



**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**

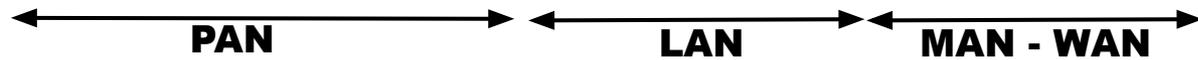
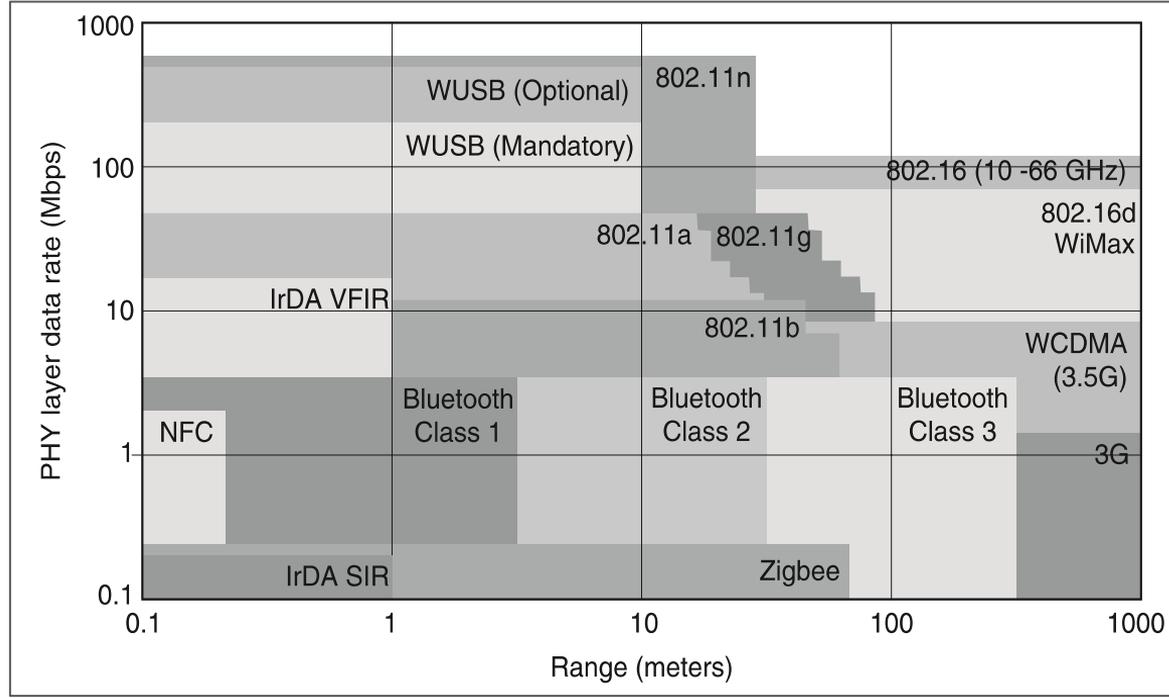
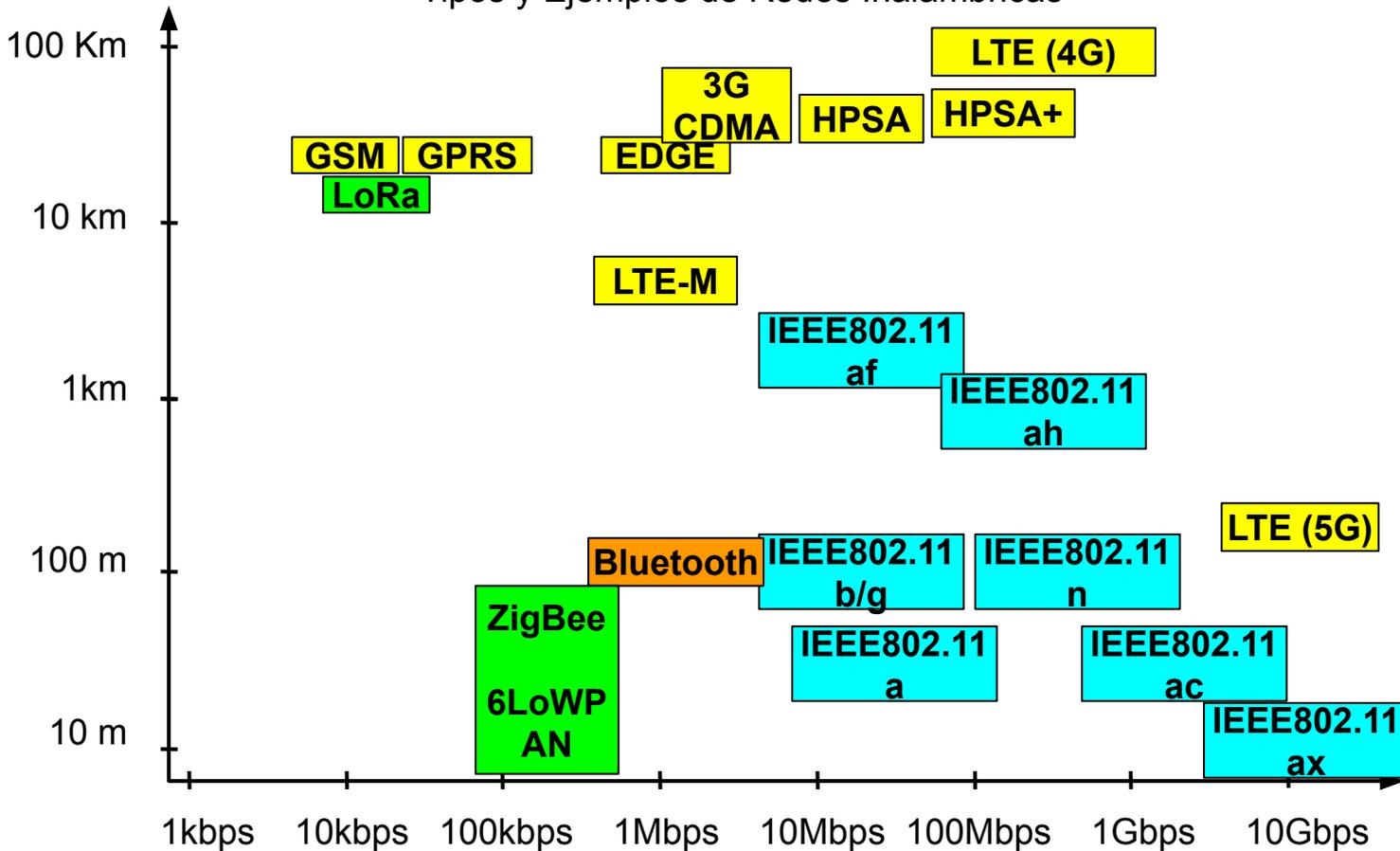


Figura basada en: Steve Rackley, "Wireless Networking Technology From Principles to Successful Implementation", 1ª edición, 2007, pag. 2.



