

*Grado en Ingeniería del Software*  
*Doble Grado en Matemática Computacional e Ingeniería del Software*  
*Doble Grado en Física Computacional e Ingeniería del Software*



# Redes de Ordenadores

## Tema 6

Dr. Constantino Malagón Luque  
Dr. Rafael Socas Gutiérrez

Septiembre 2024



# 6 Redes Inalámbricas y Redes Móviles

1) Redes de Ordenadores e Internet

2) Nivel de Aplicación

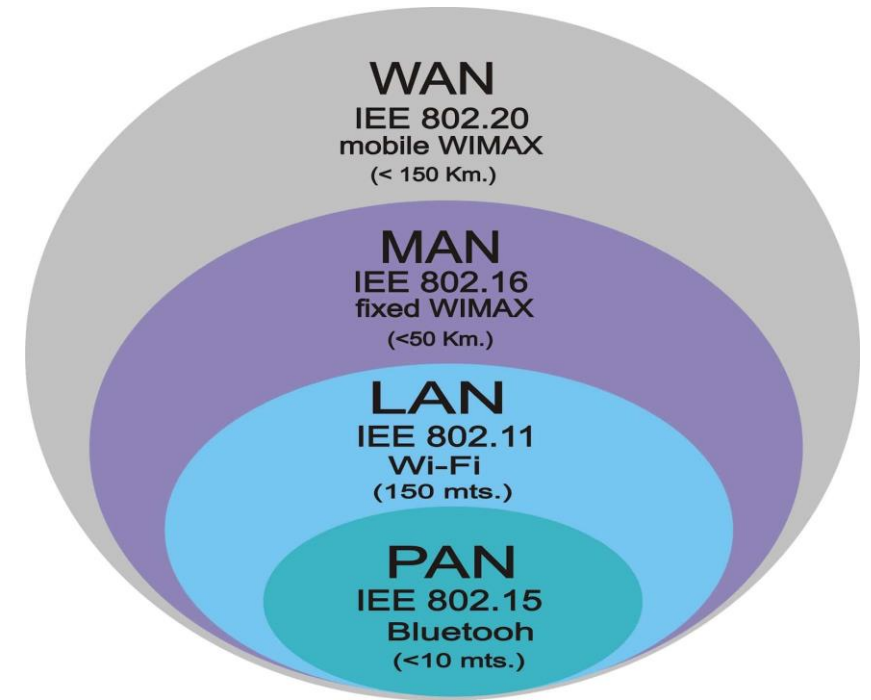
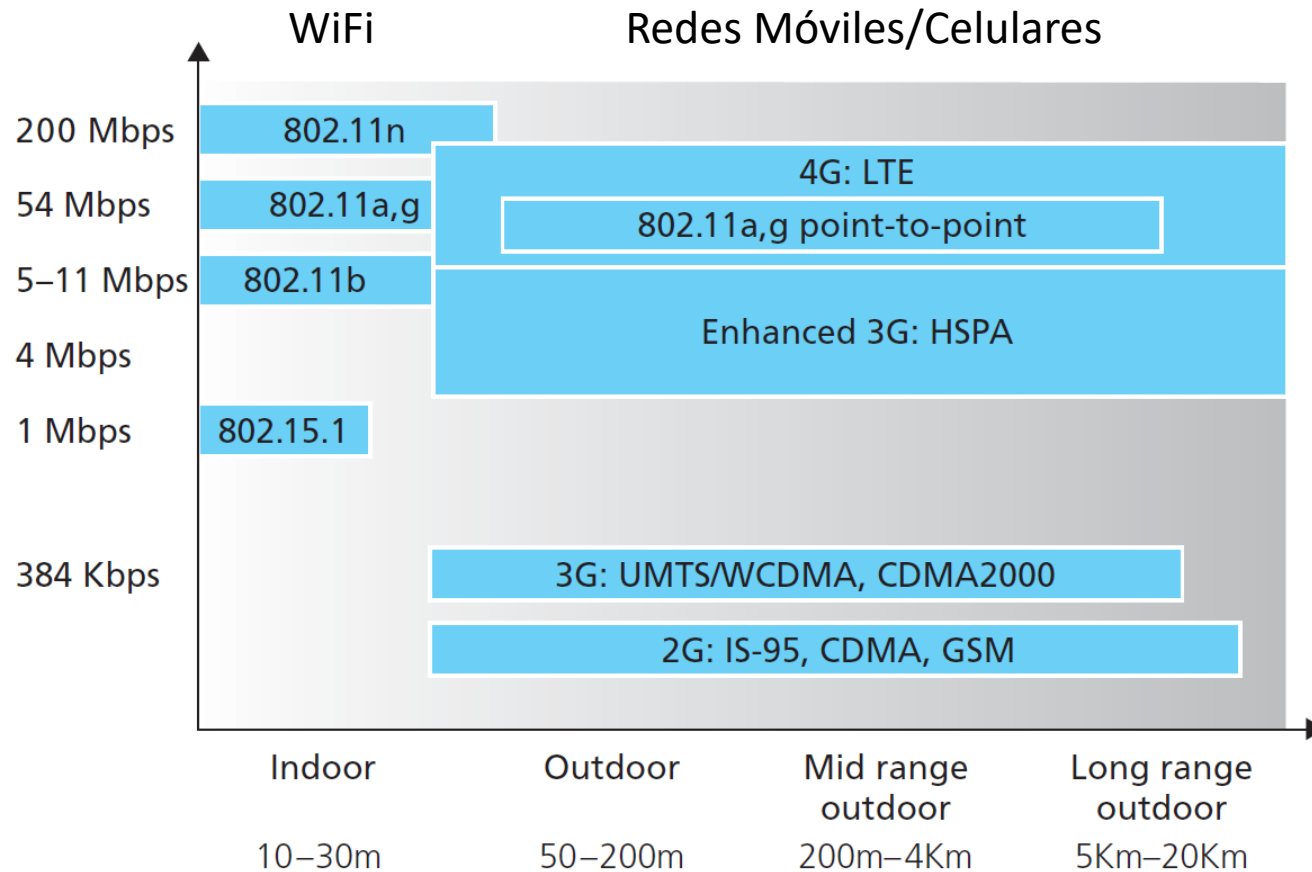
3) Nivel de Transporte

