



Capa Física del 802.11

Fundamentos de Redes Inalámbricas

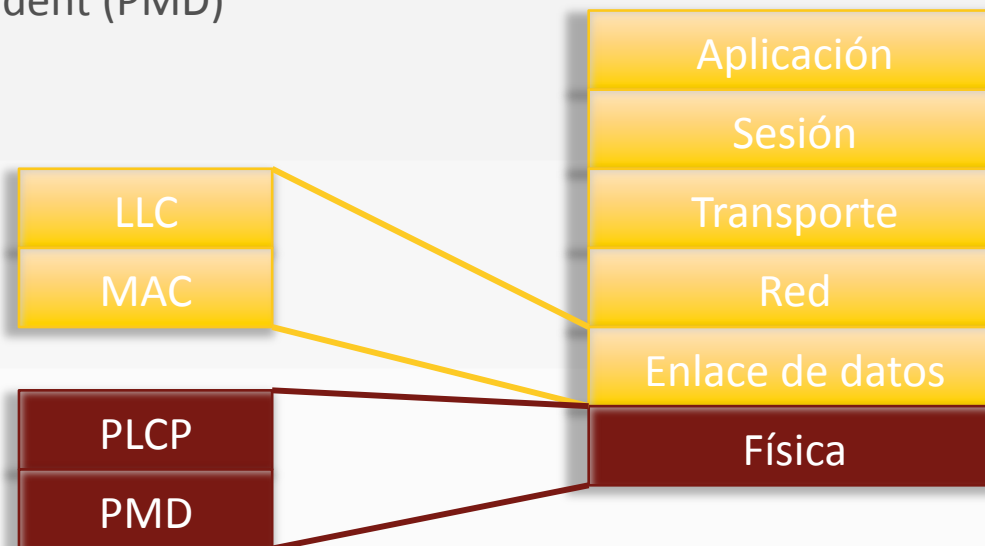


Elementos de la capa PHY del 802.11



Componentes de la capa PHY del 802.11

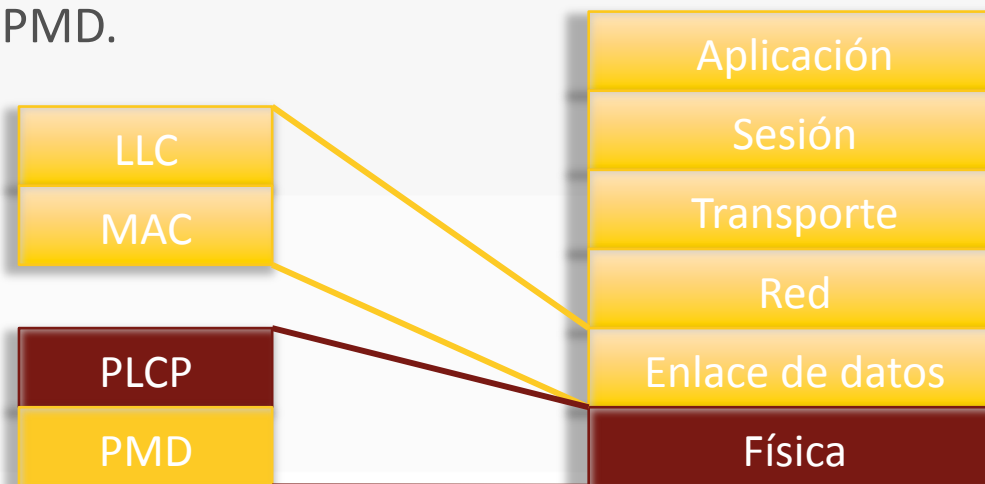
- La capa física es dividida en dos sub-capas:
 - Physical Layer Convergence Procedure (PLCP)
 - Physical Medium Dependent (PMD)





Physical Layer Convergence Procedure (PLCP)

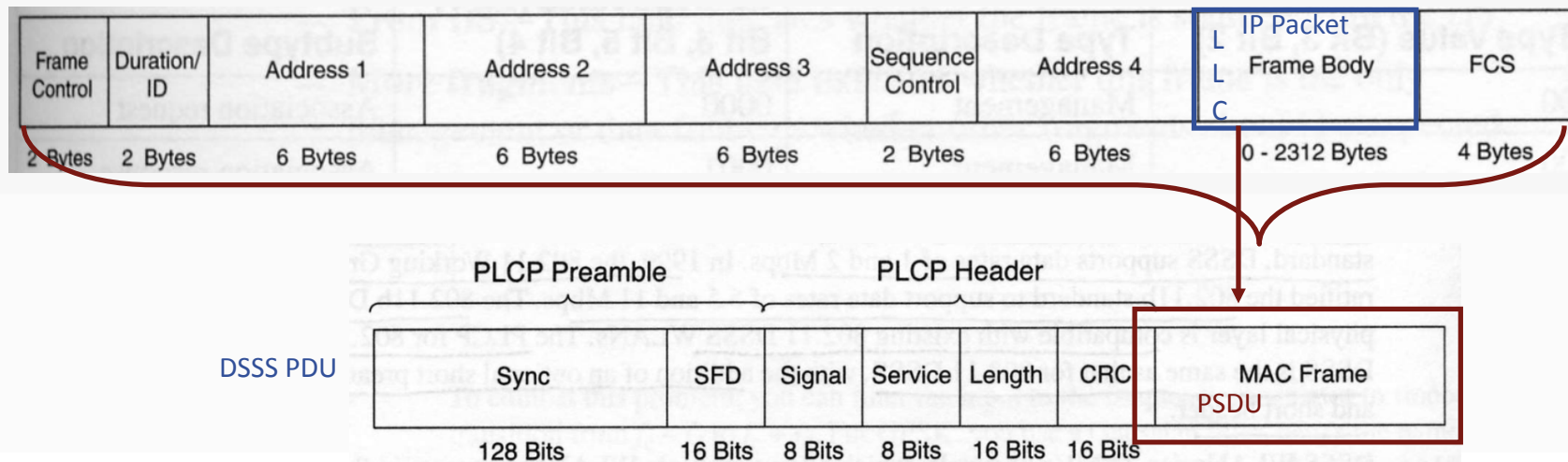
- Todas las PLCPs proveen la interfaz para transferir octetos de datos entre la MAC y la PMD.
- “Primitivas” (campos) que dicen al PMD cuando iniciar y terminar comunicaciones.
- Es la capa que permite a los PDUs de la capa MAC (MPDUs) ser transmitidos entre la MAC y sobre el PMD.



PLCP

- Más “encapsulación”, el PSDU (PLCP Service Data Unit) son los datos que la PLCP es responsable de entregar.
 - Dependiendo del protocolo, la trama MAC encapsulada es a veces llamada PSDU (PLCP Service Data Unit) o MPDU (MAC Protocol Data Unit).

