



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD
DE INGENIERÍA**

**Licenciatura en Ciencias de la
Computación**

Redes de Computadoras

Unidad 7

Redes especiales y conceptos avanzados



**WUSB: Wireless
USB**
**NFC: Near-Field
Communication**
**IrDA: Infrared Data
Association**

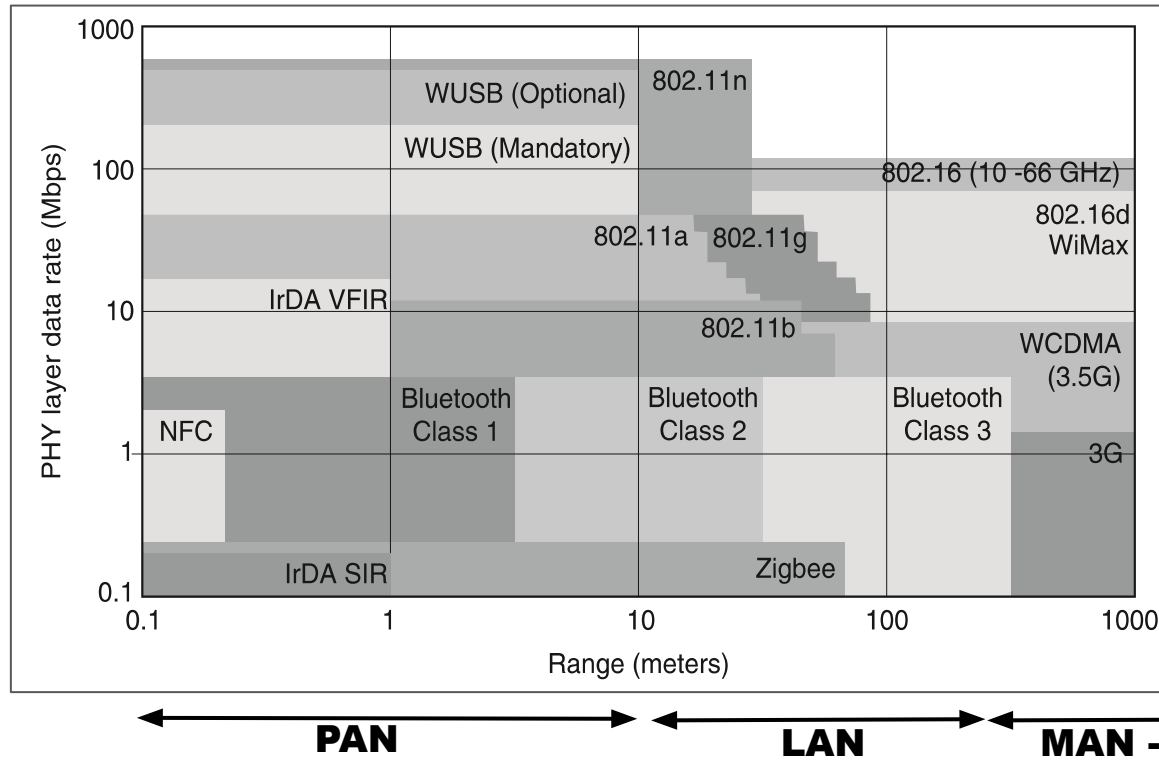
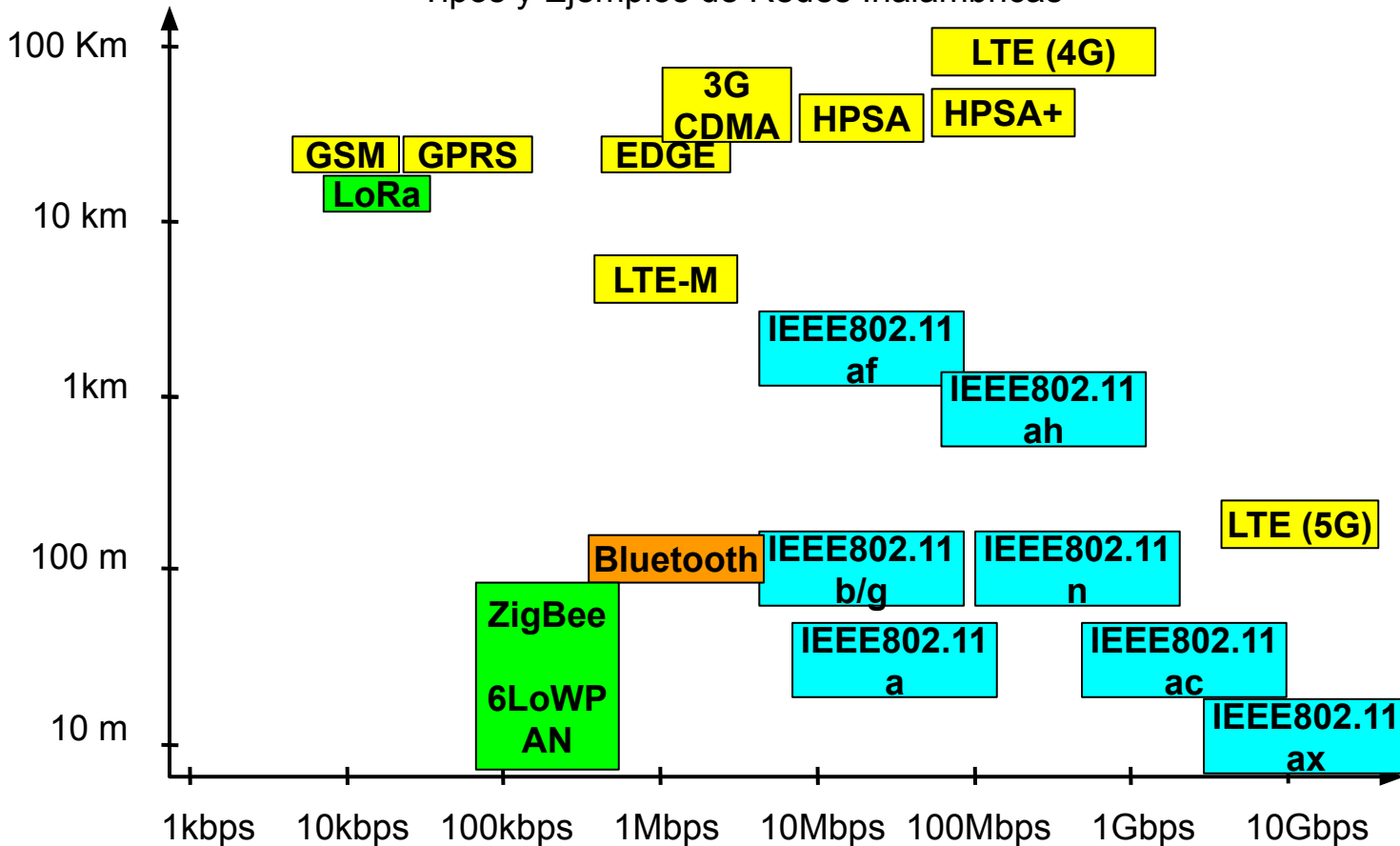


Figura basada en: Steve Rackley, "Wireless Networking Technology From Principles to Successful Implementation", 1ª edición, 2007, pag. 2.



Tipos y Ejemplos de Redes Inalámbricas





Redes Inalámbricas: Ventajas

1) Movilidad.

2) Menores costos.