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:

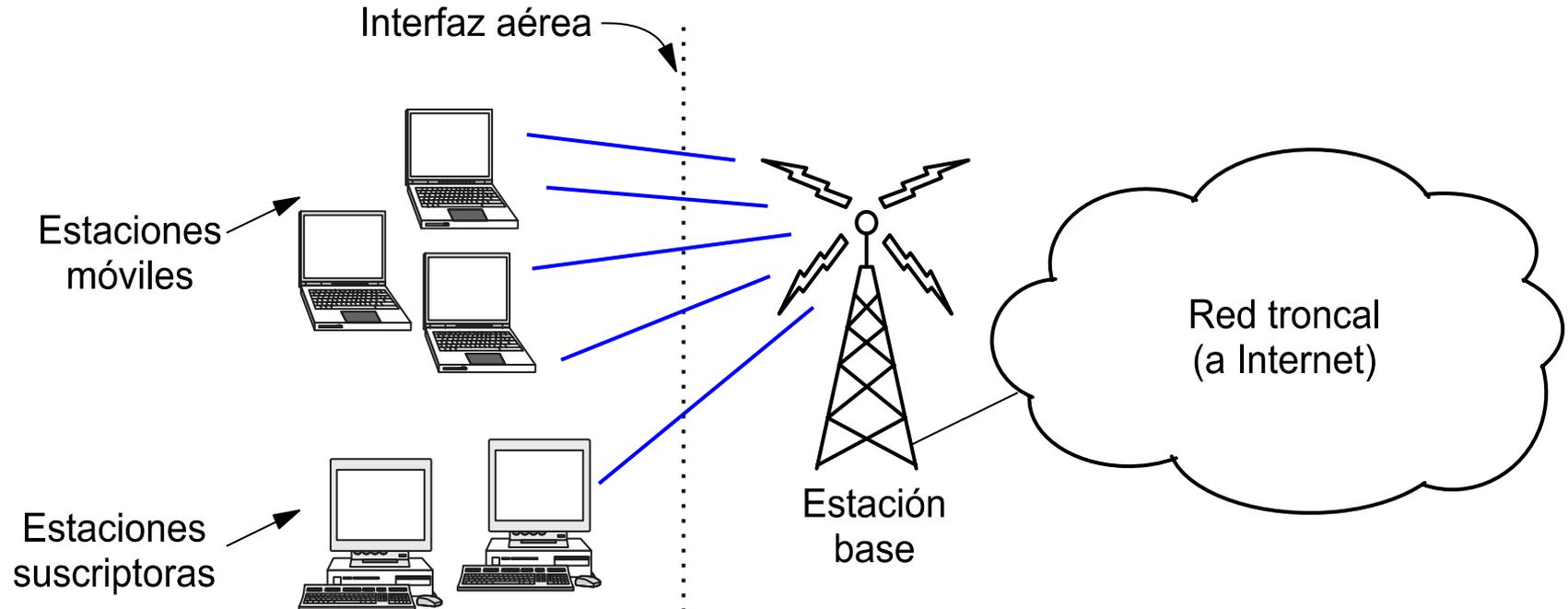
- 1) Multipath.
- 2) Colisiones agravado por el rango limitado:
- 3) Medio común que debe ser **compartido por muchas redes**, sobre todo la banda ISM.
- 4) Seguridad: Todos dentro del alcance de la red pueden **escuchar** la señal y acceder, ver datos, etc.
- 5) Atenuación: La intensidad (Potencia/Área) **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)



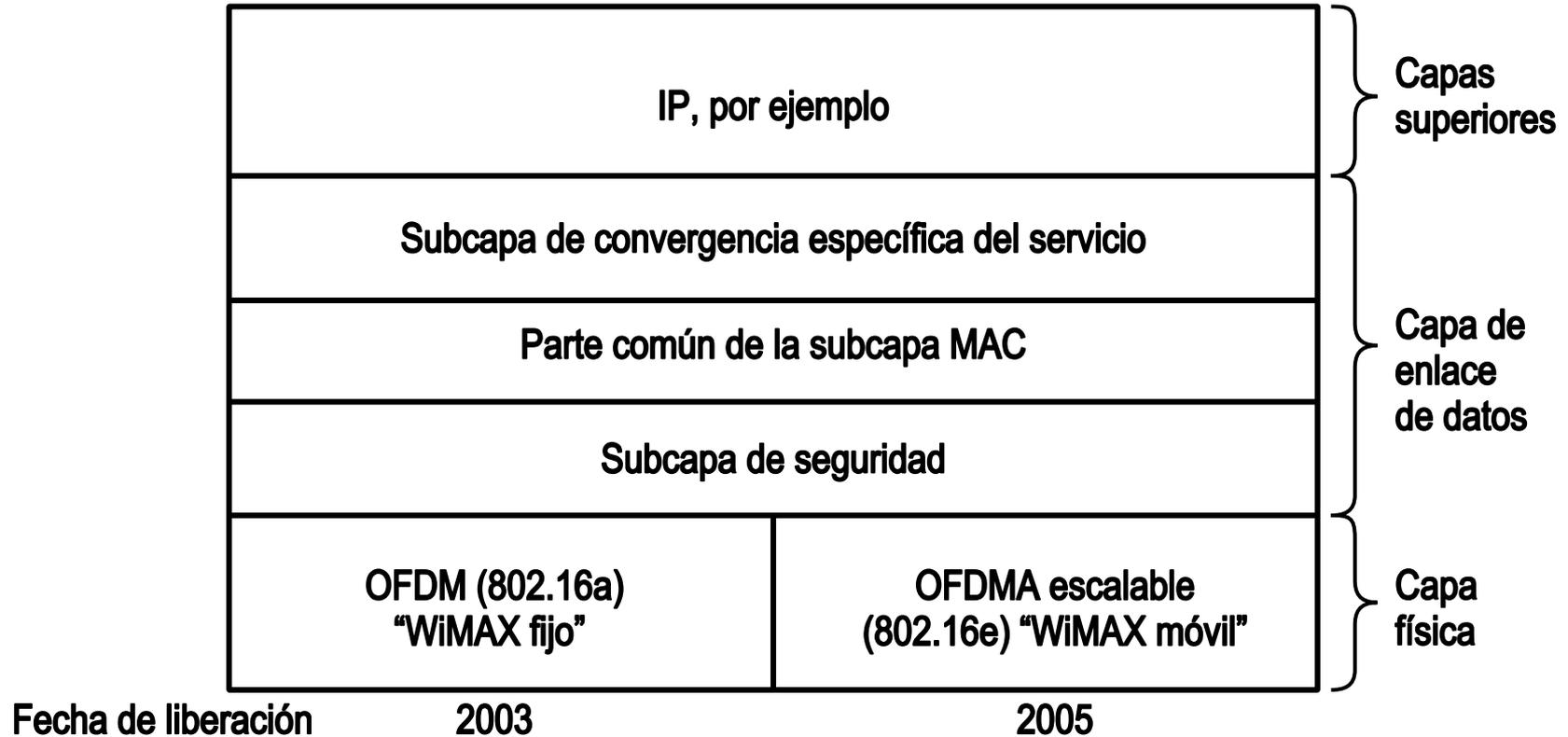
## **Redes WAN inalámbricas: IEEE 802.16 (WiMAX) y LTE**

