Fi Alliance* adopta, prueba y certifica que los equipos cumplen los estándares *802.11*. Los requisitos de certificación de *Wi-Fi Alliance* se basan en la norma *802.11* pero no son equivalentes. Algunas funcionalidades (opcionales) de *802.11* no se exigen en la certificación *Wi-Fi* y en algún caso se exigen funcionalidades adicionales, sobre todo para garantizar aspectos de interoperabilidad y seguridad [22].

### 3.4. Arquitectura

Las redes *802.11* se pueden utilizar en dos modos. El modo más común es conectar máquinas cliente, como laptops y teléfonos celulares, a otra red, como la Intranet de una empresa o Internet. En este modo de infraestructura, cada cliente se asocia con un *AP* (*Punto de Acceso*, del inglés *Access Point*) que a su vez está conectado a la otra red. El cliente envía y recibe sus paquetes a través del *AP*. Se pueden conectar varios *Puntos de Acceso* juntos, por lo general mediante una red cableada llamada sistema de distribución, para formar una red *802.11* extendida. En este caso, los clientes pueden enviar tramas a otros clientes a través de sus *APs*.

El otro modo, es una red *ad hoc*. Este modo es una colección de computadoras que están asociadas de manera que puedan enviarse tramas directamente unas a otras. No hay *Punto de Acceso*. Como el acceso a Internet es la aplicación esencial para las redes inalámbricas, las redes *ad hoc* no son muy populares [1].



**Figura 4.** (a) Modo de infraestructura. (b) Modo *ad hoc*.

## 4. IEEE 802.11ac

Continuando con la evolución del protocolo *802.11*, en diciembre de 2012 se lanzó el estándar *IEEE 802.11ac* que es una propuesta de mejora a la norma *IEEE 802.11n* que se viene utilizando actualmente.

### 4.1. Características principales

La primera de las novedades es que la velocidad de transmisión es mucho mayor, alcanzando los 1.3 Gbps gracias al movimiento de información vía tres flujos de 433Mbps cada uno. Por su velocidad, el estándar también se conoce como *Wi-Fi 5G* o *Wi-Fi Gigabit* [23].

El radio de cobertura es más amplio, hasta un máximo de 90-100 metros, que es lo que el consumidor reclama con más frecuencia de este tipo de conexiones [8].

*802.11ac* funciona en la banda de 5 GHz, que ofrece más canales sin interferencias, y está menos “poblada”, por lo tanto aporta una mayor estabilidad a la conexión, y un mayor radio de funcionamiento.

Junto a la nueva banda llega también el uso del *beamforming*, tecnología que permite a los *Routers* y *Puntos de Acceso* dirigir las ondas de radio de una forma más precisa, mejorando la recepción [14].

Otras mejoras consisten en la ampliación del ancho de banda hasta 160 MHz (40 MHz en las redes *802.11n*), hasta 8 flujos *MIMO* (4 en *802.11n*) y modulación de alta densidad, *256-QAM* (*64-QAM* en *802.11n*) [4].

En el campo de las redes multimedia, esto nos asegura que podríamos reproducir en *streaming* dentro del hogar cualquier archivo de alta definición sin



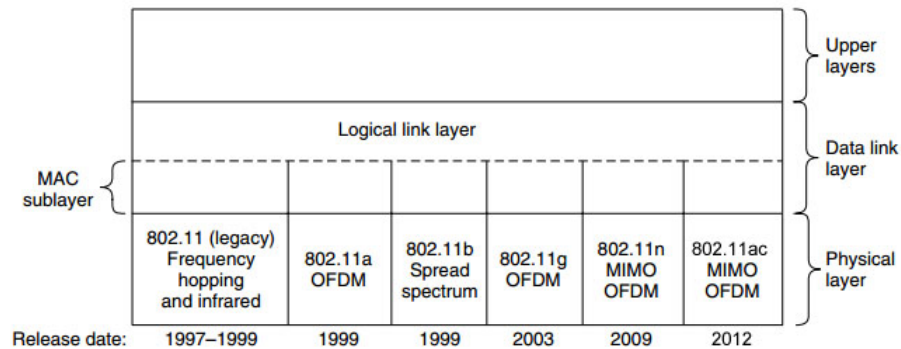
compresión, cualquiera que sea su *bit rate*<sup>6</sup>, como las resoluciones 4K que requieren un ancho de banda bastante más alto [14]. También se podrían transferir películas calidad *HD*<sup>7</sup> en un tiempo inferior a los cuatro minutos [23].

Su uso también está recomendado para juegos en red y aplicaciones y servicios de audio bajo demanda o VozIP<sup>8</sup> [8].

A continuación se verán los detalles de esta nueva versión del protocolo *802.11* y su comparación con los demás estándares.

#### 4.2. Pila de protocolos

Todos los protocolos *802*, incluyendo *802.11* y *802.3*<sup>9</sup>(*Ethernet*) tienen ciertas similitudes en su estructura. De hecho, se hizo que *802.11* fuera compatible con *Ethernet* sobre la capa de enlace de datos [1].



**Figura 5.** Parte de la pila de protocolos 802.11.

La pila de protocolos es la misma para los clientes y *APs*. La capa física corresponde muy bien con la capa física OSI. La subcapa *MAC* determina la

<sup>6</sup> *Tasa de bits*. Define el número de bits que se transmiten por unidad de tiempo a través de un sistema de transmisión digital o entre dos dispositivos digitales. En otras palabras, es la velocidad de transferencia de datos

<sup>7</sup> *Alta Definición*, del inglés *High Definition*. Es un sistema de vídeo con una mayor resolución que la definición estándar, alcanzando resoluciones de 1280 x 720 y 1920 x 1080 píxeles.