Ventajas que han sido suficientes para motivar la investigación y desarrollo en el campo de las redes inalámbricas

Redes inalámbricas - desventajas:

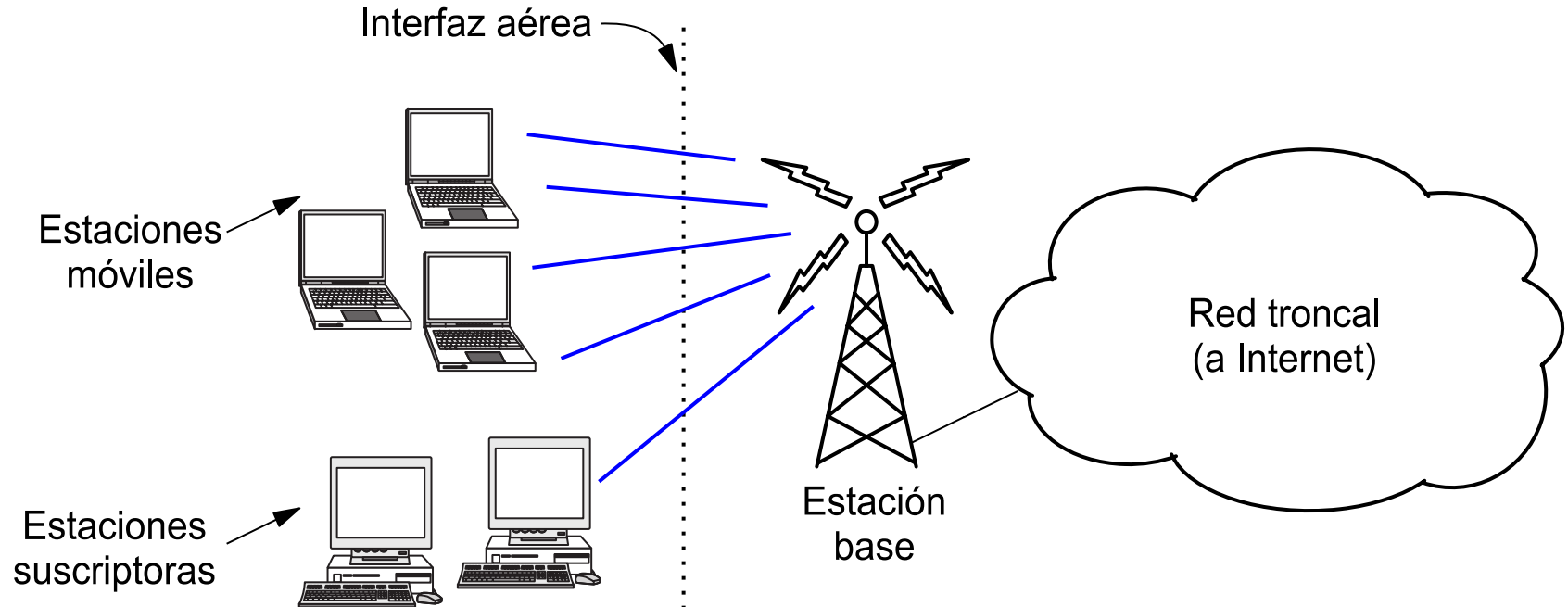
- 1) Multipath.
- 2) Colisiones agravado por el rango limitado:
- 3) Medio común que debe ser **compartido por muchas redes**, sobre todo la banda ISM.
- 4) Seguridad: Todos dentro del alcance de la red pueden **escuchar** la señal y acceder, ver datos, etc.
- 5) Atenuación: La intensidad (Potencia/Área) **Disminuye con $1/r^2$**
- 6) Las ondas electromagnéticas son **absorbidas** por la lluvia, la humedad, obstáculos, etc. (sobre todo de alta frecuencia)
- 7) Interferencia: Otras fuentes de ondas electromagnéticas, motores, campos magnéticos o eléctricos variables, etc. pueden **interferir y degradar** la señal transmitida.
- 8) **Topología cambiante** por movilidad (especialmente en redes de telefonía)



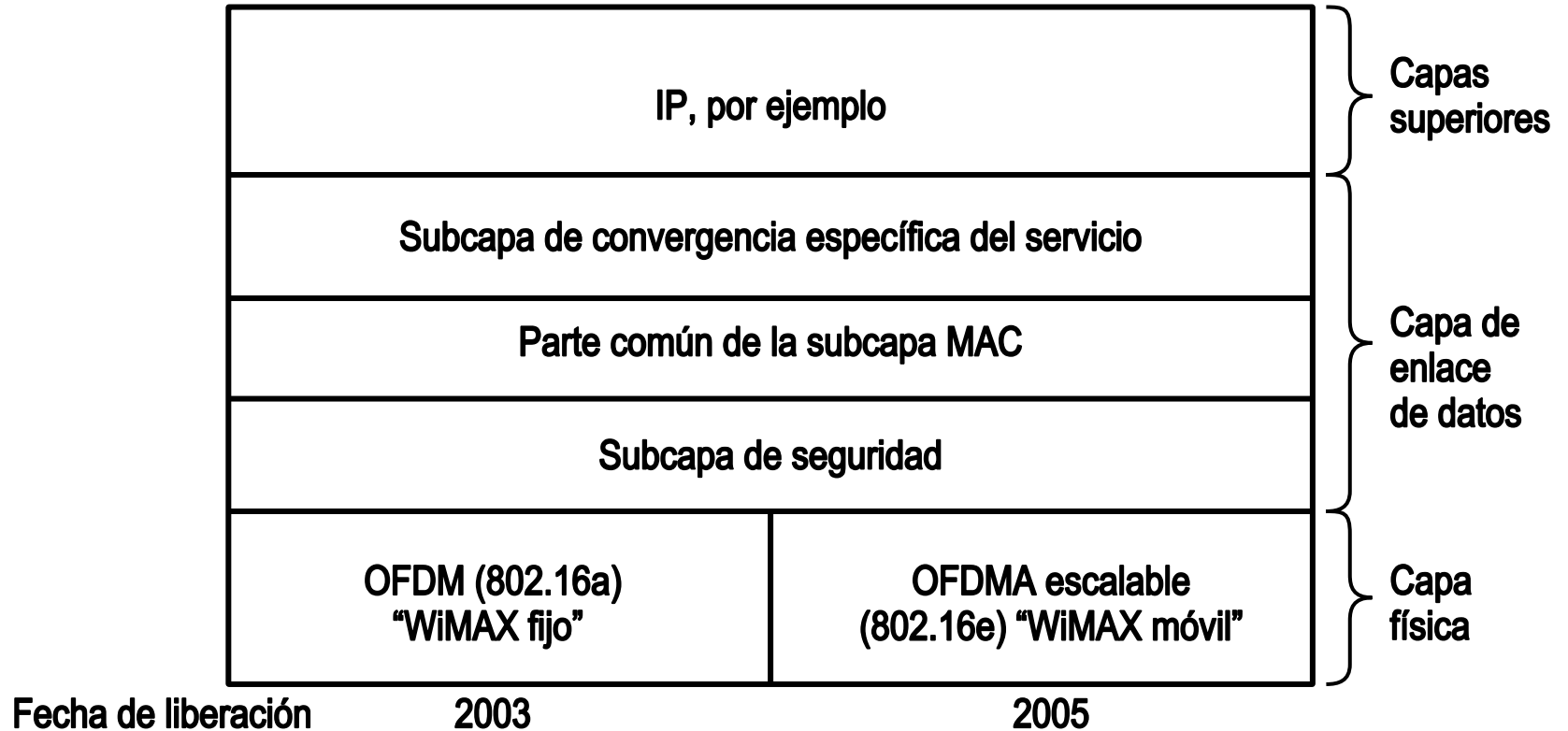
Redes WAN inalámbricas: IEEE 802.16 (WiMAX) y LTE

- **WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access**
- **LTE: Long Term Evolution**
- **Estándares para redes WAN inalámbricas.**
 - **Definen una capa física y una capa de enlace que trabajan bajo IP.**
- **Modulación: OFDM y antenas MIMO.**
 - **Antenas MIMO: varios flujos de datos entre varias antenas.**
- **Espectro licenciado (2 a 11 GHz).**
- **Topología punto-multipunto.**
- **Orientado a conexión (a nivel capa de enlace).**
- **Necesidad de mecanismos de seguridad muy robustos.**

