

# **Taller de Redes y Comunicaciones I**

**Andrés Felipe Puentes Rivera**

**Profesor**

**Jhon Serrato**

**Fundación Escuela Tecnológica de Neiva “Jesús Oviedo Pérez”**

**Ingeniería de Software**

**Redes y Comunicaciones I**

**Neiva, febrero 2025**

## **Evolución del Estándar IEEE 802.11**

### **IEEE 802.11 Legacy**

Publicado en 1997 y conocido como "legacy", especificaba tasas de transmisión de 1 y 2 Mbps. Estas podían realizarse mediante señales de infrarrojos (IR) o por radiofrecuencia en la banda ISM de 2,4 GHz. Aunque la opción de transmisión por infrarrojos se incluyó en el estándar, no se desarrollaron productos comerciales que la implementaran. Para la transmisión por radiofrecuencia, el estándar permitía el uso de dos técnicas de espectro ensanchado: DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) y FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). En DSSS, se utilizaban modulaciones DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) o DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying), mientras que en FHSS se empleaba FSK (Frequency Shift Keying) gaussiana de 2 o 4 niveles. La técnica DSSS ofrecía un mejor rendimiento y alcance, por lo que fue más adoptada en comparación con FHSS, que presentaba un rendimiento inferior y menor uso en la práctica.

### **IEEE 802.11b (WI-FI 1)**

Ratificada en 1999, opera en la banda de 2.4 GHz y fue la primera en lograr una amplia aceptación en el mercado. Ofrece una velocidad teórica máxima de 11 Mbps; sin embargo, debido al overhead del protocolo CSMA/CA, las velocidades prácticas alcanzan aproximadamente 5.9 Mbps para TCP y 7.1 Mbps para UDP. Este estándar mantiene compatibilidad con la norma original IEEE 802.11, utilizando DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). Para alcanzar tasas de 5.5 y 11 Mbps, introduce la modulación CCK (Complementary Code Keying), y opcionalmente admite PBCC (Packet Binary Convolutional Coding).

### **IEEE 802.11a (WI-FI 2)**

Ratificada en 1999, opera en la banda de 5 GHz y utiliza la modulación OFDM para alcanzar velocidades teóricas de hasta 54 Mbps, con tasas reales cercanas a 20 Mbps. Ofrece 12

canales no solapados (8 para redes inalámbricas y 4 para conexiones punto a punto). Debido a la diferencia de frecuencia, no es compatible con dispositivos 802.11b que operan en 2.4 GHz. Aunque la banda de 5 GHz presenta menos interferencias, las señales tienen menor alcance y penetración, requiriendo más puntos de acceso para una cobertura adecuada. Los primeros productos basados en este estándar llegaron al mercado en 2001.

### **IEEE 802.11g (WI-FI 3)**

Ratificada en junio de 2003, es una evolución del estándar 802.11b. Opera en la banda de 2.4 GHz, ofreciendo una velocidad teórica máxima de transmisión de 54 Mbps y manteniendo compatibilidad con dispositivos 802.11b. Sin embargo, la presencia de dispositivos 802.11b en una red 802.11g puede reducir significativamente la velocidad de transmisión. Los primeros equipos basados en este estándar llegaron al mercado rápidamente, incluso antes de su ratificación oficial, debido a la facilidad de adaptación de los dispositivos 802.11b existentes. A partir de 2005, la mayoría de los productos comercializados siguieron la revisión 802.11g con compatibilidad hacia 802.11b. Actualmente, se venden equipos con esta especificación que, con potencias de hasta medio vatio y antenas parabólicas adecuadas, permiten comunicaciones de hasta 50 km.

### **IEEE 802.11h**

Publicada en octubre de 2003, aborda los problemas de interferencia entre redes 802.11a y sistemas de radar y satélite en la banda de 5 GHz. Originalmente desarrollada para cumplir con las regulaciones europeas, esta enmienda introdujo dos funcionalidades clave:

Selección Dinámica de Frecuencia (DFS): evita interferencias co-canal con sistemas de radar y asegura una utilización uniforme de los canales disponibles.