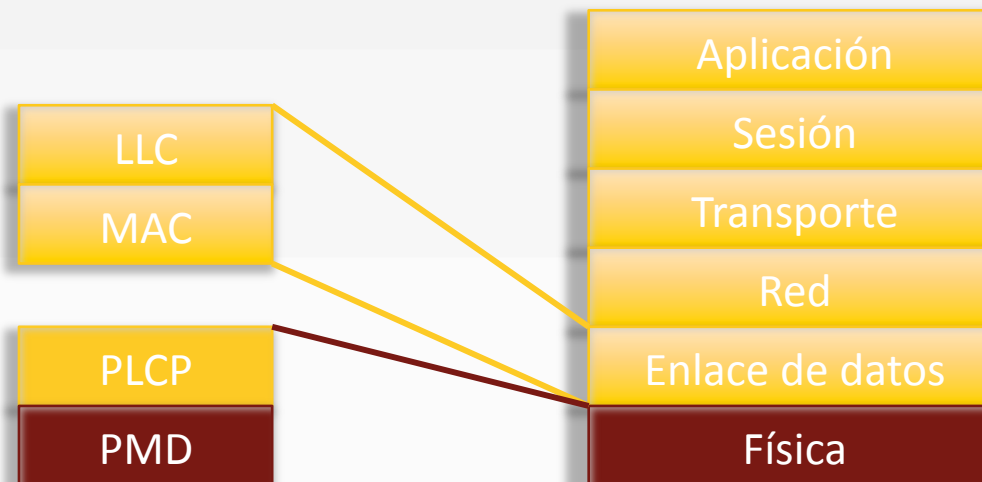
Trama general del 802.11





Physical Medium Dependent (PMD)

- Responsable de la transmisión de los bits recibidos de la PLCP sobre el medio de transmisión (radio frecuencia).
- Los conceptos clave de la capa PHY son:
 - Scrambling
 - **Codificación**
 - Interleaving
 - **Modulación**





Principios de radiofrecuencia



Radiofrecuencia (RF)

- La meta de RF es:
 - *enviar la mayor cantidad de datos posible lo más lejos posible.*
- La especificación del 802.11 define operaciones half-duplex para la emisión y recepción de datos en una misma frecuencia.
- Aunque se utilizan frecuencias no reguladas, se deben seguir las reglas establecidas por organismos como FCC (COFETEL). IEEE define estándares que operan dentro de estas reglas.
 - Niveles de potencia, tecnologías de transmisión y locaciones donde pueden ser utilizados.



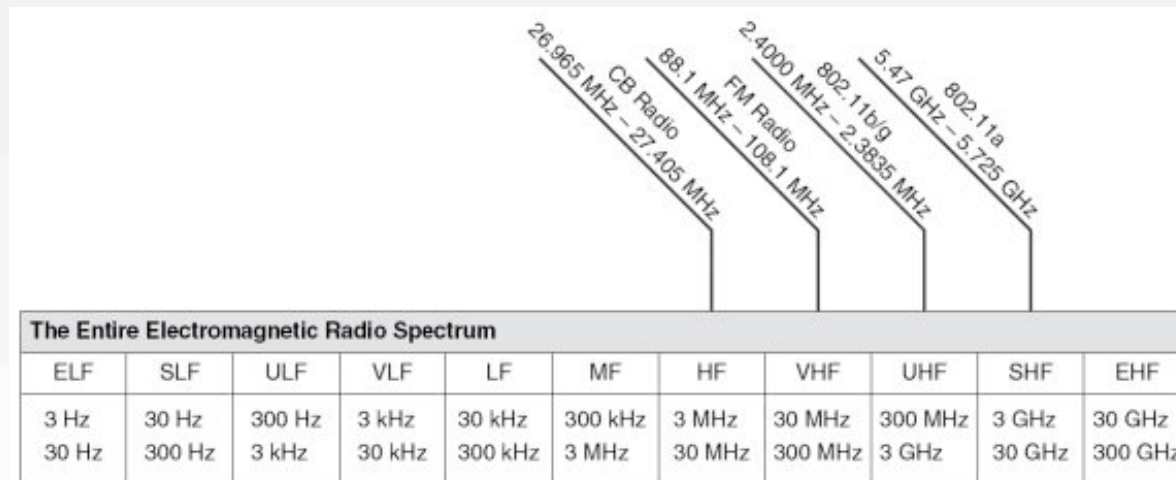
Radiofrecuencia (RF)

- Para lograr ancho de banda en señales RF se deben enviar datos como señales eléctricas utilizando algún **método de emisión** (e.g. Spread Spectrum)
- Para colocar datos en las señales de RF se debe utilizar una **técnica de modulación** (e.g. Frecuencia modulada FM o amplitud modulada AM)
- Mientras más información se coloque en una señal, se usa más **espectro de frecuencia o ancho de banda**.
- El ancho de banda puede representar dos cosas diferentes (pero relacionadas):
 - Tasas de transmisión (bits, kilobits, y gigabits) **Ancho de banda digital**.
 - Ancho del canal de RF. **Ancho de banda analógico**.



Radiofrecuencia (RF)

- La unidad estándar para medir ancho de banda analógico es el Hertz (Hz)
- Hertz mide el número de ciclos por segundo. 1 Hertz es un ciclo por segundo.





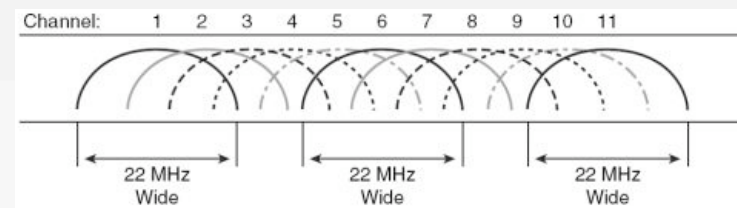
Bandas de frecuencia utilizables

Europe	USA	Japan	Frequency
2.4 GHz	900 MHz		
	2.4 GHz ISM		2.0–2.4835 GHz
		2.4 GHz	2.0–2.495 GHz
CEPT A	UNII-1	5.15–5.25 GHz	5.15–5.25 GHz
CEPT A	UNII-2		5.25–5.35 GHz
CEPT B	UNII-2 Extended		5.47–5.7253 GHz
	ISM		5.725–5.850 GHz
		5.0 GHz	5.038–5.091 GHz
		4.9 GHz	4.9–5.0 GHz



Bandas de RF en Estados Unidos

- 900 MHz
 - Inicia en 902 MHz y termina en 928 MHz.
 - Usado para teléfonos inalámbricos.
- 2.4 GHz
 - Inicia en 2.4000 GHz y termina en 2.4835 GHz.
 - Usado para WLAN.
 - 11 canales cada uno de 22 MHz de ancho.
- 5 GHz
 - Usado también para WLAN.
 - Canales de 20 MHz de ancho.
 - En total se tienen 23 canales que no se traslapan.