<sup>8</sup> *Voz sobre IP*. Es un grupo de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de Internet empleando el protocolo IP. Se envía la señal de voz en forma digital, en paquetes de datos, en lugar de enviarla en forma analógica.

<sup>9</sup> Estándar de redes de área local cableadas definido por la IEEE a partir del estándar Ethernet, siendo usualmente tomados como sinónimos. Se diferencian en uno de los campos de la trama de datos. Sin embargo, las tramas Ethernet e IEEE 802.3 pueden coexistir en la misma red.

forma en que se asigna el canal; es decir, a quién le toca transmitir a continuación. Arriba de dicha subcapa se encuentra la subcapa *LLC*, cuya función es ocultar las diferencias entre las variantes 802 con el fin de que sean imperceptibles en lo que respecta a la capa de red, pero actualmente lo que hace es identificar el protocolo que se transporta dentro de una trama *802.11* (por ejemplo, protocolo *IP*) [1].

#### 4.3. Capa física

**Bandas de frecuencia.** Todas las técnicas *802.11* usan radios de corto enlace para transmitir señales en las bandas de frecuencias *ISM* de 2.4 GHz o de 5 GHz. Estas bandas poseen la ventaja de que no necesitan licencia y por ende, están libremente disponibles para cualquier transmisor que desee cumplir con ciertas restricciones, como una potencia radiada de al menos 1W (aunque es más típico el valor de 50 mW para los radios *LAN* inalámbricos).

Desafortunadamente, este hecho también lo conocen los fabricantes de controles remotos de portones de cocheras, teléfonos inalámbricos, hornos microondas y numerosos dispositivos más, los cuales compiten con la tecnología *Wi-Fi* por el mismo espectro [1].

El aumento del número de dispositivos inalámbricos y la saturación de la banda de 2.4GHz que utiliza el estándar *802.11n* hace que estas redes *WiFi* se hayan convertido en un cuello de botella ya que la mayor parte de los dispositivos y *routers* inalámbricos *WiFi* utilizan la frecuencia de 2,4 GHz.

A la propia saturación del espectro inalámbrico en la banda de 2.4GHz (por ejemplo con los *WiFi* de los vecinos) hay que añadirle las interferencias provocadas por los dispositivos mencionados anteriormente, que también utilizan la misma frecuencia. Cuando estas emisiones no deseadas se interponen penalizan el rendimiento de nuestras transmisiones de datos inalámbricas a lo que hay que sumar la congestión que se produce cuando demasiados dispositivos *Wi-Fi* acceden al *router* al mismo tiempo.

Las nuevas redes *802.11ac* suponen un enorme salto evolutivo ya que trabajan en exclusiva la banda de frecuencia de 5 GHz, una banda menos común y por lo tanto con menos dispositivos conectados, por lo que experimentará menos interferencias y alcanzará mayores velocidades al utilizarse canales de mayor ancho de banda [17].

El *802.11ac* promete velocidades *Gigabit*, es decir, velocidades de transferencia de 1 Gbps entre los dispositivos. Esto no quiere decir que la conexión vaya a tener exactamente esa velocidad y que dos dispositivos vayan a conectarse a esa velocidad. Son velocidades óptimas a las que se pueden llegar, pero existen varios factores como la distancia entre dispositivos y el *router*, la versión *Wi-Fi* de estos dispositivos, interferencias e incluso de si existen paredes de por medio

que puedan hacer que las velocidades bajen [24].



**Figura 6.** El escaneo de redes muestra cómo interfieren las redes a 2.4 GHz y el margen que ofrece 802.11ac.

**Técnicas y velocidades de transmisión.** Se han agregado varias técnicas de transmisión a la capa física a medida que el *802.11* ha ido evolucionando. Dos de las técnicas iniciales, infrarrojos y salto de frecuencia en la banda de 2.4 GHz, están ahora obsoletos. La tercera técnica inicial, el espectro disperso de secuencia directa a 1 ó 2 Mbps en la banda de 2.4 GHz se extendió para operar a tasas de hasta 11 Mbps y se convirtió rápidamente en un éxito y es el que se conoce como *802.11b*.

Para dar a los amantes de las redes inalámbricas el tan deseado aumento de velocidad, se introdujeron nuevas técnicas de transmisión basadas en el esquema *OFDM* (*Multiplexión por División de Frecuencia Ortogonal*). La primera fue el *802.11a* y utiliza una banda de frecuencia distinta, la de 5 GHz. La segunda se quedó con la banda de 2.4 GHz y la compatibilidad, denominada *802.11g*. Ambas ofrecen tasas de transmisión de hasta 54 Mbps.

Posteriormente surgió la creación de unas técnicas de transmisión que utilizan varias antenas en forma simultánea en el transmisor y el receptor para aumentar la velocidad, esta versión se conoce como *802.11n*. Con cuatro antenas y canales más amplios, el estándar *802.11n* define tasas de transmisión de hasta 600 Mbps [1].

En la última versión, el *802.11ac*, las técnicas de transmisión utilizan hasta 8 antenas y la banda de 5 GHz, logrando velocidades que superan los 1 Gbps.