IEEE 802.16 (WiMAX) y LTE



802.16 WiMAX - modelo de capas



802.16 WiMAX

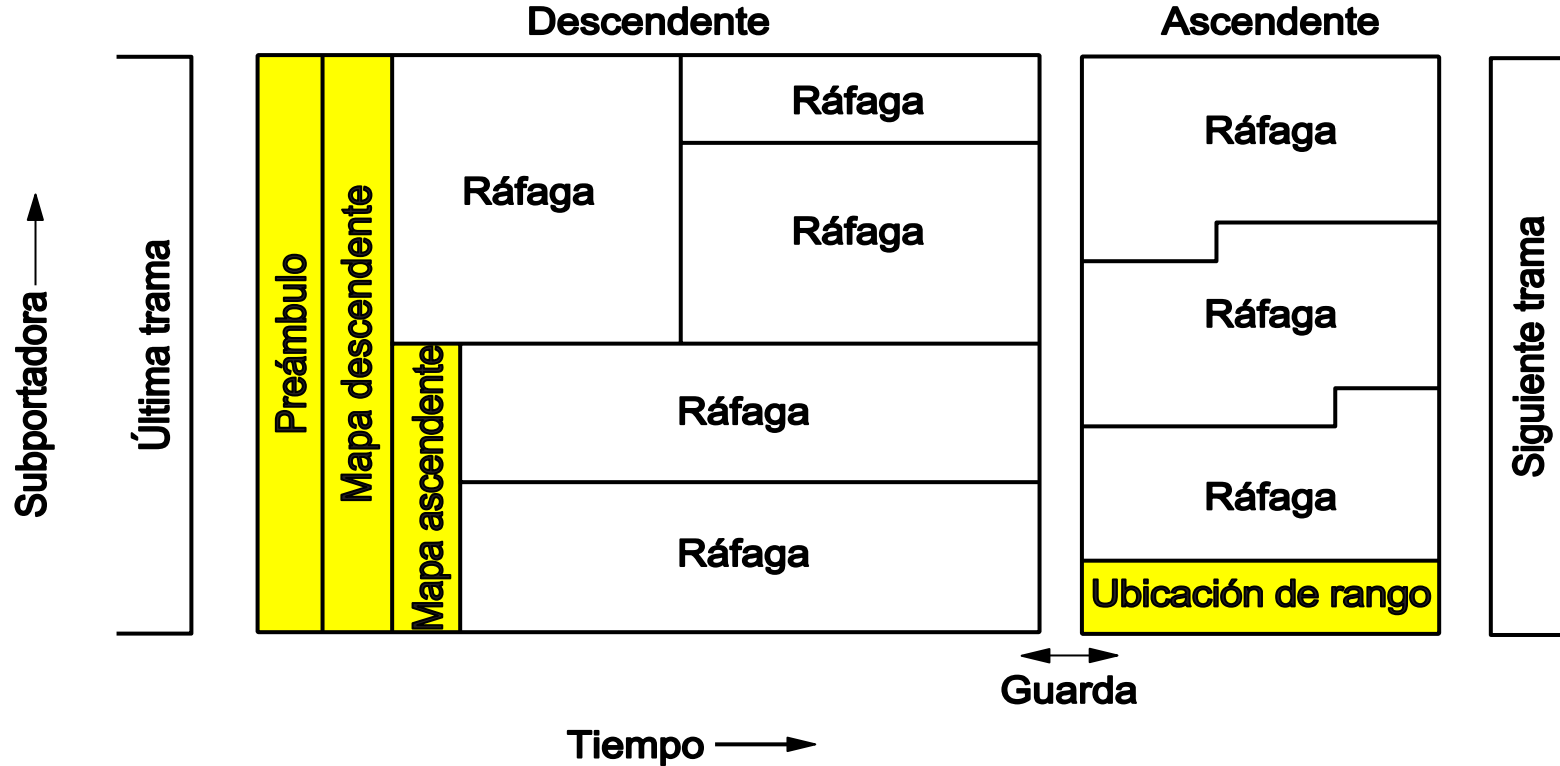
- Subcapa de seguridad: Cifrado, descifrado y administración de claves.
- La subcapa de convergencia: Interfaz con la capa de red (conversión entre conexiones y direcciones).

Capa física WiMAX

- Canales de ancho variable:
- Modulación OFDM.
 - Mayor número de subportadoras que 802.11 (500 o más)
 - Tiempo de símbolo: 100 μ seg. (mucho mayor que los 4 μ seg de 802.11)
- Modulación de cada portadora de OFDM: QPSK, 16-QAM o 64-QAM adaptativo según relación señal-ruido.
- Multiplexión: OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) + TDM



Capa física WiMAX - OFDMA



802.16 WiMAX - Trama Capa Física

- Preámbulo: Para sincronizar estaciones (misma función del preámbulo de Ethernet y IEEE802.11)
- Mapa descendente: Mapa de subportadoras OFDMA descendentes asignadas a las estaciones clientes.
- Mapa ascendente: Mapa de subportadoras OFDMA ascendentes asignadas a las estaciones clientes.
- Guarda: Tiempo necesario para que las estaciones conmuten.
- Ubicación de rango: Portadoras ascendentes que se dejan libres para que nuevas estaciones “avisen” su presencia la estación base.
 - Los clientes compiten por ancho de banda.
 - Se les asigna ancho de banda según calidad de servicio.

WAN inalámbricas: LTE (Long Term Evolution)

- Desarrollado por 3GPP (consorcio varias empresas e instituciones: ISM forum, IPv6 Forum, etc.).
- Bajada de datos:
 - OFDM + TDM en cada portadora, formando una grilla de “bloques”.
 - QPSK, 16QAM, 64QAM dentro de cada bloque.
- Subida de datos:
 - SC-FDMA: (Single Carrier Frequency Division Multiple Access)
 - Menor consumo que OFDMA para los equipos de usuario.
- Estándar adoptado en 4G y 5G.

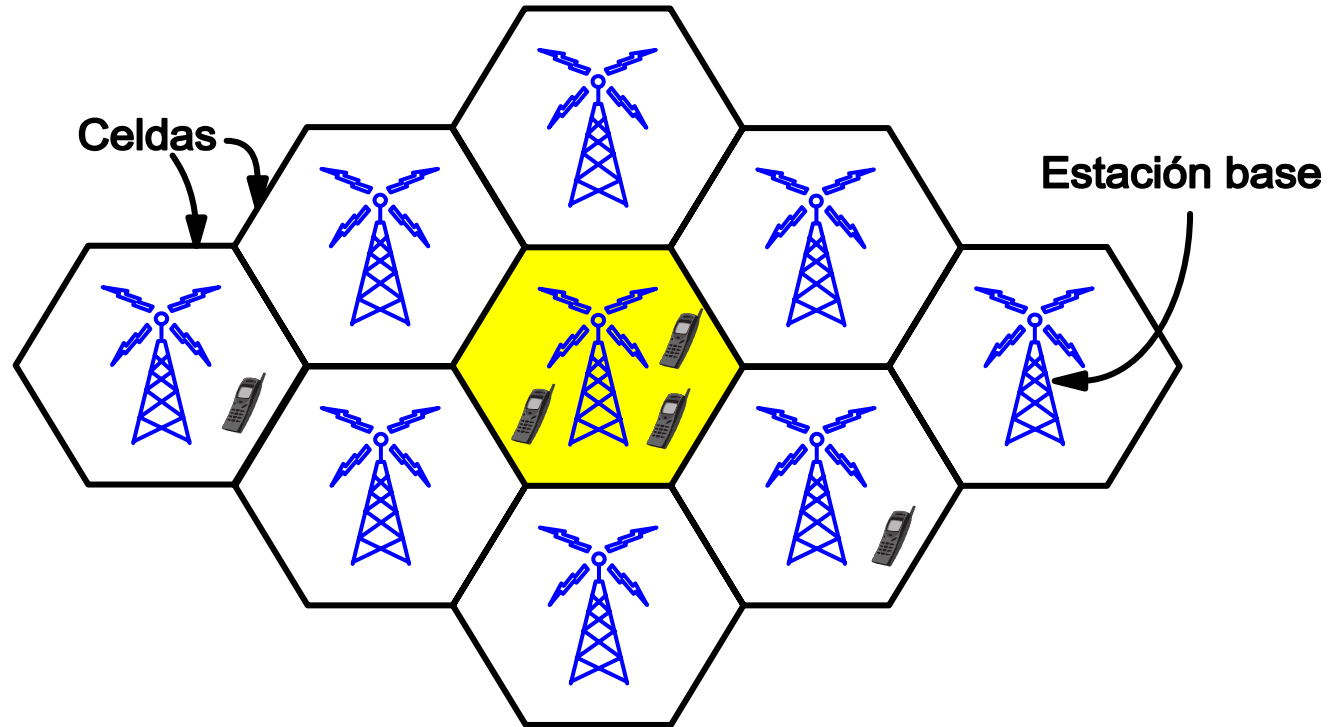
Telefonía celular

3 partes:

- Dispositivo Móvil
- Interfaz aérea inalámbrica entre dispositivo móvil - Red telefonía móvil.
- Red telefonía móvil



Red celular



Red celular

- El área de cobertura se divide en **celdas**.
- Dentro de cada celda, a los usuario se le asignan **canales** que no interfieren entre sí. Los canales se asignan mediante:
 - **FDMA** (Acceso múltiple por división de frecuencia): 1G.
 - **TDMA** (Acceso múltiple por división de tiempo) + **FDMA**: 2G
 - **CSMA** (Acceso múltiple por división de código): 3G
 - **OFDMA** (Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal): 4G y 5G
- Gran cantidad de protocolos agrupados por generación (1G, 2G, 3G, 4G, 5G).
 - Los requisitos que deben cumplir los protocolos para ser considerados de una determinada generación los propone el ITU¹.