4) Nivel de Red

5) Nivel de Enlace: Redes de Acceso y LAN

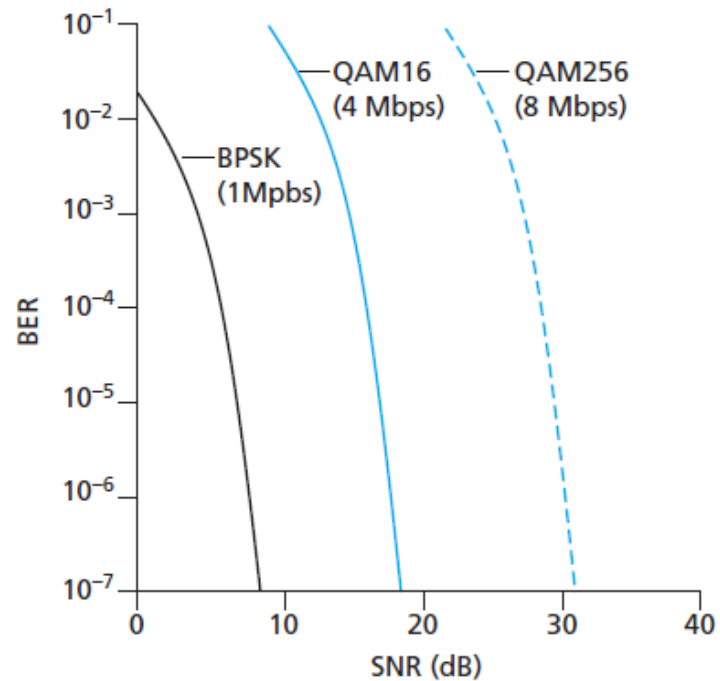
6) Redes Inalámbricas y Redes Móviles

7) Seguridad en Redes de Ordenadores



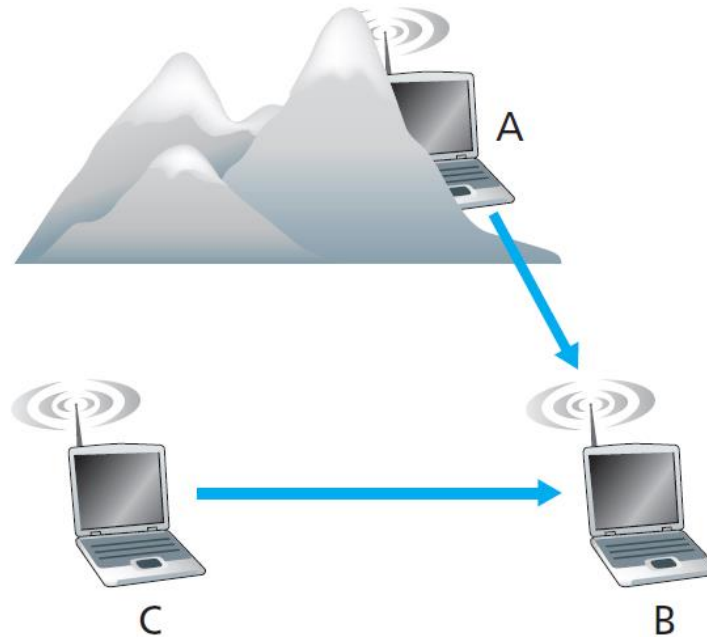


## Canales con Ruido

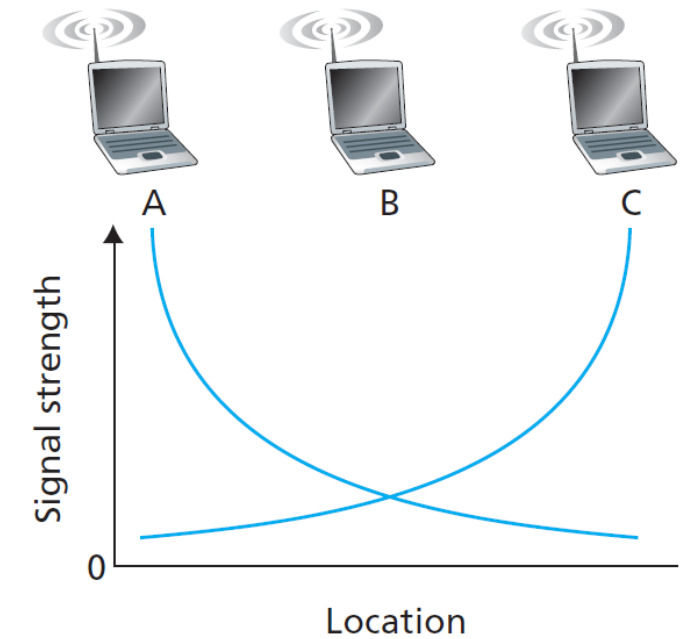


BER: Bit Error Rate  
SNR: Signal to Noise Ratio

## Obstáculos

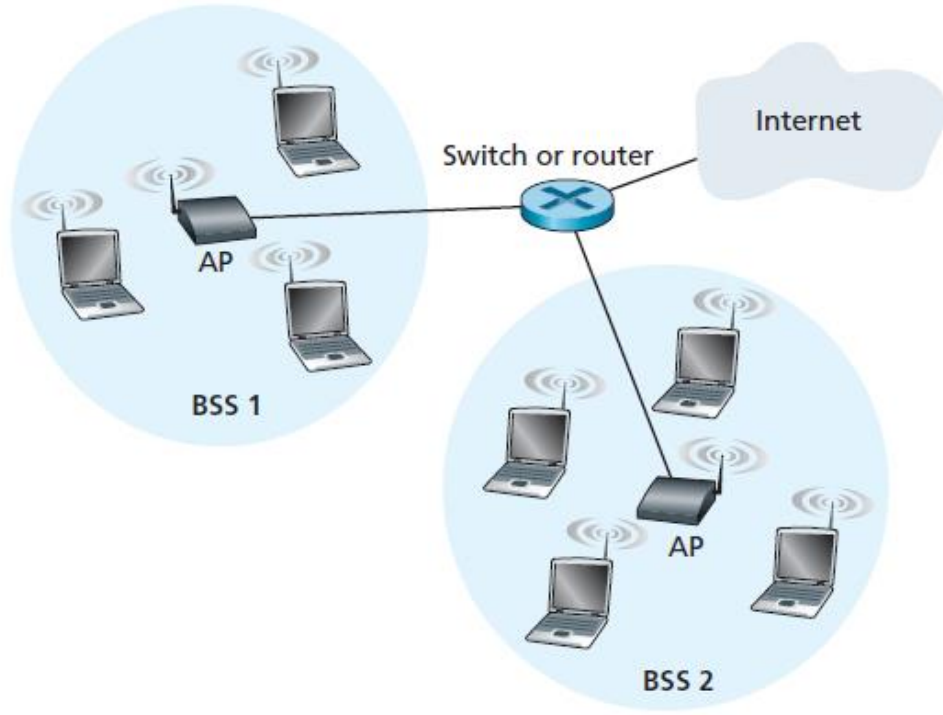


## Desvanecimiento (fading)



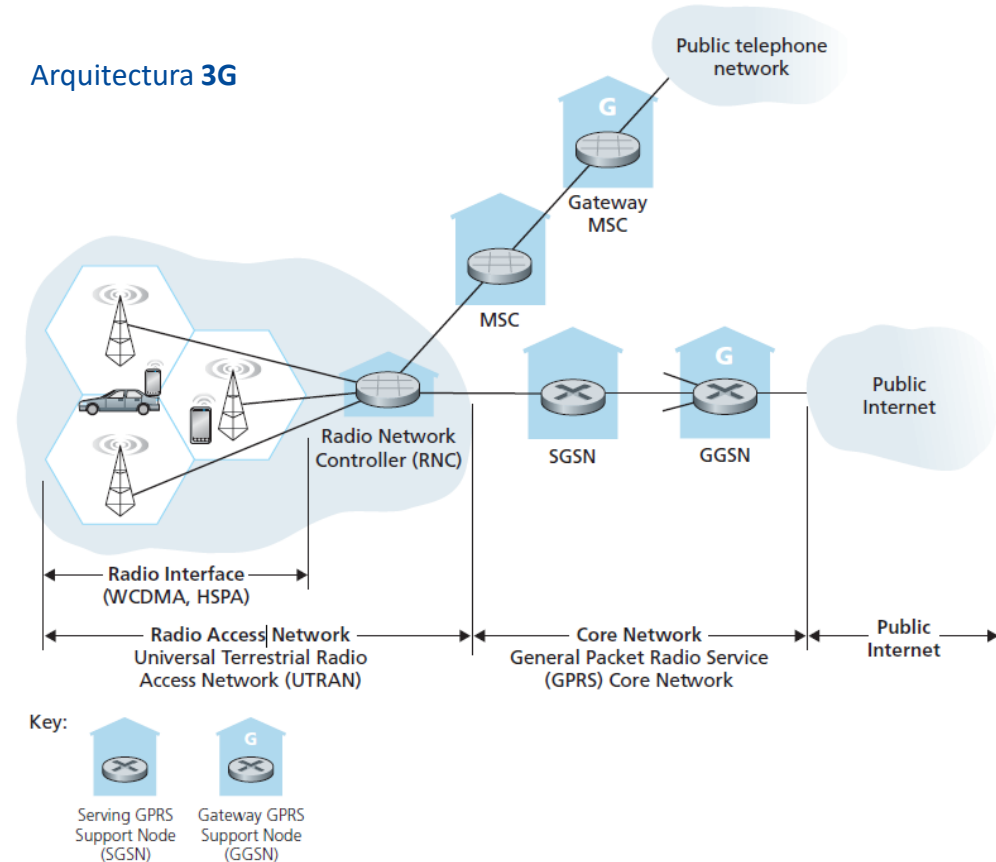
Centraremos nuestro estudio en dos tipos especiales de redes Inalámbricas:

## WiFi: 802.11 Wireless LAN

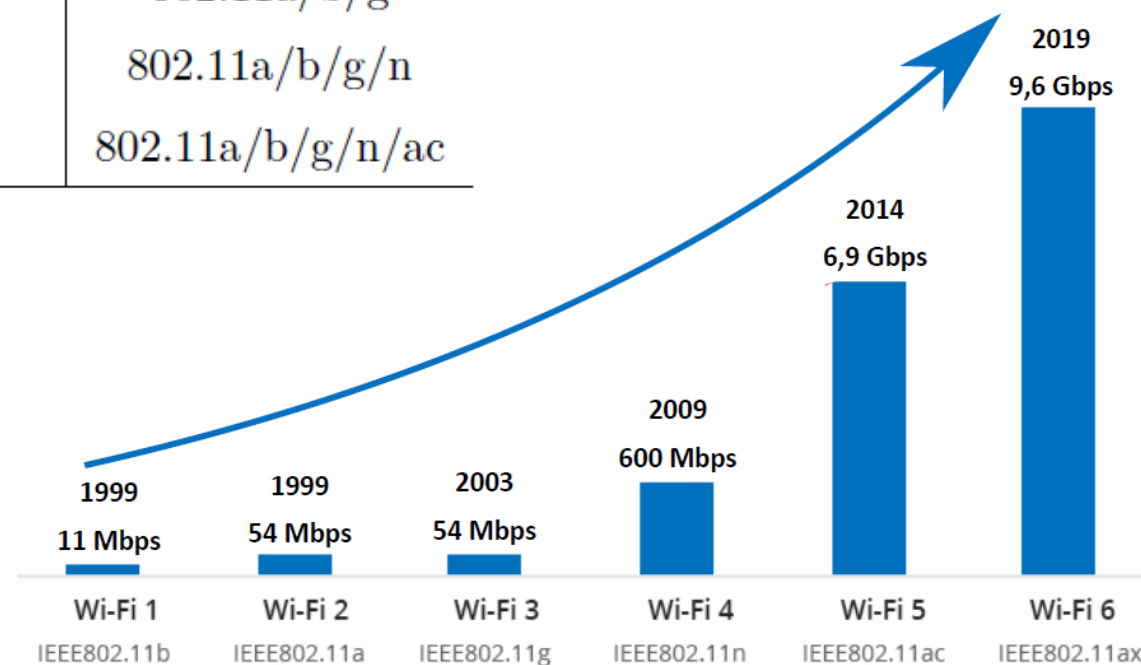


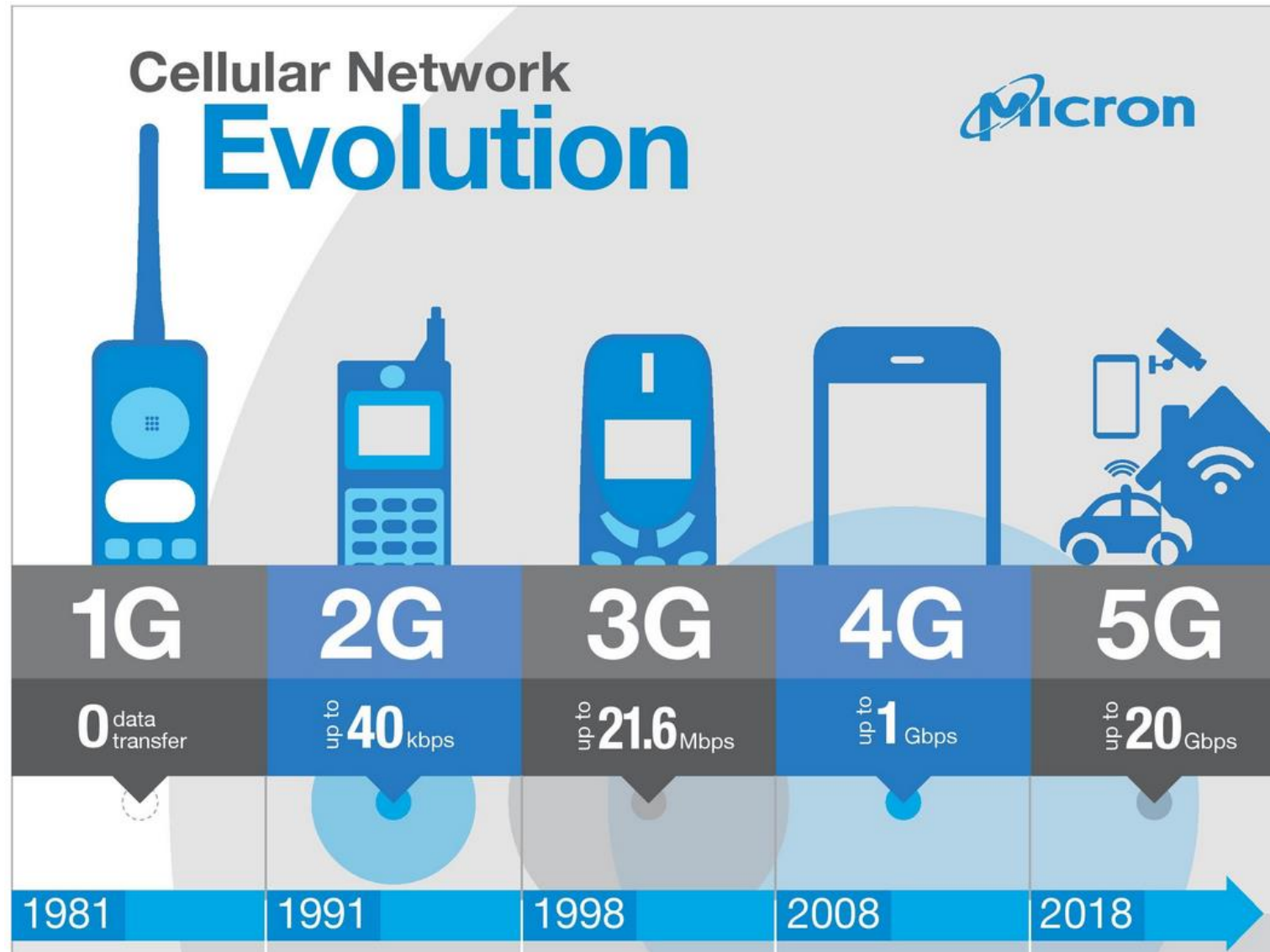
## Redes Móviles/Celulares: 3G, 4G y 5G

Arquitectura 3G



Estándar IEEE	Frecuencia	Velocidad	Compatibilidad
802.11b (WiFi-1)	2,4 GHz	11 Mbps	
802.11a (WiFi-2)	5 GHz	54 Mbps	
802.11g (WiFi-3)	2,4 GHz	54 Mbps	802.11b
802.11n (WiFi 4)	2,4 y 5 GHz	600 Mbps	802.11a/b/g
802.11ac (WiFi 5)	5 GHz	6,9 Gbps	802.11a/b/g/n
802.11ax (WiFi 6)	2,4 y 5 GHz	9,6 Gbps	802.11a/b/g/n/ac