Técnicas de Modulación



Definiciones

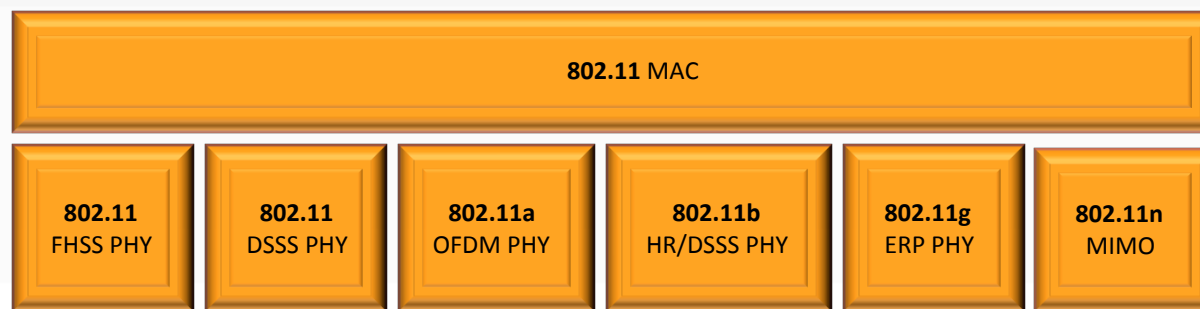
- El proceso de **modulación** es la variación de una señal o tono llamada **señal portadora**. Los datos son entonces añadidos a esta señal portadora en un proceso conocido como **codificación**.
- Una onda modulada consiste de tres partes:
 - Amplitud: el volumen de la señal.
 - Fase: El tiempo de la señal entre picos.
 - Frecuencia: El tomo de la señal
- En redes inalámbricas se utilizan diferentes técnicas de modulación:
 - DSSS
 - OFDM
 - Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)



Técnicas de modulación del 802.11

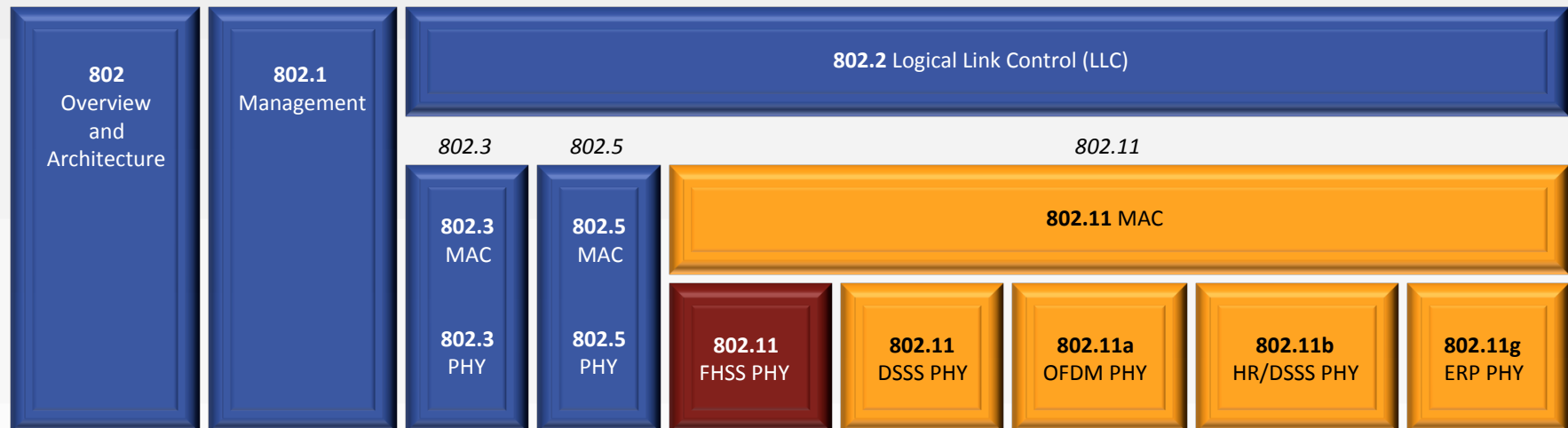
- En 1997, la revisión inicial del 802.11 incluía:
 - Frequency-hopping Spread Spectrum (FHSS)
 - Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) – 802.11
 - Infrared (IR)
- En 1999, dos técnicas fueron desarrolladas:
 - Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) – 802.11a
 - High-Rate Direct Sequence Spread Spectrum (HR-DSSS) – 802.11b
- En 2003, 802.11g fue introducido utilizando HR-DSSS y OFDM:
 - Extended Rate Physical (ERP) – 802.11g

802.11





Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)

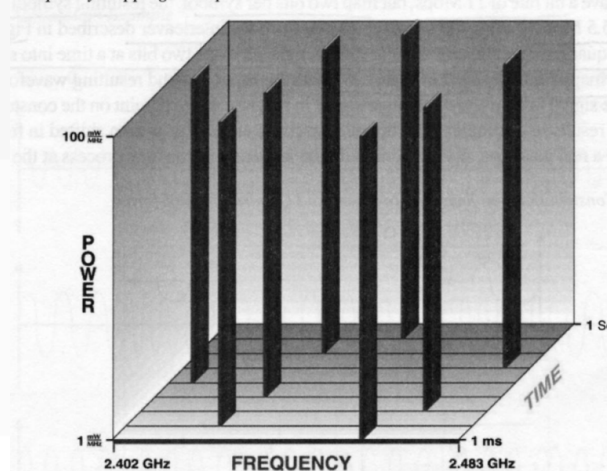




Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)

- Soporta tasas de transmisión de **1 Mbps** y **2 Mbps**.
- Utilizado ampliamente en las primeras generaciones de WLANs.
- Electrónica relativamente barata y requisitos de energía bajos.
- Usa la banda 2.4 GHz de ISM (inicia en 2.402 y termina en 2.480).
- Usa **79 canales no traslapados** cada uno de **1 MHz** de ancho.

Frequency Hopping Example





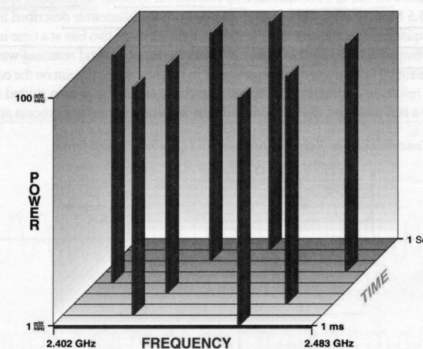
FHSS

- El transmisor usa una secuencia de saltos para seleccionar su frecuencia de transmisión.
- La portadora permanecerá en esa frecuencia por un tiempo especificado (**dwell time**).
- El transmisor usara una pequeña cantidad de tiempo (**hop time**) para moverse a la siguiente frecuencia.
- La radio receptora está sincronizada con el transmisor y así estar en la frecuencia correcta en el momento correcto.