Control de Potencia de Transmisión (TPC): limita la potencia transmitida para minimizar la interferencia con sistemas de satélite.

Estas mejoras permiten una coexistencia más armoniosa en la banda de 5 GHz,

especialmente en regiones donde esta frecuencia es compartida con aplicaciones militares y satelitales.

## **IEEE**

## **802.11e**

Aprobada en 2005, introduce mejoras en el control y los servicios del estándar 802.11, enfocándose en soportar tráfico en tiempo real con garantías de Calidad de Servicio (QoS). Para lograr esto, se incorporan clases de tráfico y un nuevo sistema de coordinación denominado HCF (Hybrid Coordination Function), que ofrece dos tipos de acceso:

EDCA (Enhanced Distributed Channel Access): Sistema distribuido de control basado en prioridades de tráfico. Los datos de mayor prioridad tienen menos tiempo de espera antes de la transmisión y utilizan intervalos de transmisión más largos (TXOP), mientras que los de menor prioridad esperan más y transmiten por menos tiempo.

HCCA (HCF-Controlled Channel Access): Sistema centralizado de control que permite al punto de acceso iniciar periodos controlados en cualquier momento, gestionando el acceso al medio de manera más eficiente y utilizando algoritmos de planificación complejos para optimizar la QoS.

Además, 802.11e incorpora otras mejoras como APSD (Automatic Power Save Delivery), BA (Block Acknowledgments), QoSAck / QoSNoAck y DLS (Direct Link Setup), que contribuyen a una gestión más eficiente de la energía, reducción de la sobrecarga de protocolo y establecimiento directo de enlaces entre estaciones.

## **IEEE 802.11n (WI-FI 4)**

Ratificada en 2009, opera en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz, ofreciendo una velocidad teórica máxima de transmisión de hasta 600 Mbps. Esta mejora se logra mediante la tecnología MIMO (Multiple Input - Multiple Output), que utiliza múltiples antenas para enviar y recibir datos simultáneamente, aumentando así el alcance y la capacidad de la red. Actualmente, existen

productos que cumplen con el segundo borrador de la revisión n, alcanzando velocidades de hasta 300 Mbps, con tasas estables entre 80-100 Mbps.

### **IEEE 802.11w**

Ratificada en 2009, extiende las protecciones de seguridad del estándar IEEE 802.11i a las tramas de gestión de las redes WLAN. Su objetivo principal es salvaguardar estas tramas contra ataques de falsificación y reproducción, que pueden comprometer la integridad y disponibilidad de la red. Para lograr esto, 802.11w introduce mecanismos de protección para tramas de gestión robustas, como desasociación, desautenticación y tramas de acción específicas. Estas tramas son esenciales para el funcionamiento de la red, ya que gestionan la asociación de dispositivos, la autenticación y otras funciones críticas. La implementación de 802.11w es opcional y puede negociarse entre las estaciones (STAs) y el punto de acceso (AP). Sin embargo, su adopción es altamente recomendable para mejorar la seguridad de las redes inalámbricas, especialmente en entornos donde la protección contra ataques de denegación de servicio (DoS) y otros intentos de intrusión es una prioridad.

### **IEEE 802.11ac (WI-FI 5)**

Fue ratificada en julio de 2014 y es ampliamente utilizada en routers domésticos actuales. Opera en la banda de 5 GHz, ofreciendo velocidades teóricas de hasta 1.3 Gbps con tres antenas. Incorpora tecnologías como MU-MIMO y beamforming para mejorar la eficiencia y cobertura de la red. Además, es compatible con el estándar anterior, 802.11n, y permite anchos de banda de 80 MHz y 160 MHz, aunque también puede operar en 20 MHz o 40 MHz según la compatibilidad con dispositivos más antiguos.