- **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**

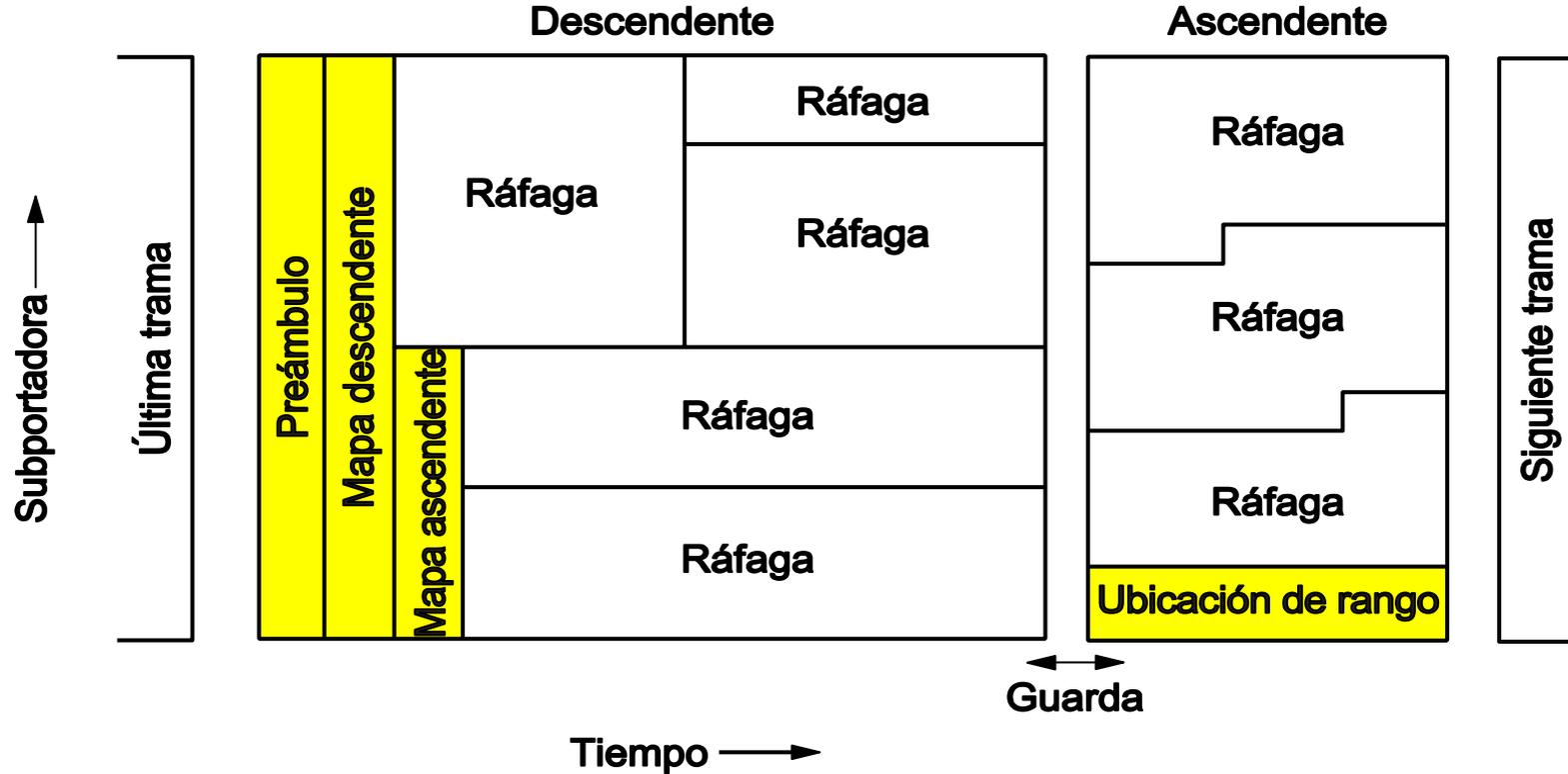
- Subcapa de seguridad: Cifrado, descifrado y administración de claves.
- La subcapa de convergencia: Interfaz con la capa de red (conversión entre conexiones y direcciones).

### **Capa física WiMAX**

- Canales de ancho variable:
- Modulación OFDM.
  - Mayor número de subportadoras que 802.11 (500 o más)
  - Tiempo de símbolo: 100  $\mu$ seg. (mucho mayor que los 4  $\mu$ 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