**OFDM.** La técnica de transmisión *OFDM* (*Multiplexión por División de Frecuencia Ortogonal*, del inglés *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) usa el espectro con eficiencia y resiste las degradaciones de las señales inalámbricas tales como multitrayectoria. Los bits se envían a través de 52 subportadoras en paralelo, 48 de las cuales llevan datos y 4 se usan para sincronización. Cada símbolo dura  $4\ \mu s$  y envía 1, 2, 4 ó 6 bits. Los bits están codificados para corrección de errores mediante un código convolucional primero, por lo que solo 1/2, 2/3, o 3/4 partes de los bits no son redundantes.

802.11a se basa en *OFDM* y puede operar a ocho tasas distintas, que varían desde 6 hasta 54 Mbps. Estas tasas son considerablemente más rápidas que las tasas del *802.11b*, además de que hay menos interferencia en la banda de 5 GHz. Sin embargo, el *802.11b* tiene un alcance aproximado de siete veces mayor que el del *802.11a*, lo cual es más importante en muchas situaciones.

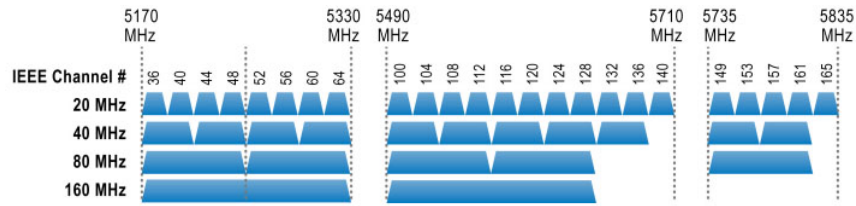
En mayo de 2002, la *FCC*<sup>10</sup> retiró su vieja regla de exigía a todos los equipos de comunicaciones inalámbricas que operaban en las bandas *ISM* en Estados Unidos usar el espectro disperso, así que se puso a trabajar en el *802.11g*. Este estándar copia los métodos de modulación *OFDM* del *802.11a*, pero opera en la banda *ISM* estrecha de 2.4 GHz junto con el *802.11b*. Ofrece las mismas tasas de transmisión que el *802.11a* (de 6 a 54 Mbps), además de compatibilidad con cualquier dispositivo *802.11b* que se encuentre cerca. Todas estas distintas opciones pueden ser confusas para los clientes, por lo que es común que los productos soporten varias versiones en una sola *NIC*<sup>11</sup> [1].

**Ancho de banda del canal.** El comité del *IEEE* empezó a trabajar en una capa física con una tasa de transferencia real alta, y surgió el *802.11n*. El objetivo era una tasa real de transferencia de por lo menos 100 Mbps después de eliminar todas las sobrecargas inalámbricas. Este objetivo exigía un aumento de por lo menos cuatro veces la velocidad. Para hacerlo realidad, el comité duplicó los canales de 20 MHz a 40 MHz y redujo las sobrecargas de entramado al permitir enviar todo un grupo de tramas a la vez [1].

*802.11ac* funciona con anchos de banda de canal de 80 MHz como estándar y 160 MHz en una segunda fase, lo que multiplica por 4 y 8 respectivamente el ancho de banda asignado a los dispositivos [17].

<sup>10</sup> Comisión Federal de Comunicaciones, del inglés *Federal Communications Commission*)

<sup>11</sup> Tarjeta de Interfaz de Red, del inglés *Network Interface Card*.



**Figura 7.** Canales utilizados por 802.11ac en la banda de 5 GHz.

*802.11ac* especifica que los canales de 80 MHz consisten en dos canales de 40 MHz adyacentes, sin ningún solapamiento entre los canales de 80 MHz. El número de canales de 80 MHz para los Estados Unidos es de 5, mientras que en Europa y Japón, el número es de 4, ya que las frecuencias mayores a 5710 MHz no están disponibles [15].

**MIMO.** Lo notable del *802.11n* fue la utilización de hasta cuatro antenas para transmitir hasta cuatro flujos de información a la vez. Las señales de los flujos interfieren en el receptor, pero se pueden separar mediante técnicas de comunicaciones *MIMO* (*Múltiple Entrada, Múltiple Salida*, del inglés *Multiple Input Multiple Output*) [1].

*MIMO* se refiere específicamente a la forma como son manejadas las ondas de transmisión y recepción en las antenas. En el formato de transmisión inalámbrica tradicional, la señal se ve afectada por reflexiones, lo que ocasiona degradación o corrupción de la misma y por lo tanto pérdida de datos. *MIMO* aprovecha fenómenos físicos como la *propagación multitrayectoria*<sup>12</sup> para incrementar la tasa de transmisión y reducir la tasa de error [18].

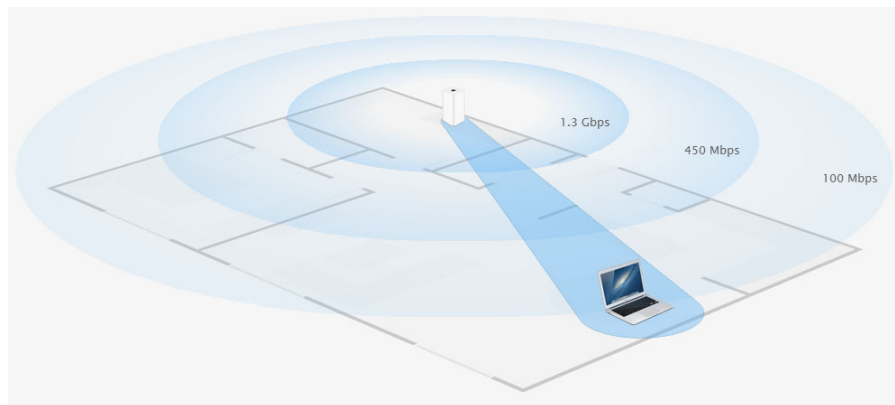
La tecnología *MIMO* divide los datos a transmitir en lo que llamamos “transferencia por fragmentos”, de tal forma que puedan ser enviados de forma simultánea utilizando múltiples antenas (un flujo por antena). Después, en el destino, el paquete se recompone a su forma inicial, lo que optimiza la transferencia [17].