Hop Set and Sequence

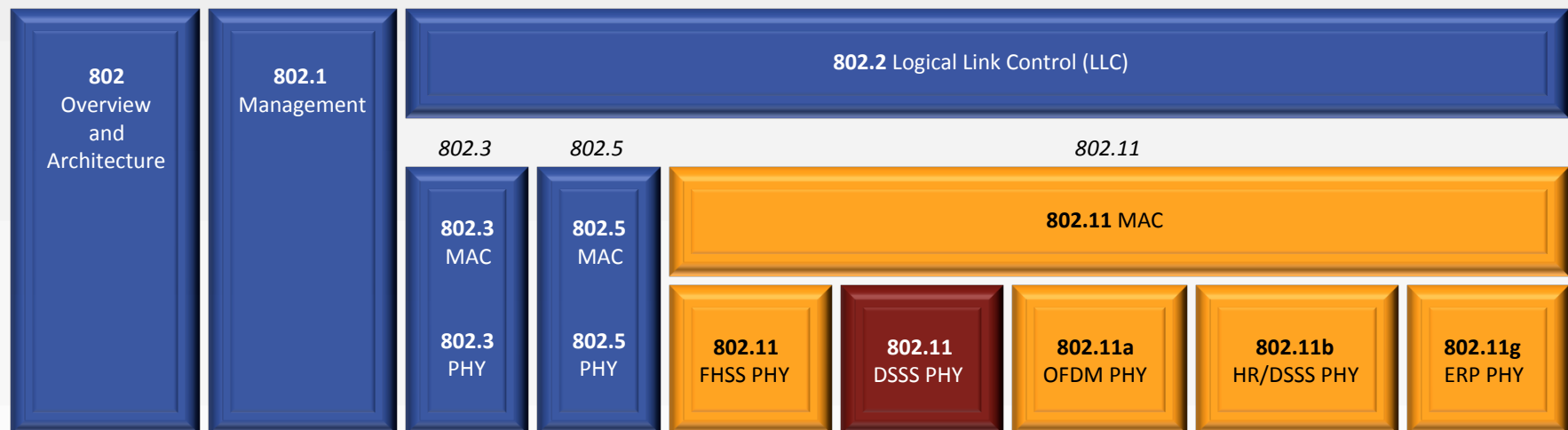
Set 1	0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57, 60, 63, 66, 69, 72, 75
Set 2	1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 37, 40, 43, 46, 49, 52, 55, 58, 61, 64, 67, 70, 73, 76
Set 3	2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26, 29, 32, 35, 38, 41, 44, 47, 50, 53, 56, 59, 62, 65, 68, 72, 74, 77

Frequency Hopping Example





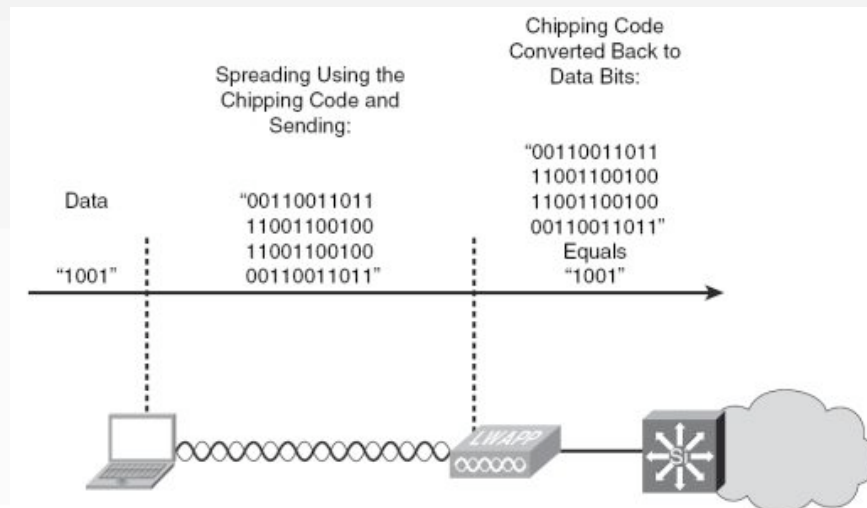
Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)





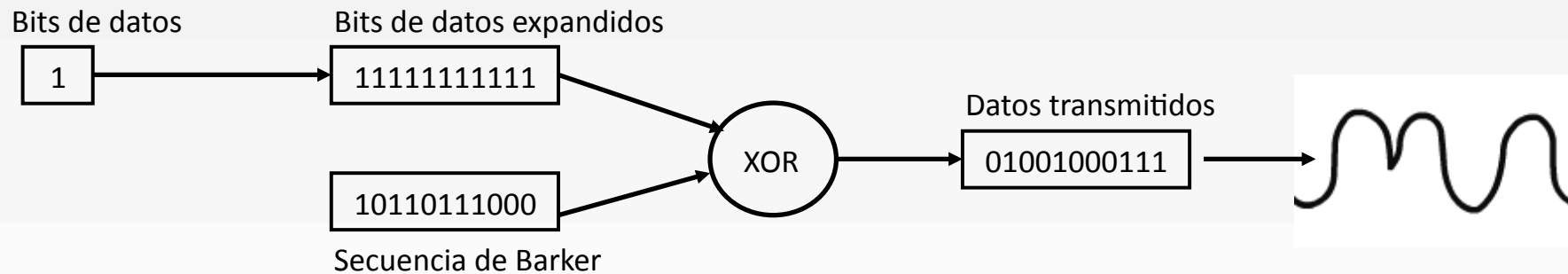
Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

- Definido en 1997 en el estándar 802.11.
- Soporta tasas de transmisión de **1 Mbps** y **2 Mbps**.
- Utiliza canales de **22 MHz** (canal 1 inicia en 2.401 y termina en 2.423 GHz).
- Utiliza una secuencia para codificación de datos (*chip sequence*).



DSSS

- Código Barker:
 - Define el uso de 11 chips para la codificación de datos.
 - El código Barker utilizado en el 802.11 es **10110111000**.





Secuencia Barker

Bit de datos originales

1

Cualquiera

Bit de datos

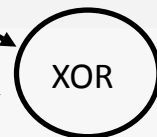
1

Bit de datos expandido

1111111111

10110111000

Secuencia Barker



XOR

0 XOR 0 -> 0

1 XOR 1 -> 0

0 XOR 1 -> 1

Secuencia transmitida

01001000111



Bit de datos

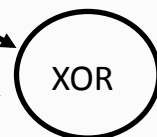
0

Bit de datos expandido

0000000000

10110111000

Secuencia Barker



Secuencia transmitida

10110111000





DSSS

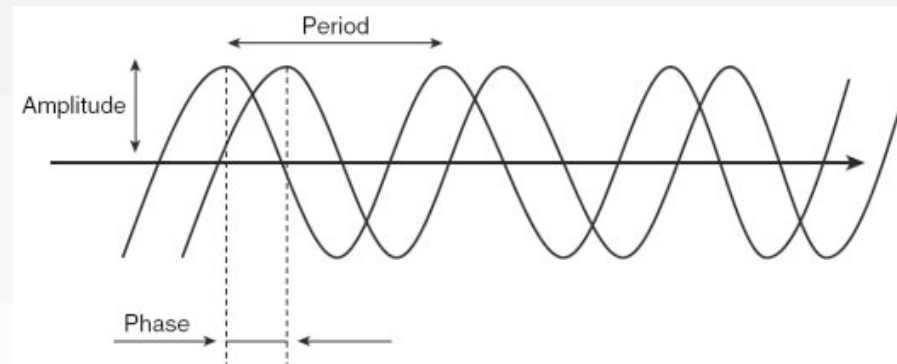
- Una vez que los datos han sido codificados, necesitan ser transmitidos o modulados:
 - Codificación es cómo los cambios en la señal de RF son traducidos a 1s y 0s.
 - Modulación es la característica de la señal de RF que es manipulada.