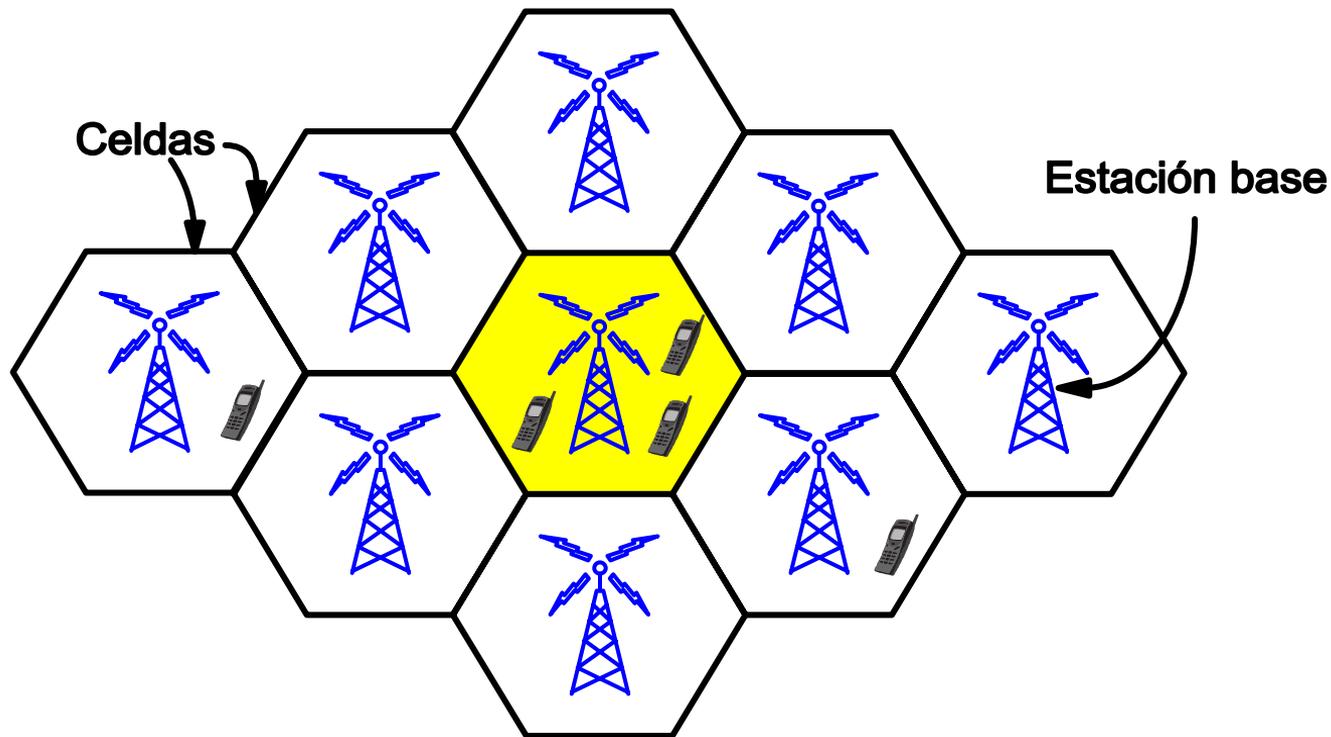
3 partes:

- 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 ITU<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> 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 <sup>1</sup>
  - **FDMA**: A cada usuario se le asigna un canal, que consiste en una frecuencia.

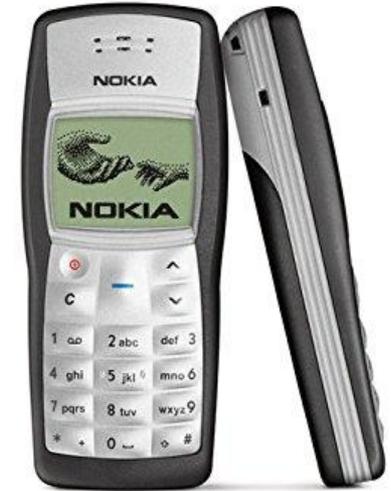


DynaTAC Motorola

<sup>1</sup> 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

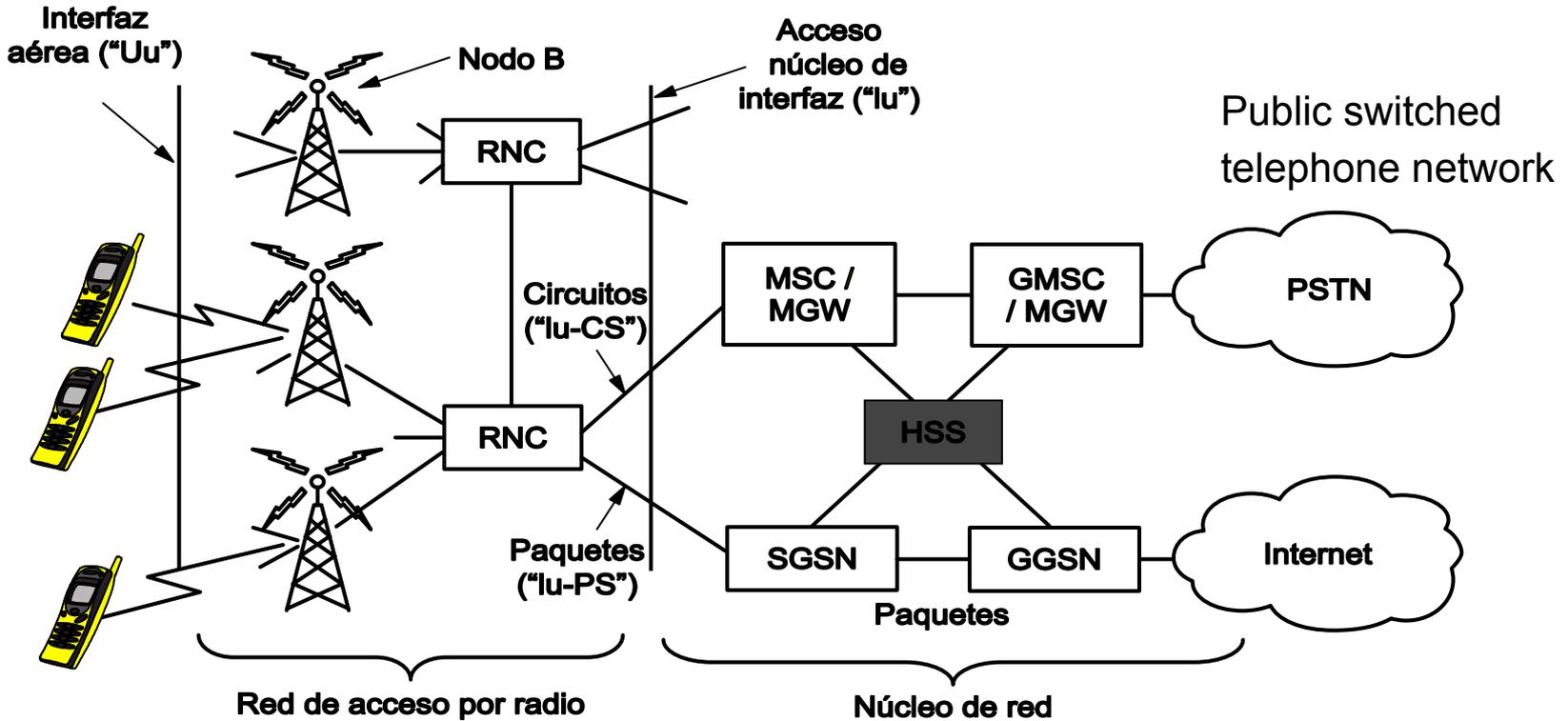


## Telefonía celular - 3G

- **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/km<sup>2</sup>.
  - 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?