En resumen, *MIMO* aumenta la eficiencia espectral de la comunicación inalámbrica por medio de la utilización del dominio espacial. El uso de varias antenas ofrece un enorme aumento en la velocidad, o en su defecto un mejor alcance y confiabilidad [18].

<sup>12</sup> La propagación multitrayectoria es el fenómeno dado cuando las señales de radio llegan a las antenas receptoras por dos o más caminos y en diferentes tiempos. Éste fenómeno puede causar problemas en la recepción de la señal, debido a la interacción entre las señales recibidas.

*802.11ac* permite soporte hasta 8 flujos espaciales *MIMO*, en comparación con los 4 flujos en *802.11n*. Además, implementa el modo *MU-MIMO* (*MIMO Multi usuario*, del inglés *Multi-user MIMO*) que es un conjunto de la tecnología *MIMO* avanzada, donde las antenas disponibles se reparten entre una multitud de puntos de acceso independientes y terminales de radio independientes (cada uno con uno o múltiples antenas). En contraste, *MIMO* de un solo usuario (*single-user MIMO*) considera un sólo transmisor de múltiples antenas comunicándose con un único receptor de múltiples antenas. Para mejorar las capacidades de comunicación de todos los terminales, *MU-MIMO* aplica una versión extendida de *SDMA* (*Acceso Múltiple por División Espacial*, del inglés *Space-Division Multiple Access*) para permitir que múltiples transmisores envíen señales separadas y múltiples receptores reciban señales separadas simultáneamente en la misma banda [19].

**Tecnología *Beamforming*.** Las antenas de la mayoría de las estaciones base emiten una señal *Wi-Fi* constante en todas las direcciones, pero el grupo de antenas con tecnología *beamforming* es más inteligente, porque sabe en qué lugar de la red se encuentra el dispositivo con *802.11ac*. Luego el *router* o *AP* dirige su señal hacia ese dispositivo para que su señal *Wi-Fi* sea más fuerte, clara y rápida [21].



**Figura 8.** Tecnología Beamforming

**Modulación QAM.** La técnica de modulación *QAM* (*Modulación de Amplitud en Cuadratura*, del inglés *Quadrature Amplitude Modulation*) es un esquema para enviar bits en las señales. Utiliza la portadora de onda senoidal y modula

su amplitud y su fase para transmitir la información [1].

En el *802.11n* se utilizan los tipos *16-QAM* y *64-QAM* que transmiten 4 y 6 bits en cada señal, respectivamente. En el *802.11ac* se utilizan los tipos *16-QAM*, *64-QAM* y *256-QAM* [13]. Este último, transmite 8 bits en cada señal [1].

#### 4.4. Subcapa MAC

El protocolo de la subcapa *MAC* para el estándar *802.11* es muy diferente al de Ethernet, debido a dos factores fundamentales para la comunicación inalámbrica que se verán a continuación.

Primero, las radios casi siempre son *half-dúplex*<sup>13</sup>, lo cual significa que no pueden transmitir y escuchar ráfagas de ruido al mismo tiempo en una sola frecuencia. La señal recibida puede ser un millón de veces más débil que la señal transmitida, por lo que no se puede escuchar al mismo tiempo.

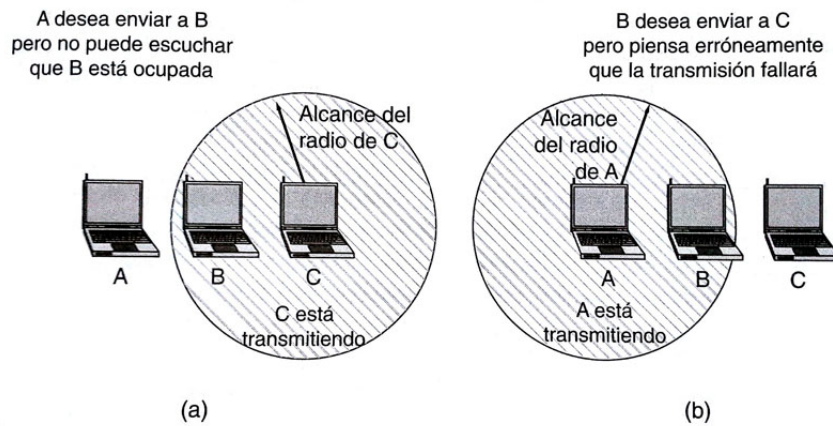
El *802.11* trata de evitar las colisiones con un protocolo llamado *CSMA/CA* (*CSMA con Evasión de Colisiones*, del inglés *CSMA with Collision Avoidance*). En concepto, este protocolo es similar al *CSMA/CD*<sup>14</sup> de *Ethernet*, con detección del canal antes de enviar y retroceso exponencial después de las colisiones. Sin embargo, un equipo que desee enviar una trama empieza con un retroceso aleatorio (excepto en el caso en que no haya utilizado el canal recientemente y éste se encuentre inactivo). No espera una colisión. El número de ranuras para el retroceso se elige en el rango de 0 hasta 15, en el caso de la capa física *OFDM*. El equipo espera hasta que el canal está inactivo, para lo cual detecta que no hay señal durante un periodo corto y realiza un conteo descendente de las ranuras inactivas, haciendo pausa cuando se envían tramas. Envía su trama cuando el contador llega a 0. Si la trama logra pasar, el destino envía de inmediato una confirmación de recepción corta. La falta de una confirmación de recepción se interpreta como si hubiera ocurrido un error, sea una colisión o cualquier otra cosa. En este caso, el emisor duplica el periodo de retroceso e intenta de nuevo, continuando con el retroceso exponencial como en *Ethernet*, hasta que la trama se transmita con éxito o se llegue al número máximo de retransmisiones.