¹ International Telecommunication Union. A partir de 3G comenzó la estandarización.

Telefonía celular - 1G

- Precursores: varios sistemas propietarios no estandarizados:
 - Sistemas policiales (1924 policía Australia)
 - Sistemas militares.
- **1G** nace en 1982 con el protocolo AMPS (Advanced Mobile Phone System). Después se suman otros.
 - Desarrollado en los laboratorios Bell
 - **Transmisión analógica**: Se modula la voz directamente.
 - Muy sensible al ruido.
 - Introduce el concepto de celda ¹
 - **FDMA**: A cada usuario se le asigna un canal, que consiste en una frecuencia.



DynaTAC Motorola

¹ De aquí el nombre de teléfono celular

Telefonía celular - 2G

- 1991
- **Transmisión digital**
 - La voz primero se digitaliza (ceros y unos) y se modula una señal digital.
 - Mayor inmunidad al ruido.
 - Transmisión cifrada.
 - Posibilidad de transmitir datos.
- Protocolos más importantes:
 - GSM (Global System for Mobile communications) para voz.
 - GPRS (General Packet Radio Service)
 - Datos. 56–114 kbps
 - EDGE
 - Datos. 1 Mbit/s



Nokia 1100

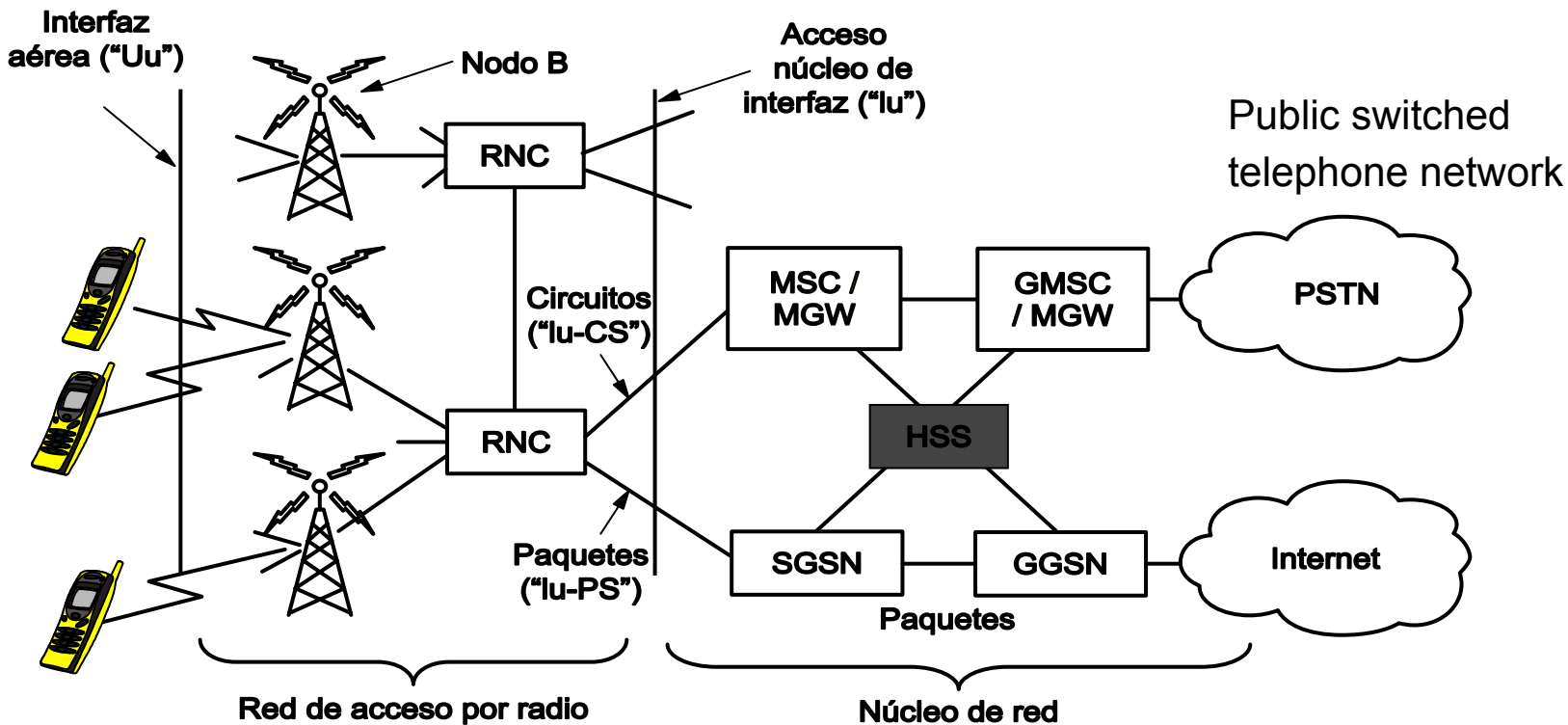


Telefonía celular - 3G

- **Dispositivos más potentes que necesitan mayor velocidad.**
- Protocolos más importantes:
 - UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)
 - 14 Mbps enlace de bajada
 - 6 Mbps enlace de subida
 - HSPA (High Speed Packet Access)
 - 337 Mbit/s.
 - HSPA+:



Iphone 3G
(Apple)



Telefonía móvil - 4G

- **Toda transmisión (voz y datos) basada en conmutación de paquetes IP:** “all-Internet Protocol (IP) packet-switched”.
 - Antes de 4G, la red de telefonía móvil era diferente y separada de la Internet.
- Algunos requisitos impuestos por la ITU:
 - Interface aerea: OFDMA
 - Antenas MIMO.
 - 100 Mbit/s para móviles en movimiento y 1 Gbit/s para móviles quietos.
- Protocolo: LTE (Long-Term Evolution)

Telefonía móvil - 5G

- Requisitos exigidos por el estándar (ITU): Capacidad de área (datos por unidad de área) 1000 veces superior a 4G.
 - Velocidad pico: 20 Gbps, Latencia: 1 ms
 - Movilidad: 500 km/h.
 - Densidad: 10^6 usuarios/km².
 - 99.999% availability
 - 90% de reducción de energía utilizada.
- Estándar: **LTE**. Interface aerea: **OFDMA**
- Celdas de menor tamaño:
 - **Picocells**: menos de 100 metros.
 - **Femtocells**: pocas decenas de metros.
- Se preve usar SDN (Software-Defined Networking) y NFV (Network Functions Virtualization).
- **¿Competencia del futuro: 5G vs WiFi?**