### **IEEE 802.11ad**

Fue añadida a la familia 802.11 en diciembre de 2012. Opera en la banda de 60 GHz, lo que permite alcanzar anchos de banda significativamente mayores en comparación con otros

estándares Wi-Fi. Sin embargo, esta alta frecuencia limita su alcance a aproximadamente 1-2 metros desde el router, y su señal tiene dificultades para atravesar obstáculos como paredes. A pesar de estas limitaciones de alcance, 802.11ad es ideal para aplicaciones que requieren altas velocidades de transmisión de datos en distancias cortas, como la transmisión de video en alta definición o la transferencia rápida de archivos entre dispositivos cercanos.

### **IEEE 802.11ah**

Fue aprobada en septiembre de 2016. Opera en bandas de frecuencia por debajo de 1 GHz, lo que permite un mayor alcance de las redes Wi-Fi, superando las limitaciones de las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz. Esta característica es especialmente beneficiosa para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT), donde se requieren conexiones de largo alcance y bajo consumo de energía. Una de las ventajas clave de Wi-Fi HaLow es su capacidad para penetrar mejor a través de obstáculos, como paredes y edificios, debido a la menor frecuencia de operación. Esto resulta en una cobertura más amplia y estable en entornos complejos. En cuanto al consumo de energía, Wi-Fi HaLow está diseñado para ser eficiente, lo que permite la optimización del uso de dispositivos en transmisiones que se prolongan en el tiempo. El ancho de banda de los canales es típicamente 1-2 MHz, permitiendo aumentos a 4, 8 o 16 MHz en el caso de dispositivos que demanden mayor velocidad.

### **IEEE 802.11ax (WI-FI 6)**

Mejora el estándar anterior 802.11ac al ofrecer velocidades teóricas de transferencia de hasta 10 Gbps. Esto se logra mediante la combinación simultánea de las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz, utilizando tecnologías como MIMO y MU-MIMO que implementan OFDMA. Esta combinación permite dividir cada canal Wi-Fi en partes más pequeñas, creando un mayor número de subseñales dirigidas directamente a dispositivos específicos, lo que mejora la eficiencia, estabilidad de la conexión y reduce el consumo de energía. Además, Wi-Fi 6 es compatible con

los estándares anteriores 802.11n y 802.11ac, lo que facilita la transición y la interoperabilidad entre dispositivos. Este estándar está diseñado para entornos de alta densidad, como centros educativos, donde múltiples dispositivos requieren conexiones simultáneas y de alta calidad.

### **IEEE 802.11be (WI-FI 7)**

Es la próxima generación de tecnología inalámbrica que promete velocidades de hasta 46 Gbps, superando significativamente a sus predecesores. Este estándar, oficial desde enero de 2024, se espera que esté ampliamente disponible en dispositivos para 2025. Wi-Fi 7 introduce características como canales de hasta 320 MHz y Multi-Link Operation (MLO), que combinan múltiples bandas de frecuencia para mejorar el rendimiento y reducir la latencia. Estas mejoras lo hacen ideal para aplicaciones que demandan gran ancho de banda, como realidad virtual, juegos en línea y transmisión de video en 8K.

## Referencias

- Guimi. (s.f). Evolución del estándar 802.11. Guimi.net. [https://guimi.net/monograficos/G-Redes\\_de\\_comunicaciones/G-RCnode33.html](https://guimi.net/monograficos/G-Redes_de_comunicaciones/G-RCnode33.html)
- Ingeniería en sistemas de telecomunicaciones. (2024). Estándares WiFi: Evolución de 802.11 a Wi-Fi 6. Wiki Ciencias. <https://www.wikiciencias.net/estandares-wifi-evolucion-de-802-11-a-wi-fi-6/>
- Bardimin. (2024). Estándares Wi-Fi: historia, desarrollo e influencia en las conexiones a Internet. <https://bardimin.com/es/network-es/estandares-wi-fi-historia-desarrollo-e-influencia-en-las-conexiones-a-internet/>