Data Rate	Encoding	Modulation
1	11 chip Barker coding	DSSS Binary Phase Shift Keying
2	11 chip Barker coding	DSSS Quadrature Phase Shift Keying



Binary Phase Shift Keying (BPSK)

- **Fase** es la diferencia entre dos ondas en una misma frecuencia.
 - Si tienen un pico al mismo tiempo, se dice que están *en fase* o 0 grados.
 - Si tienen picos en tiempos diferentes, se dice que están *fuera de fase*.

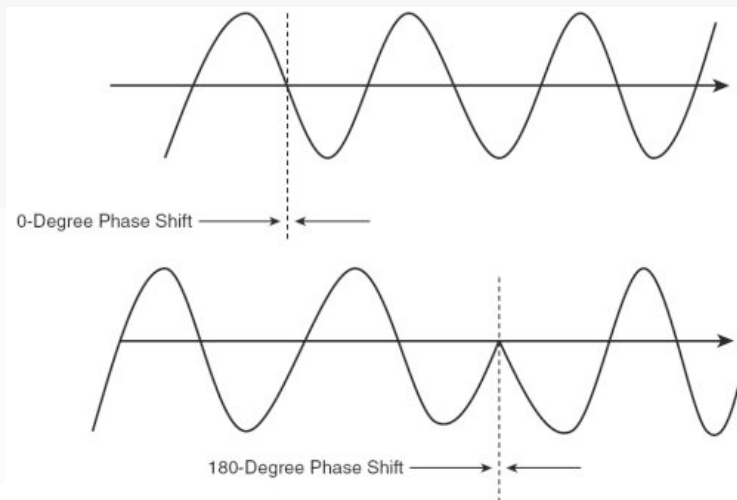


- **Phase-shift keying (PSK)** representa información cambiando la fase de la señal.



BPSK

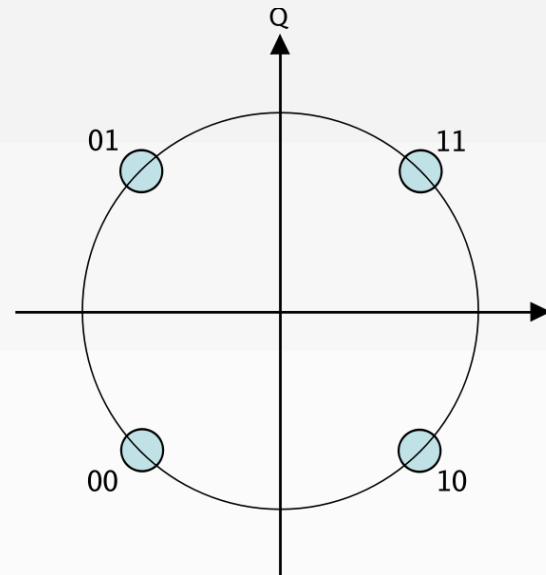
- BPSK es el método más simple de PSK, dos fases separadas en 180 grados son usadas.
- Puede modular 1 bit por símbolo:
 - Cambio de fase de 180 grados representa un 1.
 - Cambio de fase de 0 grados es un 0.





Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

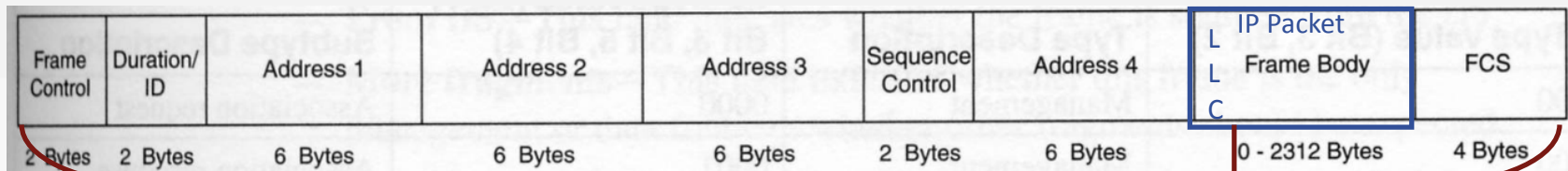
- QPSK tiene la capacidad de codificar 2 bits por símbolo. Esto dobla las tasas de datos disponibles en BPSK utilizando el mismo ancho de banda.



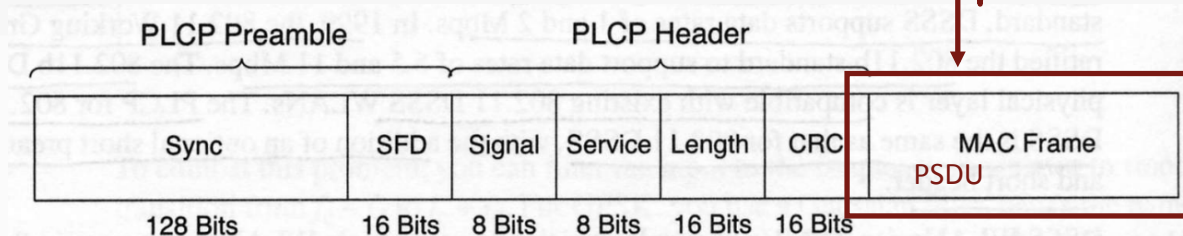
DSSS

- DSSS añade los siguientes campos a la trama MAC para formar la **DSSS PPDU** (PCLP Protocol Data Unit).