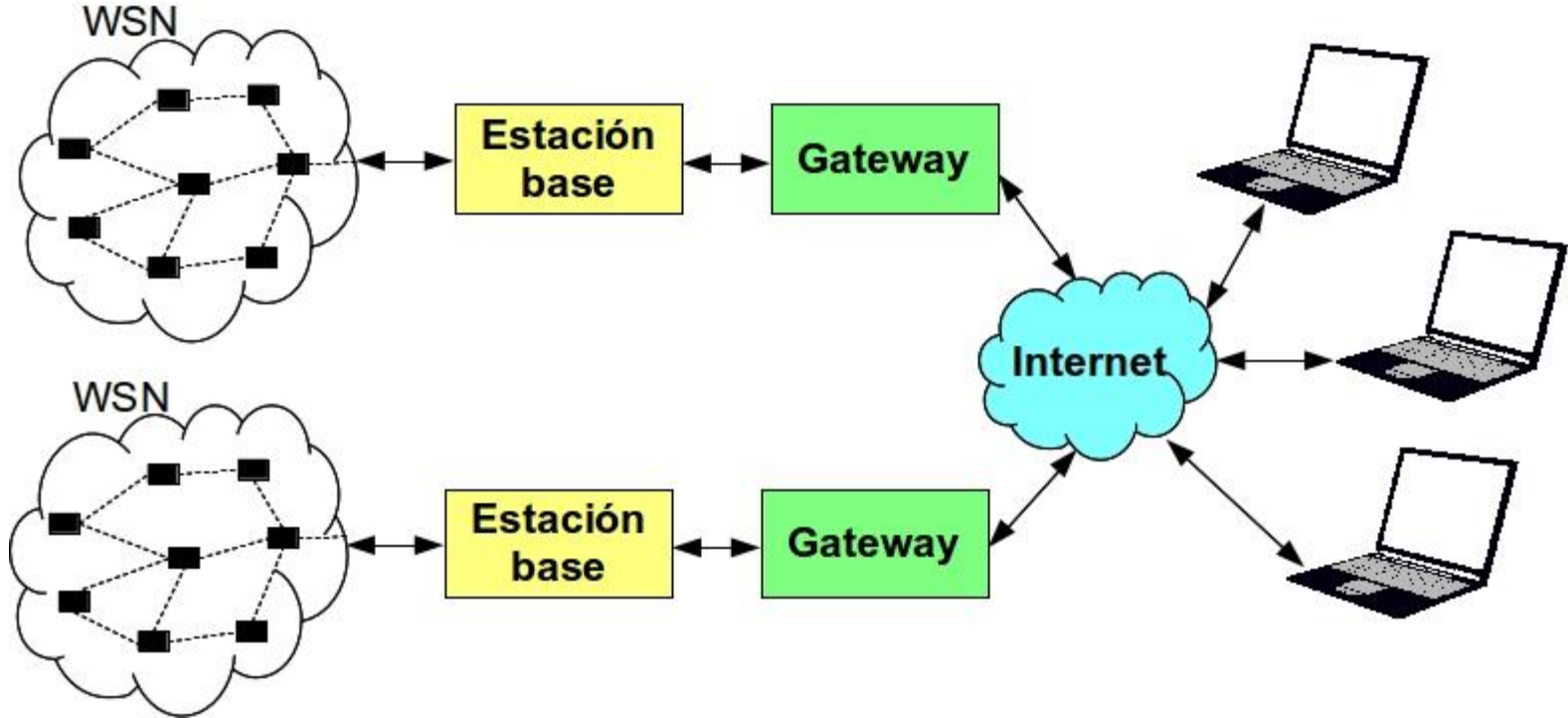
	Año	Tecnolog.	Comuta.	Veloc.	Modulac.	Protoco.	Estado
1G	1984	Analóg.	Circuitos	-		-	Obsoleta
2G	1990	Digital	Circuitos	100Kbs	TDMA-FDMA	GSM GPRS EDGE	En uso
3G	2008	Digital	Circuitos	80 Mbs	CDMA modificado	UMTS HSPA+ WCDMA	En uso
4G	2014	Digital	Paquetes	1Gbs	OFDMA	LTE	Expansión
5G	2018	Digital	Paquetes	20Gbs	OFDMA	LTE	Desarrollo

* AMPS fue dada de baja formalmente en 2008

Redes inalámbricas de baja velocidad

- Objetivo: **Muy bajo consumo de energía** (cuando el consumo es el parámetro fundamental).
- Aplicaciones:
 - Medición de variables ambientales (IoT):
 - Redes de sensores inalámbricos.
 - Smart cities.
 - Domótica.
- Características:
 - Tramas de datos de tamaño pequeño.

Redes inalámbricas de baja velocidad (WSN)



Redes inalámbricas de baja velocidad: IEEE-802.15.4

- Comunicación WPAN o WLAN de baja velocidad y **bajo consumo**.
- Estándar impuesto por el mercado. Define capas **Física** y **MAC** de redes inalámbricas de baja velocidad, estandarizado por **IEEE - 802.15.4**.
- Utilizados por varios protocolos de ruteo de datos: **ZigBee**, **6LowPAN**.
- Frecuencias de operación ISM.
- Baja velocidad (250 kbps).
- Tamaño máximo trama: 127 Bytes.
- Dos dispositivos:
 - RFD (Reduced Function Device)
 - FFD (Full Function Device): Pueden rutear datos.

IEEE-802.15.4

- Capa MAC:
 - **CSMA/CA** (Mensajes RTS y CTS).
 - Tipos de Transmisión
 - Basada en beacon (ranurada).
 - Sin beacon (no ranurada).
 - Encriptación de datos: AES.
 - Integridad y autenticación: HMAC (Message Authentication Code)
 - Control de congestión: Algoritmo de retroceso exponencial aleatorio.
 - Control de errores:
 - CRC para verificar integridad de datos.
 - Confirmación y retransmisión de datos optativo.

IEEE-802.15.4

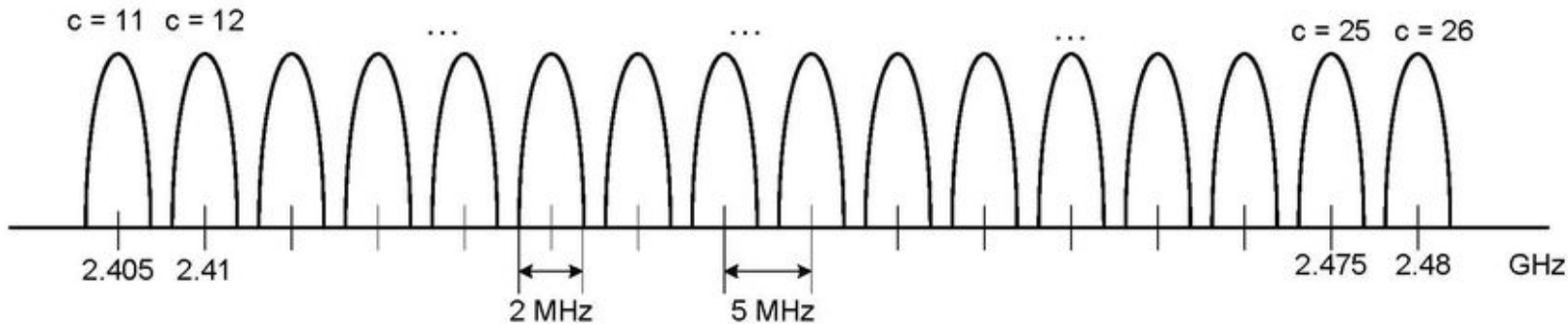
- **Capa física:**
 - **Modulación:** DSSS (espectro expandido) + O-QPSK (2.4 GHz) o BPSK (800-900 MHz).
 - **Selección dinámica de canales.**

Frecuencia	868-868.6 MHz	902–928 MHz	2.4–2.4835 GHz
Número de Canales	1	10	16
Modulación	O-QPSK, BPSK	BPSK	O-QPSK
Ancho canal	600 KHz	2 MHz	5MHz
Data Rate	20 kbps	40kbps	250 Kbps