El segundo problema es que los rangos de transmisión de los distintos equipos pueden ser diferentes. Con un cable, el sistema se diseña de tal forma que todos los equipos se puedan escuchar entre sí. Con las complejidades de la propagación de radiofrecuencia, esta situación no es válida para los equipos inalámbricos. En consecuencia, pueden surgir las siguientes situaciones:

<sup>13</sup> Canal *half-dúplex*: Permite el tráfico en ambos sentidos, pero utilizando un solo sentido a la vez

<sup>14</sup> *CSMA con Detección de Colisiones*, del inglés *CSMA with Collision Detection*

- Problema de la terminal oculta: Como no todos los equipos están dentro del alcance de radio de todos los demás, las transmisiones que se realizan en una parte de una celda tal vez no se reciban en las demás partes de la misma celda, y algún equipo en esa área puede concluir de manera errónea que en ese momento puede empezar a transmitir. Esta decisión provoca una colisión.
- Problema de la terminal expuesta: Un equipo desea transmitir y escucha el canal. Cuando oye una transmisión de otro equipo, concluye erróneamente que no puede enviar, aun cuando ese equipo puede estar transmitiendo a cualquier otro. Esta decisión desperdicia una oportunidad de transmisión.



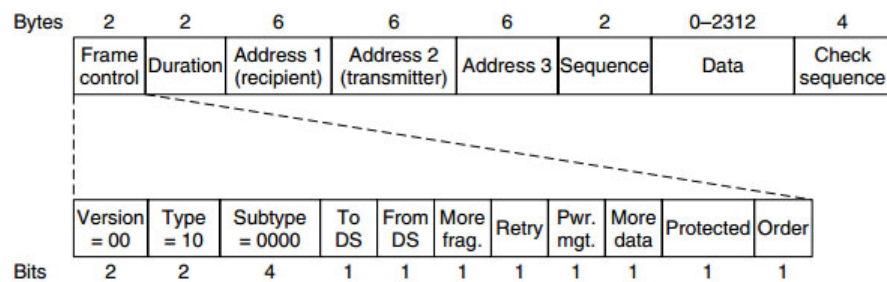
**Figura 9.** (a) Problema de la terminal oculta. (b) Problema de la terminal expuesta.

Para reducir las ambigüedades con respecto a qué equipo va a transmitir, el 802.11 define la detección del canal como un proceso que consiste tanto de una detección física como de una detección virtual. En la detección física sólo se verifica el medio para ver si hay una señal válida. En la detección virtual, cada equipo mantiene un registro lógico del momento en que se usa el canal rastreando el NAV (*Vector de Asignación de Red*, del inglés *Network Allocation Vector*). Cada trama lleva un campo NAV que indica cuánto tiempo tardará en completarse la secuencia a la que pertenece esta trama. Los equipos que escuchen por casualidad esta trama saben que el canal estará ocupado durante el período indicado por el NAV, sin importar que puedan detectar o no una señal física [1].



#### 4.5. Estructura de la trama

El estándar *802.11* define tres clases diferentes de tramas en el aire: de datos, de control y de administración. Cada una tiene un encabezado con una variedad de campos que se utilizan dentro de la subcapa *MAC*. Además, hay algunos encabezados utilizados por la capa física, que tienen que ver con las técnicas de modulación utilizadas.



**Figura 10.** Formato de la trama de datos 802.11.

En la trama de datos, el campo Control de trama consta de 11 subcampos. El campo Duración, indica cuánto tiempo ocuparán el canal la longitud de la trama, y su confirmación de recepción, lo cual se mide en microsegundos. Está presente en todos los tipos de tramas, incluyendo las tramas de control, y es lo que utilizan los equipos para administrar el mecanismo *NAV*.

Las tramas de datos que se envían hacia un *AP* o se reciben de éste, tienen tres direcciones, todas en formato estándar *IEEE 802*. La primera dirección es el receptor, la segunda es el transmisor. Como el *AP* es sólo un punto de relevo para las tramas, a medida que viajan entre un cliente y otro punto en la red, tal vez un cliente distante o un sitio de Internet. La tercera dirección provee este punto final distante.

El campo Secuencia enumera las tramas de manera que se puedan detectar tramas duplicadas. El campo Datos contiene la carga útil. Los primeros bytes de esta carga útil están en un formato conocido como *LLC* (*Control de Enlace Lógico*, del inglés *Logical Link Control*). Como ya se mencionó, esta capa es la unión que identifica al protocolo de capa superior (como el protocolo IP) al que deben pasar las cargas útiles.

Las tramas de administración tienen el mismo formato que las tramas de datos, además de un formato para la parte de los datos que varía con el subtipo.