Trama general del 802.11



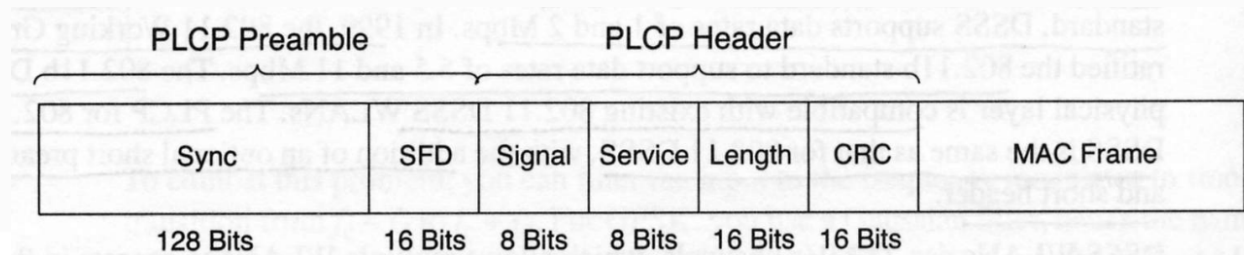
DSSS PDU





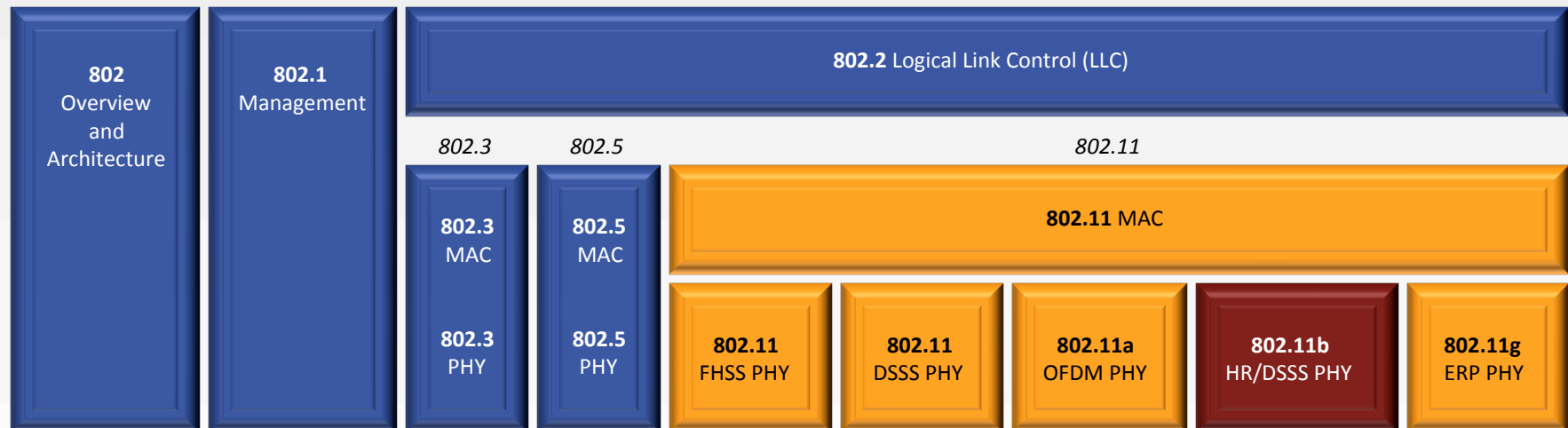
DSSS

- Preámbulo PLCP:
 - **Sync** – Provee sincronización a la estación receptora.
 - **SFD** (Start of Frame Delimiter) – Provee el reloj a la estación receptora.
- Encabezado PLCP:
 - **Signal** – Especifica la modulación y tasa de transmisión para la trama.
 - **DBPSK – 1 Mbps** (Preámbulo y encabezado siempre son enviados a esta velocidad).
 - **DQPSK – 2 Mbps**
 - **Service** – Para uso futuro.
 - **Length** – Número de microsegundos requeridos para transmitir la porción MAC de la trama.
 - **CRC** (Cyclic Redundancy Check) – CRC del encabezado de PLCP.





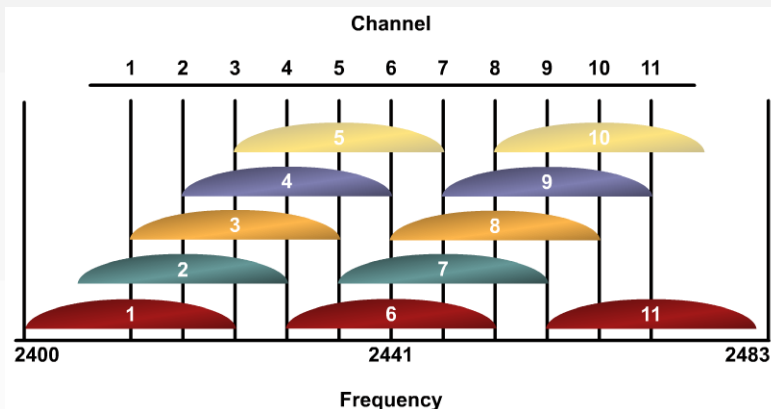
High-Rate Direct Sequence Spread Spectrum (HR/DSSS)





High-Rate Direct Sequence Spread Spectrum (HR/DSSS)

- En 1999 se introduce el estándar 802.11b (HR/DSSS).
- Tasas de transmisión de **1 Mbps, 2 Mbps, 5.5 Mbps y 11 Mbps**.
- Compatible con 802.11 y funcionando bajo los mismos principios.



USA/FCC & Canada regions have 11 total channels allocated. All frequencies are in GHz.

Channel	Lower Frequency	Central Frequency	Upper Frequency
1	2.401	2.412	2.423
2	2.404	2.417	2.428
3	2.411	2.422	2.433
4	2.416	2.427	2.438
5	2.421	2.432	2.443
6	2.426	2.437	2.448
7	2.431	2.442	2.453
8	2.436	2.447	2.458
9	2.441	2.452	2.463
10	2.446	2.457	2.468
11	2.451	2.462	2.473

FCC allocation extends from 2400 to 2483.5 MHz

¿Cómo es que se logra entonces aumentar la velocidad de transmisión?

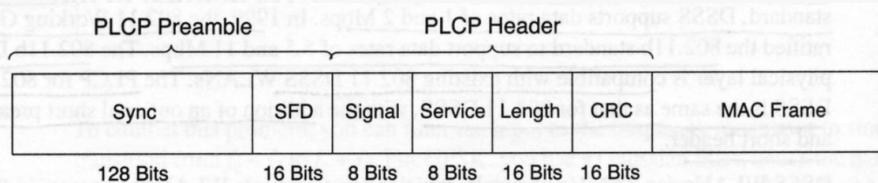


HR/DSSS

- **Primera mejora:**

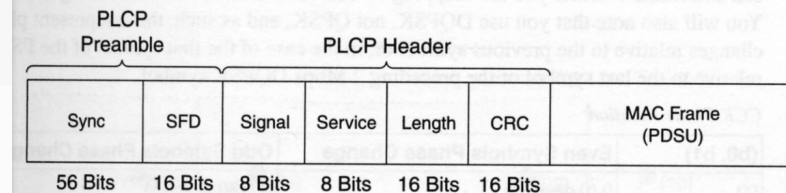
- Existen dos tipos de tramas PPDU:
 - Long – Misma que el PPDU de DSSS.
 - Short – Minimiza la sobrecarga.
- El propósito de los es el mismo que en el PPDU de DSSS excepto que:
 - **Signal** – incluye tasas de transmisión de **5.5 Mbps y 11 Mbps**.