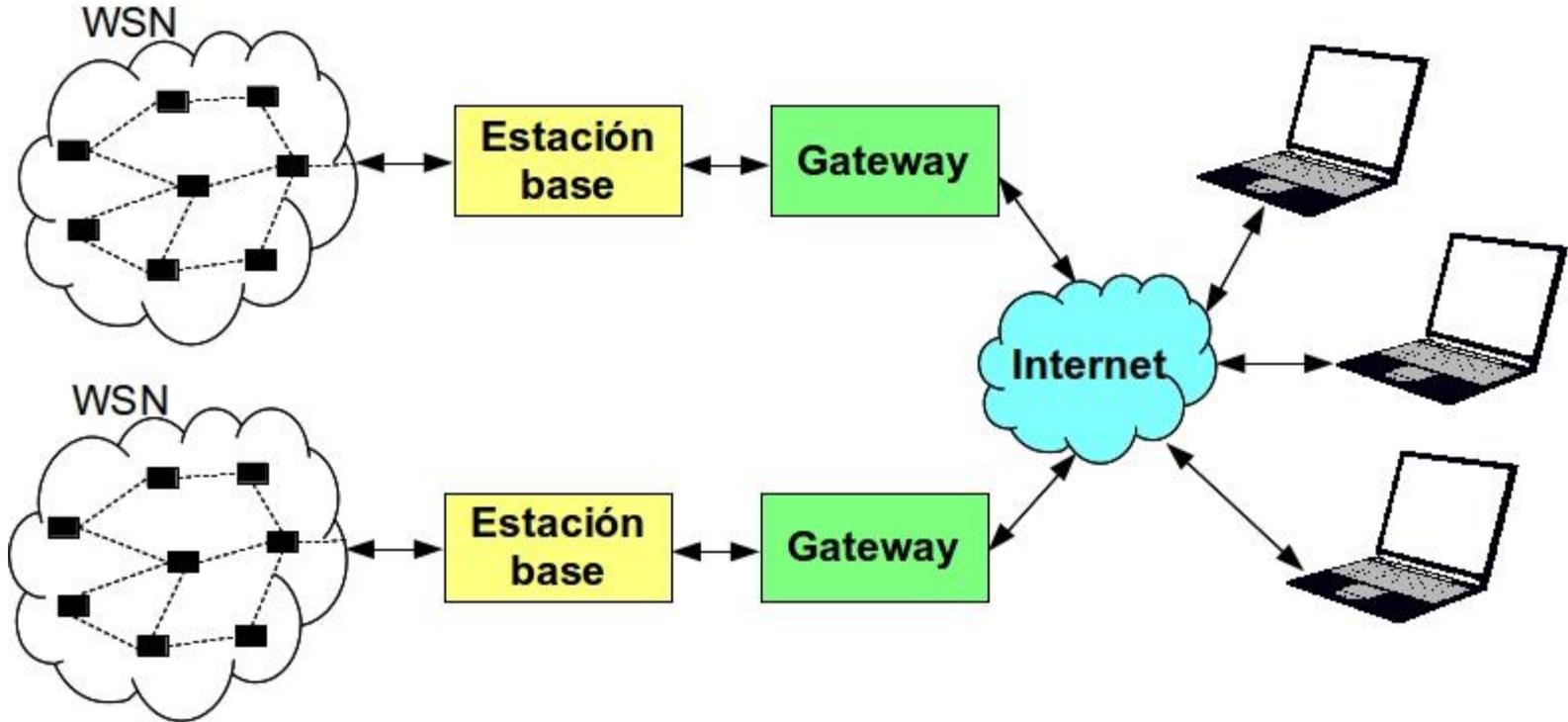
	<b>Año</b>	<b>Tecnolog.</b>	<b>Comuta.</b>	<b>Veloc.</b>	<b>Modulac.</b>	<b>Protoco.</b>	<b>Estado</b>
<b>1G</b>	<b>1984</b>	<b>Analóg.</b>	<b>Circuitos</b>	<b>-</b>		<b>-</b>	<b>Obsoleta</b>
<b>2G</b>	<b>1990</b>	<b>Digital</b>	<b>Circuitos</b>	<b>100Kbs</b>	<b>TDMA-FDMA</b>	<b>GSM GPRS EDGE</b>	<b>En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

\* 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**

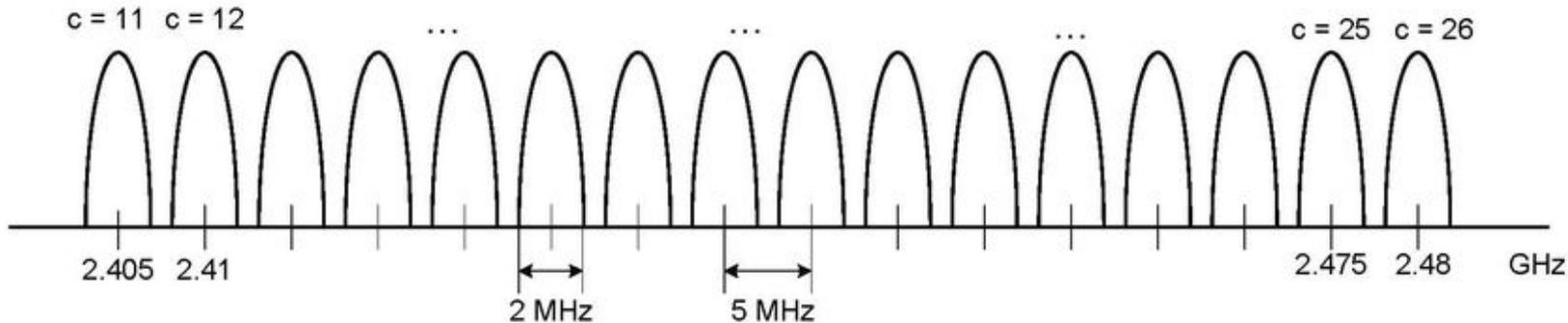
- **Capa física:**
  - **Modulación:** DSSS (espectro expandido) + O-QPSK (2.4 GHz) o BPSK (800-900 MHz).
  - **Selección dinámica de canales.**