Las tramas de control son cortas. Al igual que todas las tramas, tienen los campos Control de trama, Duración y Secuencia de verificación. Sin embargo, pueden tener sólo una dirección y ninguna porción de datos [1].

#### 4.6. Autenticación y seguridad

Los equipos se deben autenticar antes de poder enviar tramas por medio del *AP*, pero la autenticación se maneja en formas distintas dependiendo del esquema de seguridad elegido. Si la red *802.11* está “abierta”, cualquiera puede usarla. En caso contrario, se requieren credenciales para autenticarse.

El primer esquema de autenticación se denominó *WEP* (*Privacidad Equivalente a Cableado*, del inglés *Wired Equivalent Privacy*). La idea era lograr que la seguridad inalámbrica fuera igual a la seguridad cableada. Es una buena idea, pero por desgracia el esquema era imperfecto y no pasó mucho tiempo para que fallara. No se recomienda su uso, ya que hay software libremente disponible para quebrantar contraseñas *WEP*.

Desde entonces se reemplazó con esquemas más recientes que tienen distintos detalles criptográficos en el estándar *802.11i*, conocido también como *Acceso Protegido WiFi*, que en un principio se llamó *WPA* pero ahora se reemplazó por el *WPA2*.

En el *WPA2* (*Acceso Protegido WiFi 2*, del inglés *WiFi Protected Access 2*), el *AP* se puede comunicar con un servidor de autenticación que tenga una base de datos con nombres de usuario y contraseñas para determinar si el equipo puede acceder a la red. Como alternativa se puede configurar una clave precompartida, lo cual es un nombre elegante para una contraseña de red. Se intercambian varias tramas entre el equipo y el *AP* con un reto y respuesta que permite al equipo demostrar que tiene las credenciales apropiadas.

Como las transmisiones inalámbricas son difundidas, es fácil que las computadoras cercanas reciban paquetes de información que no estaban destinados para ellas. Para evitar esto, el estándar *802.11* utiliza un servicio de privacidad que administra los detalles del cifrado y descifrado. El algoritmo de cifrado para *WPA2* se basa en el estándar *AES* (*Estándar de Cifrado Avanzado*, del inglés *Advanced Encryption Standard*). Las claves que se utilizan para el cifrado se determinan durante el procedimiento de autenticación [1].

*802.11ac* es compatible con *WPS*<sup>15</sup> y con los protocolos de seguridad *WEP*, *WPA*, *WPA2* tradicionales [25].

#### 4.7. Integración de 802.11ac

El problema con cualquier nueva conexión es que tiene que pasar por muchas pruebas y test de laboratorio hasta convertirse en un estándar por la *IEEE*. Pero sobre todo lo que se necesita es la implicación de varias empresas para poder producir chips compatibles.

Cada nueva versión de tecnología *Wi-Fi* necesita un controlador en forma de chip, y por ahora es *Broadcom* quien parece estar tomando la delantera a sus competidores porque su controlador es el primero que hace acto de presencia y estar disponible para fabricantes.

Pero ante todo es el precio, que es el principal problema para implementarlo en portátiles. Al ser más caro que los controladores *802.11n* esto hace que el precio final del producto suba y claro, si tan solo un par de productos de una marca tiene esta conexión, el precio nunca bajará hasta que se fabriquen a gran escala y el precio por controlador baje [24].

Sin embargo, el desarrollo del estándar *802.11ac* ha sido muy rápido gracias a los pilares que ya existían. En *802.11n* aparecieron más borradores y dificultades con aspectos como los problemas con *Bluetooth*. En este caso las dificultades han sido mínimas, y luego tuvieron que resolver pequeñas incompatibilidades con los estándares inalámbricos más antiguos (*802.11a* y *802.11b*) [17].

#### 4.8. Dispositivos compatibles

Existen ya una gran cantidad de *routers* y tarjetas internas para PC que son compatibles con *802.11ac*. Incluso mini adaptadores *802.11ac* que no son más grandes que una unidad *USB* de almacenamiento [24].

Uno de los primeros dispositivos en soportar el estándar *802.11ac* ha sido el *HTC One*.

Entre algunos de los modelos disponibles en el mercado, destacan el *D-Link DIR-865L*, con conectividad *WiFi 802.11a/b/g/n/ac*.

<sup>15</sup> *Wi-Fi Protected Setup*: Estándar promovido por la *Wi-Fi Alliance* para facilitar la creación de redes *WLAN*. No es un mecanismo de seguridad en sí, se trata de la definición de diversos mecanismos para facilitar la configuración de una red *WLAN* segura con *WPA2*



**Figura 11.** HTC One.

El *D-Link DIR-868L* es un *router dual band*, lo que significa que puede transmitir datos tanto en redes a 2,4 GHz —la utilizada por las actuales conexiones *802.11n*— como en redes que usan la banda de los 5 GHz —la que usa el estándar *802.11ac*—.

Ese soporte es esencial porque garantiza la compatibilidad con anteriores dispositivos, pero además también permite trabajar con unos y otros de forma indistinta y al mismo tiempo, lo que facilita la transición gradual al nuevo estándar inalámbrico [17].

Un producto similar es el *router Buffalo WZR-D1800H*, y el *CISCO Linksys EA6500*. Todos compatibles con el estándar *802.11a/b/g/n* y *802.11ac*. Ofrecen una velocidad de hasta 1.950 Mbps mediante el uso de la doble banda en *802.11n* (450 Mbps) y *802.11ac* (1.300 Mbps) [25].