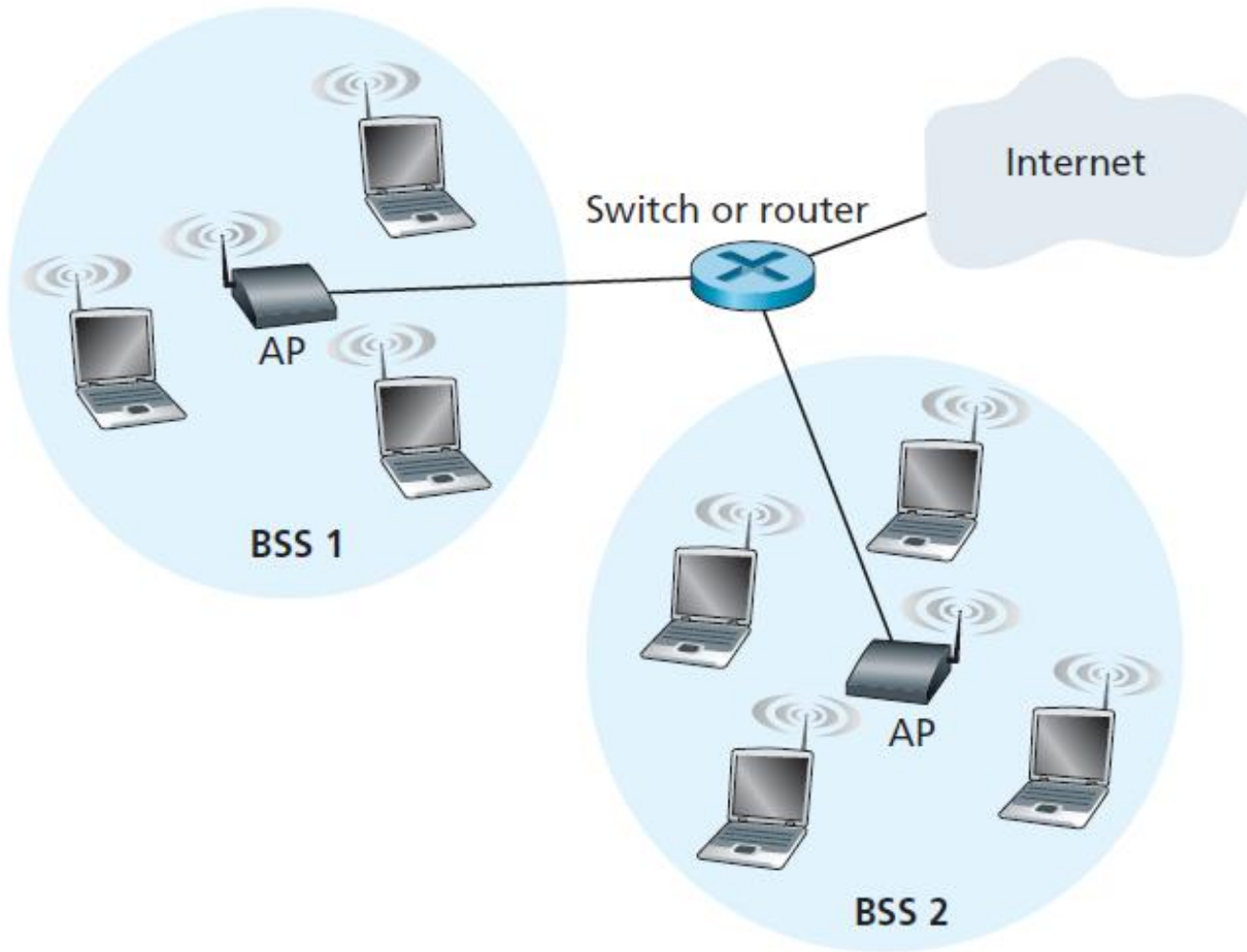






## Principales diferencias

Característica	WiFi 802.11	Redes Móviles/Celulares 3G/4G/5G
Cobertura	Limitada	Mundial
Prestaciones	En función de la versión	En función de la generación
Seguridad	Seguras	Más Seguras
Control Interferencias	Mala	Buena
Evolución	Continua	Continua
Administración	Privada	Pública
Inversiones Necesarias	Pocas (usa las redes públicas)	Muchas (en nodos de red y espectro)



## Elementos

- **BSS (Basic Service Set):** Un BSS contiene una o más estaciones inalámbricas y una estación base, conocida como punto de acceso (AP) en el lenguaje 802.11.
- **BSSID (Basic Service Set Identifier):** Al igual que con los dispositivos Ethernet, **cada estación inalámbrica 802.11 tiene una MAC de 6 bytes**. Cada AP también tiene una dirección MAC en su interfaz inalámbrica.
- **SSID (Identificador de conjunto de servicios):** Cuando un administrador de red instala un dispositivo AP, el administrador **asigna un SSID al punto de acceso**.

# Redes WiFi 802.11: Ejemplo con WiFi Analyser (Windows)

WiFi Analyzer

Conectado Analizar Redes Estudiar Actualizar

94% MEJORADO -57 dBm

DATOS DE RED

SSID	MOVISTAR_PLUS_FB70
Canal	52
Frecuencia	5,260 GHz (5,250-5,270) *
Ancho de banda	20 MHz *
Protocolo	802.11ac

INFORMACIÓN DEL DISPOSITIVO

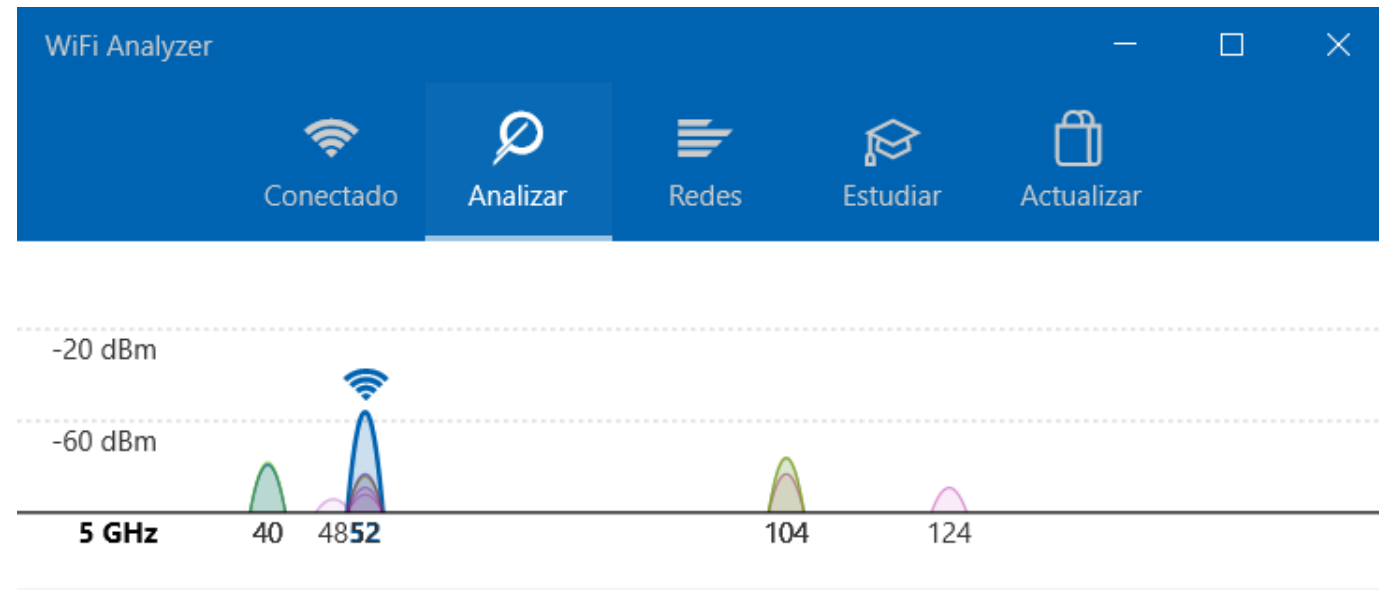
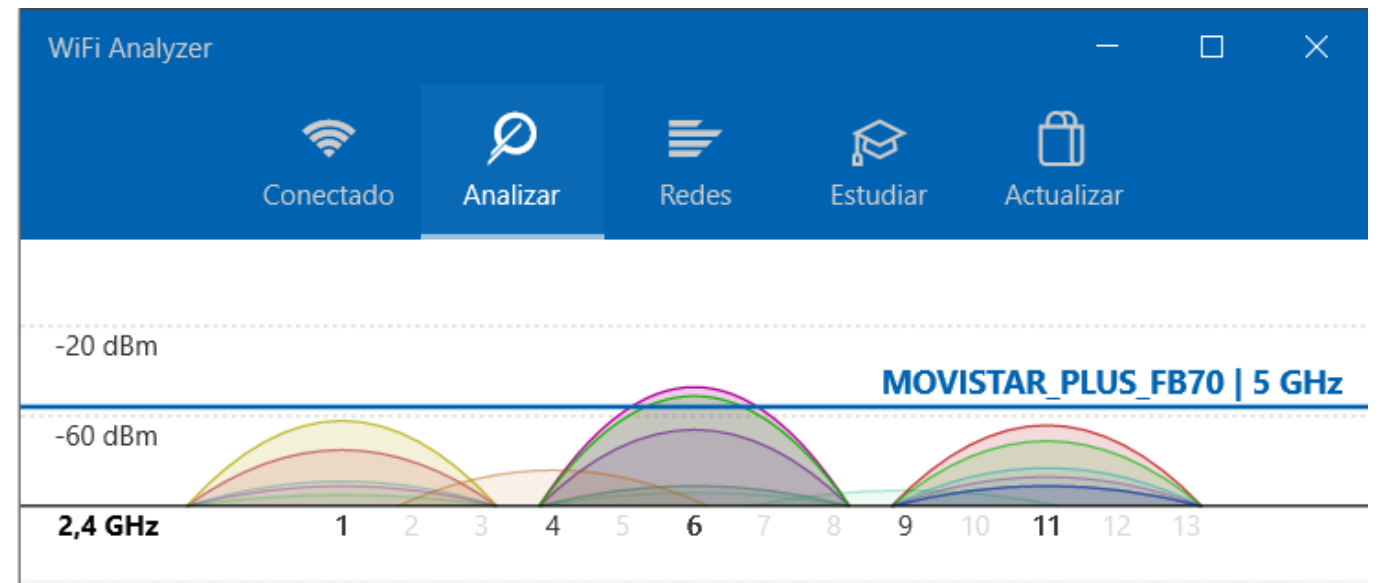
BSSID	78:29:ED:9F:FB:7E
-------	-------------------

DATOS DE IP

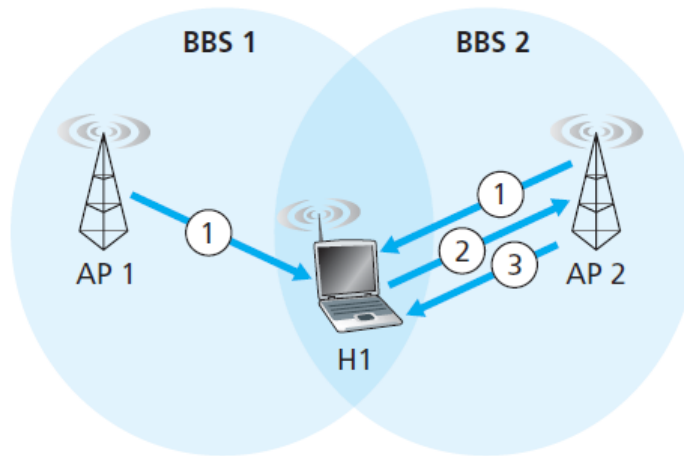
IPv4 privado	192.168.1.39
Subred privada	255.255.255.0
IPv4 pública	83.54.29.82

SEGURIDAD

Autenticación	RSNA-PSK (WPA2)
Cifrado	AES-CCMP

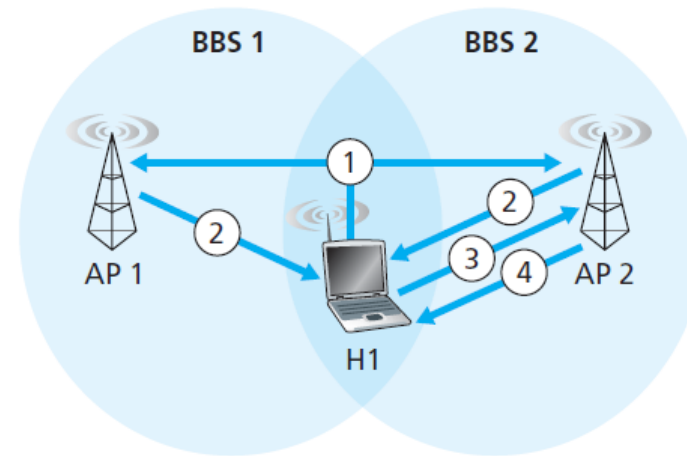


- El estándar 802.11 no especifica un algoritmo para seleccionar cuál de los AP disponibles para asociarse; ese algoritmo se deja a los diseñadores del firmware 802.11 y del software del host inalámbrico. **Típicamente, el host elige el AP cuya trama de la baliza (beacon frame) se recibe con la mayor intensidad de señal.**
- El proceso de escaneo de canales y escucha de tramas de baliza se conoce como **escaneo pasivo**. Un host inalámbrico también puede realizar un **escaneo activo**, mediante la difusión de una trama de sonda que será recibida por todos los AP dentro de la red inalámbrica rango del host.



**a. Passive scanning**

1. Beacon frames sent from APs
2. Association Request frame sent: H1 to selected AP
3. Association Response frame sent: Selected AP to H1



**a. Active scanning**

1. Probe Request frame broadcast from H1
2. Probes Response frame sent from APs
3. Association Request frame sent: H1 to selected AP
4. Association Response frame sent: Selected AP to H1

- Una vez que una estación inalámbrica está asociada con un AP, puede comenzar a enviar y recibir tramas de datos hacia y desde el punto de acceso. Pero **debido a que varias estaciones pueden querer transmitir tramas al mismo tiempo a través del mismo canal**, se necesita un **protocolo de acceso múltiple (MAC protocol)** para coordinar las transmisiones.
- Generalmente son tres las clases de protocolos de acceso múltiple: **partición de canales** (tiempo, frecuencia y código p.e. CDMA), **acceso aleatorio** y o por **turnos (token)**.
- Inspirado en el enorme éxito de Ethernet (802.3) y su protocolo de acceso aleatorio CSMA/CD, los diseñadores de 802.11 eligieron un protocolo de acceso aleatorio para LAN inalámbricas 802.11. **Este protocolo de acceso aleatorio se conoce como CSMA/CA (prevención de colisiones)**. Al igual que con Ethernet cada estación detecta el canal antes de transmitir, y se abstiene de transmitir cuando el canal se encuentra ocupado. Además, este protocolo **informa de cuánto tiempo estará ocupado el canal para evitar colisiones**.