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

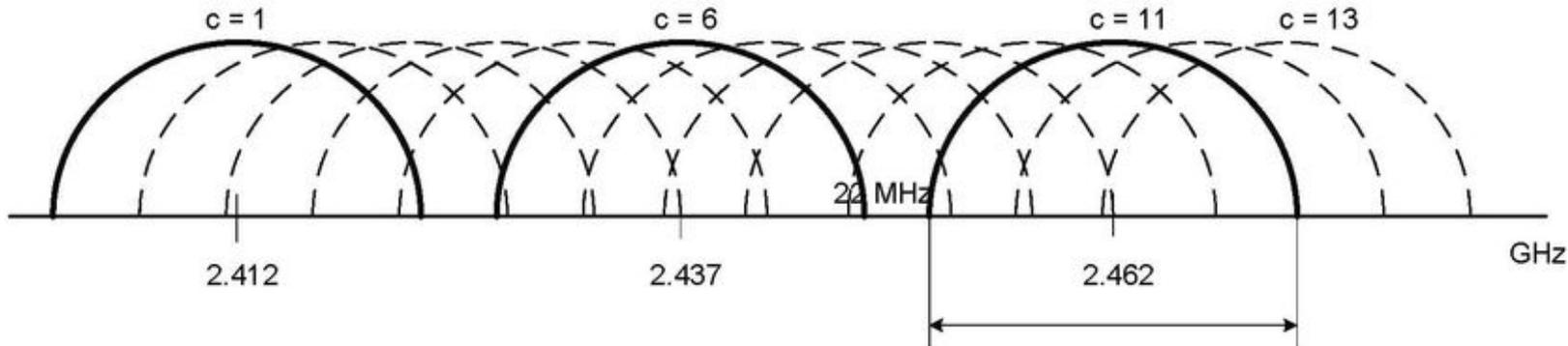


## IEEE-802.15.4: Canales

IEEE 802.15.4 Channels

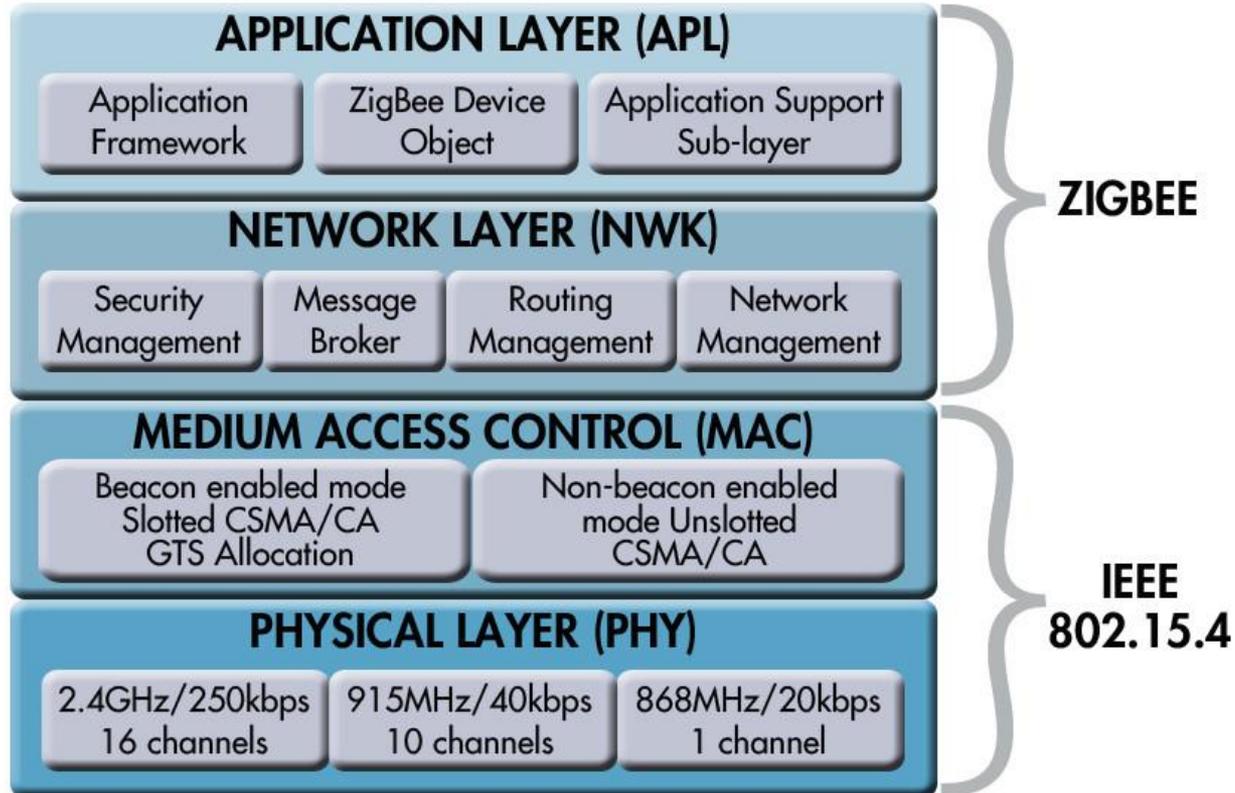


IEEE 802.11g Channels



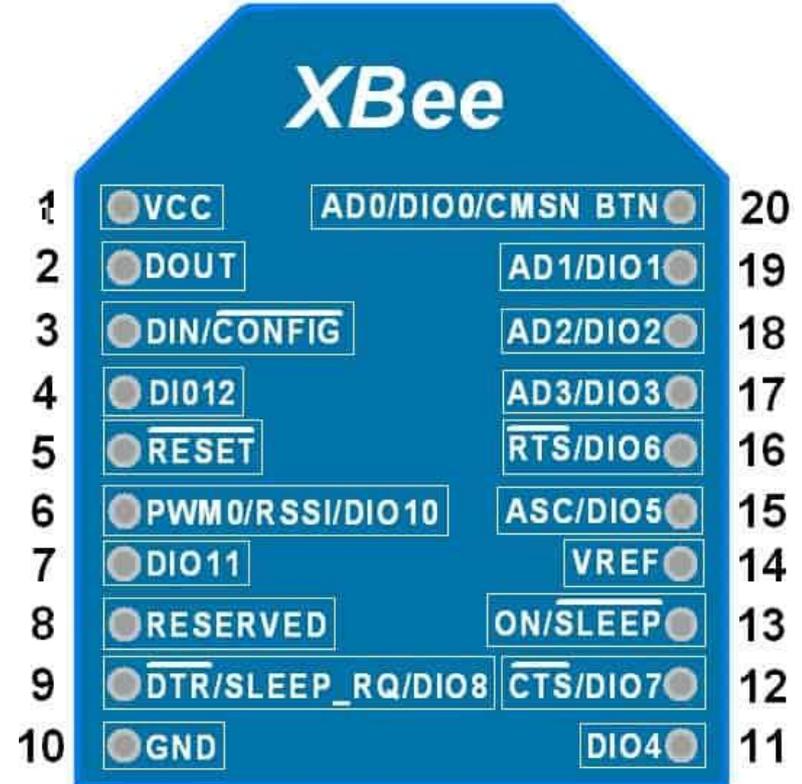
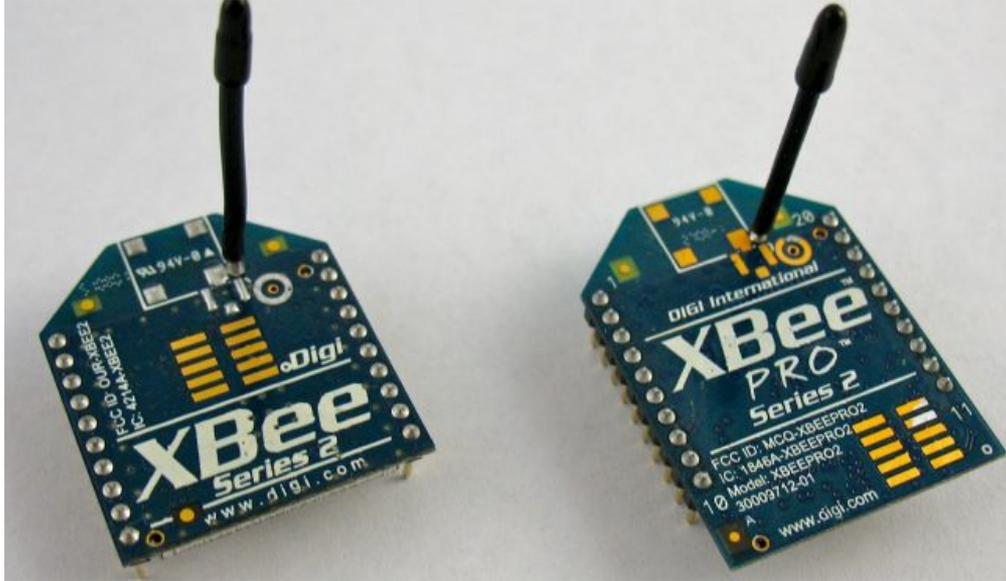