Entre los productos *Apple*, tenemos la *MacBook Air* que ya ofrece soporte para la versión *802.11ac*, así como también las estaciones base *wireless AirPort Extreme*, *AirPort Time Capsule* [20] [21].

*AirPort Extreme* y *AirPort Time Capsule* incluyen *Wi-Fi 802.11ac* de doble banda simultánea: eso significa que transmite en frecuencias de 2.4 GHz y 5 GHz, al mismo tiempo. De modo que sin importar qué banda usen los dispositivos *wireless*, se conectarán en forma automática a la mejor banda disponible para lograr el mejor rendimiento. También implementan la tecnología *Beamforming*. Aumentaron el número de antenas, y ahora hay seis: tres para la banda



**Figura 12.** Los routers dual band permiten trabajar en ambas frecuencias al mismo tiempo.



**Figura 13.** MacBook Air



**Figura 14.** AirPort Extreme

de 2.4 GHz y tres para la de 5 GHz. Junto con la tecnología *wireless 802.11ac*, estas antenas permiten conectarse más rápido, a mayor distancia, y con más potencia [21].

Entre los últimos *smartphones* de *Apple* por ahora no tienen soporte para el estándar *802.11ac*, el *iPhone 5*, *5S* y *5C* sólo son compatibles con *802.11a/b/g/n* (*802.11n* 2.4 GHz y 5 GHz).

La compañía *Samsung* sí implementó la nueva tecnología *802.11ac* en sus últimos productos, el *Samsung Galaxy S4* y el *Samsung Galaxy Note 3*.



**Figura 15.** Samsung Galaxy Note 3

#### 4.9. Comparaciones

Versión 802.11	Banda 2.4 GHz	Banda 5 GHz
a		✓
b	✓	
g	✓	
n	✓	✓
ac		✓

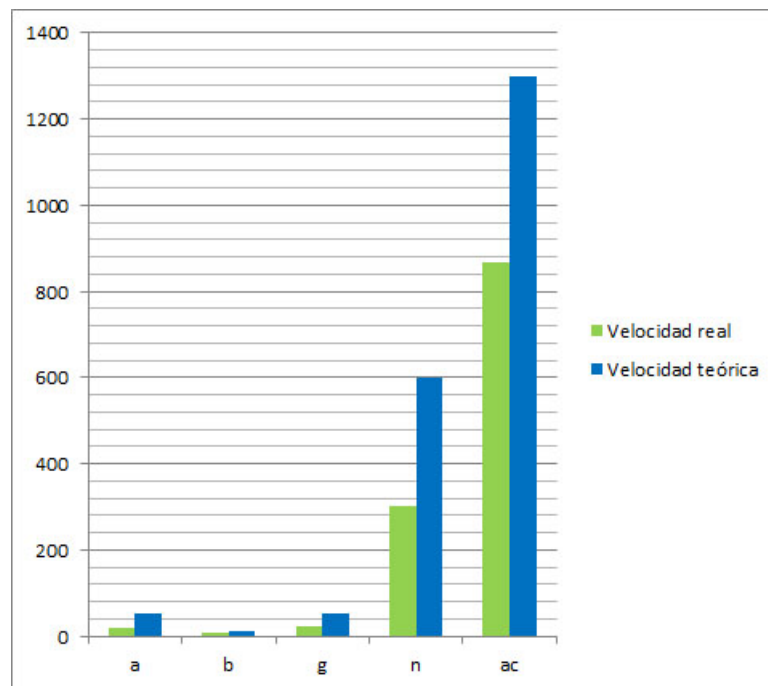
**Figura 16.** Bandas de frecuencia utilizadas por 802.11

Versión 802.11	Infrarrojo	FHSS	DSSS	OFDM
Original	✓	✓	✓	
a				✓
b			✓	
g				✓
n				✓
ac				✓

**Figura 17.** Técnicas de transmisión utilizadas en 802.11

<b>Versión 802.11</b>	<b>Velocidad máxima teórica (Mbps)</b>	<b>Velocidad máxima real (Mbps)</b>
a	54	20
b	11	6
g	54	22
n	600	300
ac	1300	867

**Figura 18.** Velocidades de transmisión alcanzadas en 802.11



**Figura 19.** Velocidades de transmisión alcanzadas en 802.11



Versión 802.11	Lanzamiento	Frecuencia (GHz)	Tasa de datos (Mbps)	Ancho de banda (MHz)	Flujos MIMO	Rango aproximado en interiores (m)	Rango aproximado en exteriores (m)
Original	Junio 1997	2.4	1 a 2	20	1	20	100
a	Septiembre 1999	5	6 a 54	20	1	35	120
b	Septiembre 1999	2.4	1 a 11	20	1	35	140
g	Junio 2003	2.4	6 a 54	20	1	38	140
n	Octubre 2009	2.5/5	7.2 a 72.2	20	4	70	250
			15 a 150	40			
ac	Diciembre 2012	5	Hasta 87.6	20	8	100	
			Hasta 200	40			
			Hasta 433.3	80			
			Hasta 866.7	160			

**Figura 20.** Características de las distintas versiones de 802.11

## 5. El futuro de las conexiones inalámbricas

Si la versión *802.11ac* fue la novedad para este 2013, el futuro del protocolo *802.11* pasa por la revisión *802.11ad* que opera en la banda de los 60 GHz. Esta revisión, que estará disponible en el mercado entre 2014 y 2015, permitirá ratios de transferencia de hasta 7.000 Mbps. Con esta tasa de datos serán posibles grandes tasas de transferencia. Sin embargo, su uso estará limitado a una habitación, ya que no permitirá superar barreras como muros o puertas, dada su longitud de onda. Por este motivo, los routers que incorporen este protocolo también utilizarán otros como *802.11ac* o *802.11n* para complementar la interconexión entre redes [8].