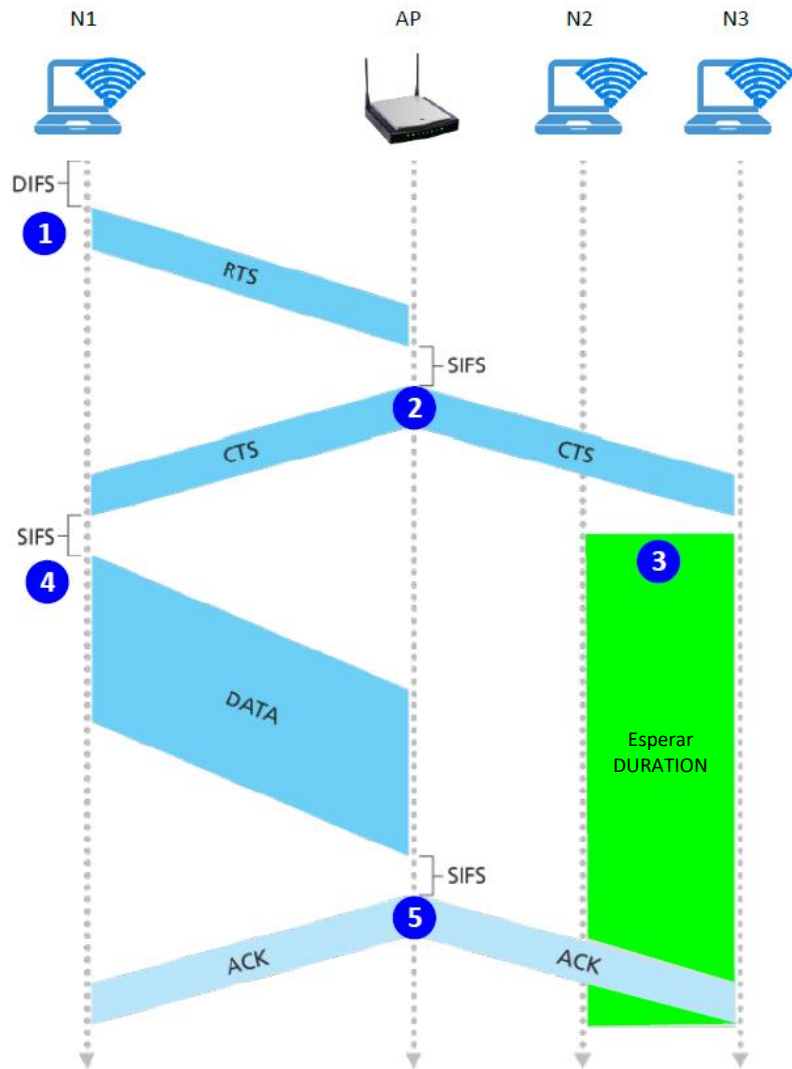
## CSMA/CD – 802.3 Ethernet

Un nodo que desea transmitir espera a que el canal esté libre, una vez sucede esto, empieza la transmisión. Si otro nodo empezara a transmitir en este instante se produciría colisión, por lo tanto, se detiene la transmisión y se retransmite tras un retraso aleatorio.

## CSMA/CA – 802.11 WiFi

Una estación que quiere transmitir comprueba que el canal radio está libre, y si no se detecta actividad, la estación espera un tiempo adicional, seleccionado aleatoriamente y entonces transmite si el medio continúa libre. Antes de transmitir se indica cuando tiempo estará el canal ocupado para evitar colisiones.

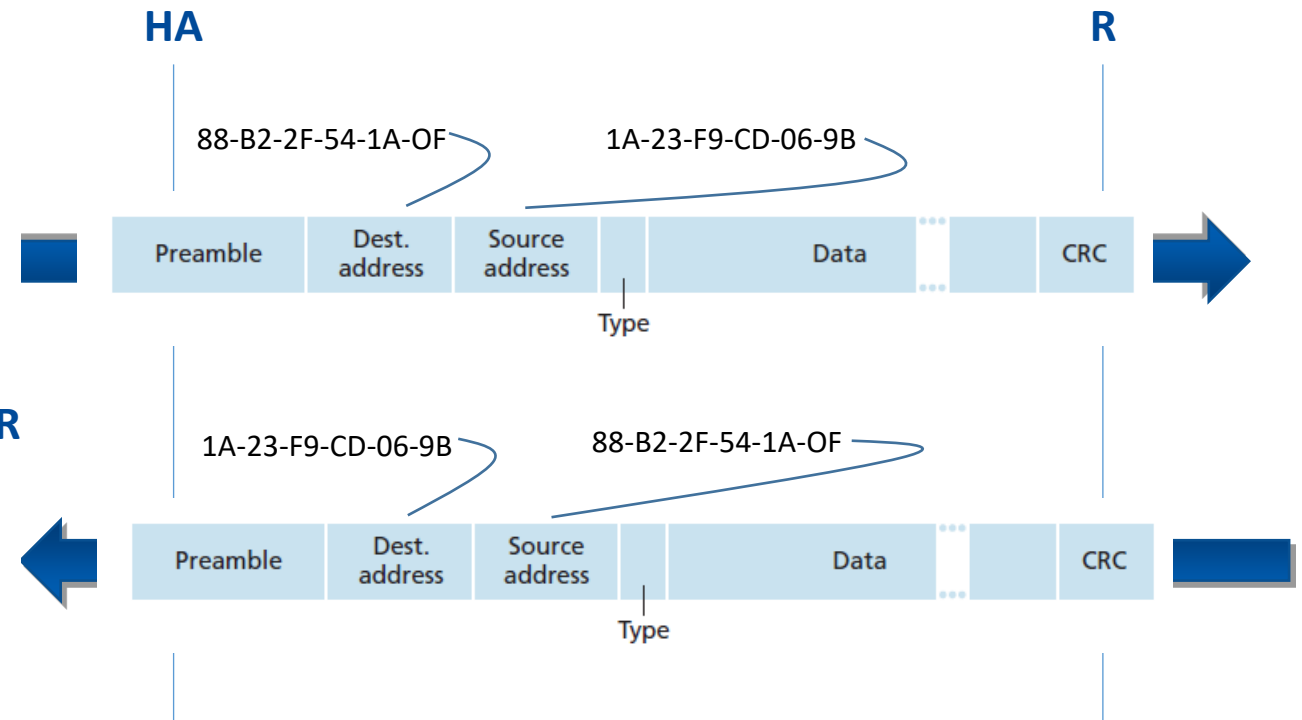
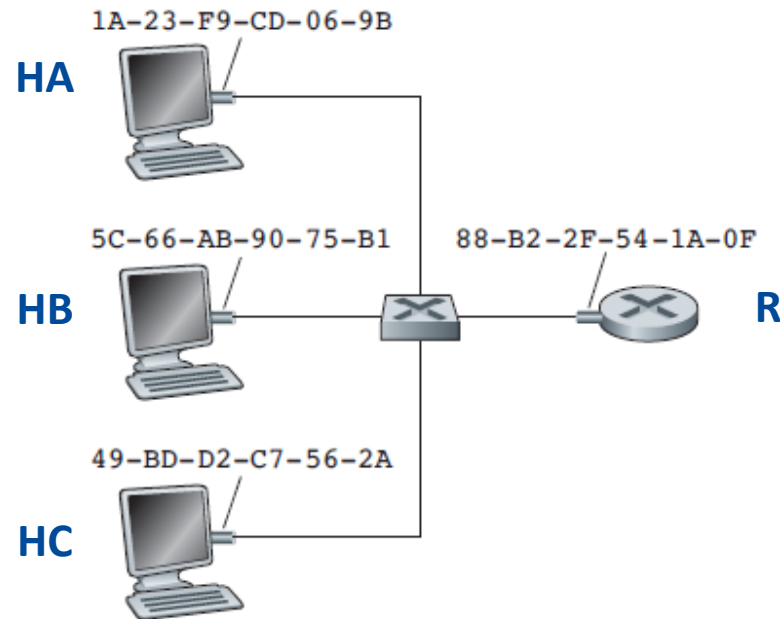




1. La estación N1 Informa que quiere transmitir mediante la trama **RTS** (Request To Send). Además, indica cuando tiempo (DURATION) necesita para hacerlo.
2. El AP indica que puede hacerlo con la trama **CTS** (Clear To Send). Al mismo tiempo, el AP informa al resto de estaciones que durante un tiempo DURATION el canal estará ocupado.
3. El resto de las estaciones, N2, N3, etc. quedan esperando un tiempo DURATION.
4. N1 envía su información mediante la trama **DATA**.
5. Se confirma la recepción de la información mediante la trama **ACK**.

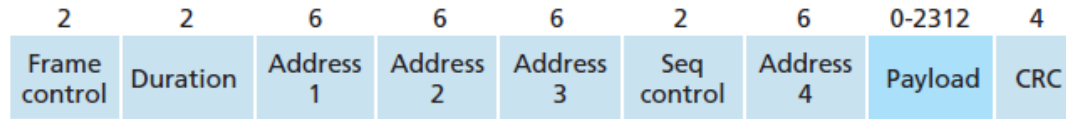
## Trama Ethernet: 802.3

## Comunicación entre HA y R (p.e)

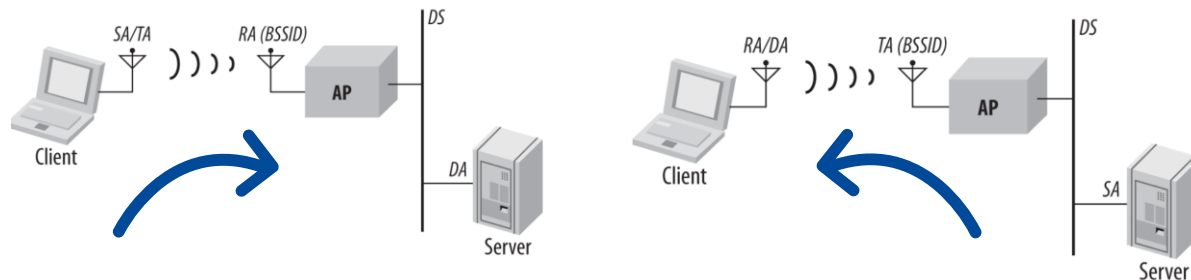
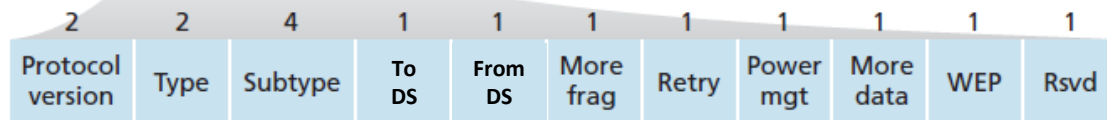


## Trama WiFi: 802.11

Frame (numbers indicate field length in bytes):



Frame control field expanded (numbers indicate field length in bits):



## Significado de Address 1 .... 4

Los campos **Address1** hasta **Address4** tienen un significado en función de los flags **To DS** y **From DS** (DS Distribution System).

To DS	From DS	Address1	Address2	Address3	Address4
0	0	DA	SA	BSSID	N/A
0	1	DA	BSSID	SA	N/A
1	0	BSSID	SA	DA	N/A
1	1	RA	TA	DA	SA

**SA: Source Address.**

**DA: Destination Address (Wireless Node).**

**TA: Transmitter Address (Wireless Node) .**

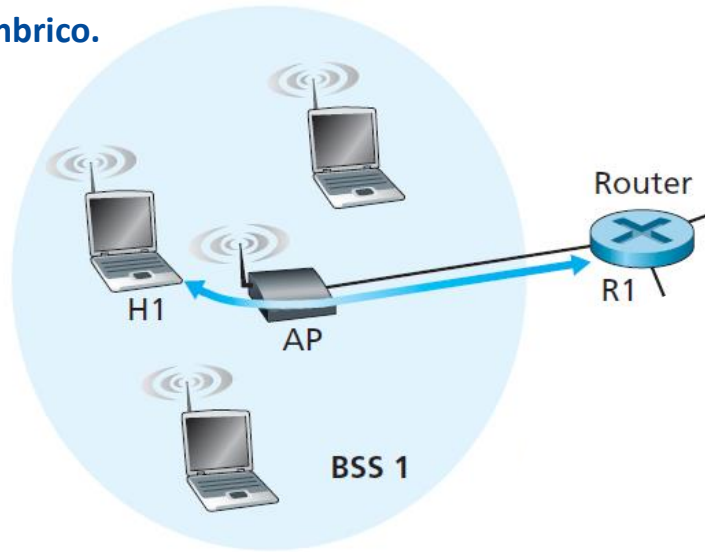
**RA: Receiver Address.**

**BSSID: dirección MAC del AP.**

H1: Dirección MAC del host inalámbrico.