## ZigBee 802.15.4





## Ejemplo: Digi XBee

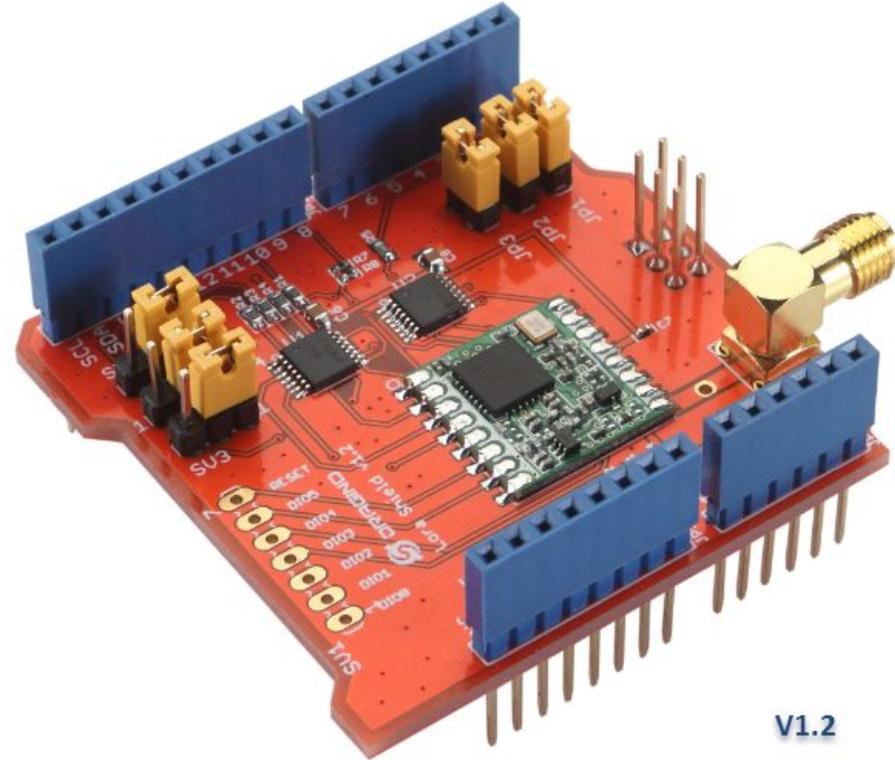


## **LoRa**

- 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).

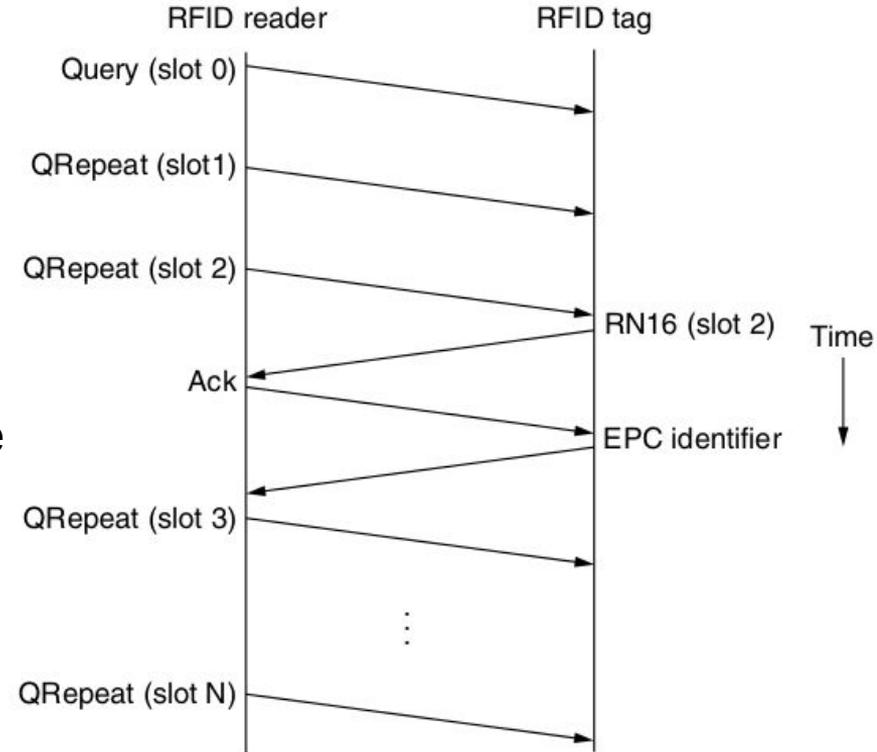


Figura obtenida de: A. Tanenbaum, D. Wetherall, "Redes de computadoras", Editorial Pearson, Quinta edición (2012), pag. 330