## 6. Conclusión

Hemos visto que el estándar *IEEE 802.11ac* trae consigo varias novedades y mejoras. Lo más destacable es su velocidad de transmisión, que supera los 1 Ggabit por segundo. Estamos hablando de una conexión inalámbrica más rápida que por cables, comparando con el estándar *Ethernet*.

Con esta tecnología *Wi-Fi*, es posible reproducir en *streaming* videos de alta definición y transferir películas en un instante. Además de su excelente *performance* para juegos en red y aplicaciones que requieran un alto ancho de banda. También aumenta el radio de alcance de hasta los 100 metros, lo suficiente como para cubrir toda una casa.

Gracias a la utilización de la banda menos saturada de 5 GHz, la tecnología *Beamforming* que dirige las ondas de radio de manera más precisa, y la uti-

lización de varias antenas de transmisión con la técnica *MIMO*, es que la nueva versión *802.11ac* logra sus objetivos, brindando una mejor calidad de conexión a los usuarios.

Creo que esta tecnología va por un muy buen camino, ya que los nuevos productos que la implementan son compatibles también con las versiones anteriores de *802.11* que aún están siendo utilizadas. *802.11ac* tiende a adoptarse bastante rápido entre lo que queda de este 2013 y el año que viene, y a consolidarse de forma definitiva en 2015.

## Referencias

1. Tanenbaum, Andrew. Wetherall, David. *Redes de Computadoras*. Quinta Edición. Editorial Pearson Educación. México, 2012.
2. Jara Werchau, Pablo. Nazar, Patricia. *Estándar IEEE 802.11x de las WLAN*. Departamento de Ingeniería de Sistemas de Información. Universidad Tecnológica Nacional. Tucumán, Argentina.
3. *La nueva versión WiFi 802.11ac llegará en 2013*. Informática a Bordo. <http://www.informaticaabordo.com/2011/12/la-nueva-version-wifi-802-11ac-llegara-en-2013/>
4. *IEEE 802.11ac*. Wikipedia. [http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11ac](http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11ac)
5. *IEEE 802.11ac*. Wikipedia. [http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11ac](http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11ac)
6. *IEEE 802.11*. Wikipedia. [http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11](http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11)
7. *IEEE 802.11*. Wikipedia. [http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11](http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11)
8. *El wifi que viene*. Eroski Consumer. <http://www.consumer.es/web/es/tecnologia/internet/2013/01/15/215270.php>
9. *Red de área local inalámbrica*. Wikipedia. [http://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_de\\_%C3%A1rea\\_local\\_inal%C3%A1mbrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Red_de_%C3%A1rea_local_inal%C3%A1mbrica)
10. *IEEE 802*. Wikipedia. [http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802](http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802)
11. *Wi-Fi*. Wikipedia. <http://es.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>
12. *IEEE 802.11n*. Wikipedia. [http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11n](http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11n)
13. *IEEE 802.11n-2009*. Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/802.11n>
14. *Nuevo estándar Wi-Fi 802.11ac: velocidad gigabit inalámbrica en 2012*. Gizmología. <http://gizmologia.com/2011/12/wi-fi-ac-gigabit-en-2012>
15. *An Introduction to 802.11ac*. Quantenna Communications, Inc. <http://www.quantenna.com/pdf/Intro80211ac.pdf>
16. *Introduction to 802.11ac WLAN Technology and Testing*. Agilent Technologies. [http://www.home.agilent.com/upload/cmc\\_upload/All/IntroductionTO802\\_11ac\\_Technology\\_and\\_Testing\\_V2.pdf](http://www.home.agilent.com/upload/cmc_upload/All/IntroductionTO802_11ac_Technology_and_Testing_V2.pdf)
17. *D-Link DIR-868L, primeras impresiones con este router 802.11ac*. Xataka. <http://www.xataka.com/perifericos/d-link-dir-868l-primeras-impresiones-con-este-router-802-11ac>
18. *MIMO*. Wikipedia. <http://es.wikipedia.org/wiki/MIMO>
19. *Multi-user MIMO*. Wikipedia. [http://en.wikipedia.org/wiki/Multi-user\\_MIMO](http://en.wikipedia.org/wiki/Multi-user_MIMO)
20. *MacBook Air*. Apple. <http://www.apple.com/es/macbook-air/specs.html>
21. *AirPort Extreme*. Apple. <http://www.apple.com/es/airport-extreme/>
22. Goncalves, Albino. *Acceso WiFi*. Scribd. <http://es.scribd.com/doc/60826960/4/Banda-de-5-GHz-802-11a-h>

23. *Comienza certificación para el estándar WiFi 802.11ac.* Fayerwayer. <http://www.fayerwayer.com/2013/06/comienza-certificacion-para-el-estandar-wifi-802-11ac/>
24. *Prepárate para el Wi-Fi 802.11ac.* Fayerwayer. <http://www.fayerwayer.com/2013/04/preparate-para-el-wi-fi-802-11ac/>
25. *El nuevo protocolo IEEE 802.11ac, WIFI a velocidad de fibra Óptica.* Unisys. <http://blogs.unisys.com/2013/07/10/el-nuevo-protocolo-ieee-802-11ac-wifi-a-velocidad-de-fibra-optica/>