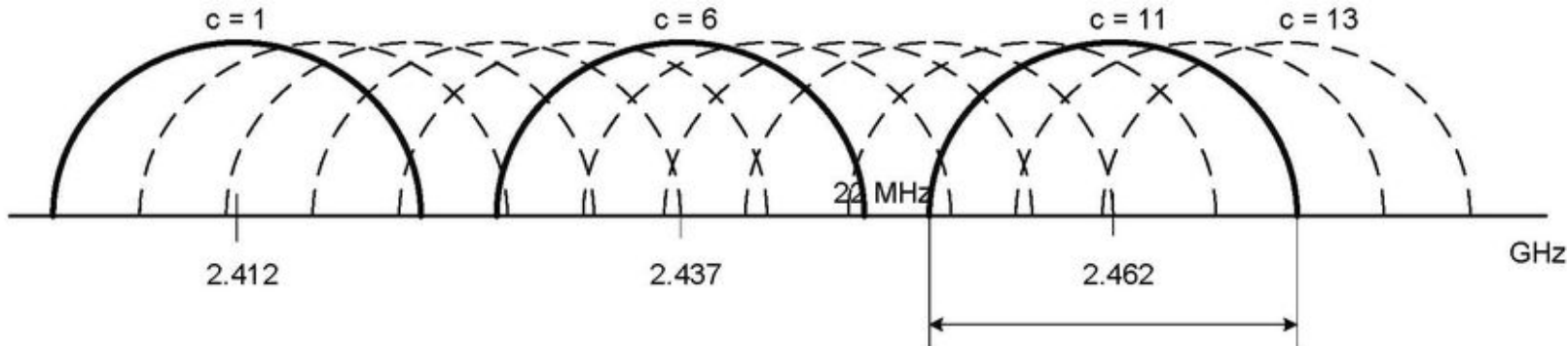


IEEE-802.15.4: Canales

IEEE 802.15.4 Channels

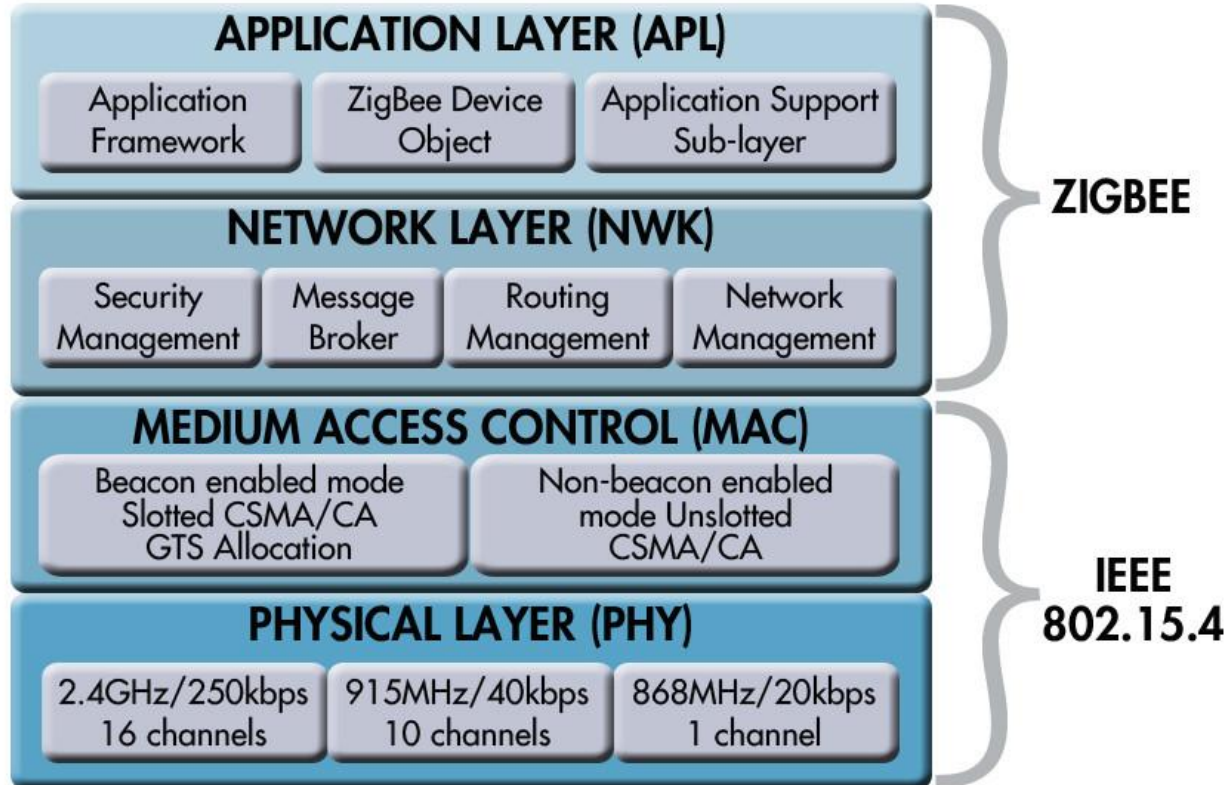


IEEE 802.11g Channels



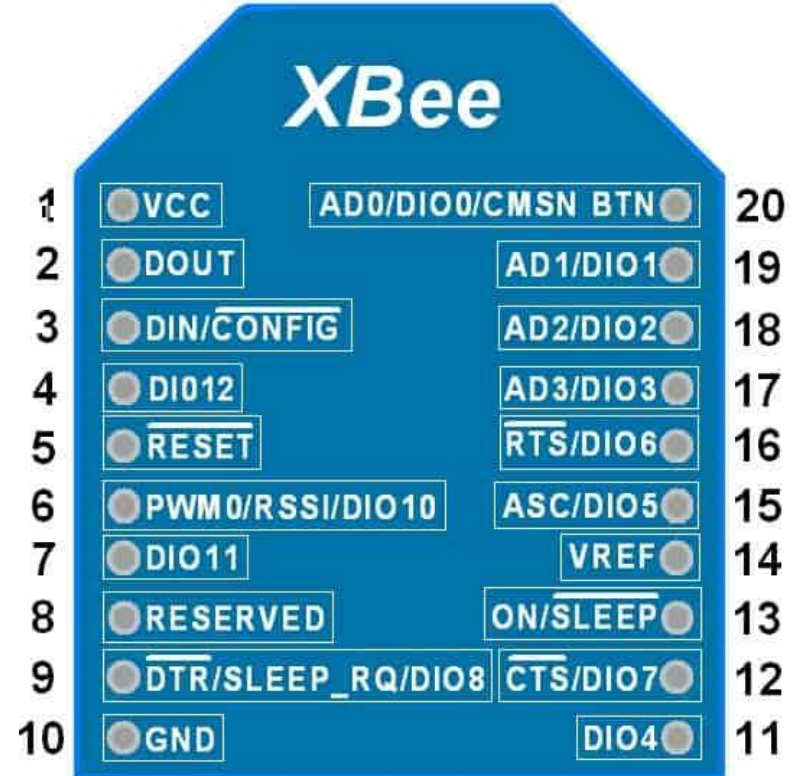
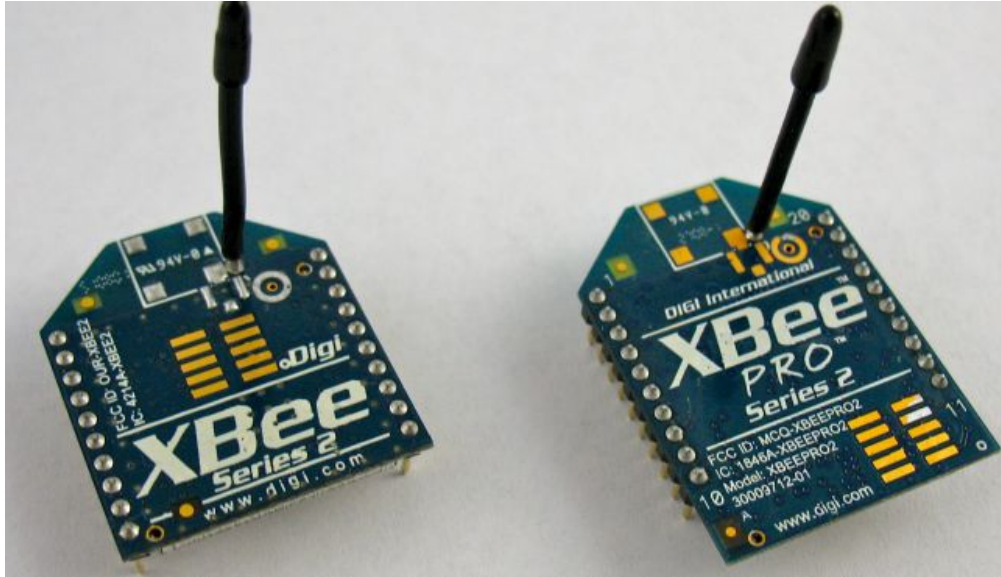


ZigBee 802.15.4





Ejemplo: Digi XBee

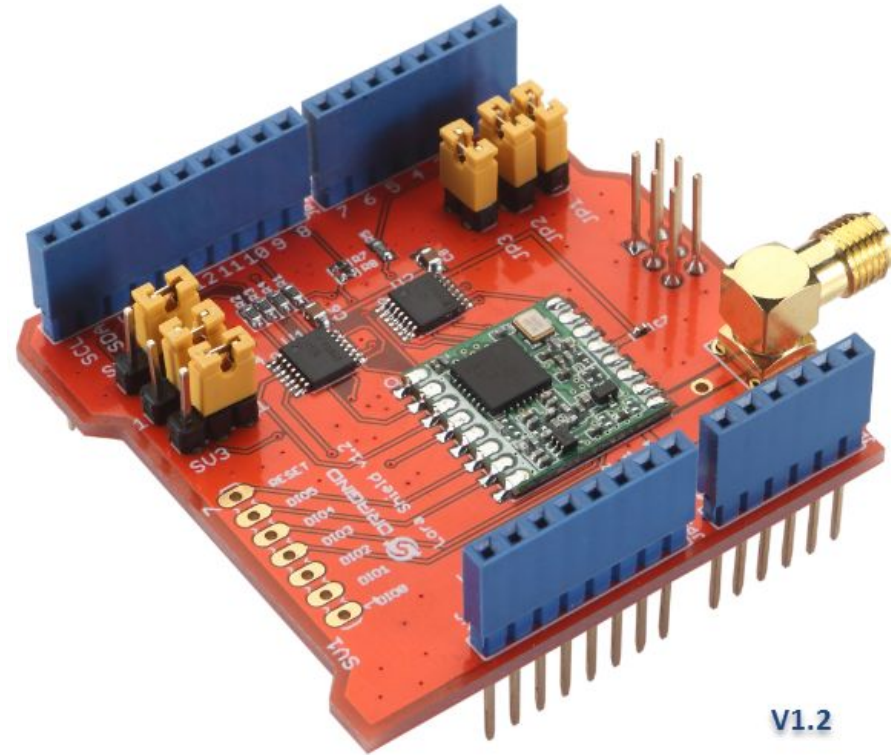


LoRa

- LoRa: Long Range (Lora Alliance).
- Modulación: Tecnología patentada por Semtech.
 - 915 MHZ/868 MHZ/433 MHZ.
- Consumo: TX: hasta 120 mA. RX: hasta 12 mA.
- Tramas de hasta 256 bytes con CRC.
- Dispositivos:
 - End devices.
 - Gateways.
- Topologías:
 - Estrella. Requiere Gateway
 - Punto a punto. End device + Gateway o dos End Devices.
- Encriptación AES.
- Distancias según hoja de datos: 200 km.
 - Según foros: 40 km con línea de visión.
 - 4 km sin línea de visión.