## RFID - Productos RFID



Etiquetas RFID





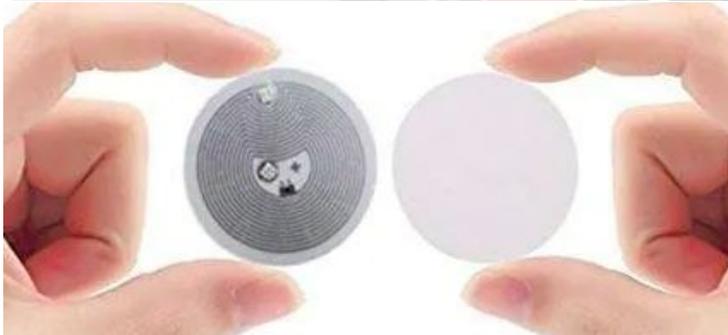
**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD  
DE INGENIERÍA**

**Licenciatura en Ciencias de la  
Computación**

**NFC**





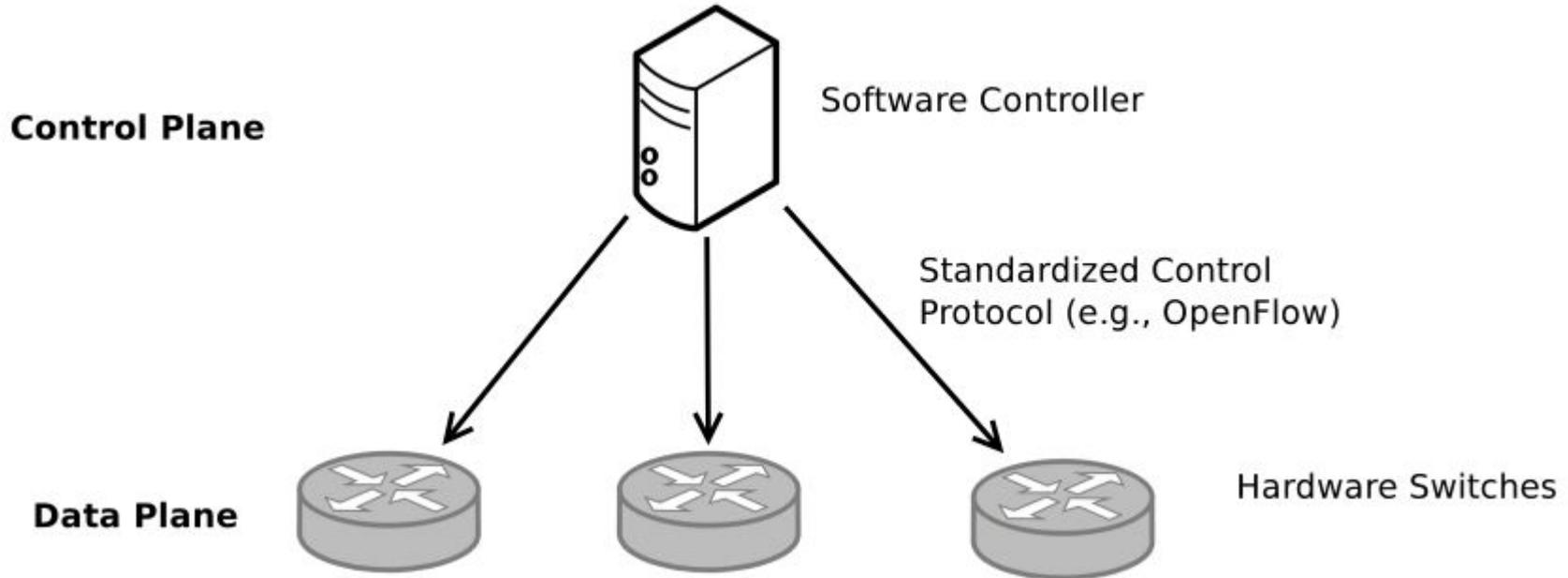
## **SDN (Software Defined Networking) en redes WAN**

- 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 combinatorias más complejas.
  - Añadir la variable tiempo.
  - Utilización de lenguajes de alto nivel (Python y Java).

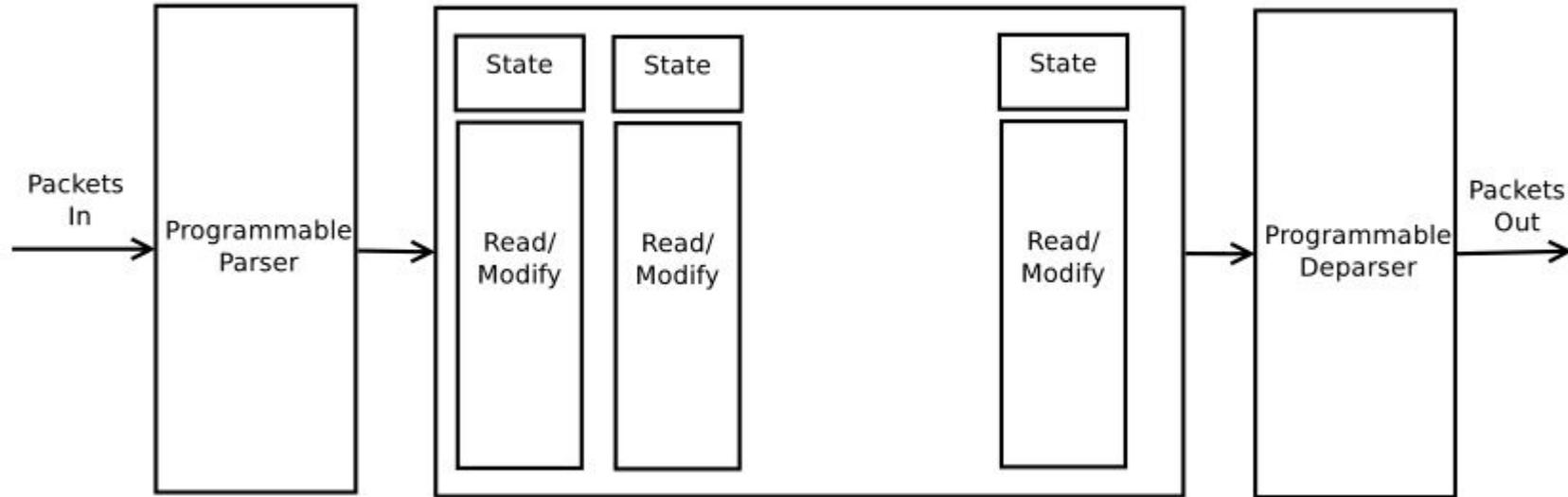
## **SDN**

### 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.