BSSID: Dirección MAC del AP.

R1: Dirección MAC del Router.



## Significado Campo Address

- DA: MAC Destino.
- SA: MAC Origen.
- RA: Elemento Inalámbrico que recibe la trama.
- TA: Elemento Inalámbrico que transmite la trama.

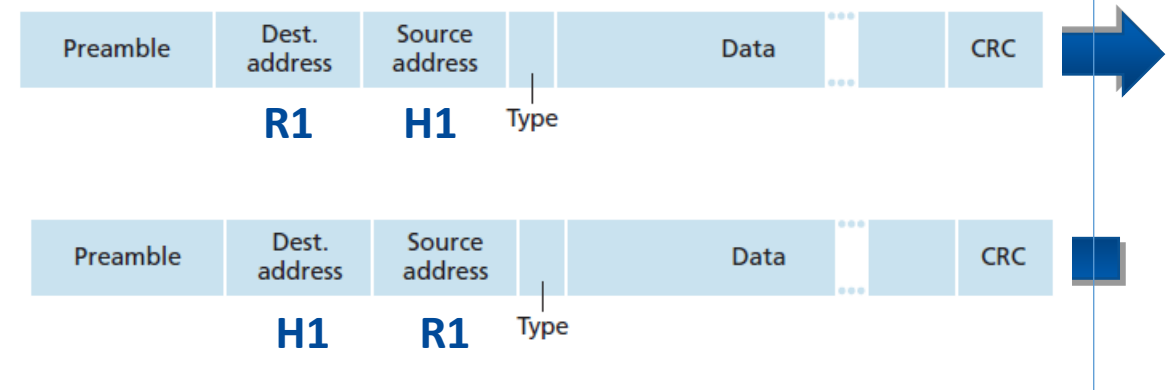
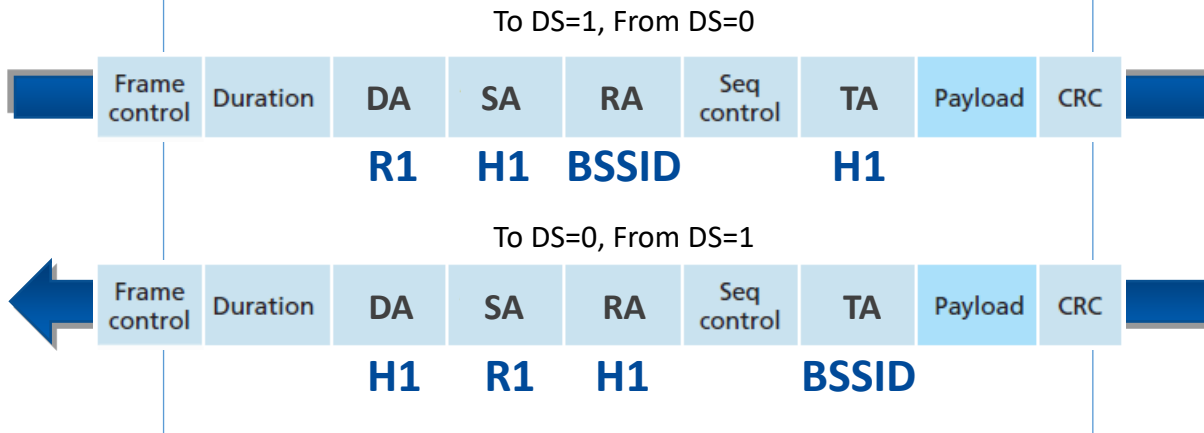
Host  
Inalámbrico  
H1

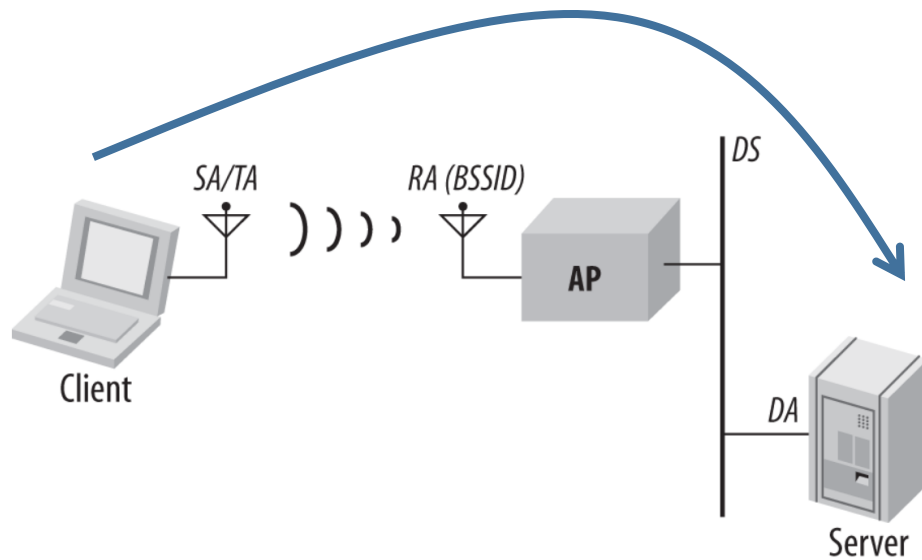
### Trama WiFi 802.11

AP

Router  
R1

### Trama Ethernet 802.3



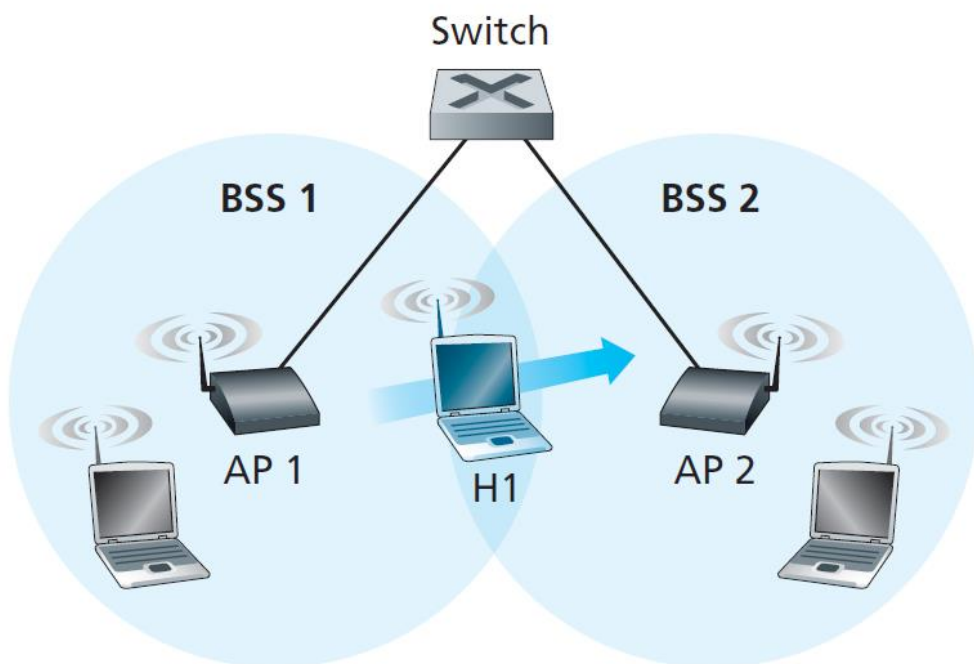


SA → 00:14:a5:cb:6e:1a  
TA → 00:14:a5:cb:6e:1a  
RA → 00:14:a5:cd:74:7b  
DA → 00:01:02:27:f9:b2  
BSSID → 00:14:a5:cd:74:7b

```
> Frame 9: 162 bytes on wire (1296 bits), 162 bytes captured (1296 bits)
> PPI version 0, 84 bytes
> 802.11 radio information
  PHY type: 802.11n (HT) (7)
  MCS index: 15
  Bandwidth: 40 MHz (1)
  Short GI: True
  Greenfield: False
  Number of extension spatial streams: 2
  Data rate: 300,0 Mb/s
  Channel: 3
  Frequency: 2422MHz
  Signal strength (dBm): -58dBm
  Noise level (dBm): -96dBm
  Signal/noise ratio (dB): 38dB
  TSF timestamp: 4090536914
> [Duration: 52µs]
> IEEE 802.11 QoS Data, Flags: .....TC
  Type/Subtype: QoS Data (0x0028)
  Frame Control Field: 0x8801
    .... ..00 = Version: 0
    .... 10.. = Type: Data frame (2)
    1000 .... = Subtype: 8
  Flags: 0x01
    .... ..01 = DS status: Frame from STA to DS via an AP (To DS: 1 From DS: 0) (0x1)
    .... .0.. = More Fragments: This is the last fragment
    .... 0... = Retry: Frame is not being retransmitted
    ...0 .... = PWR MGT: STA will stay up
    ..0. .... = More Data: No data buffered
    .0.. .... = Protected flag: Data is not protected
    0... .... = Order flag: Not strictly ordered
    .000 0000 0010 1100 = Duration: 44 microseconds
  Receiver address: GemtekTe_cd:74:7b (00:14:a5:cd:74:7b)
  Transmitter address: GemtekTe_cb:6e:1a (00:14:a5:cb:6e:1a)
  Destination address: 3Com_27:f9:b2 (00:01:02:27:f9:b2)
  Source address: GemtekTe_cb:6e:1a (00:14:a5:cb:6e:1a)
  BSS Id: GemtekTe_cd:74:7b (00:14:a5:cd:74:7b)
  STA address: GemtekTe_cb:6e:1a (00:14:a5:cb:6e:1a)
```



## Hipótesis: H1 continua en la misma subnet (la IP no cambia)



But what specifically happens when H1 moves from BSS1 to BSS2? :

1. As H1 wanders away from AP1, H1 detects a weakening signal from AP1 and starts to scan for a stronger signal.
2. H1 receives beacon frames from AP2 (**which in many corporate and university settings will have the same SSID as AP1**).
3. H1 then disassociates with AP1 and associates with AP2, while keeping its IP address and maintaining its ongoing TCP sessions.

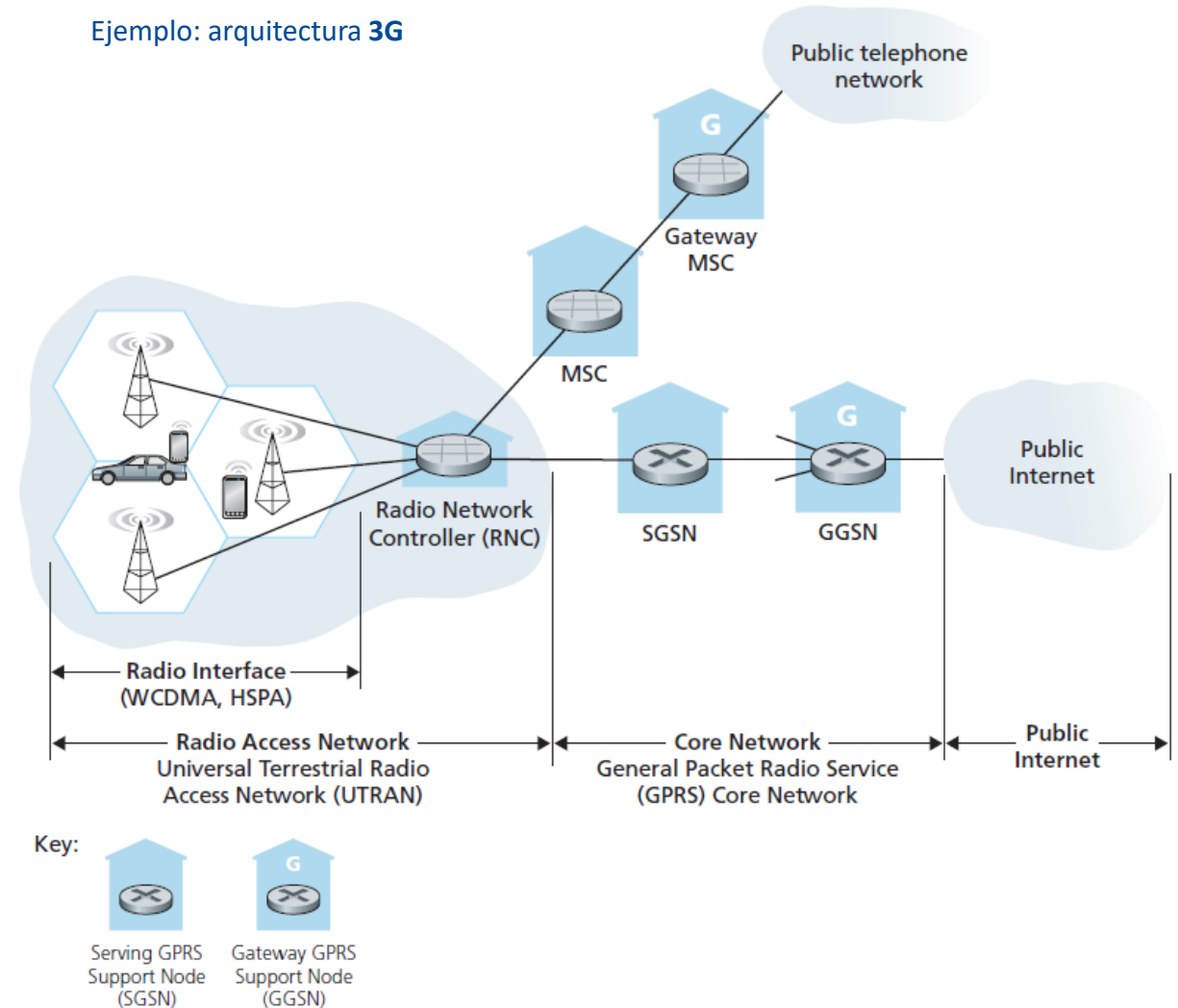
**Aunque resuelve el problema a pequeña escala no es una solución escalable.**