LoRa

- Placas Lora Shield: Placas preparadas para trabajar con Arduino.
- Gran cantidad de librerías y ejemplos disponibles en Internet.
- Comunicación SPI.



V1.2

RFID y NFC

RFID (Radio-frequency identification) y NFC (Near-Field Communication)

- Permiten identificar y seguir dispositivos llamados “etiquetas” que se adjuntan a objetos. Las etiquetas son leídas por “lectores”.
- Las etiquetas pueden:
 - Ser solo un dispositivo de identificación (memoria ROM).
 - Poseer memoria que puede ser escrita y leída.
- Etiquetas pueden ser:
 - Activas: Poseen fuente de alimentación.
 - Pasivas: No poseen fuente de alimentación. Obtienen la energía de las señales electromagnéticas emitidas por el lector.
- RFID: distancias entre 1 m y 200 m según frecuencia.
- NFC: distancias máximas de 10 cm, típicas de 4 cm.



RFID

- RFID: Radio Frequency IDentification
- 9600 bps, 115,2 kbps
- Nace en el MIT 1999
- Objetivo: Reemplazar el código de barra (lectura a 10 m)
- Comercializados por EPCglobal (Electronic Product Code).
- Dos componentes:
 - Etiquetas:
 - código de 96 bits
 - Pequeña memoria que puede ser leída o escrita.
 - Extraen energía de las señales generadas por el lector
 - Lector:
 - Detecta etiquetas presentes en el vecindario.
 - Soluciona problemas de múltiple acceso.



Frecuencias de RFID y NFC

Band	Range	Data Speed	Tags
Low frequency (LF): 125–134.2 kHz	10 m	low	passive
High frequency (HF): 13.56 MHz	10 cm–1 m	low to moderate	passive
Ultra high frequency (UHF): 433 MHz	1–100 m	moderate	passive or active
Ultra high frequency (UHF): 856 MHz–960 MHz	1–12 m	moderate to high	passive or active
Microwave: 2.45–5.8 GHz	1–2 m	high	active
Microwave: 3.1–10 GHz	<200 m	high	active

Frecuencia
NFC



RFID - Identificación de etiquetas presentes

- El lector no sabe que etiquetas están presentes: Pide a las etiquetas que se reporten: pueden colisionar.
- Acceso Múltiple: Aloha ranurado.
- Mensaje Query: indica el comienzo del proceso.
- Mensajes QRepeat: Marcan el comienzo de cada ranura (beacon).
- Las etiquetas eligen aleatoriamente una ranura y transmiten un código de 16 bits (RN16).
- Si no hubo colisión, el lector responde (ACK), y la etiqueta transmite su ID completo (96 bits).

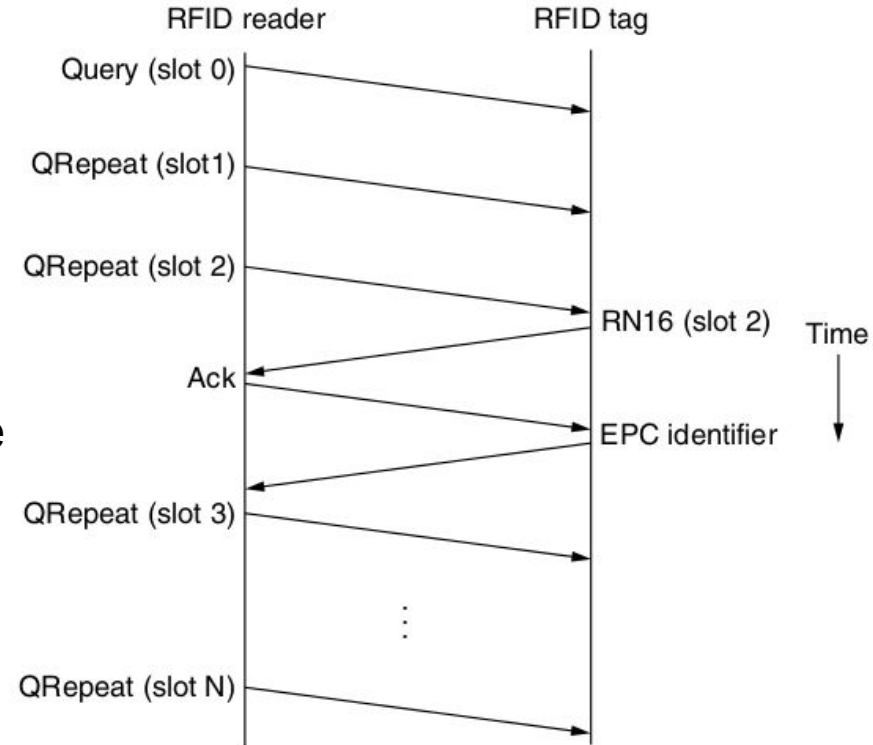
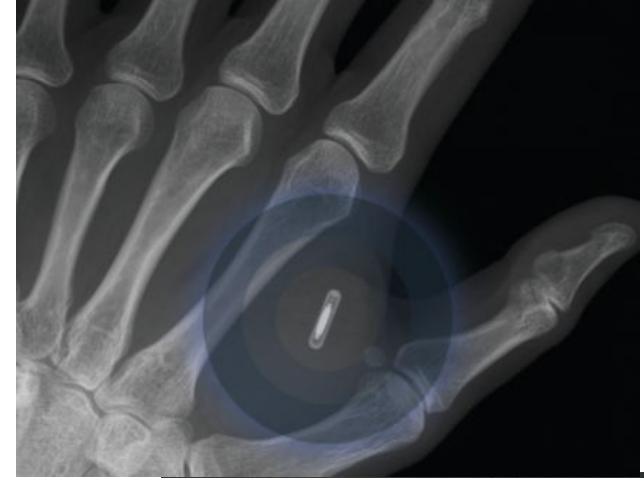


Figura obtenida de: A. Tanenbaum, D. Wetherall, "Redes de computadoras", Editorial Pearson, Quinta edición (2012), pag. 330



RFID - Productos RFID



Etiquetas RFID





UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD
DE INGENIERÍA**

**Licenciatura en Ciencias de la
Computación**

NFC





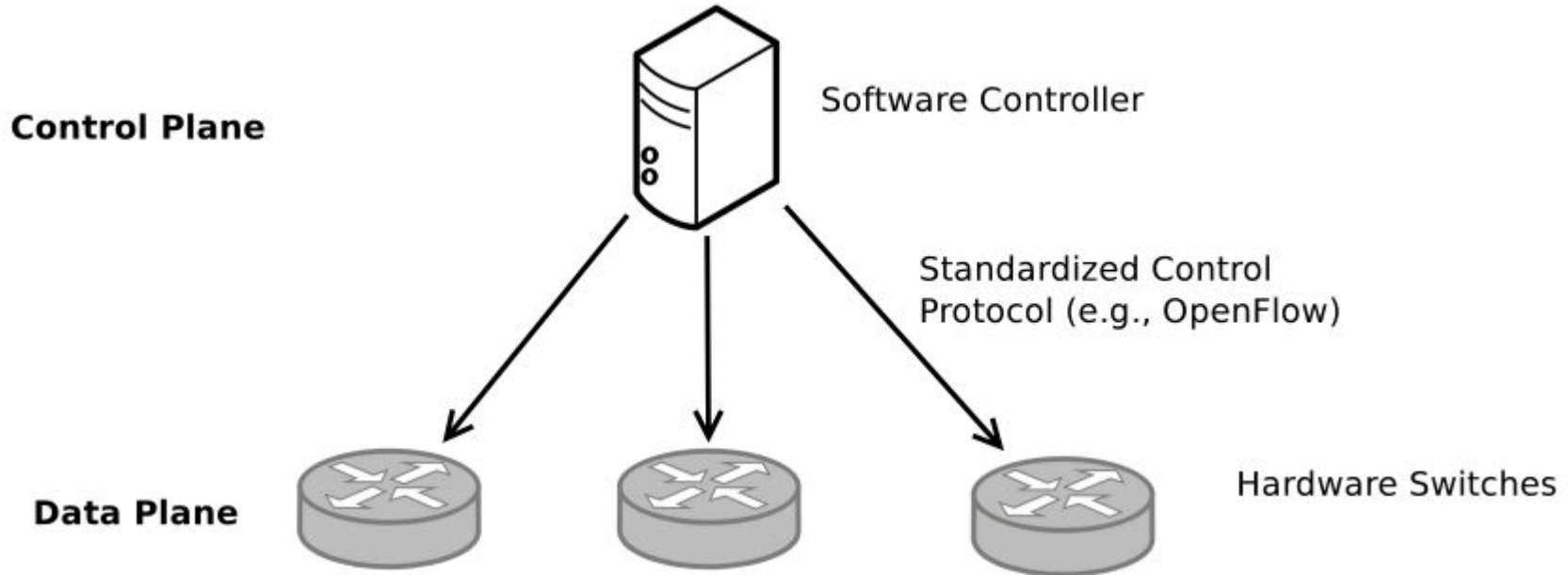
SDN (Software Defined Networking) en redes WAN

- Gestión e ingeniería de tráfico es un problema muy complejo de resolver.
 - Proveedores necesitan proveer calidad de servicio.
 - Diferentes tipos de datos requieren diferente calidad de servicio.
 - Rutas con bajo delay y baja variación en el delay para video y voz en tiempo real.
 - Rutas con alto ancho de banda y libres de errores para archivos.
 - Diferentes servicios con diferentes tarifas.
 - Diferentes rutas con diferentes velocidades.
 - Interconexión con diferentes ISP según costo y calidad de servicio.
 - Las variables de performance que definen las rutas cambian continuamente.
 - Las rutas cambian todo el tiempo.
 - rebalanceo de tráfico.
 - cambios en el ruteo en la red propia como entre redes.
 - **La interacción entre redes y el comportamiento de la red propia es casi imposible de predecir.**

SDN (Software Defined Networking) en redes WAN

- Las redes siempre han estado definidas por software (el software que corre en los routers define las rutas).
- En las redes clásicas no es posible hacer cambios en la forma en la que los algoritmos de ruteo trabajan (OSPF, BGP).
- SDN: conceptos claves:
 - El **plano de control** y el **plano de datos** pueden operar de forma totalmente separada:
 - Plano de control: software y lógica que selecciona rutas y decide que hacer con el tráfico.
 - Plano de datos: sistemas (usualmente implementados en hardware) que “miran” los campos de los paquetes y deciden que hacer con ellos.
- El software que implementa el plano de control no necesita correr en los equipos que conforman la red (routers).

SDN (Software Defined Networking) en redes WAN



Arquitectura típica de una SDN: El software de control corre en un sistema central que toma decisiones y las comunica a los dispositivos del plano de datos.

SDN (Software Defined Networking) en redes WAN

- Comunicación entre el plano de control y el plano de datos:
 - Puede ser cualquier protocolo o sistema que los dispositivos de red entiendan.
 - BGP fue uno de los primeros mecanismos.
 - Luego se crearon otras tecnologías: OpenFlow, NETCONF, YANG.
- Componentes:
 - Tecnología que implementa el plano de control (software en lenguajes comunes como Python, Java o C).
 - Tecnología que hace el plano datos configurable (hardware programable y mecanismos que permiten configurar como los routers reenvían paquetes)
 - Telemetría de red.

SDN

Planos de control

- Formada por software llamadas software de control o **controllers**.
- Primeras SDN:
 - Trabajaban sobre los protocolos de ruteo existentes para definir rutas.
 - Ejemplo: RCP (Routing Control Platform).
 - Realiza balanceo de carga y defensa contra ataques de denegación de servicio.
 - Autenticación de usuarios (Ethane).
- Evolución:
 - Muchos conmutadores de red utilizaban un chipset de Broadcom que permitía escribir en su memoria
 - Investigadores trabajaron para crear componentes software que pudieran escribir en esas memorias. Así nació **OpenFlow**.

SDN

Planos de control

- **OpenFlow.**

- Primeras versiones: match-action table en los conmutadores: permitían indicar a los conmutadores tomar determinadas acciones en función de las direcciones IP o MAC de los paquetes:
 - Enviarlos a algún puerto de salida.
 - Descartarlos.
 - Pedir a un controller decidir que hacer con el paquete.
- Incorporaciones posteriores:
 - Posibilidad de expresar operaciones combinatoriales más complejas.
 - Añadir la variable tiempo.
 - Utilización de lenguajes de alto nivel (Python y Java).

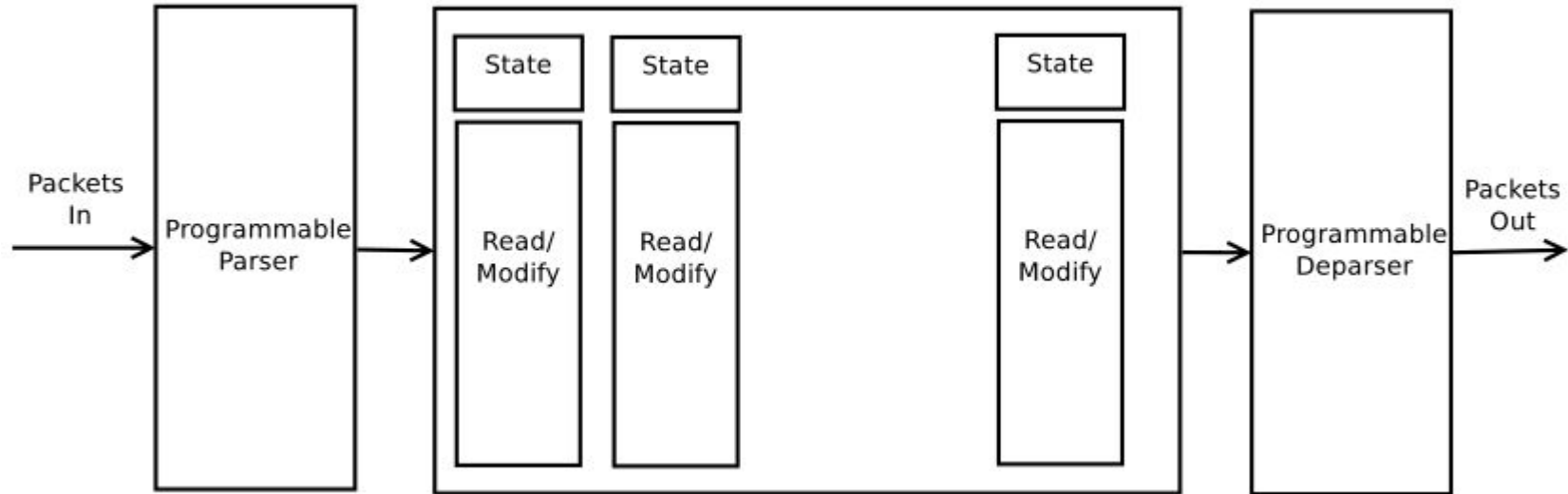
SDN

Plano de datos SDN

- Evolución: Hardware programable en conmutadores (routers, switches) e interfaces de red.
 - Modelo RMT (Reconfigurable Match Tables).
 - Basado en match-action tables.
 - Arquitectura pipeline: Cada estado del pipeline puede:
 - Leer los encabezados de los paquetes.
 - Hacer operaciones matemáticas simples sobre los valores leídos (para lograr velocidad)
 - Reescribir los encabezados.
 - En cada estado se analiza si los paquetes cumplen alguna condición. Si la cumplen
 - Se puede realizar alguna operación sobre el paquete.
 - Se puede modificar el estado de cada etapa.
 - Permite paquetes especiales (diferentes a los estandarizados).

SDN

Stages



- Los programadores pueden definir match-tables de tamaño arbitrario.