802.11 DSSS PPDU



Long

3-18 HR-DSSS Short PPDU



Short



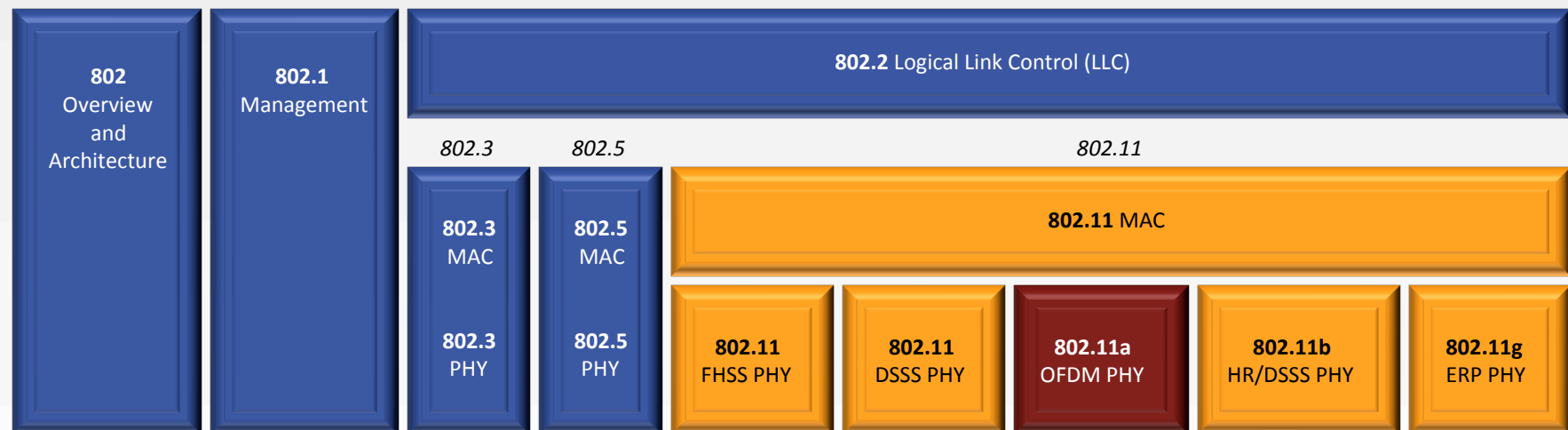
HR/DSSS

- **Segunda mejora:**
 - Uso de **Complementary Code Keying** (CCK) como método de codificación.
 - Usa una serie de códigos llamados secuencias complementarias.
 - Existen 64 códigos únicos.
 - Hasta 6 bits pueden ser representados por un código.

Data Rate	Encoding	Modulation
5.5	8 chip encoding 8 bits CCK coding	DSSS Quadrature Phase Shift Keying
11	8 chip encoding 4 bits CCK coding	DSSS Quadrature Phase Shift Keying



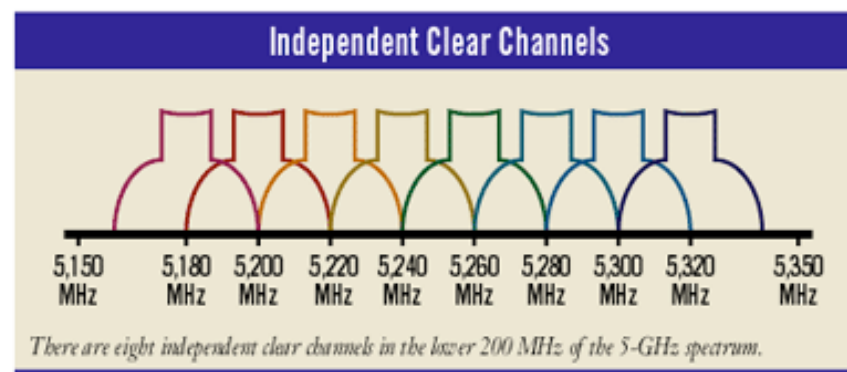
Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)





Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

- En 1999 se introduce 802.11a (al mismo tiempo que 802.11b).
- Utiliza codificación **OFDM**.
- Transferencia de datos desde **6 Mbps** hasta **54 Mbps**.
- **No compatible** con 802.11b.
- Utiliza las bandas de **5 GHz** de la U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure):
 - 5.15 GHz to 5.25 GHz
 - 5.25 GHz to 5.35 GHz
 - 5.725 GHz to 5.825 GHz





OFDM

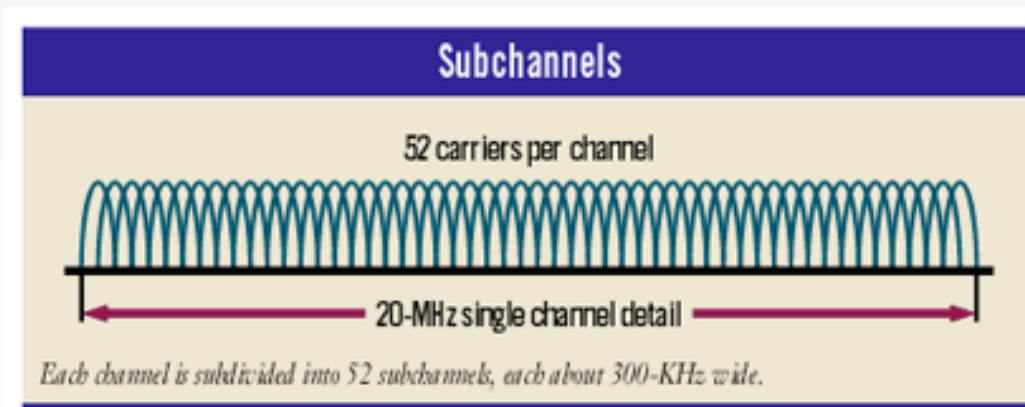
- Utiliza **cuatro canales de 20 MHz** en cada una de las tres bandas U-NII.
- Ofrece **8 canales** que no interfieren entre sí y sólo se utilizan las frecuencias bajas y medias.

BAND	CHANNEL NUMBERS	FREQUENCY (GHz)	MAXIMUM OUTPUT POWER
U-NII lower band 5.15 to 5.25 GHz	36	5.180	40mW (2.5mW/MHz)
	40	5.200	
	44	5.220	
	48	5.240	
U-NII mid band 5.25 to 5.35 GHz	52	5.260	200mW (12.5mW/MHz)
	56	5.280	
	60	5.300	
	64	5.320	
U-NII upper band 5.725 to 5.825 GHz	149	5.745	800mW (50mW/MHz)
	153	5.765	
	157	5.785	
	161	5.805	



OFDM

- Cada portadora es dividida en sub-portadoras de menor velocidad, las cuales **transmiten en paralelo**.
 - Cada canal de **20 MHz** es dividido en **52 subcanales** cada uno de aproximadamente **300 KHz**.
 - **48 subcanales** son utilizados para **datos** y los **4** restantes son utilizados para **corrección de errores**.

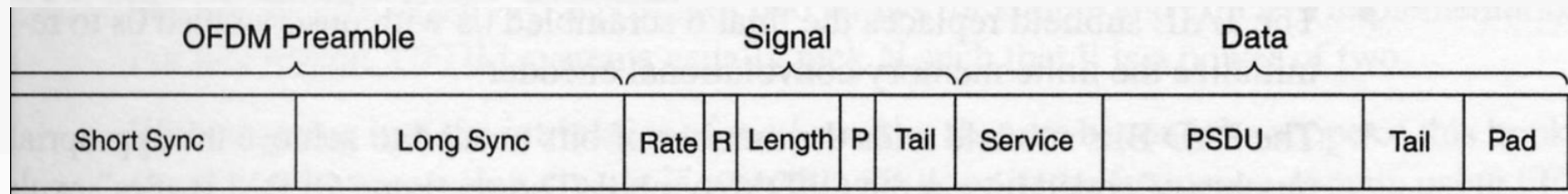




OFDM

- Los campos del PPDU son similares a los formatos del 802.11 y 802.11b.
- El campo **Signal** especifica la tasa de transmisión de la porción de datos: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps.

802.11a PPDU Frame Format





OFDM

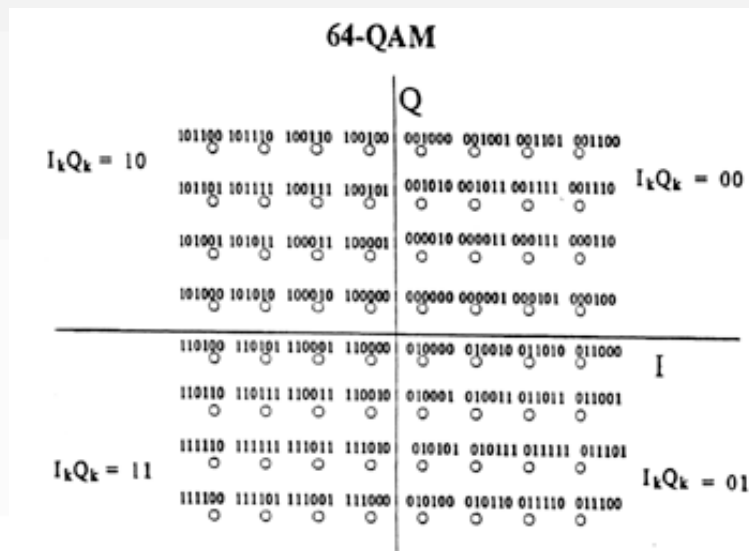
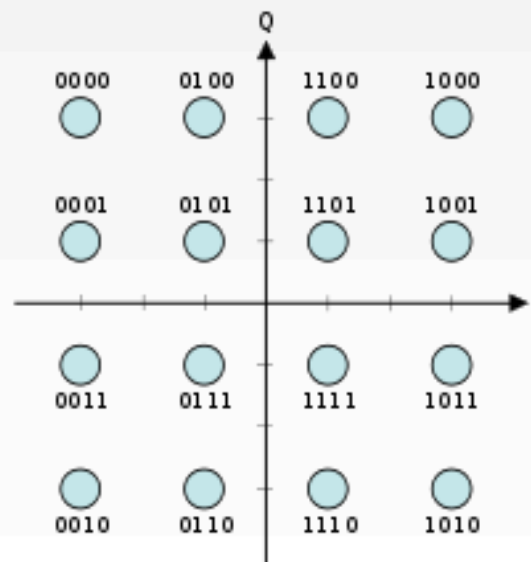
- Es una mezcla de diferentes esquemas de modulación para lograr tasas de transmisión de 6 hasta 54 Mbps.
- El estándar 802.11a especifica que todos los productos compatibles con el 802.11a deben soportar tres esquemas de modulación.

Modulation with Sub Channels	Data Rate Per Sub Channel (Kbps)	Total Data Rate (Mbps)
BPSK	125	6
BPSK	187.5	9
QPSK	250	12
QPSK	375	18
16QAM	500	24
16QAM	750	36
64QAM	1000	48
64QAM	1125	54



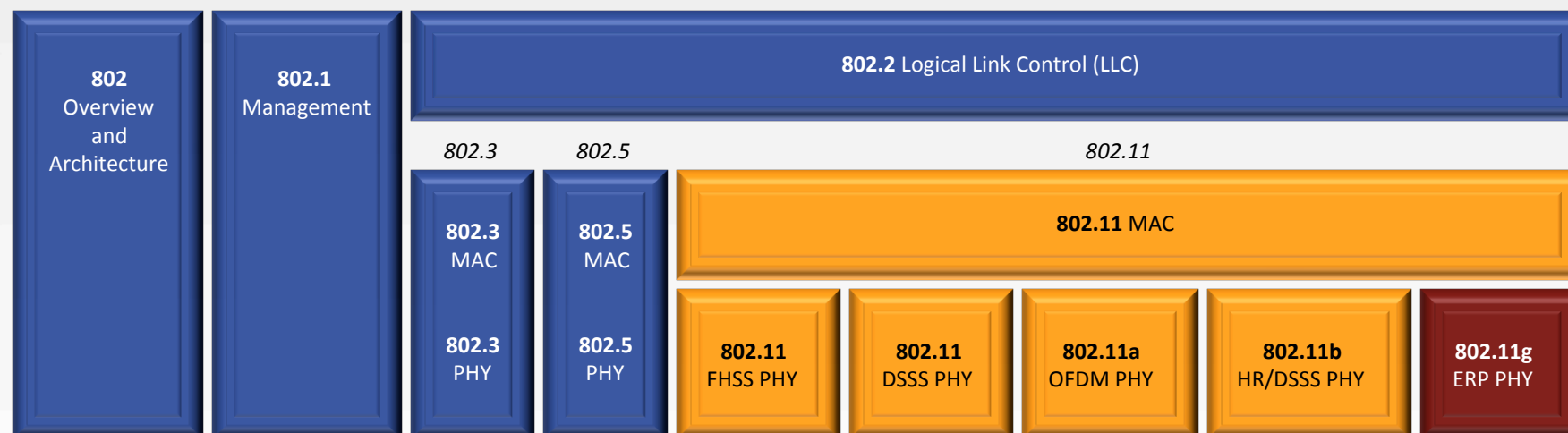
OFDM

- BPSK (Binary Phase Shift Keying) – 1 bit por subcanal.
- QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) – 2 bits por subcanal.
- 16 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) – 4 bits usando 16 símbolos.
- 64 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) – 6 bits usando 64 símbolos.





Extended Rate Physical (ERP)





Extended Rate Physical (ERP)

- En Junio 2003 la IEEE aprueba el estándar 802.11g.
- Introduce la capa Extended Rate Physical (ERP) para soportar tasas de transmisión de **54 Mbps**.
- Trabaja en la banda ISM de **2.4 GHz**.
- Toma prestada la técnica **OFDM** de 802.11a.
- Compatible con dispositivos 802.11b.



MIMO



Multiple Input Multiple Output (MIMO)

- Aún no ha sido ratificado el estándar 802.11n sin embargo muchos productos ya han sido liberados en el mercado.
- Un dispositivo que utiliza tecnología MIMO utiliza también múltiples antenas para la recepción de señales (usualmente dos o tres) además de múltiples antenas para el envío de señales.
- Ofrece velocidades mayores a **100 Mbps** y lo logra multiplexando flujos de datos simultáneamente en un canal.
- Utiliza procesamiento avanzado de señales.