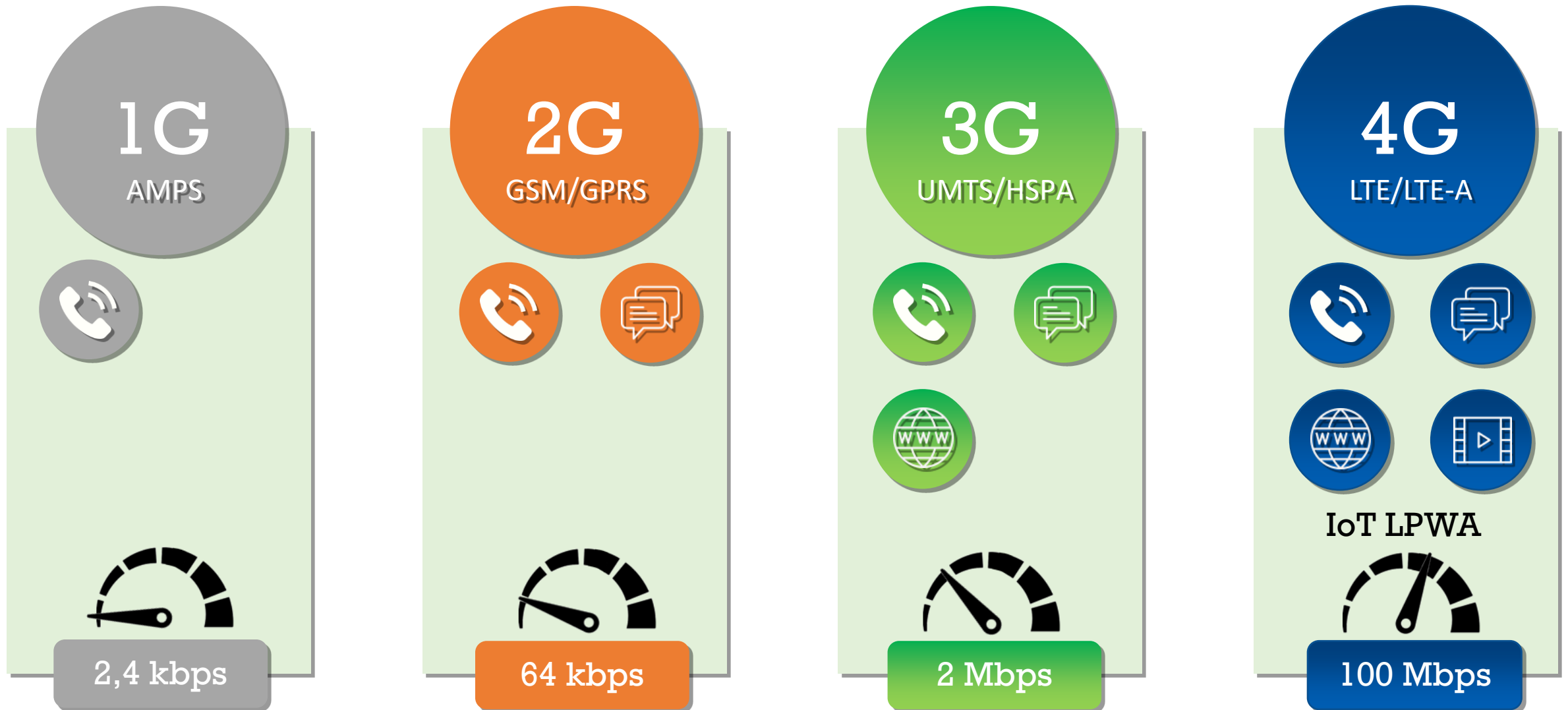
**SOLUCION: Redes Móviles Celulares**

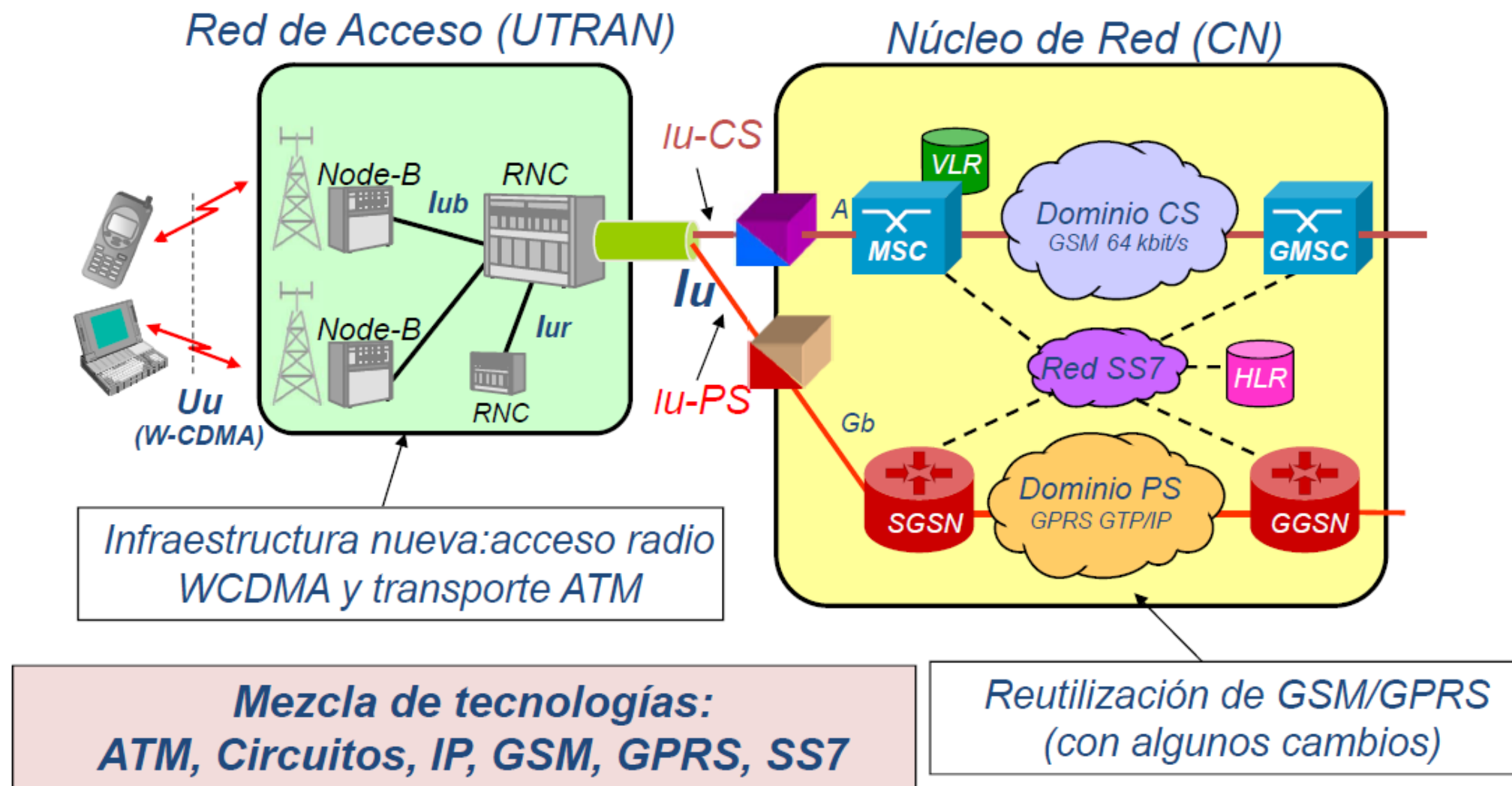
- Hemos visto cómo un host inalámbrico puede acceder a Internet cuando está dentro de la cobertura de un punto de acceso WiFi 802.11. Pero la mayoría de los APs WiFi tienen un área de cobertura pequeña de entre 10 y 100 metros de diámetro.
- ¿Qué hacemos entonces cuándo necesitamos acceso inalámbrico a Internet y no podemos acceder a un punto de acceso WiFi?

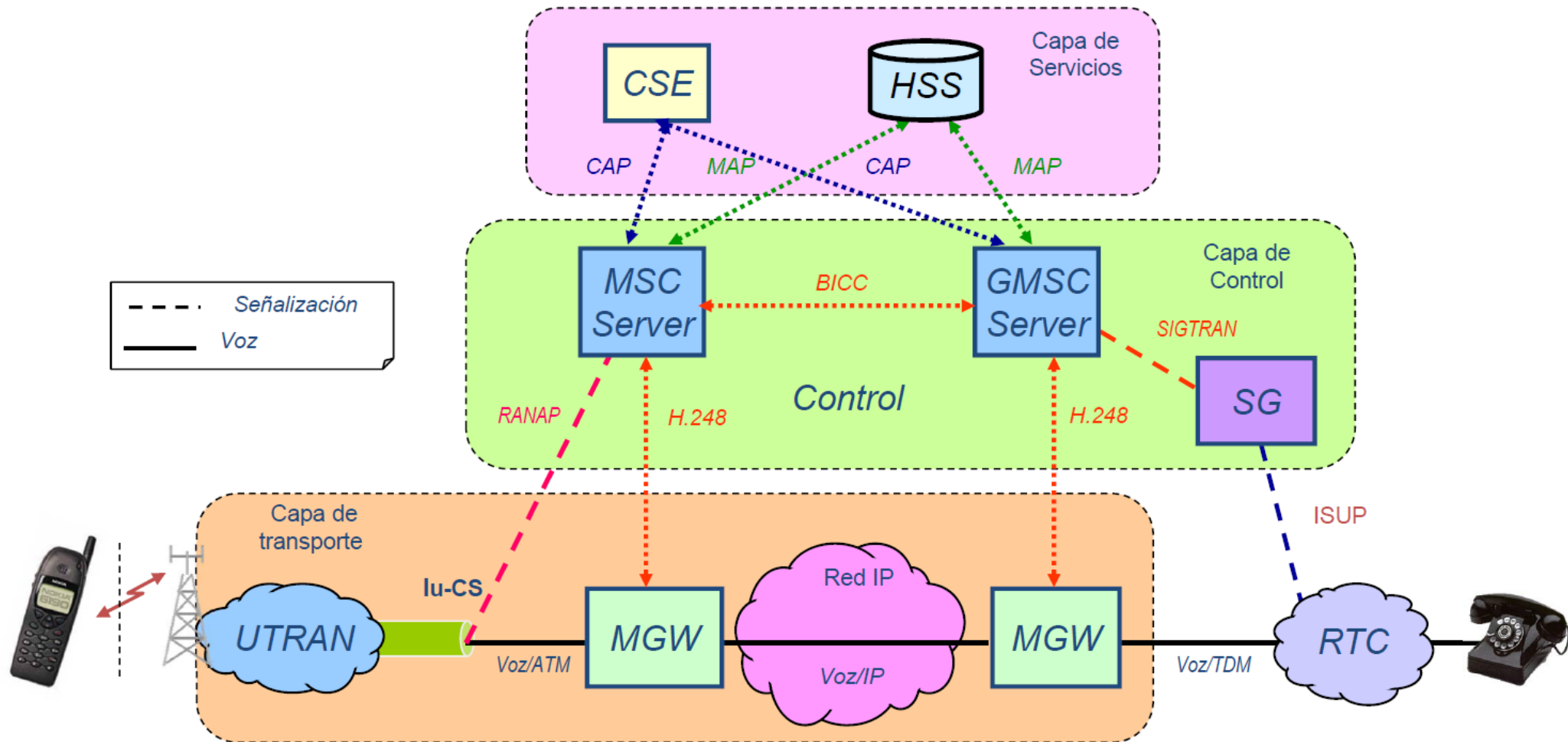
## Solución: Redes Móviles/Celulares

Ejemplo: arquitectura 3G



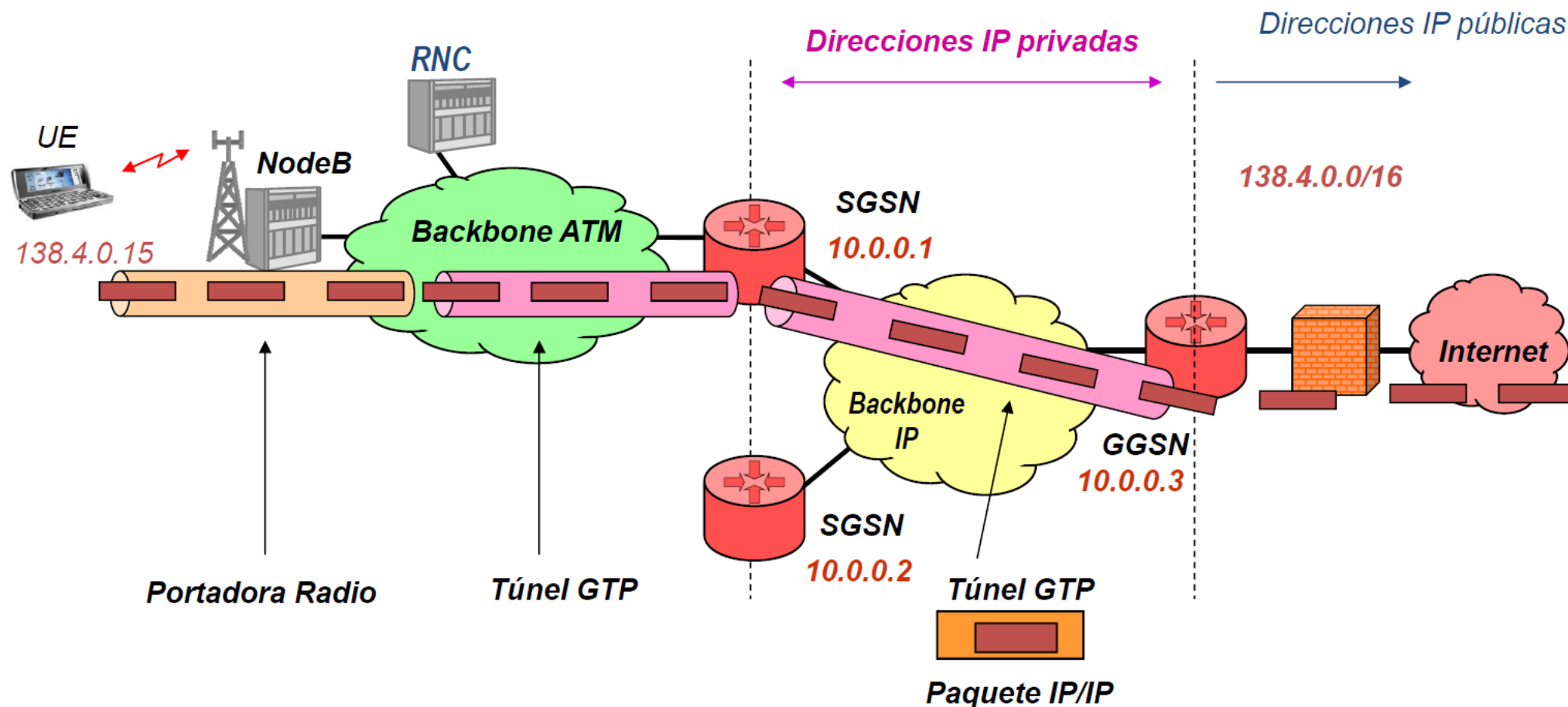




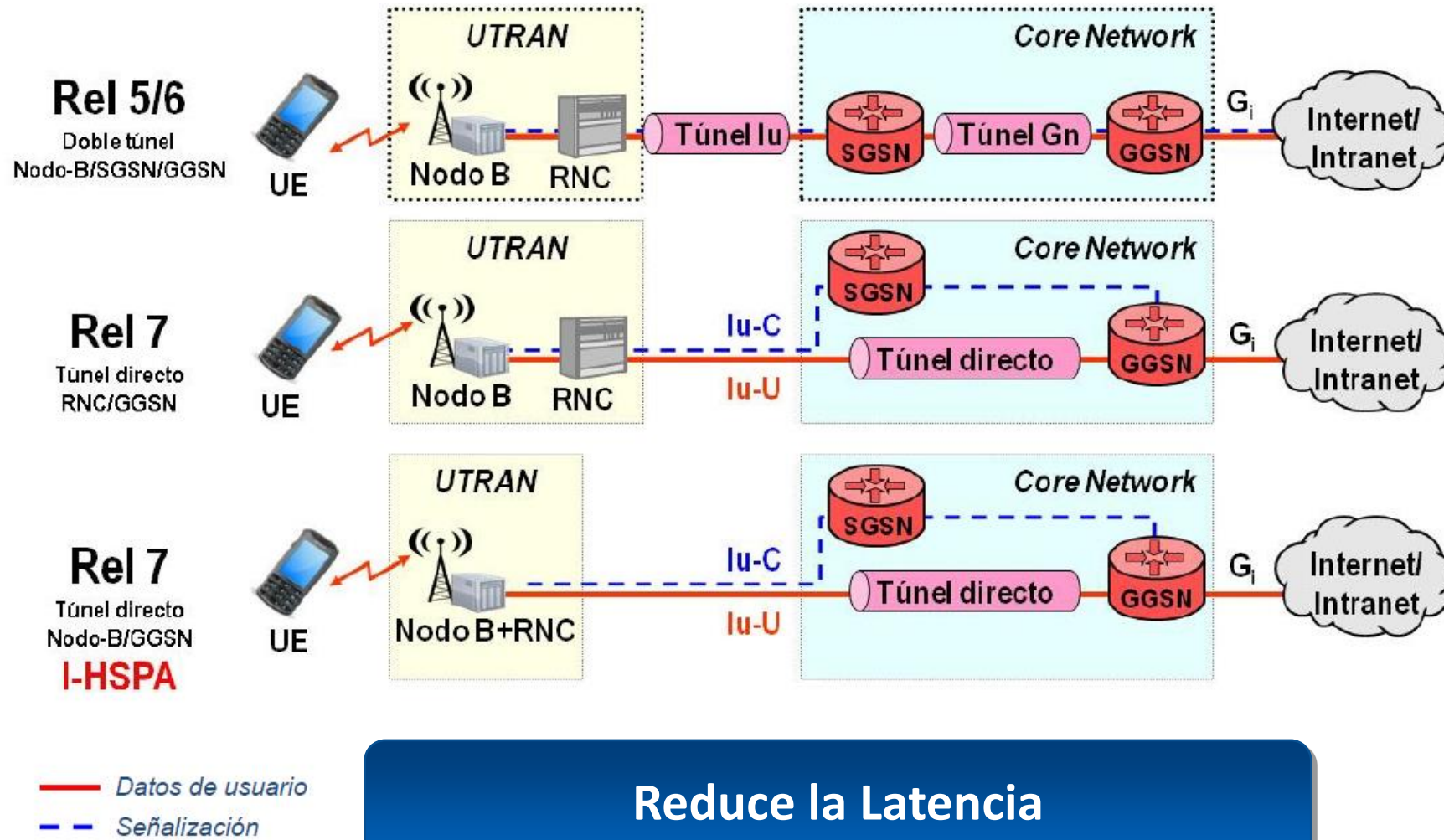


Se trata de una red de Conmutación de Circuitos no óptima para tráfico de Internet.



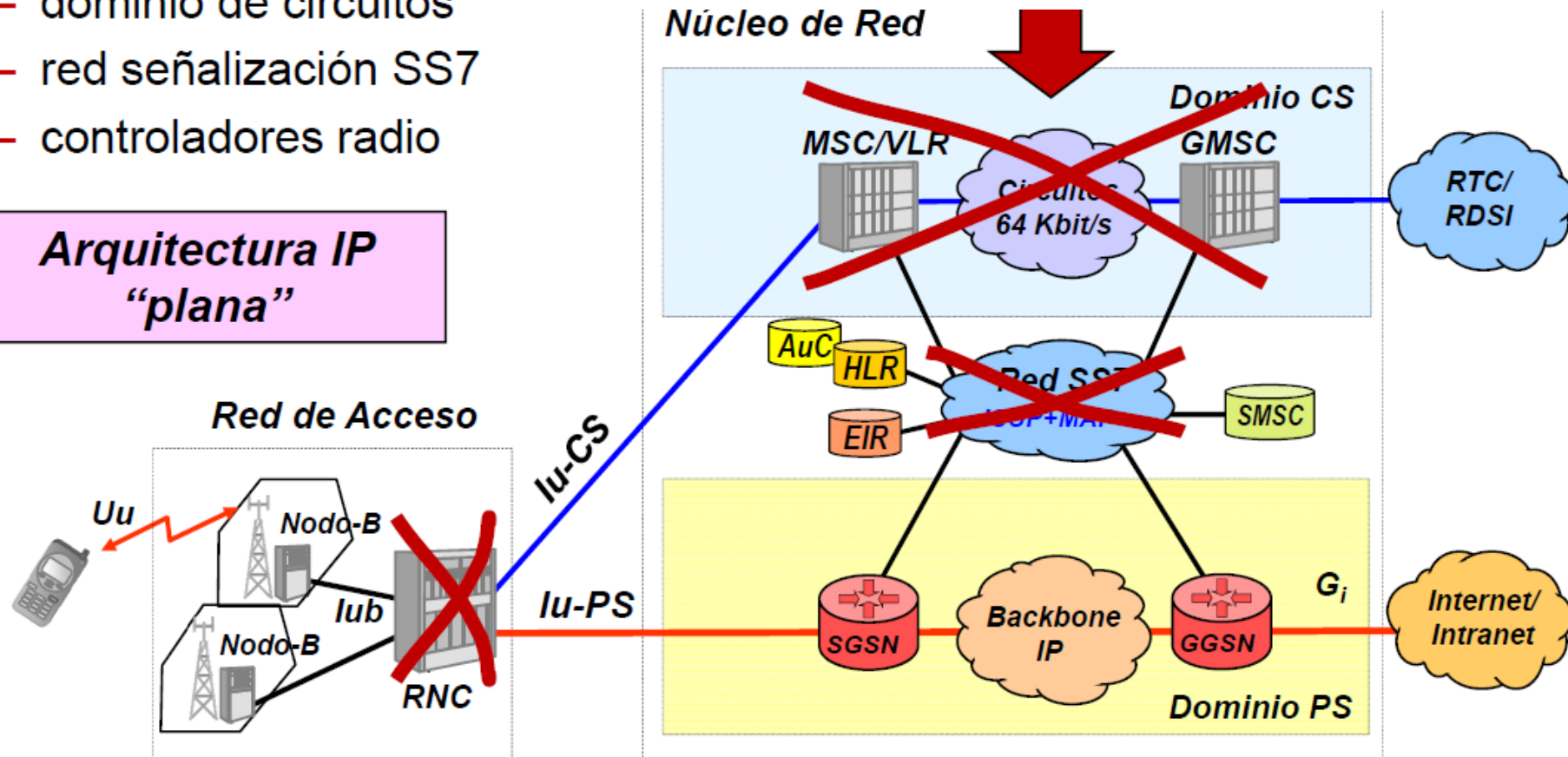


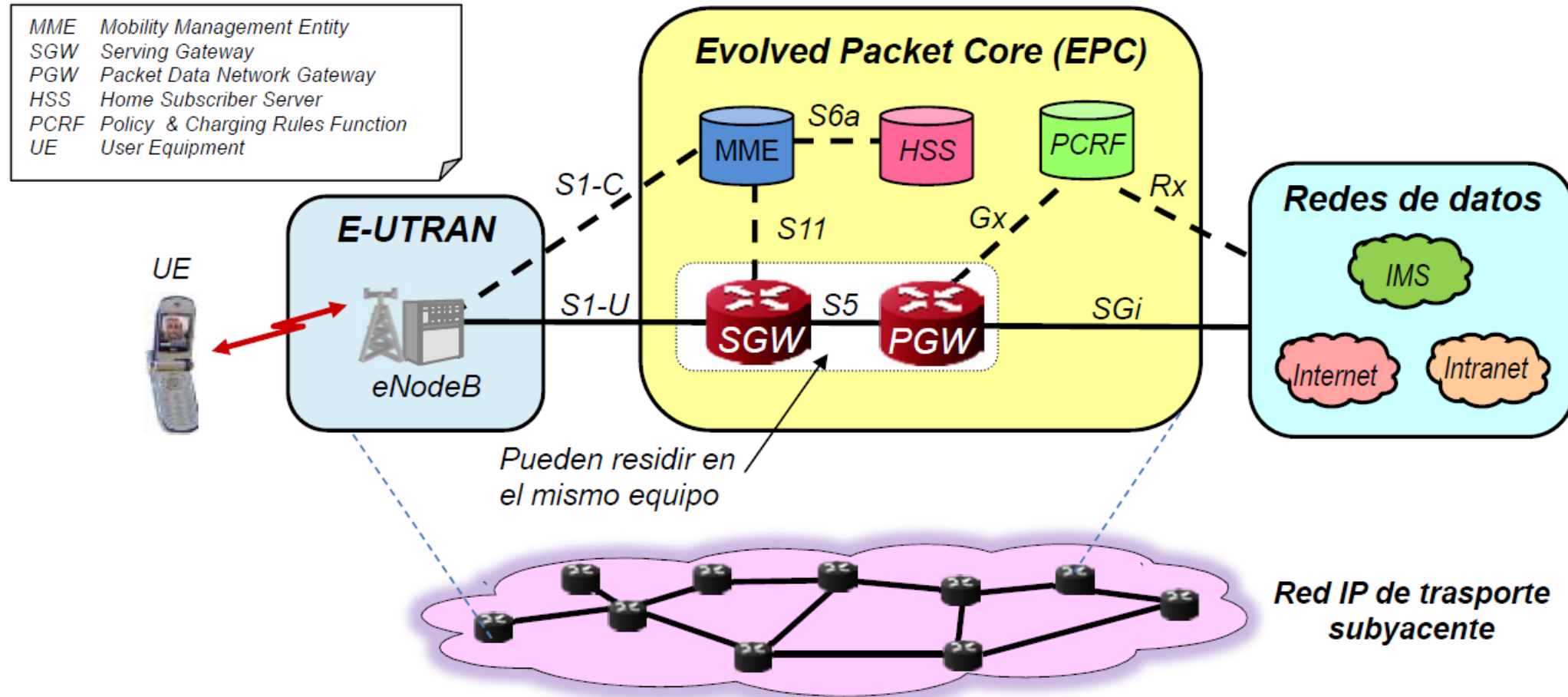
Red Específica para Transporte de Datos a Internet. BAM Banda Ancha Móvil



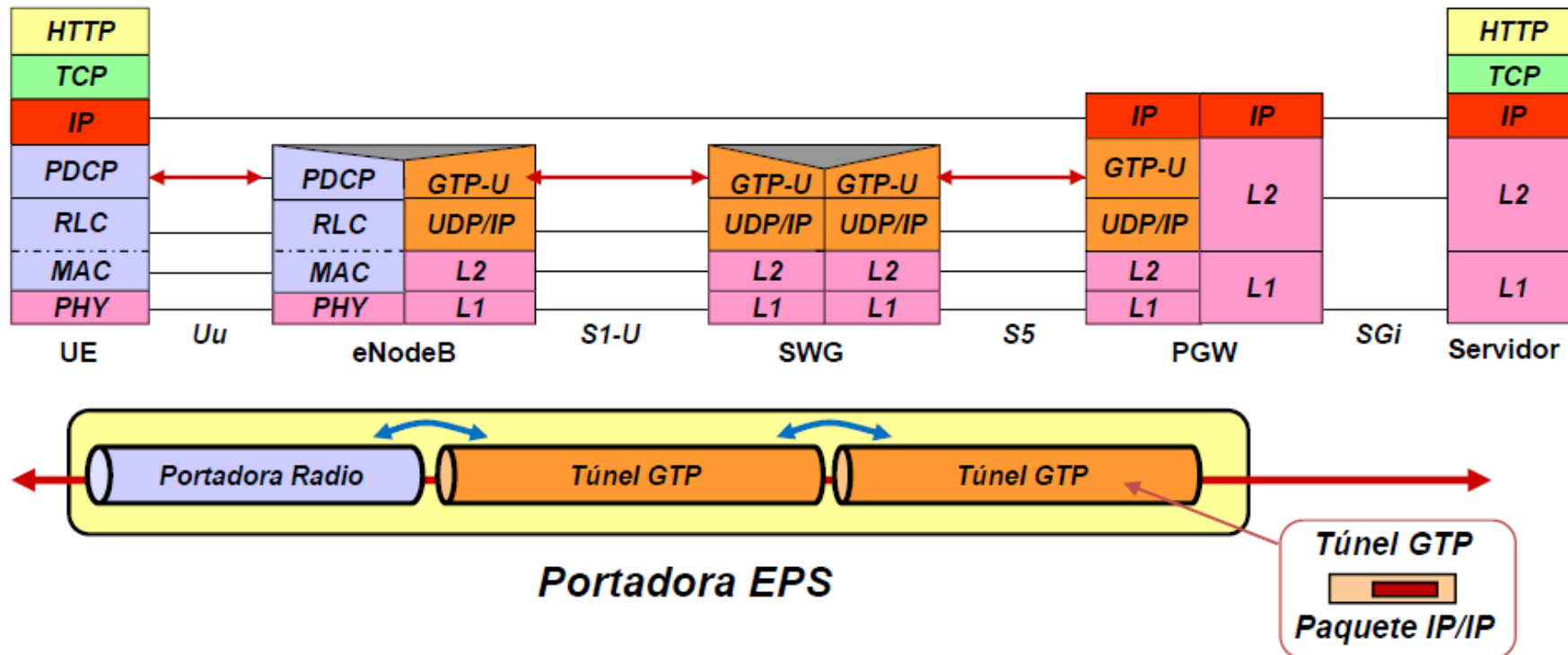
- Desaparición de:
  - dominio de circuitos
  - red señalización SS7
  - controladores radio

**Arquitectura IP  
“plana”**





- Especie de «circuitos virtuales» con QoS entre móvil y red externa (SGi)
  - Similar a contexto PDP de GPRS/UMTS
  - Establecimiento previo vía señalización (gestión de sesiones)
  - Reconfigurables en caso de movilidad (gestión de movilidad)
  - Hasta once portadoras EPS establecidas simultáneamente





## Una sola red, Múltiples Industrias

- **EMB: Enhanced Mobile Broadband (eMBB)**
- **MMC: Massive Machine Comm. (mMTC)**
- **CC: Critical Communication (URLLC)**

**Velocidad-Capacidad: 1Gbps-1M/km<sup>2</sup>**  
**Latencia: 1ms**  
**Alta Fiabilidad: 10pk/1Mpk (99,999%)**

**5G**

**100 Mbps/100ms**

**4G**

**Camino hacia la Industria (NB-IoT y LTE-M)**

**3G**

**2G**



## **MMTC<sup>1</sup>: Massive Mach Type Comm** **(mMTC)<sup>2</sup>**



Low Cost, Low Energy  
Small Data Volumes  
Massive Numbers

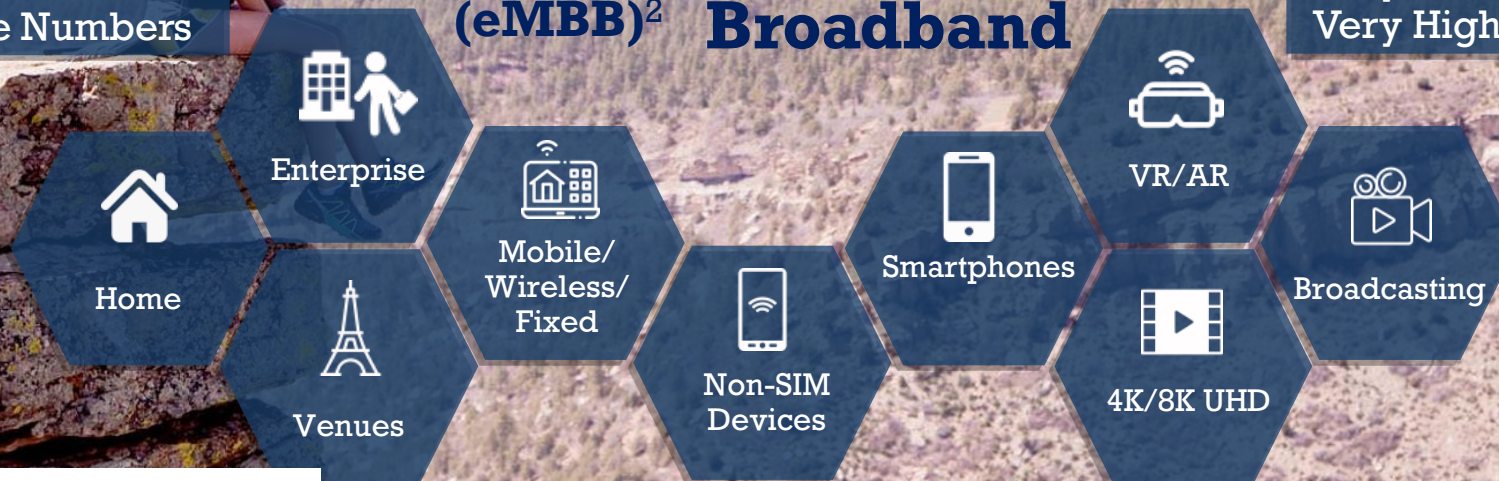
## **CC<sup>1</sup>:Critical Comm** **(URLLC)<sup>2</sup>**

(1): 3GPP, (2) ITU-R



Ultra Reliable  
Very Low Latency  
Very High Availability

## **EMB<sup>1</sup>: Enhance Mobile** **(eMBB)<sup>2</sup> Broadband**



- **mMTC**: Massive Machine Type Communications
- **URLLC**: Ultra Reliable Low Latency Communications
- **eMBB**: Enhanced Mobile Broadband





## Velocidad y Capacidad



Ondas Milimétricas



Small Cells



Massive MIMO



Beamforming



Full Duplex



## Latencia



Velocidad Procesamiento  
Nodos de Red



Edge Computing



## Fiabilidad



Network Slicing



Virtualización

## Comparativa


Specifications	Wi-Fi 6	5G
Technology	WLAN	Cellular
Standard	IEEE 802.11ax	3GPP Rel. 15 and beyond
Modulation	1024QAM	256QAM
MIMO	8T8R/12T12R-8 streams	Indoor: 4T4R-4 streams Outdoor: 64T64R-16 streams
Spectrum	Unlicensed	Licensed
Terminal Types	Various enterprise terminals (PCs, projectors, monitoring devices, etc.)	Mainly mobile terminals, few enterprise devices embedded with SIM cards
Security	5G cellular connections are more secure compare to unknown wifi connections. 5G will be as secure as 4G LTE today. 5G supports multiple authentication and key management features.	WiFi 6 supports WPA3 security protocols to provide high security.
Management	Enterprise management personnel	Carriers
Cost of deployment	Cheaper	Expensive
Application	Indoors	Outdoors

## Pros & Cons.


	Wi-Fi 6	5G
Pros	Mainstream enterprise wireless solution.(spectrum, terminals, easy and flexible deployment, better management, expenses.)	Leading wireless technology. (MIMO, service latency, mobile roaming, outdoor coverage)
Cons	Not perform well in large-scale outdoor coverage scenarios. Cannot meet the ultra-low latency requirements (< 10 ms).	Higher costs for indoor deployments. Weak terminal compatibility. Carriers must participate in 5G deployment.





 Calle Playa de Liencres, 2 bis  
(entrada por calle Rozabella)  
Parque Europa Empresarial  
Edificio Madrid  
28290 Las Rozas, Madrid

 900 373 379  [info@u-tad.com](mailto:info@u-tad.com)

 [SOLICITA MÁS INFORMACIÓN](#)



CENTRO ADSCRITO A:



PROYECTO COFINANCIADO POR:

