

# Comunicaciones Móviles

Area de Ingeniería Telemática  
<http://www.tlm.unavarra.es>

Area de Teoría de la Señal y Comunicaciones  
<http://csm.unavarra.es>

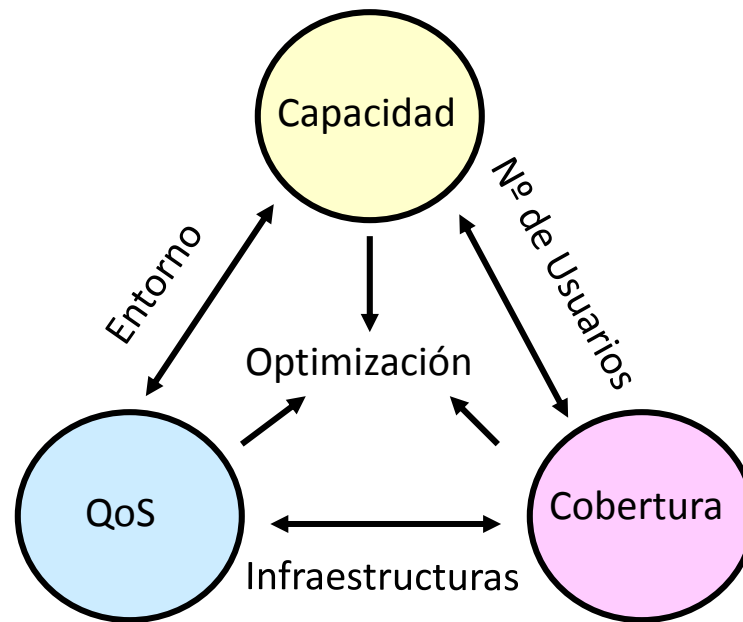
Grado en Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación, 3º

# Objetivos de esta Sección

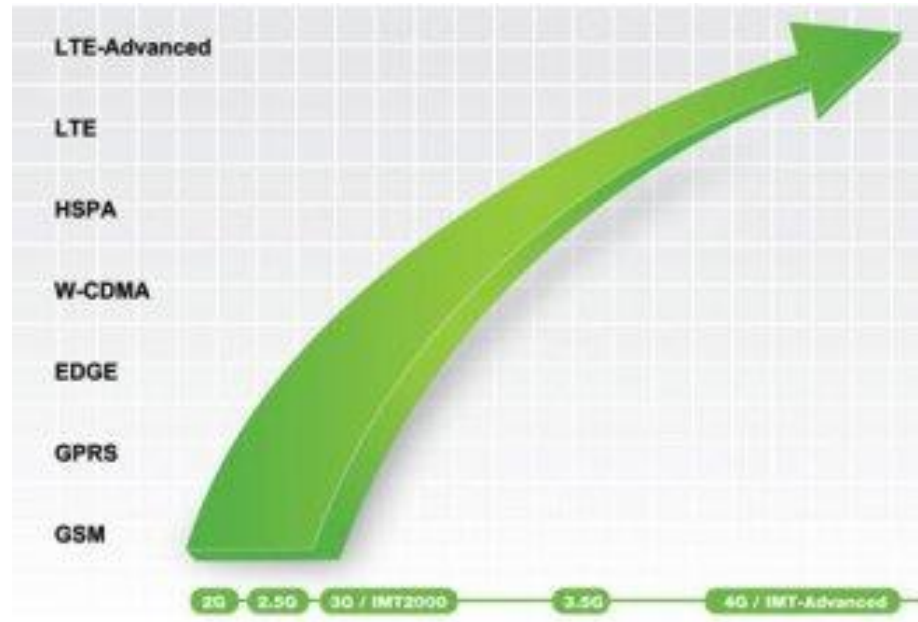
- Enumerar los **sistemas y servicios ofrecidos** por sistemas de comunicaciones móviles
- Comprender la **arquitectura de red y las funcionalidades** (especialmente en capa física) que los caracterizan
- Analizar los **datos en las correspondientes interfaces** (A, Gb, Iub), como **mecanismo de optimización de red en base a KPIs** (Key Performance Indicators)

# Planificación/Optimización

*Desarrollo de un conjunto de actividades tecno-económicas, con el objetivo de optimizar el despliegue de estaciones base, en número, ubicación y configuración de las mismas, para satisfacer unos determinados objetivos de **cobertura**, **capacidad** y **calidad** fijados para una red móvil*

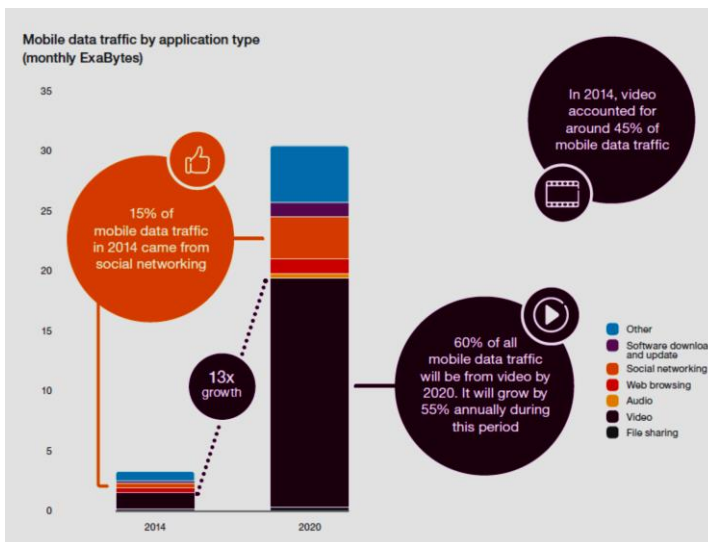
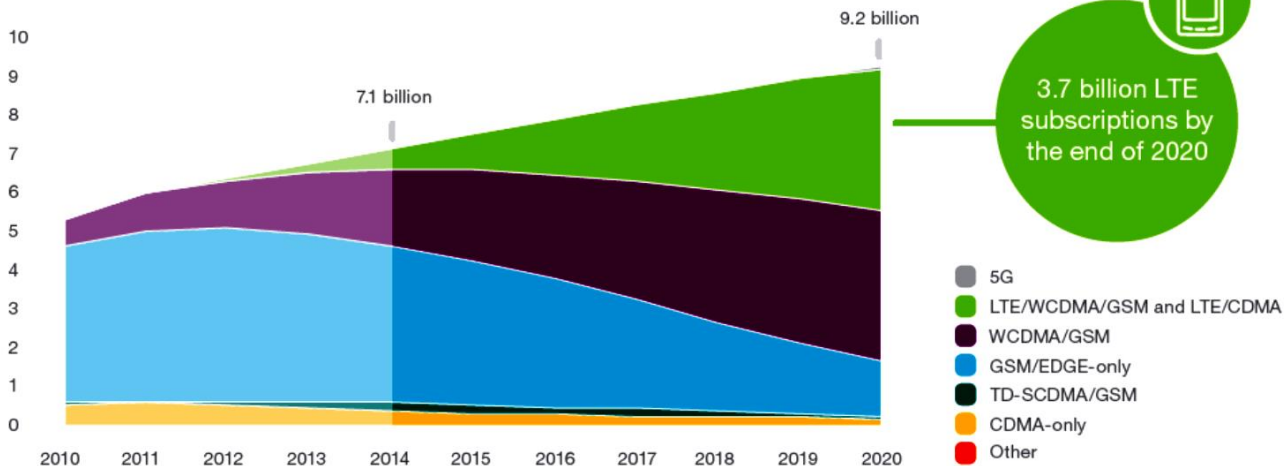


# Visión General de Sistemas Móviles



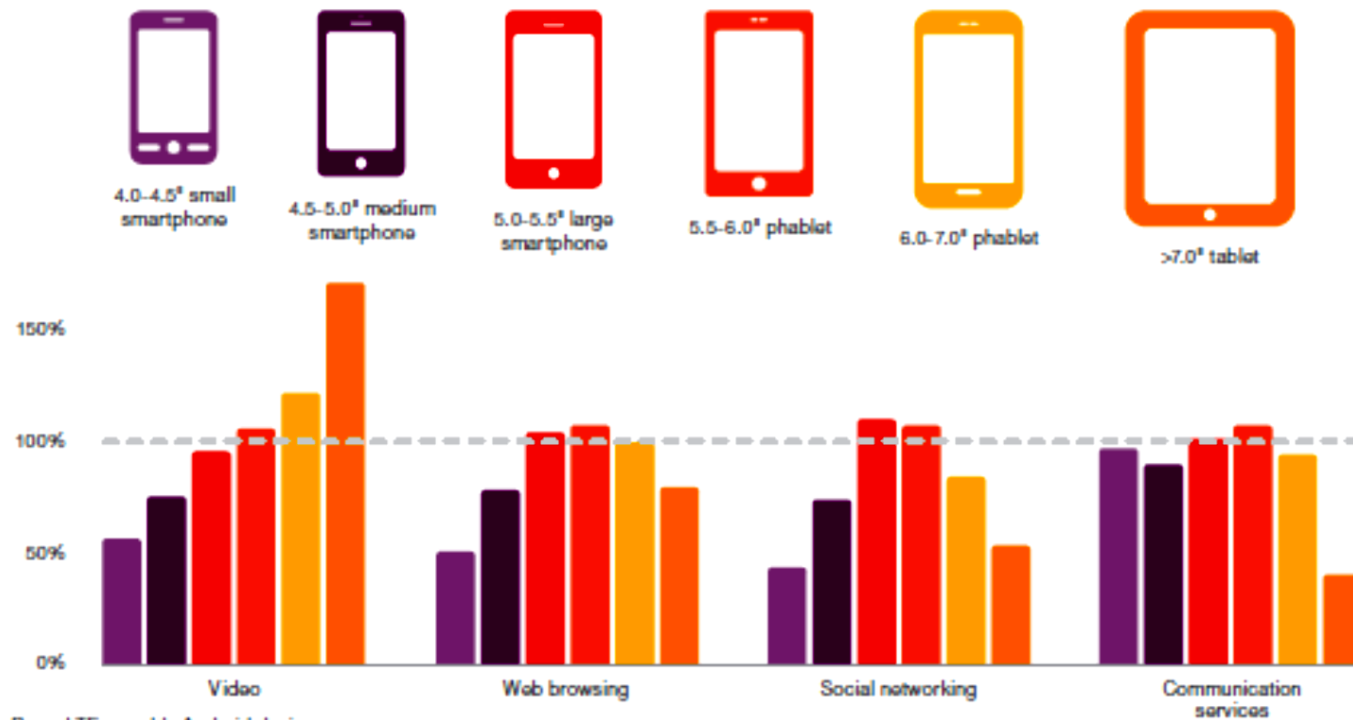
# Visión General de Sistemas Móviles

Mobile subscriptions by technology (billion)



# Visión General de Sistemas Móviles

Screen size impact on service usage (bytes)



Base: LTE-capable Android devices

Note: Percentages on the y-axis denote relative values compared to average per subscriber usage (100 percent) for the entire measured population

<sup>1</sup> A phablet is larger than a typical smartphone, but much smaller than most tablets and can be held and used in one hand

# Generaciones de sistemas de telefonía móvil

- **1G:** Sistemas analógicos
  - Servicios de voz y mensajería unidireccional
  - NMT, TACS, AMPS
- **2G:** Sistemas digitales
  - Servicios de voz y datos a baja velocidad en modo circuito
  - GSM, DECT, IS-95
- **2,5G:** Sistemas digitales con comunicaciones en modo paquete
  - Servicios de datos de velocidad media en modo paquete
  - GPRS, EDGE, 1xRTT
- **3G:** Sistemas digitales de banda ancha
  - Servicios de voz y datos de alta velocidad
  - UMTS, cdma2000
- **3.5G-3.9G:** Incremento de BW
  - HSPA: HSDPA (R5), EUL-HSUPA (R6)
  - HSPA+
- **4G:** Sistemas de alta velocidad y baja latencia
  - LTE
  - LTE Advanced
- **5G:** 802.11ac/802.11ad



# Consideraciones Operación

- En todos los sistemas de comunicaciones móviles, existe la necesidad de controlar diversos parámetros vinculados a:

## Datos de Usuario

## Datos de Control

- Debido a las necesidades de alta movilidad y la hostilidad de canal radioeléctrico, se requiere la implementación de **nuevas funcionalidades**, tanto a nivel de capa física como en niveles superiores.
- La interpretación y análisis de dichos parámetros, en diferentes niveles de red ayuda a **mejorar las prestaciones** de dichos sistemas móviles
- Para ello, es necesario conocer la arquitectura de la red y las funcionalidades propias de cada uno de los elementos de la misma (**nodos e interfaces**).



# Arquitectura de Red

TECNOLOGÍAS AVANZADAS  
 DE RED

RAN (Radio Acces Network)

**GSM (2G)**

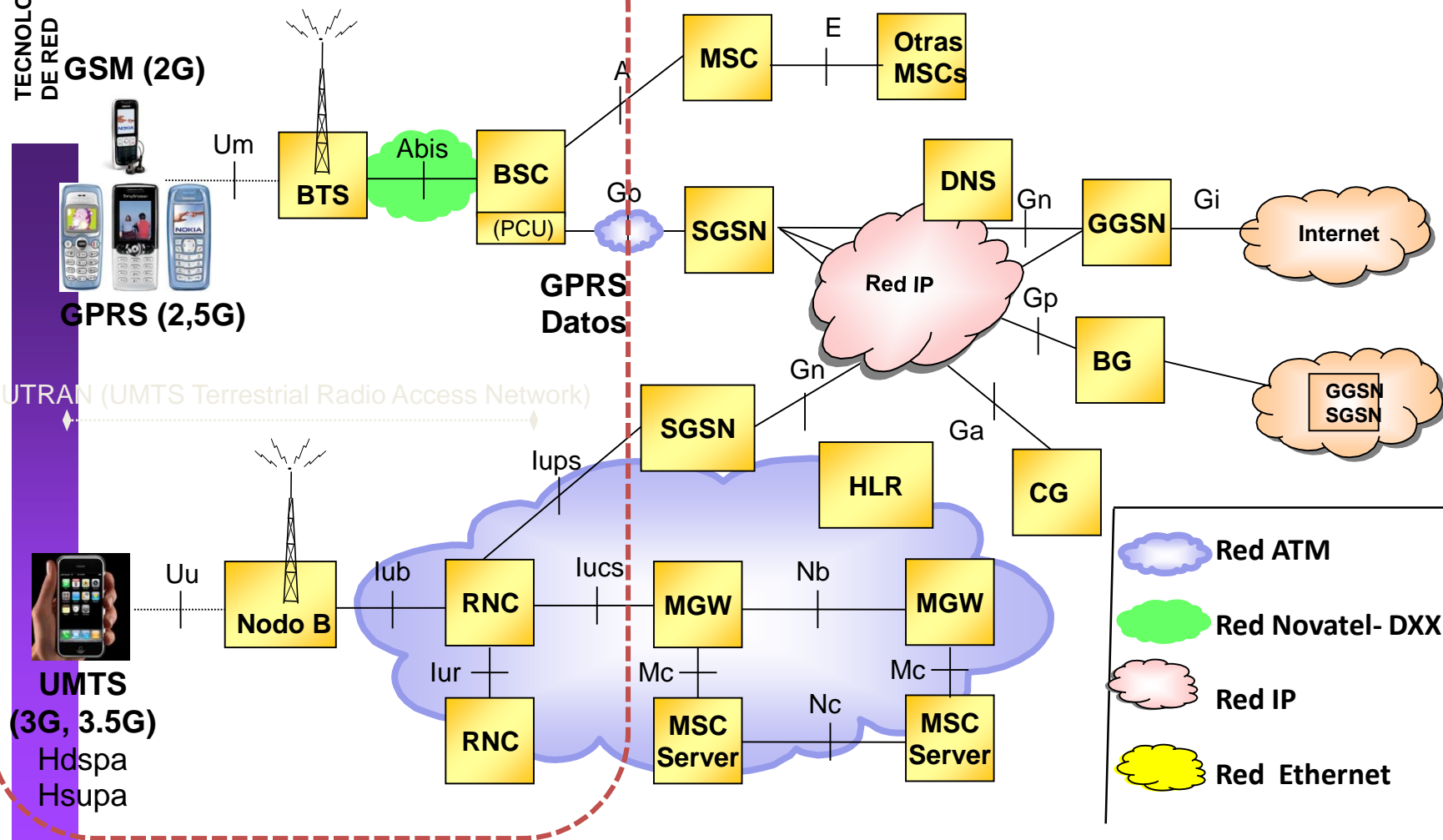
**GPRS (2,5G)**

**Movilidad: Red  
 de Acceso  
 Radio**

UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)

**UMTS  
 (3G, 3.5G)**

Hdspa  
 Hsupa



# Arquitectura de Red

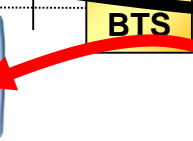
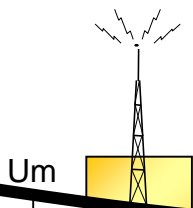
TECNOLOGÍAS AVANZADAS  
DE RED

RAN (Radio Acces Network)

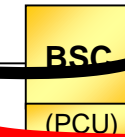
**GSM (2G)**



**GPRS (2,5G)**



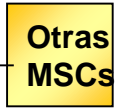
Abis



**GPRS  
Datos**



E



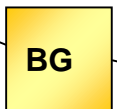
Gn



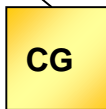
Gi



Gp



Ga



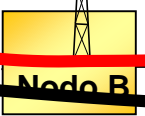
UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)

Iups



Gn

Uu



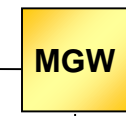
Iub



Iucs



Nb



Iur

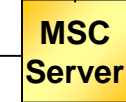


Mc



Nc

Mc



Llamada voz



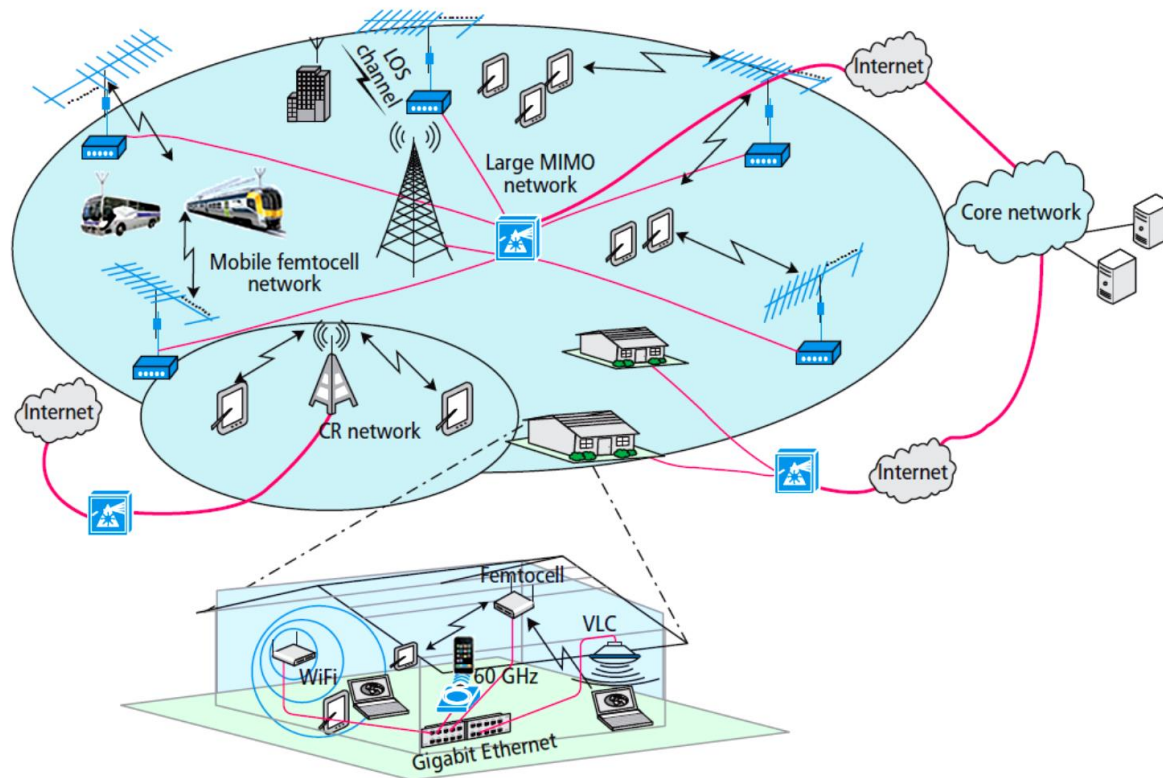
Llamada datos



**UMTS  
(3G, 3.5G)**

Hdspa  
Hsupa

# Arquitectura de Red



C. Wang et al., "Cellular Architecture and Key Technologies for 5G Wireless Communication Networks", IEEE Communications Magazine • February 2014

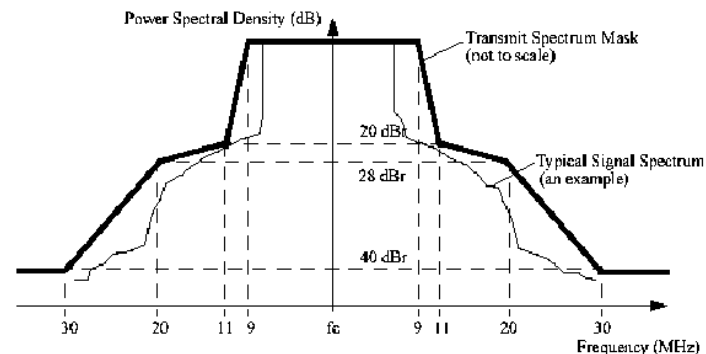
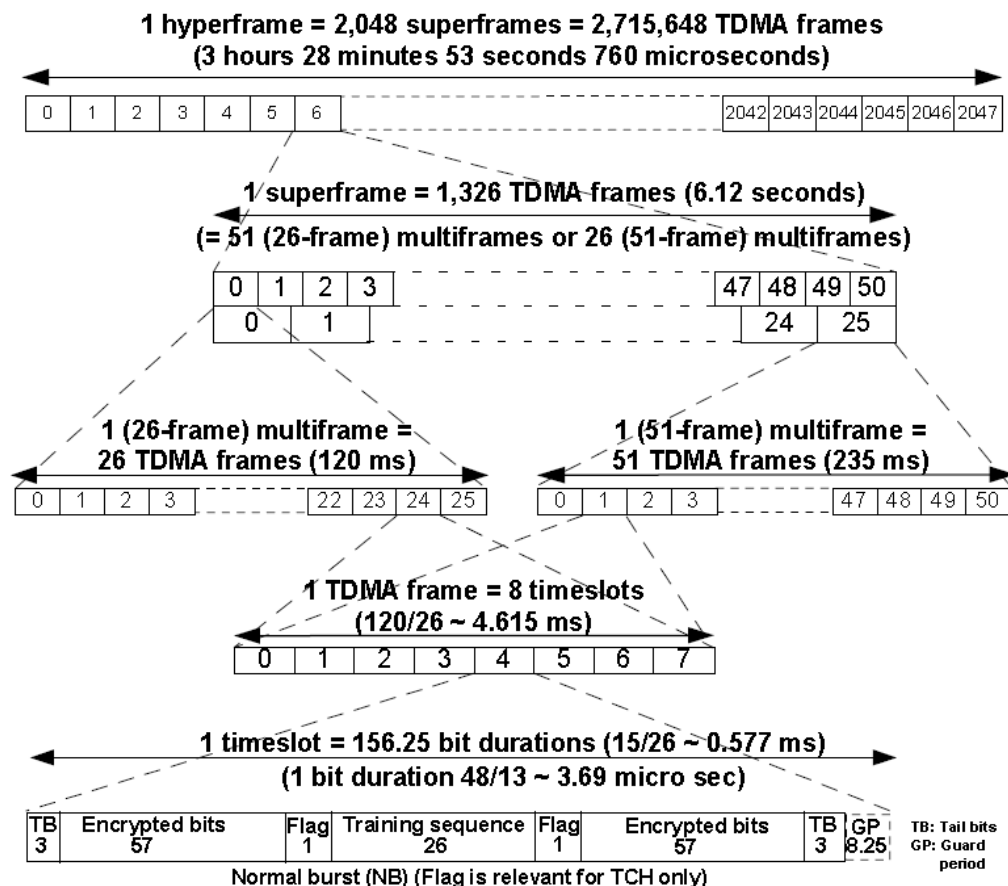
# GSM

- GSM: Global System For Mobile Communications
- Sistema Digital Extremo a Extremo
- Capa Física:
  - Canalización espectral en bandas de 900MHz/1800 MHz (sistema DCS)
  - Modulación GMSK, de fase mínima
  - Canalización espectral de 200 KHz
  - Multiplexación FDMA/TDMA, con 8 usuarios por trama, con una duración de tramas de 4.625ms
  - Sistema Celular, con capacidad para estructura jerárquica de células
- Se ofrecen servicios de voz, SMS y datos de baja velocidad (9.6Kbps)

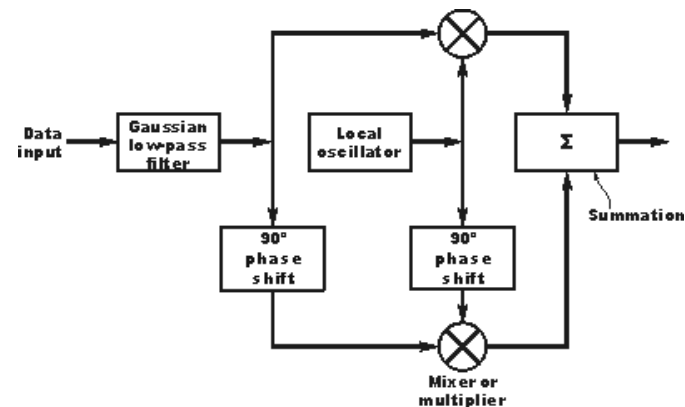
# GSM

- MS: Terminal Móvil + SIM (asignado a los usuarios)
- BTS: Base Transceiver Station
  - Establece canales radioeléctricos
  - Contiene TRX/Sistemas Radiantes/Sistemas de Transmisión
  - Se subdividen en función de su radio de cobertura y de su localización
- BSC: Base Station Controller
  - Gestiona la movilidad de los enlaces de conmutación de circuitos
  - Gestiona los recursos radioeléctricos
  - Alarmas y Operación
- MSC: Mobile Switching Center
  - Elemento de conmutación

# GSM



## Máscara Espectral Modulador GMSK

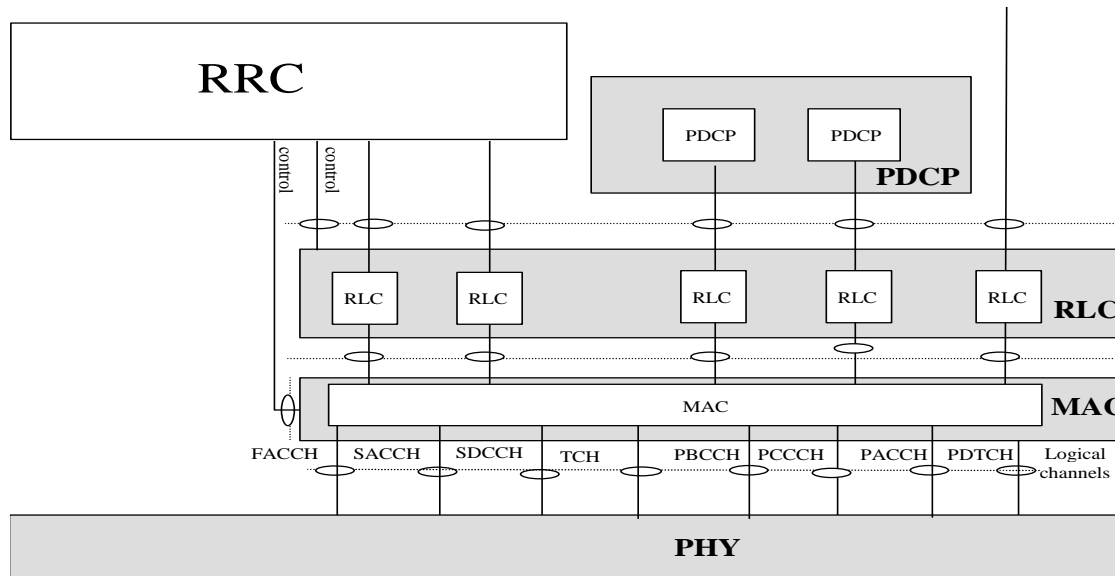


## Estructura de Tramas

# GSM

- Existen funcionalidades para poder dotar de movilidad al sistema.
- Esto implica el empleo de recursos de señalización embebidos en la comunicación (SS7), que pueden ir desde capa física hasta nivel de usuario
- Por ejemplo:
  - Modo Idle (proceso de selección y re-selección celular)
  - Handover
  - Control de Potencia
  - Control de Acceso/Admisión
  - Salto en Frecuencia
- El funcionamiento de dichas funcionalidades queda descrito mediante el intercambio de mensajes de señalización en las diferentes interfaces (A/A-bis)

# GSM



PDCH: Packet Data Channel  
 PDCP: Packet Data Convergence Protocol  
 PBCCH: Packet BCCH  
 FACCH: Fast Associated Control Channel  
 SACCH: Slow Associated Control Channel  
 SDCCH: Stand-alone Dedicated Control Channel

**RRC: Radio Resource Control (plano de control, capa 3)**  
**RLC: Radio Link Control (nexo entre BSS y capa MAC)**

**Arquitectura del Protocolo de Interfaz Radio**  
**3GPP TS 44.160 V11.0.0 (2012-09)**



# GSM

| GRUPO     | NOMBRE             | SENTIDO     | FUNCIÓN  |
|-----------|--------------------|-------------|--|
| Comunes   | BCCH               | Descendente | Radiodifusión  |
|           | FCCH               | Descendente | Adquisición de frecuencia  |
|           | SCH                | Descendente | Sincronización temporal  |
|           | PCH                | Descendente | Búsqueda   |
|           | AGCH               | Descendente | Concesión de acceso  |
|           | NCH                | Descendente | Notificación a un grupo  |
|           | RACH               | Ascendente  | Acceso aleatorio   |
|           | CBCH               |             | Difusión de mensajes cortos  |
| Dedicados | TCH/F, TCH/H       | Ambos       | Información de tráfico   |
|           | SACCH/TF, SACCH/TH | Ambos       | Señalización asociada (canal lento: gestión de movilidad y recursos radio) |
|           | FACCH/F, FACCH/H   | Ambos       | Señalización asociada urgente (canal rápido: gestión de traspasos)         |
|           | SDCCH              | Ambos       | Resto de señalización asociada   |

Arquitectura del Protocolo de Interfaz Radio  
 3GPP TS 44.160 V11.0.0 (2012-09)

# GSM: Funcionalidades

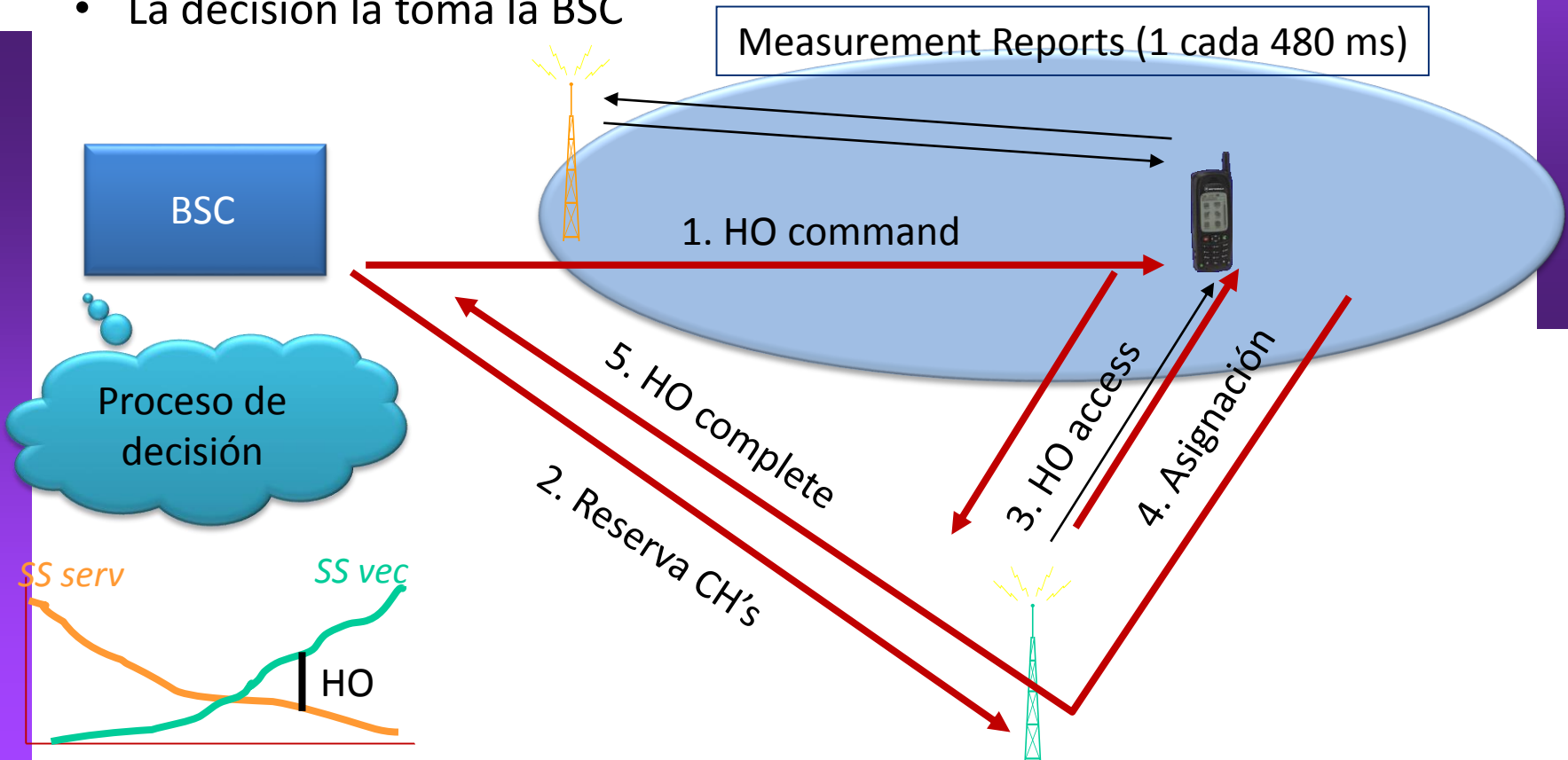
- Con el fin de poder llevar a cabo las diferentes operativas del sistema, es necesario contar con una serie de **funcionalidades**
- Las funcionalidades se implementan en uno o varios nodos de la red, apoyándose en diversos **interfaces** entre ellos.
- Es necesario conocer la **parametrización** de dichas funcionalidades y el **servicio** que prestan en cada nodo, con el fin de **optimizar** el funcionamiento del sistema.
- Veamos ahora una serie de funcionalidades.....

# GSM: Re-Selección Celular

- El móvil supervisa **todos los canales del sistema GSM** (124 canales), y ordena estos canales de acuerdo con la intensidad de señal recibida
- Después intenta identificar por orden **una portadora BCCH**. Cuando lo consigue, intenta sincronizarse y leer los datos de información del sistema. Si puede utilizar el sistema, se registra y permanece supervisando el canal
- Cuando la intensidad de señal recibida no es suficiente, se inicia un **procedimiento de reelección**. Para ello el móvil debe seleccionar una de las seis mejores portadoras BCCH que reciba.

# GSM: Proceso de HO

- La movilidad se obtiene mediante traspaso entre diferentes sectores de cobertura
- Mediante el análisis de condiciones de señal recibida, calidad o congestión, se dirige el tráfico
- La decisión la toma la BSC



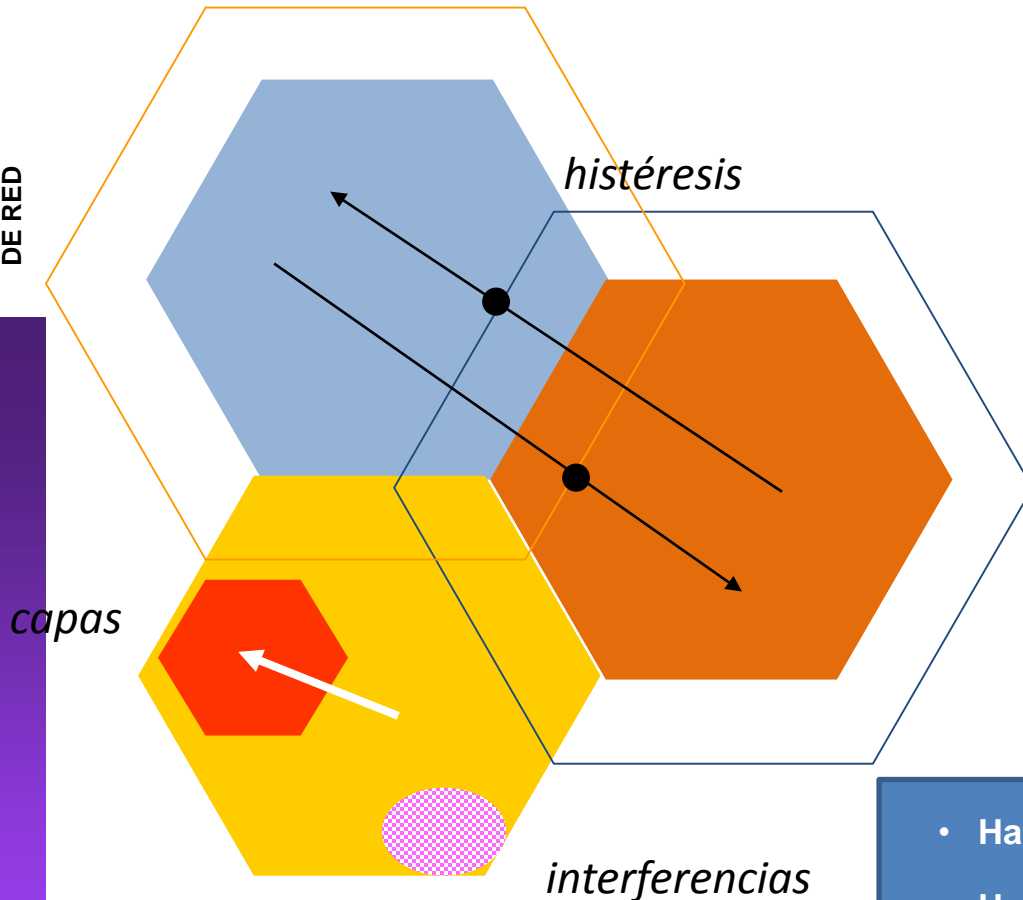
# GSM: Proceso de HO

- El sistema GSM tiene una arquitectura celular, de carácter variable:
  - Células de **distinto tamaño**
  - Configuraciones de estaciones con **sectores variables**
- El sistema sectorial es necesario por varios motivos:
  - Re-uso frecuencial
  - Contención por **cuestiones de capacidad**:
    - Canales de tráfico
    - Canales de paging (modo idle)
- La célula que sirve al terminal móvil en un instante determinado se denomina **célula servidora** y a las demás, detectables por el terminal, se denominan vecinas.
- El sistema se configura para que en cada instante de tiempo, el terminal esté conectado a la red a la mejor célula servidora, en términos de **nivel de señal recibida** o de **nivel de calidad (relación C/I)**.
- Al producirse el proceso de movilidad, la mejor servidora va cambiando, por lo que es necesario quitar enlaces radioeléctricos de menor calidad de servidoras antiguas para establecer una nueva servidora.
- Esto se denomina traspaso celular o **Hand Over (HO)**.





# GSM: Proceso de HO



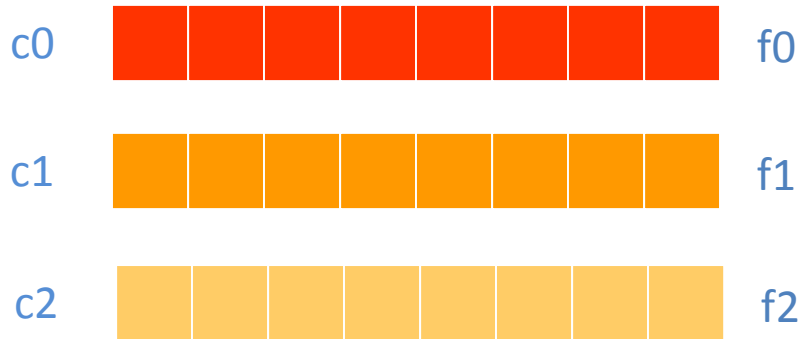
En GSM/DCS en todos los casos, se produce una ruptura transitoria del enlace y un nuevo enlace radioeléctrico. Esto se denomina Hard Handover

- ☐ Problemática compleja
- ☐ Rapidez en ejecución, pero amplia casuística
- ☐ Importancia de la definición de colindancias
- ☐ Handovers
  - ☐ intra-cell
  - ☐ intra-BSC
  - ☐ inter-BSC
  - ☐ inter-MSC

- Handover margin (o histéresis)
- Umbrales de handovers imperativos (nivel, calidad)
- Algoritmos de gestión de capas/bandas (macro/micro, GSM/DCS)...
- Filtros de promediado

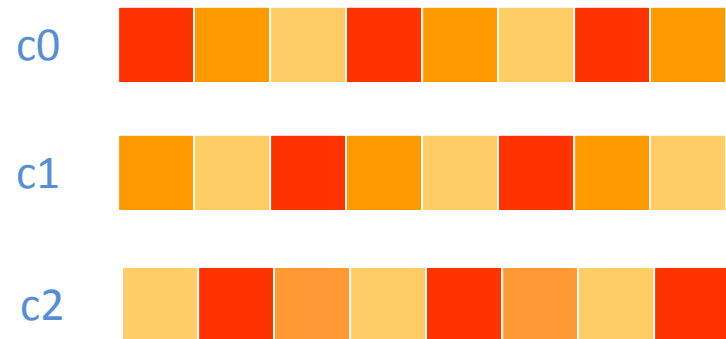
# GSM: Frequency Hopping

## Sin hopping



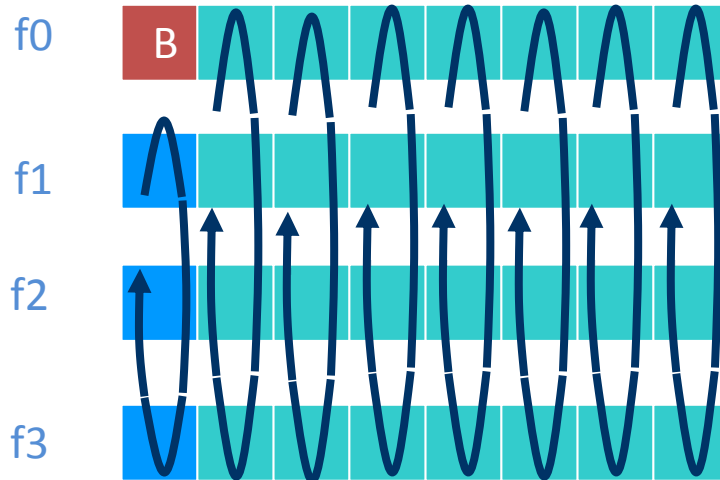
Si f0 interferida...

## Con hopping



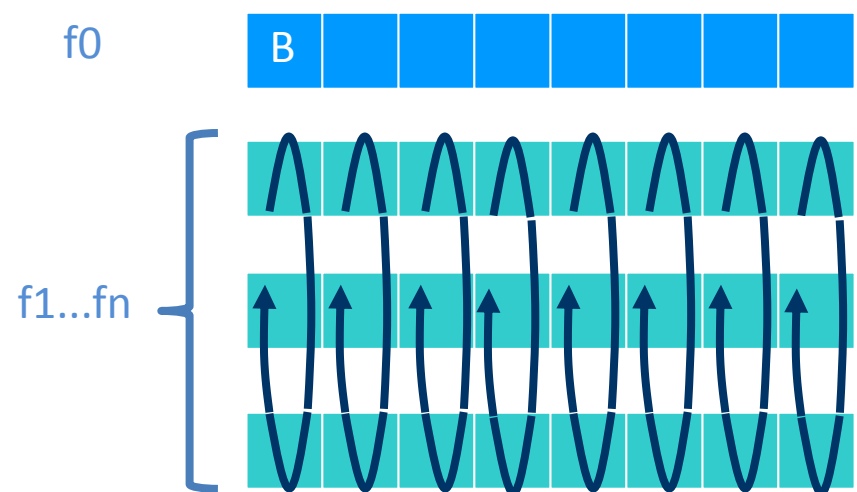
Se distribuye la interferencia

## BANDA BASE



- Nº frecs. Salto = Nº TRX's
- Útil con 4 ó más portadoras

## SINTETIZADO



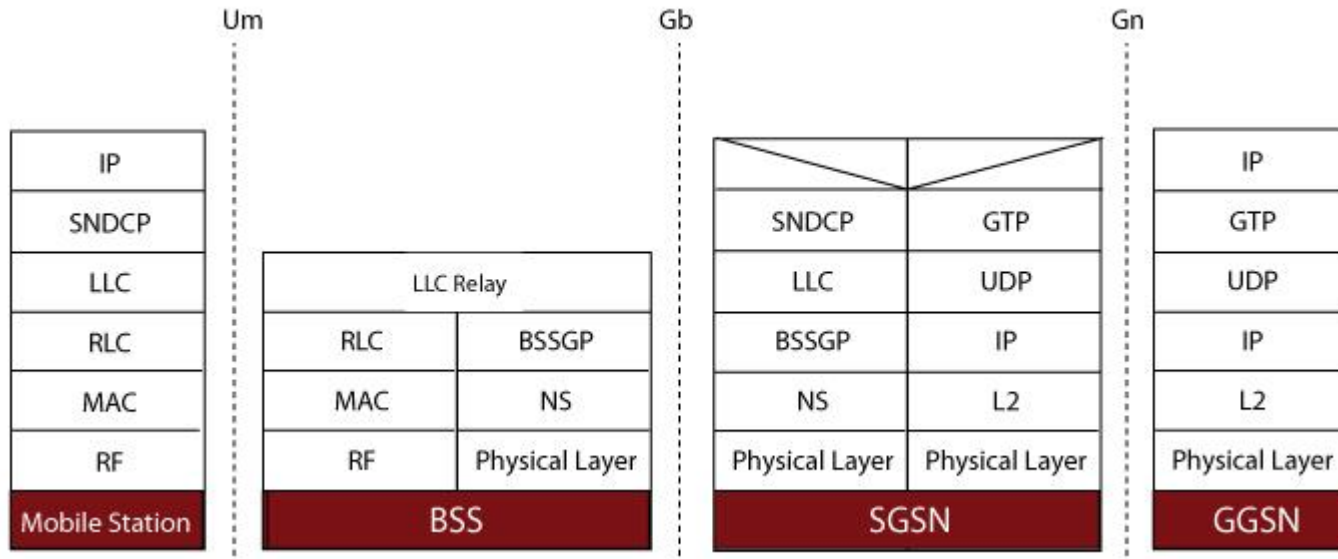
- Nº frecs. Salto > 2 \* Nº TRX's
- TRX BCCH no hace hopping

# GPRS

- El sistema GSM ofrece una capacidad de transmisión de datos reducida, sobre una red CS
- GPRS: Generalized Packet Radio Service
- Es una red PS, que se implementa sobre canales CS en la capa física de GSM
- La tasa binaria efectiva viene determinada por:
  - # Timeslots disponibles en zona GPRS
  - Esquema de codificación empleado
- GPRS se ha implementado sobre la señalización de GSM, por lo que es necesario analizar en capa física los bloques de información de sistema transportados por GSM



# GPRS-Protocolo



**SNDCP:** Sub Network Dependent Convergence Protocol

**BSSGP:** Base Station System GPRS Protocol

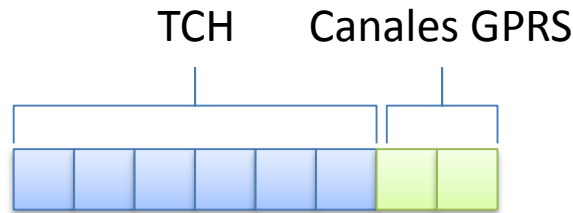
**GTP:** GPRS Tunneling Protocol

**LLC:** Logic Link Control

**RLC:** Radio Link Control

**NS:** Network Service

# GPRS



Trama GSM

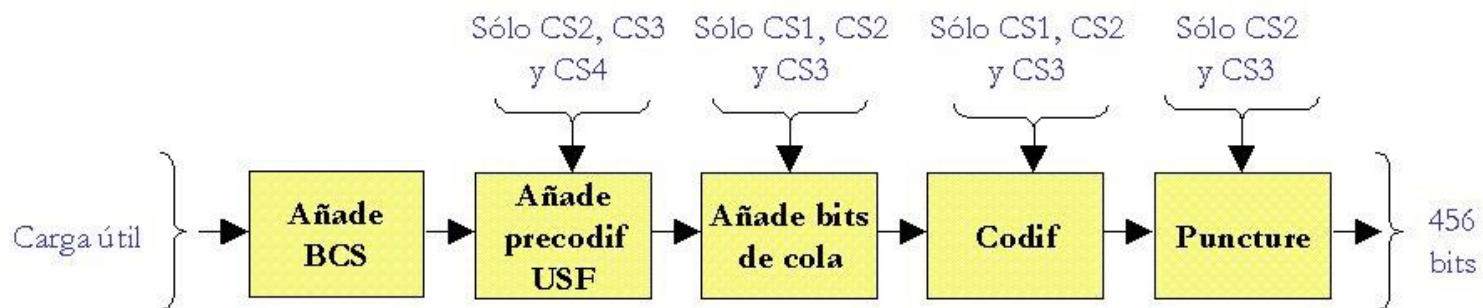
- ☐ Canales GPRS: se definen sobre un territorio GPRS
- ☐ Pueden ser dedicados o conmutables
- ☐ Definición asimétrica entre BTS y MS (en la práctica, limitado a 4 TS simultáneos)

| Scheme | Code rate | USF | Pre-coded USF | Radio Block excl. USF and BCS | BCS | Tail | Coded bits | Punctured bits |
|--------|-----------|-----|---------------|-------------------------------|-----|------|------------|----------------|
| CS-1   | ½         | 3   | 3             | 181                           | 40  | 4    | 456        | 0              |
| CS-2   | »2/3      | 3   | 6             | 268                           | 16  | 4    | 588        | 132            |
| CS-3   | »3/4      | 3   | 6             | 312                           | 16  | 4    | 676        | 220            |
| CS-4   | 1         | 3   | 12            | 428                           | 16  | -    | 456        | -              |

**Codificación de Canales GPRS**  
**3GPP TS 45.001 V11.0.0 (2012-09)**

# GPRS

| ESQUEMA DE CÓDIGO | BITS CODIF | BITS PUNCT | TASA BINARIA (kbps) | MÁX TASA BINARIA (kbps) MULTISLOT |
|-------------------|------------|------------|---------------------|-----------------------------------|
| CS-1              | 456        | 0          | 9,05                | 72,4                              |
| CS-2              | 588        | 132        | 13,4                | 107,2                             |
| CS-3              | 676        | 220        | 15,6                | 124,8                             |
| CS-4              | 456        | 0          | 21,4                | 171,2                             |

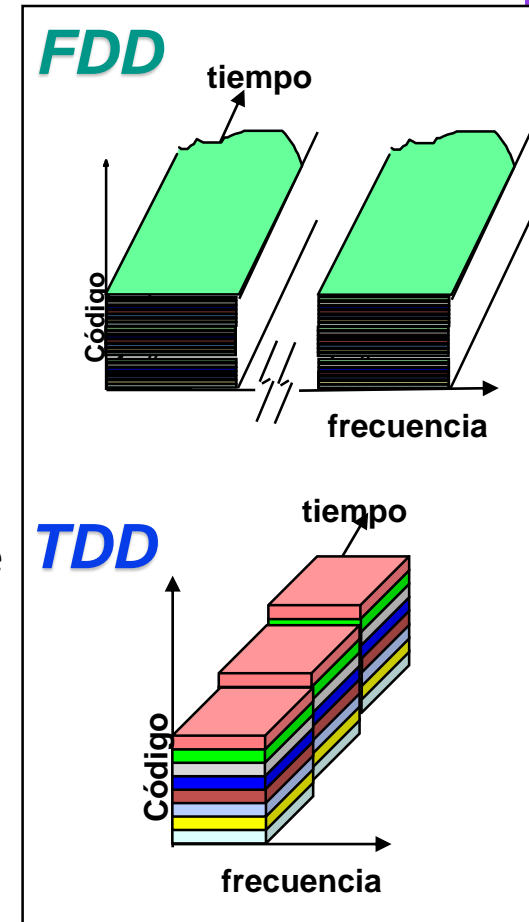


BCS : Block Check Sequence

USF : Uplink State Flag

# Interfaz radio WCDMA de UMTS: UTRA Características generales

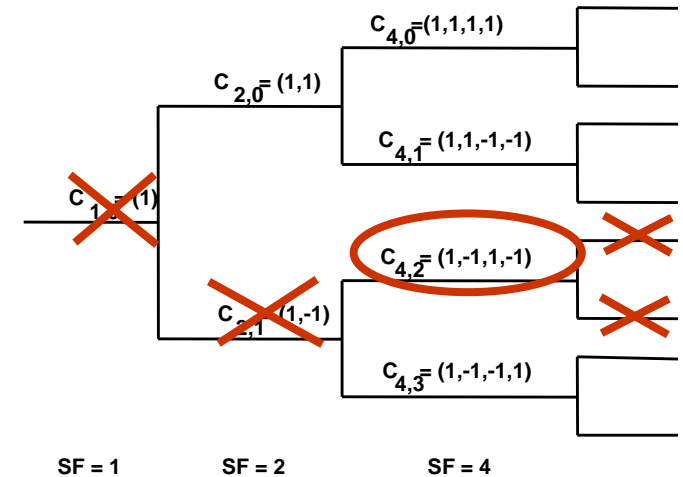
- Acceso múltiple DS-CDMA con chip rate: 3,84 Mchip/s.
- Tramas radio de 10 ms divididas en 15 slots
  - 1 slot=2560 chips
- Códigos con factor de ensanchamiento variable OVSF:
  - permite señales de tasa binaria diferente sobre la misma interfaz radio
- Control rápido de potencia, hasta 1500 Hz.
- Traspaso con continuidad (soft-handover) y protección frente a multitrayectos: receptores RAKE.
- Modos FDD (asíncrono) y TDD (síncrono)
- Modulación BPSK dual en ascendente y QPSK en descendente
- Protección frente a errores:
  - Entrelazado
  - Codificación de Canal
    - Códigos Convolucionales
    - Códigos Turbo



# Interfaz radio WCDMA multiservicio

UMTS es un sistema CDMA mixto:

- Se combinan secuencias pseudoaleatorias y secuencias ortogonales
  - Channelisation codes (ortogonales)
    - Se general con el árbol OVSF: secuencias ortogonales de diferente longitud
      - Diferentes tasas binarias se adaptan a la tasa de chip común (3,84 Mcps)
    - Producen el ensanchamiento de la señal
    - Diferencian las comunicaciones de una misma fuente (usuario o estación base)
- Scrambling codes (pseudoaleatorios)
  - No producen ensanchamiento
  - Códigos pseudoaleatorios de la misma longitud
  - Distinguen fuentes (usuarios o estación base)

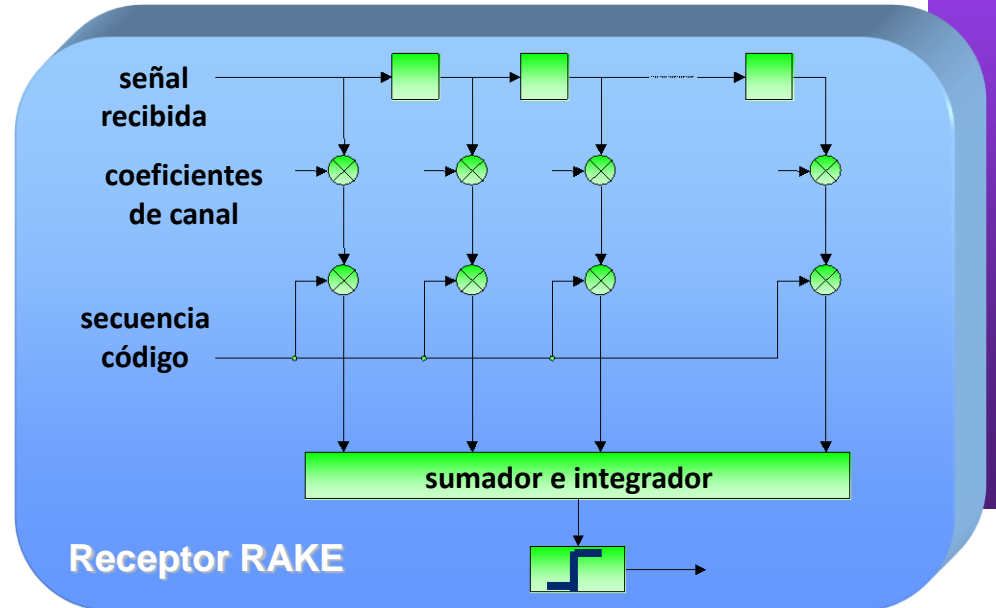


**Árbol OVSF**  
(Orthogonal Variable Spreading Factor)

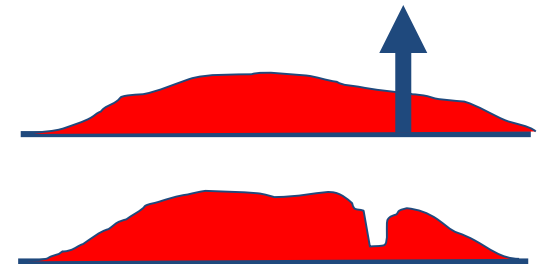
***Ensanchamiento = Canalización + Scrambling***

# Ventajas de las señales de espectro ensanchando DS-CDMA

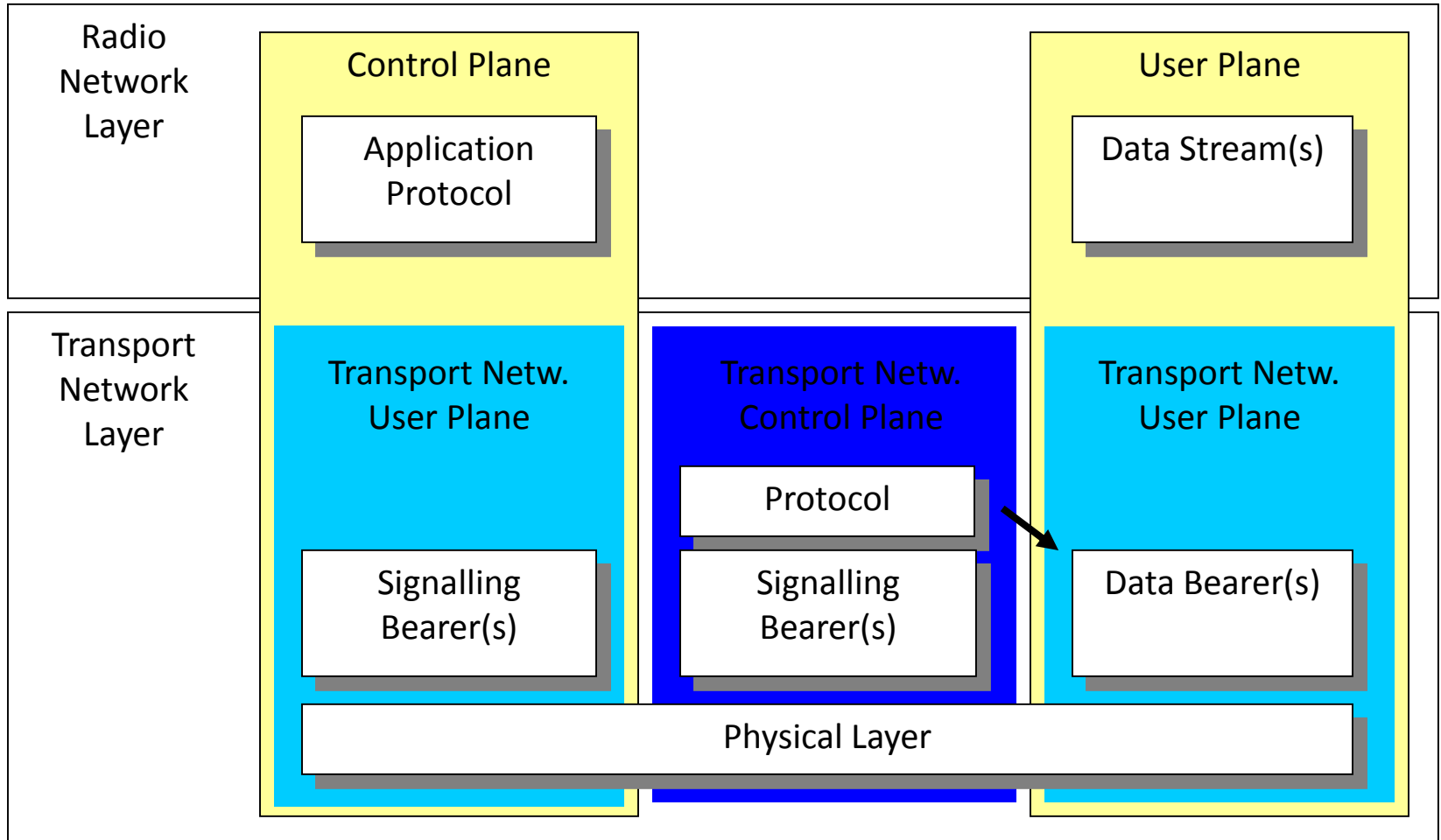
- Reducción de densidad espectral
- Privacidad
- Protección frente a interferencias de otros sistemas
  - De banda estrecha
  - De banda ancha
    - Depende de la correlación cruzada de la interferencia
- Resolución temporal y protección frente a multitrayecto:
  - Receptores RAKE
  - Cada rama: finger
  - 3GPP establece un número máximo de 6 fingers (uno de ellos searcher finger)



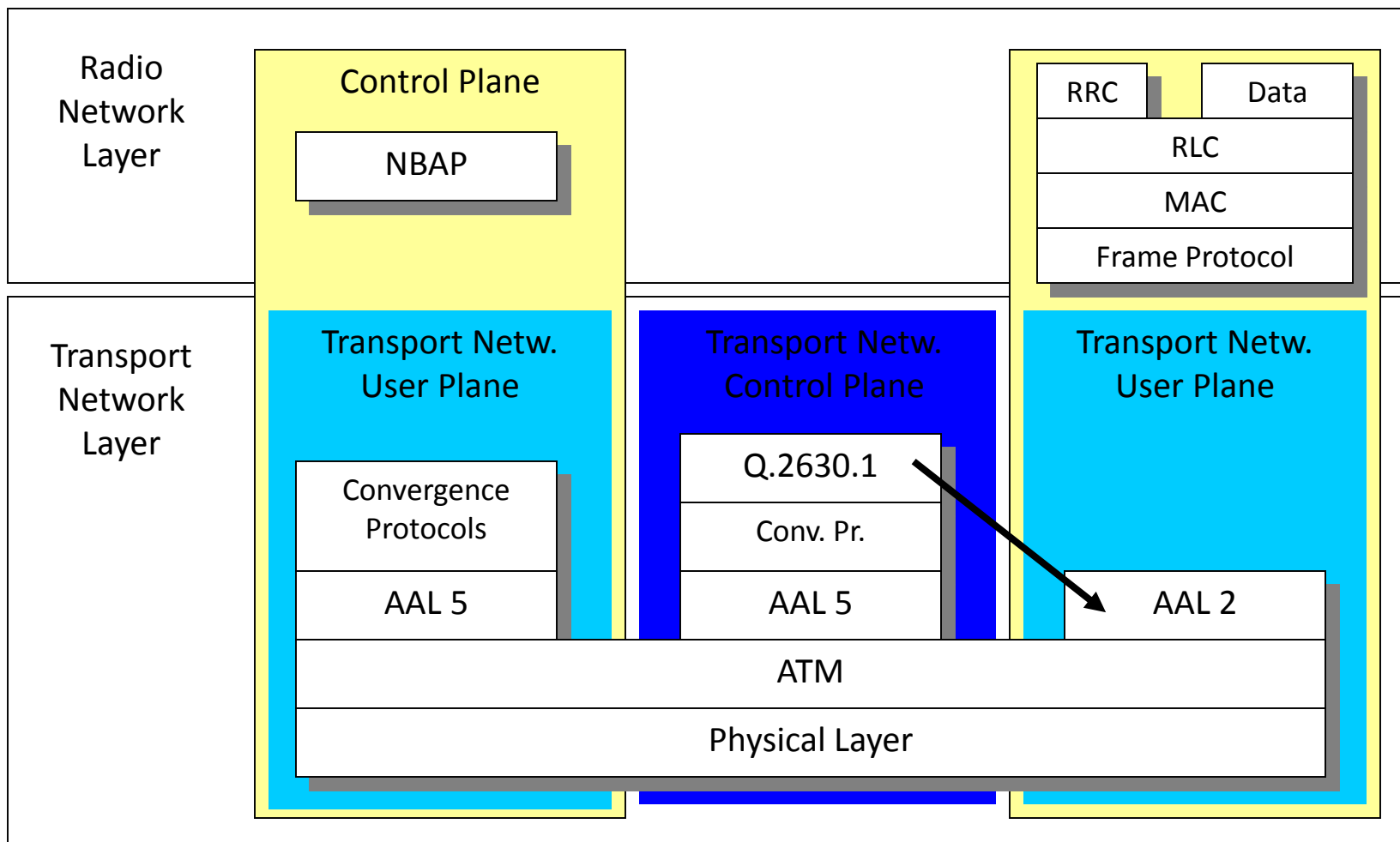
Inmunidad a  
perturbaciones de  
banda estrecha



# Modelo de Protocolo



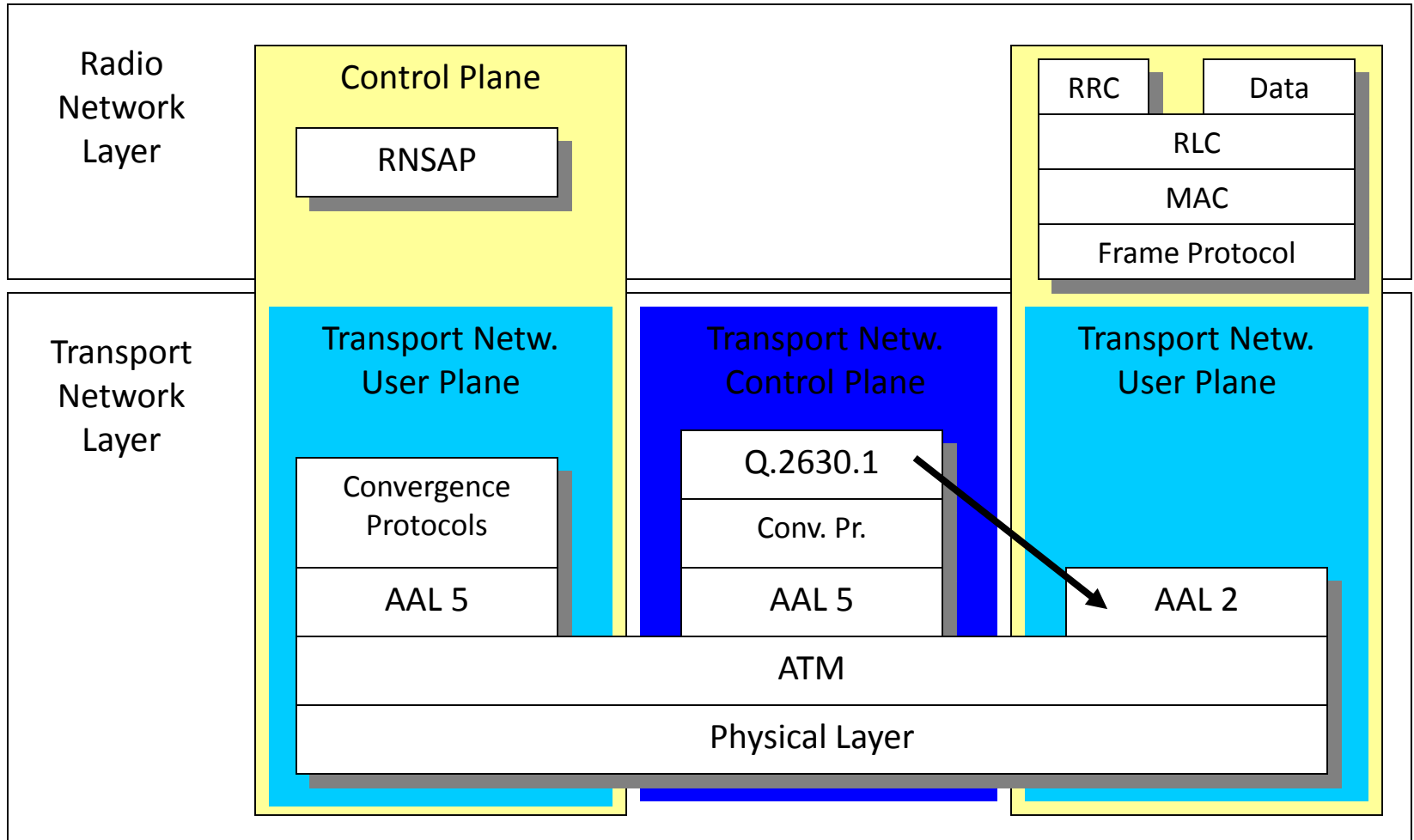
# Modelo de Protocolo-Iub



**NBAP: Node B Application Part**



# Modelo de Protocolo-Iur



**RNSAP: Radio Network Subsystem Application Part**

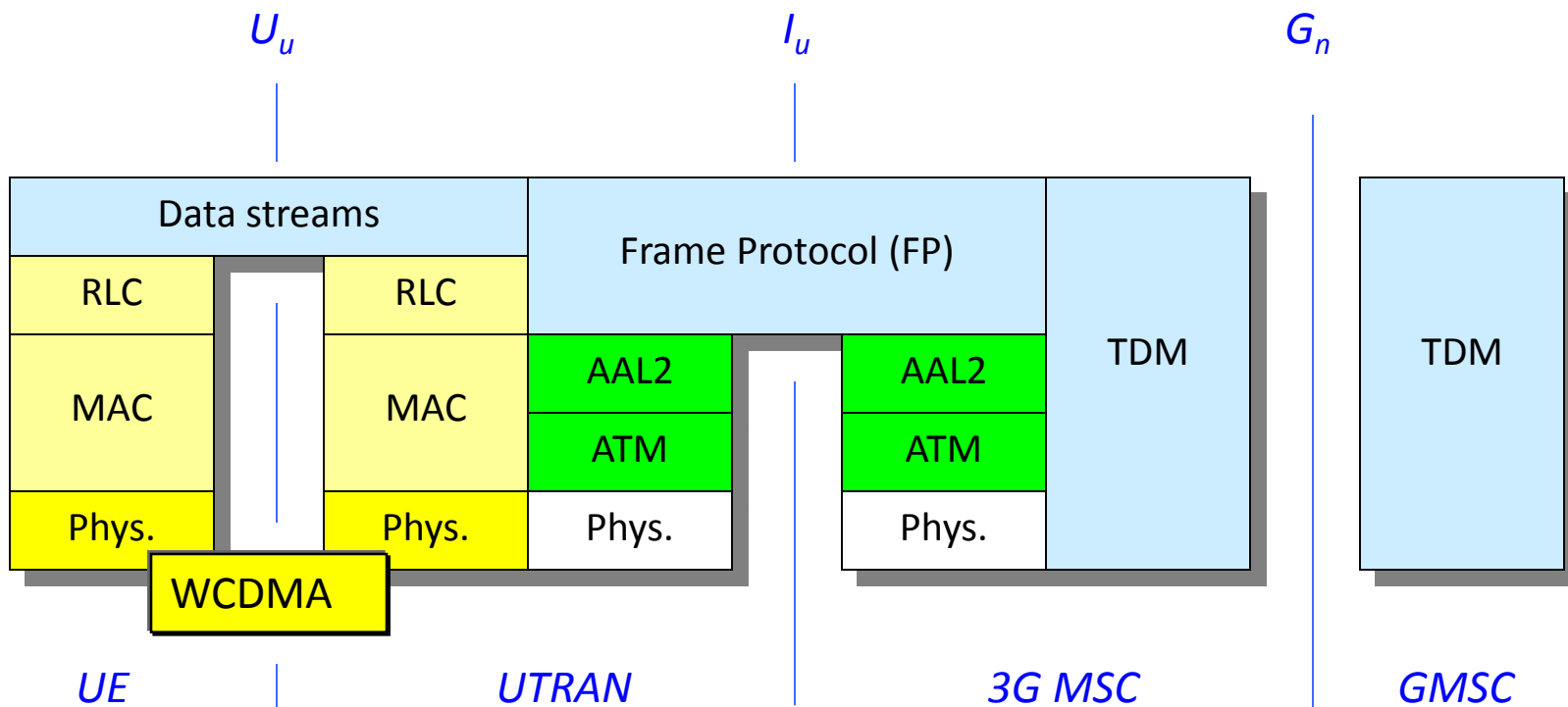
# QOS en UMTS

| Conversational | Streaming | Interactive | Background |
|----------------|-----------|-------------|------------|
|----------------|-----------|-------------|------------|

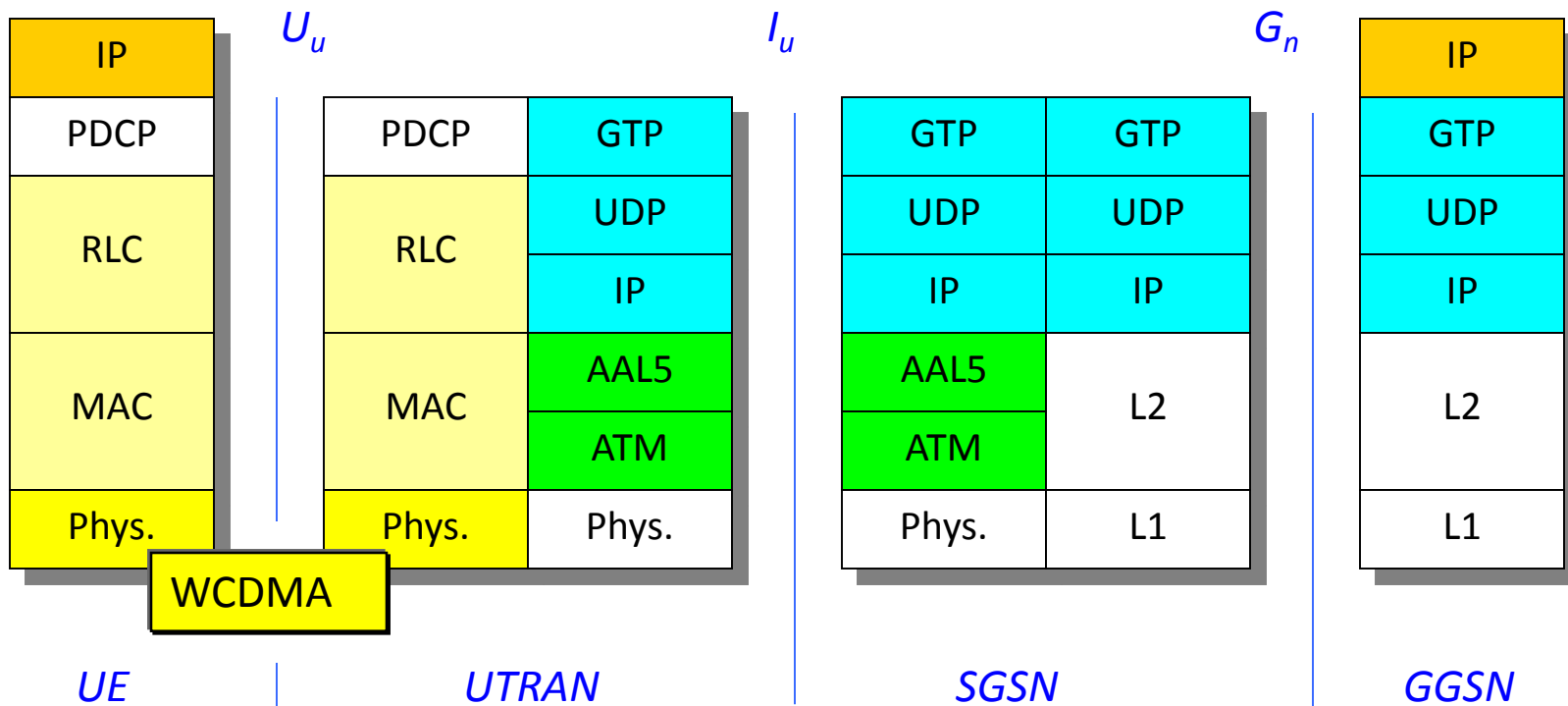
|                     |                               |                      |                       |
|---------------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------|
| low delay           | reasonably low delay          | low round-trip delay | delay is not critical |
| low delay variation | <i>basic QoS requirements</i> |                      |                       |

|                               |                 |                           |   |
|-------------------------------|-----------------|---------------------------|---|
| speech                        | video streaming | www applications          | store-and- forward applications (e-mail, SMS) |
| video telephony/ conferencing | audio streaming | <i>basic applications</i> | file transfer                                 |

# Plano de Usuario, CS



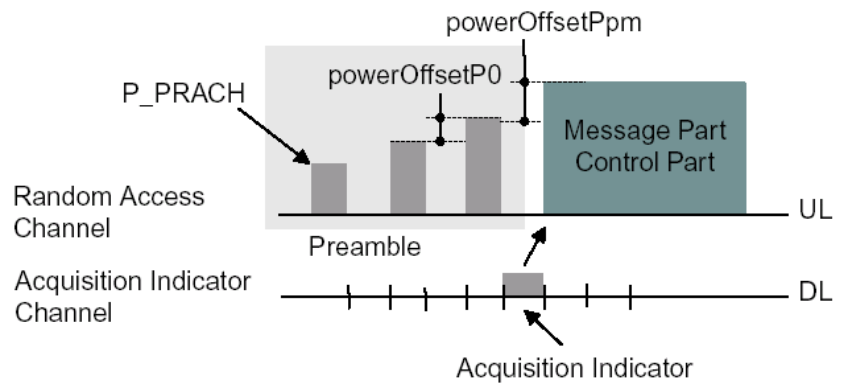
# Plano de Usuario, PS



# Control de potencia

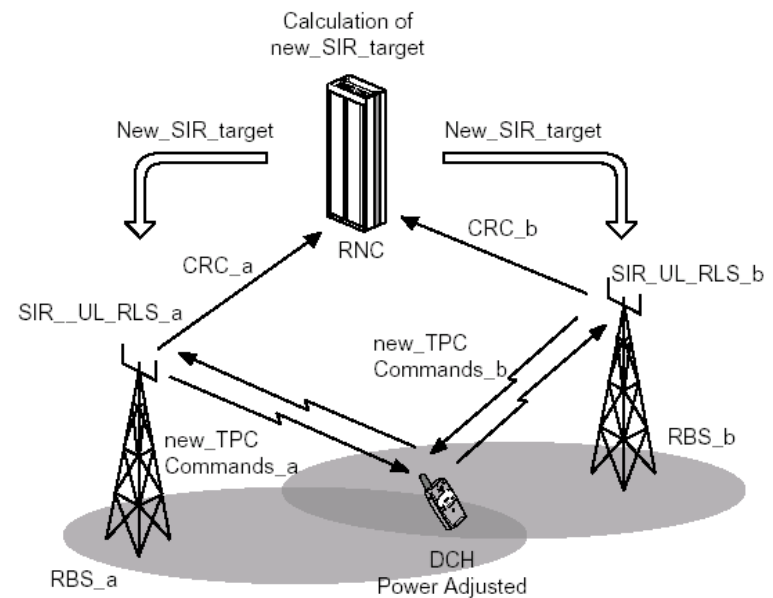
- ☐ Necesidad:
  - ☐ problema “cerca-lejos” característico de la detección mediante filtro adaptado (receptor Rake), que considera las señales no deseadas como interferencia.
  - ☐ Debe ser **dinámico**, ya que la atenuación varía con el tiempo y con la posición, y la potencia debe seguir estas variaciones.
- ☐ Fundamental en el **enlace ascendente**:
  - ☐ Los usuarios experimentan diferentes atenuaciones hasta la base en función de su posición.
- ☐ Enlace descendente:
  - ☐ Menos importante (todas las señales transmitidas de BTS experimentan misma atenuación). Se utiliza para:
    - ☐ Compensar el ruido térmico para los usuarios más alejados de sus bases.
    - ☐ Disminuir la interferencia externa de una célula sobre las demás
- ☐ Mecanismos de control de potencia en UMTS:
  - ☐ lazo abierto:
    - ☐ Se estiman las pérdidas de propagación en enlace descendente y se ajusta la potencia en el ascendente en consecuencia. Permite un ajuste promedio, no apto para compensar las rápidas variaciones del fading.
  - ☐ lazo cerrado:
    - ☐ comandos sube/baja potencia (hasta 1500 comandos/segundo) intercambiados entre el móvil y la base en ambos sentidos de transmisión
    - ☐ Dos tipos:
      - ☐ Inner loop: cumplimiento de la SIR objetivo
      - ☐ Outer loop: cumplimiento de la BLER objetivo

# Control de potencia



U 00 00056

Lazo Abierto



Lazo Cerrado

# Control de potencia

Ajuste de Potencia de CCH

RACH pot. preámbulo

RACH pot. mensaje

Ajuste Inicial DPCCH  
DPDCH

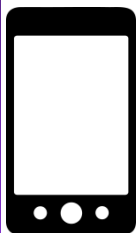
Pot. DPCCH inicial

Pot. DPDCH inicial

Lazo Cerrado Interno

Lazo Cerrado Externo

Ajuste de potencias  
de canal máximas y mínimas



UE

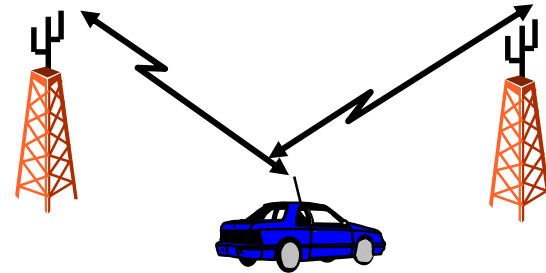
RBS



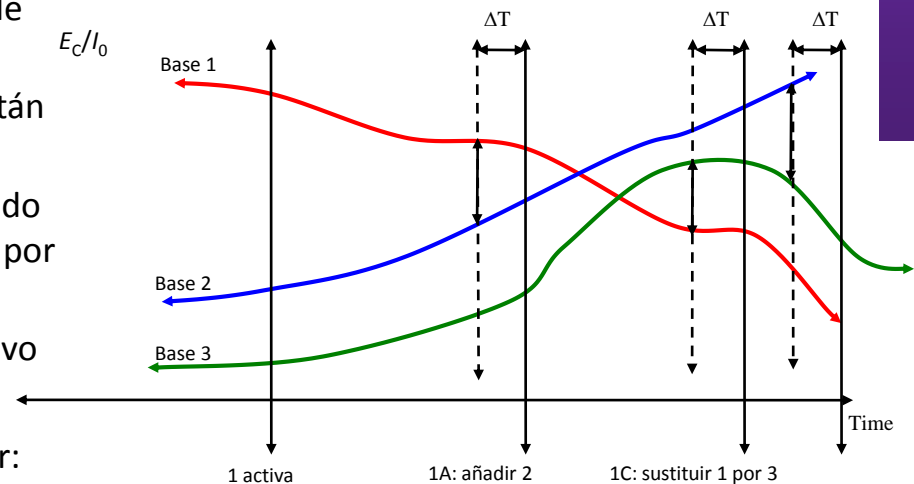
RNC

# Traspaso con continuidad: Soft-handover

- Ventajas:
  - Ganancia por combinación/selección: ganancia por macrodiversidad
    - Aumento de capacidad y extensión de cobertura
- Inconvenientes:
  - Aumento de señalización y de recursos de transmisión
  - Incremento en el número de elementos de canal necesarios en los nodos-B
    - Típicamente un 30% de usuarios están en soft-handover
- En UMTS el soft-handover se controla estudiando los niveles relativos de los pilotos transmitidos por las bases
  - Ventana de soft-handover y conjunto activo
- Otros tipos de traspaso:
  - Traspaso sin continuidad o hard-handover:
    - Entre frecuencias UMTS (FDD/HSPA)
    - Entre sistemas: UMTS <-> GSM



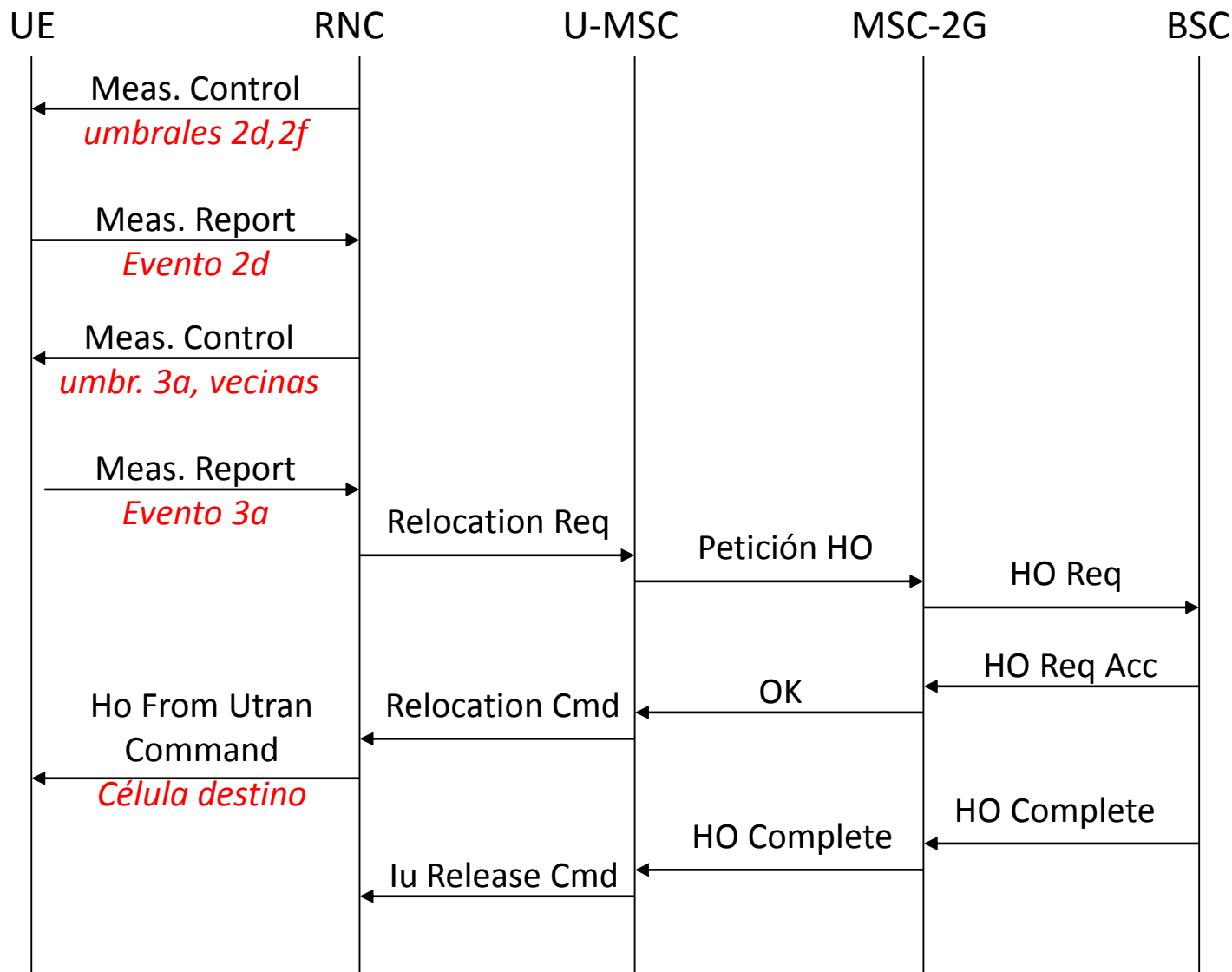
Soft handover: un móvil puede estar conectado simultáneamente a varias bases



Algoritmo de control del soft-handover

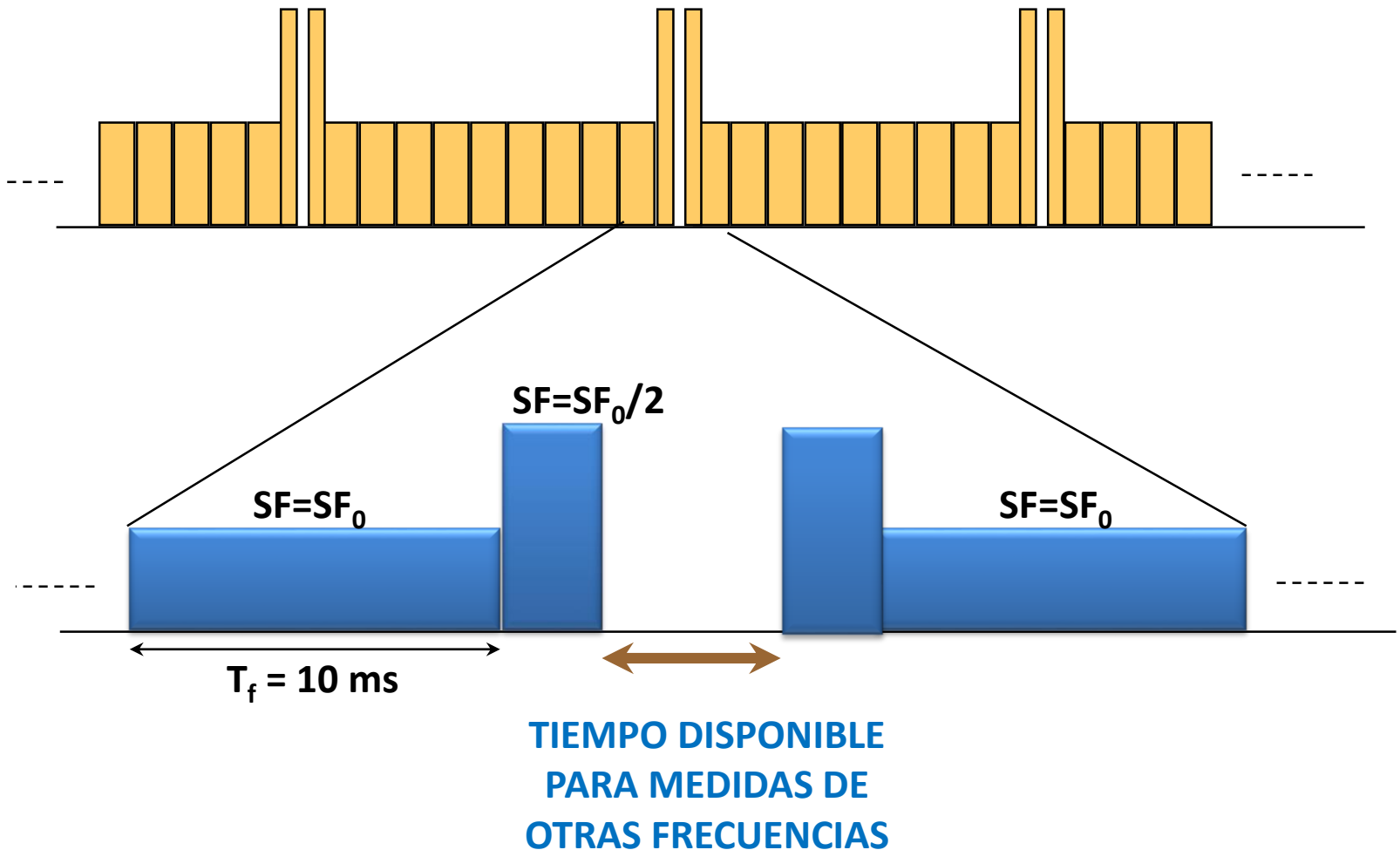


# HO Inter-RAT



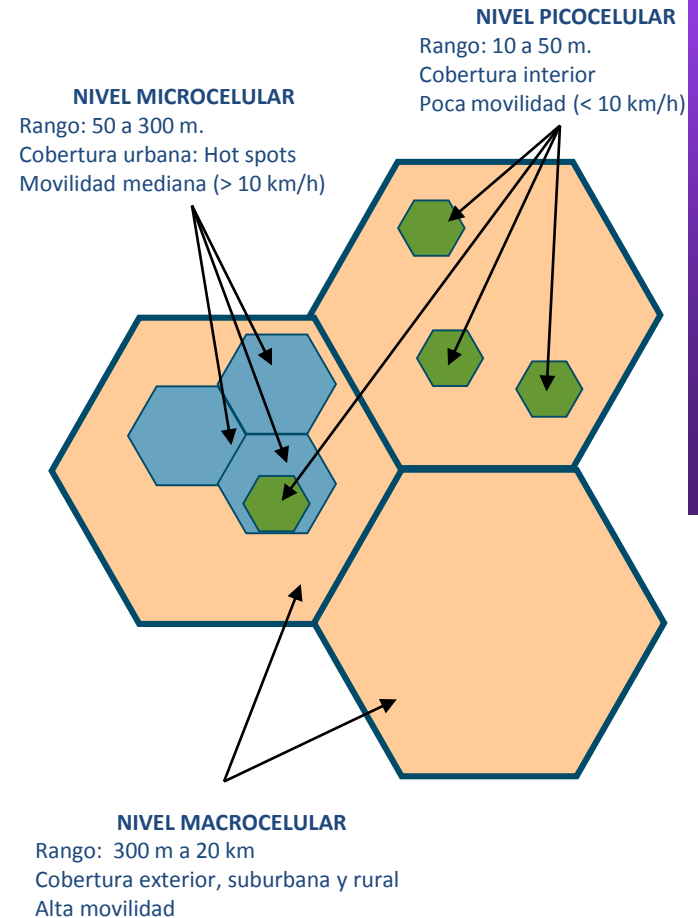
# Modo Comprimido

- **Modo comprimido:** permite al terminal disponer de periodos idle para poder efectuar medidas interfrecuenciales.



# Despliegue de red mediante estructuras celulares jerárquicas

- Constituyen el mejor despliegue para distribuciones no homogéneas del tráfico:
  - Capa de Macroceldas
    - 1 ó 2 portadoras FDD (2x5 MHz)
    - Zonas de cobertura grande
    - Usuarios de alta movilidad
  - Capa de Microceldas
    - Zonas urbanas reducidas (200-400 m)
    - Usuarios de movilidad baja
  - Capa de Picoceldas
    - Cobertura en interiores (70-80 m)
    - Servicios de alta tasa binaria y movilidad muy reducida
    - Explotación FDD (2x5 MHz)
  - Capa de Femtoceldas
    - Cobertura de interiores (5-25m)
    - Servicios cuasi-estáticos
    - LTE



# Evolución del despliegue UMTS+HSPA

Diferentes estrategias para atender el futuro crecimiento de la demanda: **Mayor densidad:**

Inserción de emplazamientos macrocelulares adicionales:

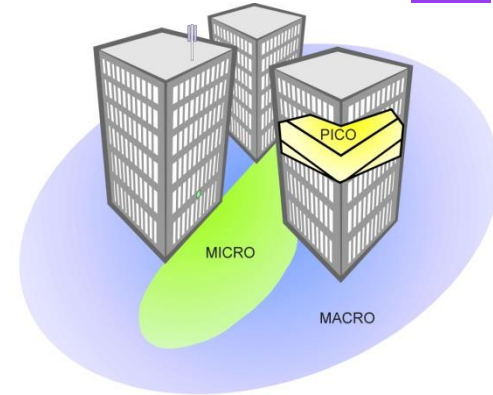
Nueva capa de cobertura en entornos rurales

Capa continua en lugares con despliegue previo

Utilización de una segunda portadora FDD en la capa macrocelular

Despliegue de una capa microcelular FDD (3ª portadora FDD)

Utilización de picocélulas LTE para servicios de alta tasa binaria



Zonas rurales

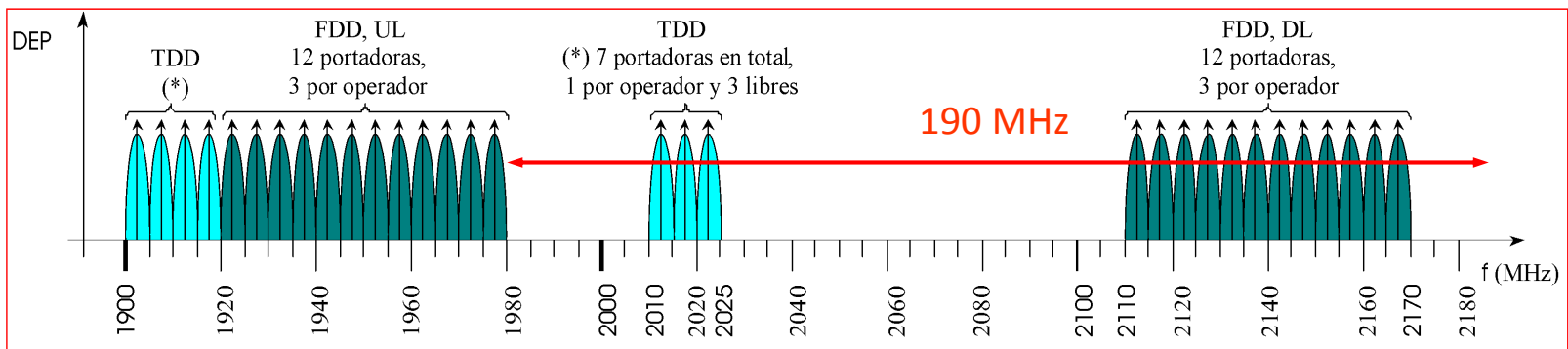
Zonas suburbanas

Zonas urbanas de  
densidad media

Zonas urbanas  
muy densas

# Asignación de Espectro UMTS en España

- En España se han adjudicado 4 licencias, dotada cada una de ellas con un total de 60 MHz de ancho de banda:
  - 2x60 MHz para FDD (12 portadoras)
  - 20 MHz para TDD.



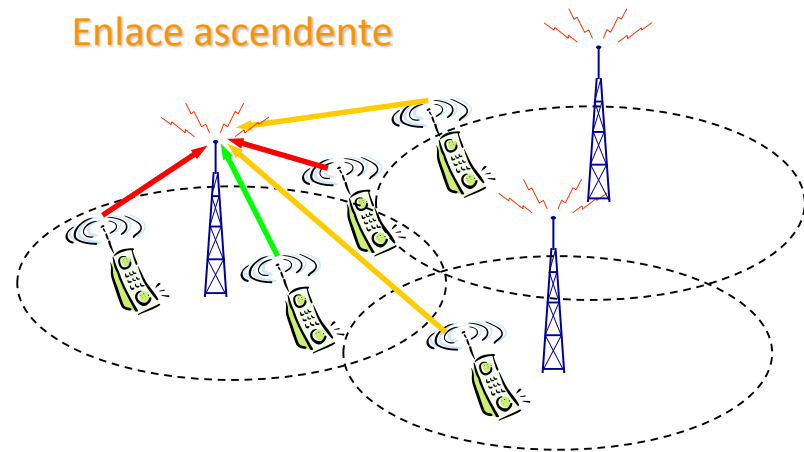
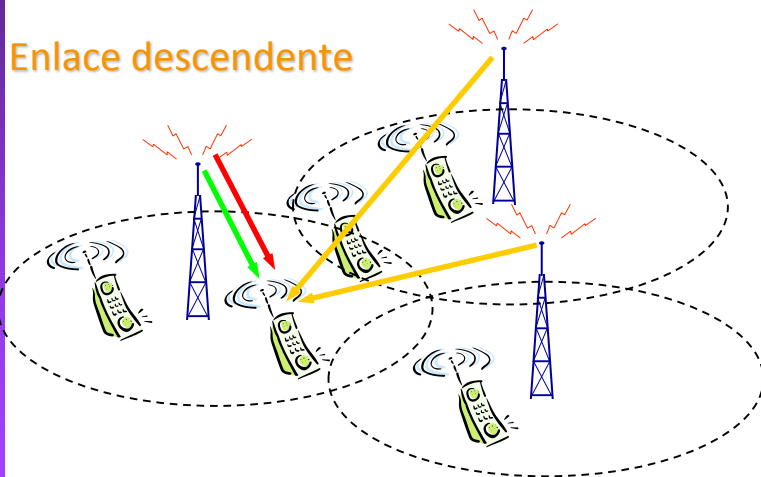
- Canalización UMTS:
  - Raster de 200 kHz:
    - La frecuencia central debe ser un múltiplo de 200 kHz
  - UARFCN (*UMTS Absolute Radio Frequency Channel Number*)
    - $UARFCN = 5 \cdot f$  (MHz)  $0.0 \text{ MHz} \leq f \leq 3276.6 \text{ MHz}$
    - Para el modo FDD:
      - Enlace ascendente: **9612 a 9888**
      - Enlace descendente: **10562 a 10838**

# Concepto de Cobertura/Capacidad

- El parámetro que hace referencia a la relación señal a ruido de una comunicación es la relación de energía de bit de información (no chip) a densidad espectral de perturbación (ruido térmico+interferencia de otros usuarios)
  - La relación  $E_b/N_o$  es el parámetro básico de calidad y viabilidad del enlace radio

$$\frac{[P_{tik} G_i / A_{ij}] / R_k}{[I_{int} + I_{ext} + N] / W} \geq \left( \frac{E_b}{N_o} \right)_k$$

- Señal deseada
- Interferencia intracelular (interna)
- Interferencia intercelular (externa)



# Concepto de Cobertura/Capacidad (Enlace Ascendente Monoservicio)

- Para K usuarios en una celda, con un factor de actividad  $\alpha$  y control de potencia perfecto:

$$I_{\text{int}} = P_r (K - 1)\alpha$$

- Utilizando el factor f para modelar la interferencia externa (\*):

$$I_{\text{ext}} = (f - 1)I_{\text{int}}$$

- Sustituyendo en la ecuación de enlace:

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{P_r / R}{[P_r (K - 1)\alpha f + N] / W} = \frac{G_p}{(K - 1)\alpha f + N / P_r}$$

- La potencia recibida en la estación base por cada usuario resulta ser:

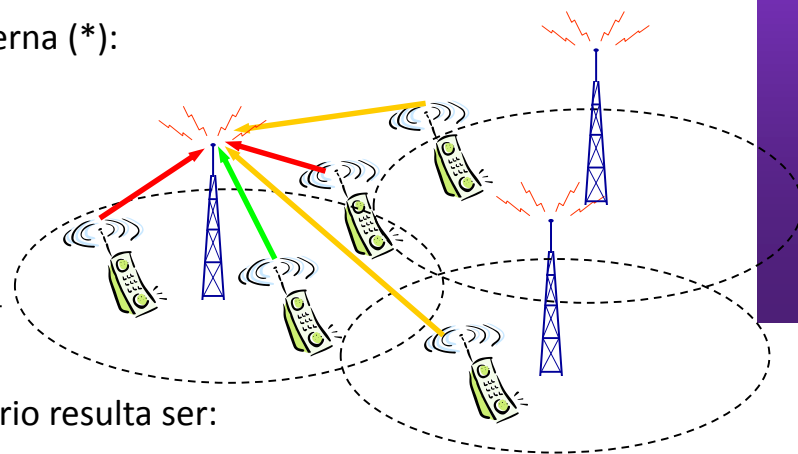
$$P_r = \frac{N}{G_p / (E_b / N_o) - (K - 1)\alpha f}$$

**Pole-capacity**



$$K_{\text{max}} = 1 + \frac{G_p / (E_b / N_o)}{\alpha f}$$

- Señal deseada
- Interferencia intracelular (interna)
- Interferencia intercelular (externa)



(\*) Nota: en otros textos puede adoptarse el convenio  $I_{\text{ext}} = f \cdot I_{\text{int}}$

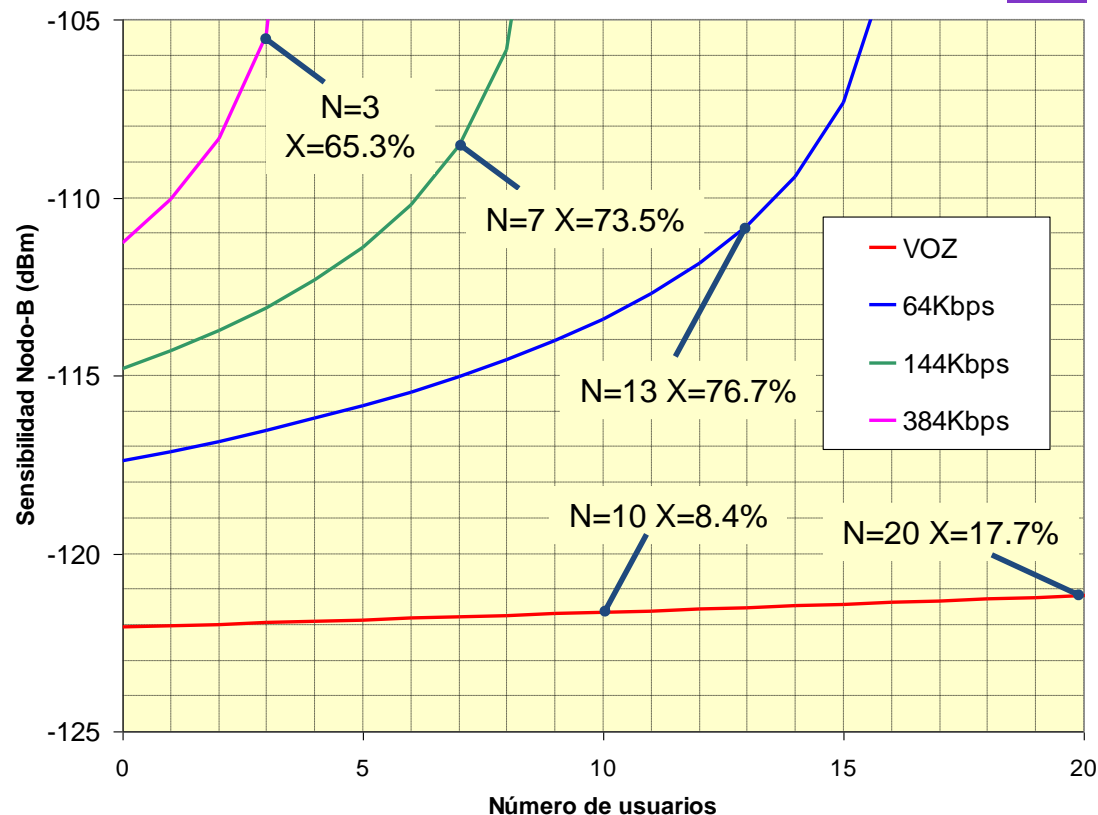
# Capacidad en el enlace ascendente monoservicio

$$S(\text{dBm}) = -174 + 10 \log R(\text{bits} / \text{s}) + \left( \frac{E_b}{N_o} \right)_{\text{dB}} + F_r(\text{dB}) + 10 \log \left( \frac{K_{\max} - 1}{K_{\max} - K} \right)$$

## Capacidades de polo sin mezcla de servicios

| Servicio          | VOZ    | 64Kbps | 144Kbps | 384Kbps |
|-------------------|--------|--------|---------|---------|
| R (Kbps)          | 12,20  | 64,00  | 144,00  | 384,00  |
| Gp                | 314,75 | 60,00  | 26,67   | 10,00   |
| Eb/No uplink (dB) | 6,1    | 3,8    | 3,1     | 3,1     |
| Factor actividad  | 0,45   | 1      | 1       | 1       |
| Pole capacity     | 108,31 | 16,63  | 9,16    | 4,06    |

| PARAMETROS GENERALES |      |
|----------------------|------|
| chip rate (Mcps)     | 3,84 |
| Factor ruido (dB)    | 5    |
| f factor             | 1,6  |





# Parámetros del enlace radio (I)

- **BLER**: Probabilidad de Error de Bloque
  - Se calcula como la tasa de bloques de transporte (TB-transport blocks) recibidos erróneamente, mediante el uso de un CRC
- **BER**: Probabilidad de Error de Bit
- $E_b/N_o$  = Energía de bit de información por densidad espectral de perturbación
  - Parámetro fundamental para la planificación, utilizado para los canales de información de usuario
- **RSCP**: Receive Signal Code Power, potencia recibida en un código
  - CPICH RSCP: potencia media en el canal piloto por el móvil (tiene como punto de referencia el conector de antena del mismo)
    - Este valor se emplea para la estimación de pathloss en el control de potencia en lazo abierto.
  - Para canales dedicados, la medida se realiza en los bits de piloto del DPCCH, después de la combinación de los enlaces radio

Descritos en 3GPP TS25.215: Physical Layer-Measurements FDD

# Parámetros del enlace radio (II)

- **SIR: Signal to Interference Ratio**, relación de la potencia útil a la potencia interferente:

$$SIR = \frac{E_b / N_o}{G_p}$$

- En medidas se define como el cociente entre RSCP/ISCP\*SF (UL) ó RSCP/ISCP\*SF/2 (DL), esto es, asociada al canal de control DPCCH
  - ISCP: Interference Signal Code Power, potencia interferente no ortogonal medida en los bits del piloto del DPCCH
  - En teoría es factible realizar una estimación de la relación  $E_b/N_o$  del DCH a partir de esta medida, aunque se requiere obtener información del RNC
- **SIR-target**: SIR objetivo en el bucle de control de potencia cerrado
  - En el enlace descendente, aunque inicialmente el RNC fija un valor inicial de referencia, posteriormente el móvil ajusta el SIR-target para cumplir la BLER que fija el RNC mediante un algoritmo propietario

## Parámetros del enlace radio (III)

- **UTRA carrier RSSI** = Received Signal Strength indicator
  - Potencia de banda ancha recibida en el BW de canal en el DL
- **$E_c$**  = Energía por chip
  - Utilizado normalmente para los canales de control
  - El CPICH  $E_c$ , no depende del tráfico y es un parámetro que caracteriza la cobertura por nivel de forma absoluta
- **$I_o$  ó  $N_t$** 
  - Densidad de perturbación total, incluyendo la señal útil
  - Para canales de datos, la perturbación expresada como  $N_o$ , excluye la propia señal útil y considera la ortogonalidad en el enlace descendente.
- **CPICH  $E_c/I_o$  ó  $E_c/N_t$** : Relación de energía de chip por densidad total de perturbación
  - Figura principal que determina la disponibilidad de cobertura por calidad
    - Umbrales mínimos actuales para la selección de célula UMTS:
      - $E_c/N_o > -18$  dB
      - RSCP  $> -115$  dBm

$$\frac{E_b}{I_o} = \frac{CPICH RSCP}{RSSI}$$

# HSPA

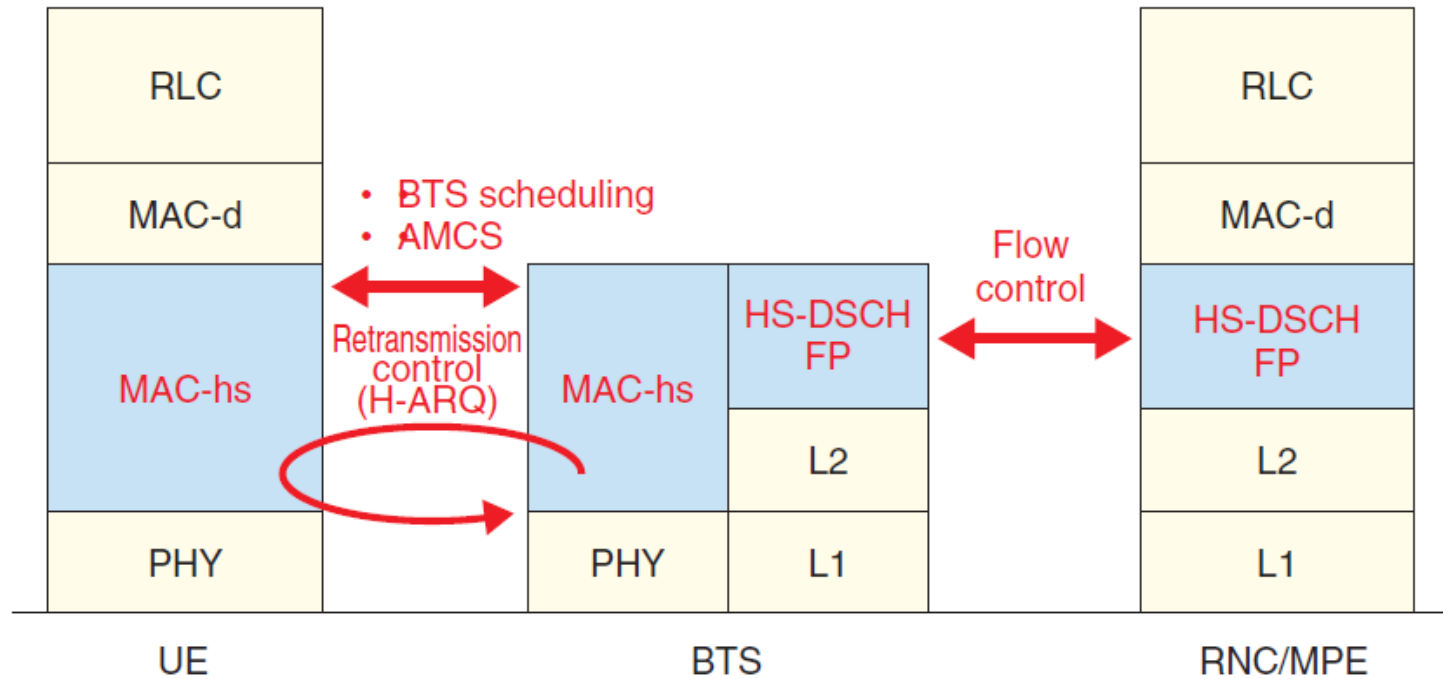
- High Speed Downlink Packet Access
- Release 5 3GPP, comienza explotación comercial en 2006
- Se implanta necesariamente sobre infraestructura UMTS existente
- Opera sobre plataforma CS/PS
- Evolución en interfaz radio
- Aumento de capacidades en nodo-B
- No emplea control de potencia ni SHO

Desde el punto de vista HW

- Actualización de tarjetas (RF, banda base, colas HS)
- Ampliación recomendable de los enlaces de TX



# HSPA

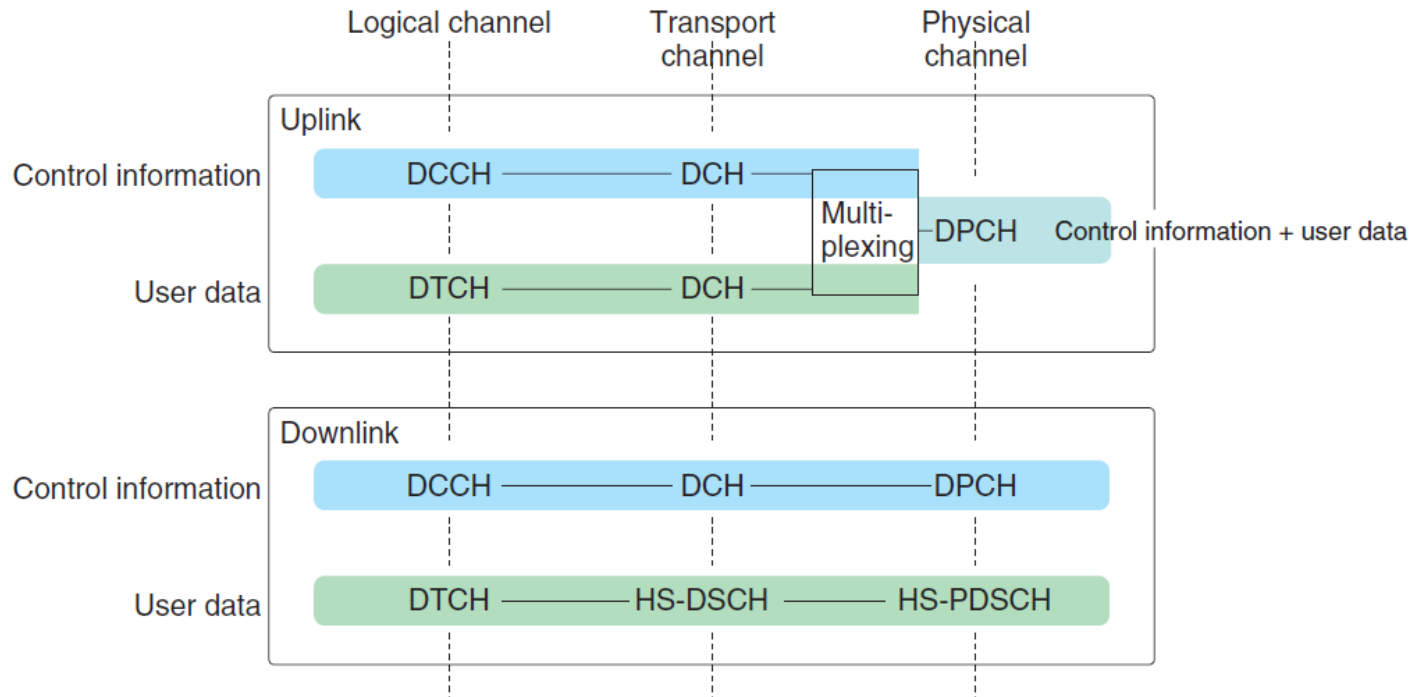


MAC-HS: Subcapa MAC HSPA

MAC-d: Subcapa dedicada MAC

HS-DSCH:

# HSPA



## Canales en HSDPA

**DCCH:** Dedicated Control Channel

**DTCH:** Dedicated Traffic Channel

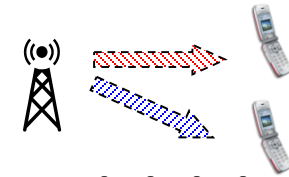
**DPCH:** Dedicated Physical Channel

**DCH:** Dedicated Channel

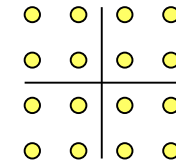
**HS-DSCH:** High Speed Downlink Shared Channel

# HSPA

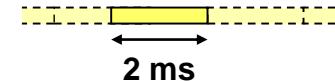
Transmisión en canal compartido



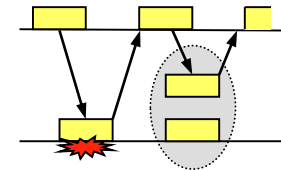
Posible modulación de mayor eficiencia  
16QAM - QPSK



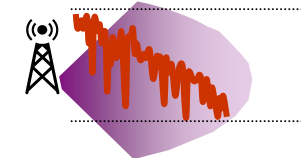
Transmission Time Interval de 2 ms  
Se reduce el Round Trip Delay



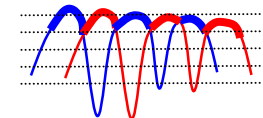
Fast Hybrid ARQ with Soft Combining  
Se reduce el Round Trip Delay



Fast Link Adaptation  
Velocidad se adapta a condiciones radio cada 2 ms



Scheduling rápido en función de radio  
Scheduling cada 2 ms  
Posibilidad de varios algoritmos



# HSPA

- High Speed Uplink Packet Access, Enhanced Uplink
- Release 6 3GPP, comienza explotación comercial en 2007
- Se implanta necesariamente sobre infraestructura UMTS existente (pre-existencia HSDPA)
- Opera sobre plataforma CS/PS, con conectividad a SGSN
- Evolución en interfaz radio (permite QPSK y TTI = 2ms)
- Aumento de capacidades en nodo-B

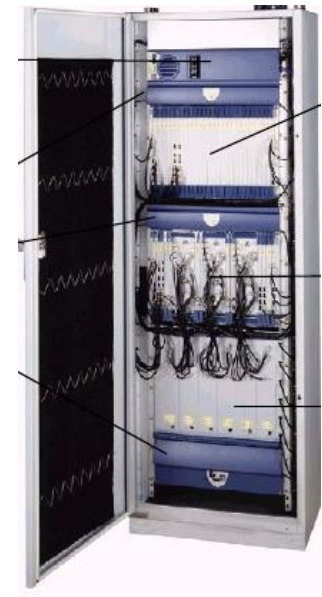


# HSPA

- HSUPA hace uso de Soft-HO
- Utiliza el control de potencia
- Esquema de modulación AMC, hasta QPSK
- Los códigos se asignan de manera individual a cada usuario
- Velocidad máxima 7.2 Mbps
- El tráfico es asimétrico (en función del RAB)

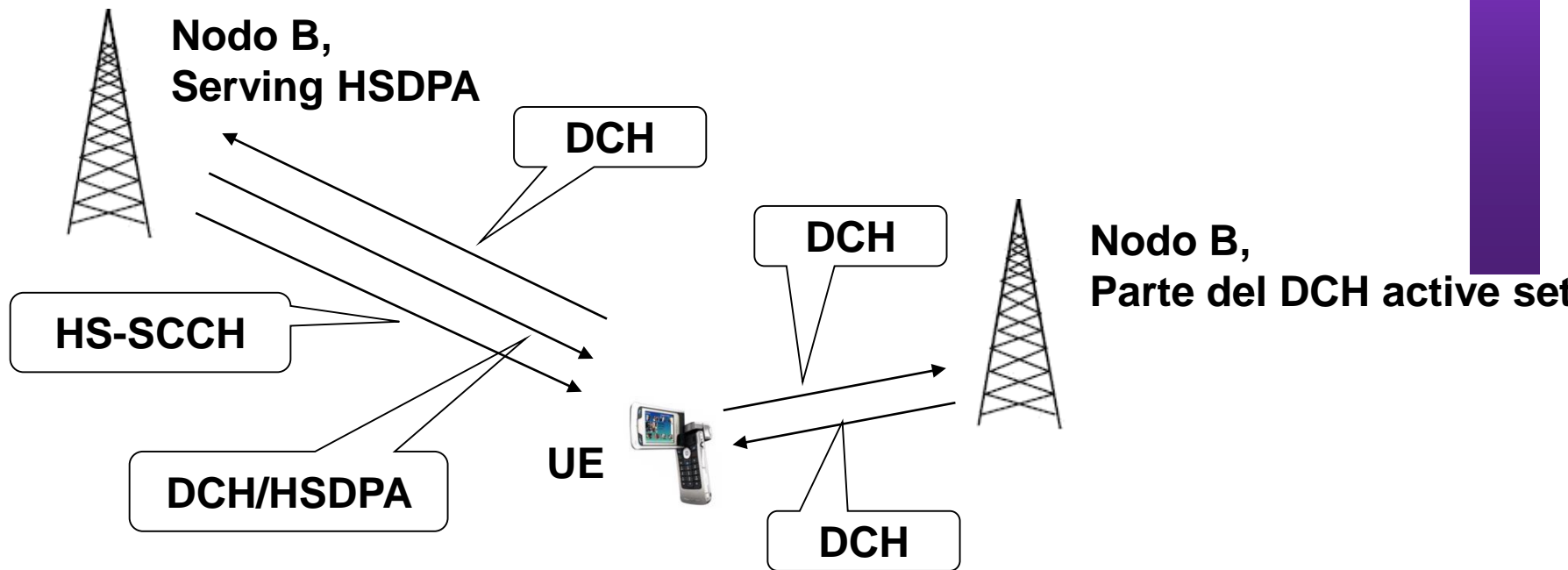
Desde el punto de vista HW

- Actualización de tarjetas (banda base, colas HS)
- Ampliación recomendable de los enlaces de TX



# HSPA

- Gestión de la movilidad en el caso de HSDPA
- Una celda actúa de **servidora**, mientras que el resto solamente señalizan en SHO (i.e., información de control sobre varios DCH, traceables en varios  $I_{ub}$ ).



# LTE

## ■ Esquema de Acceso

- Downlink: OFDMA
- Uplink: Single Carrier FDMA (SC-FDMA)

## ■ Adaptive modulation and coding

- DL modulations: QPSK, 16QAM, and 64QAM
- UL modulations: QPSK and 16QAM
- Rel-6 Turbo code: Codificador 1/3

## ■ BW escalable sobre asignación espectral

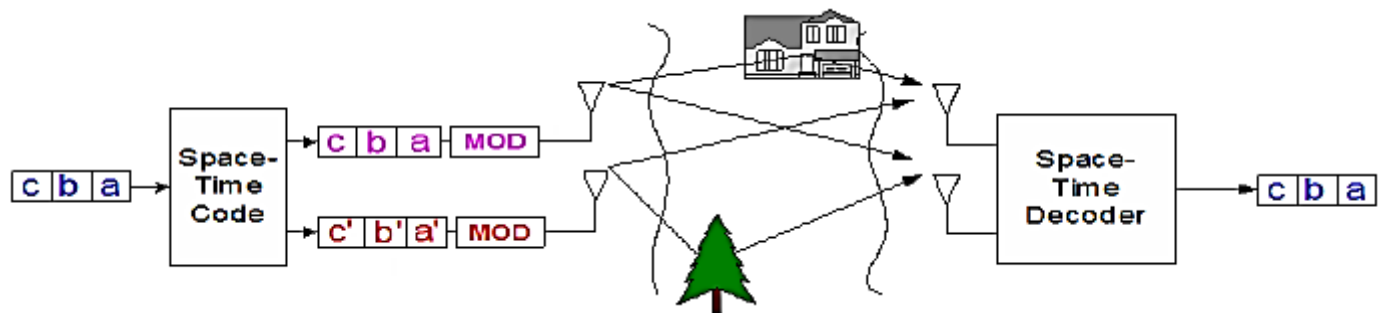
## ■ Esquemas MIMO

| Category                                |    | 1                                    | 2         | 3   | 4   | 5                  |
|---|----|--------------------------------------|-----------|-----|-----|--------------------|
| Peak rate Mbps                          | DL | 10                                   | 50        | 100 | 150 | 300                |
|   | UL | 5                                    | 25        | 50  | 50  | 75                 |
| Capability for physical functionalities |    |                                      |           |     |     |                    |
| RF bandwidth                            |    | 20MHz                                |           |     |     |                    |
| Modulation                              | DL | QPSK, 16QAM, 64QAM                   |           |     |     |                    |
|   | UL | QPSK, 16QAM                          |           |     |     | QPSK, 16QAM, 64QAM |
| Multi-antenna                           |    |                                      |           |     |     |                    |
| 2 Rx diversity                          |    | Assumed in performance requirements. |           |     |     |                    |
| 2x2 MIMO                                |    | Not supported                        | Mandatory |     |     |                    |
| 4x4 MIMO                                |    | Not supported                        |           |     |     | Mandatory          |

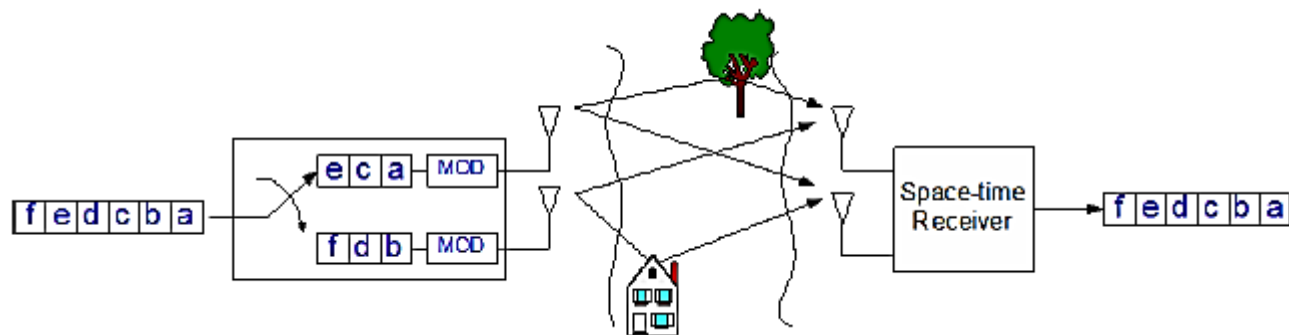


RBS 6201 is a LTE eNodeB base station (Motorola)

# LTE



## Codificación Espacio-Temporal



## Multiplexación Espacial

# LTE

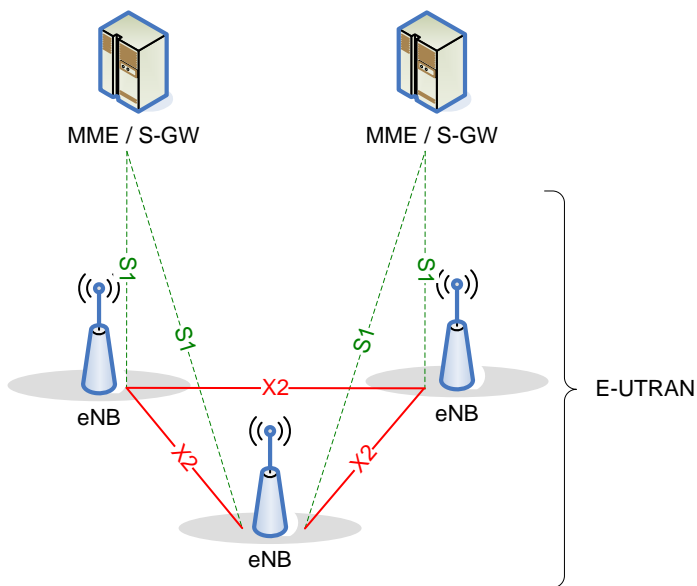
- ARQ (subcapa RLC) y Hybrid ARQ en subcapa MAC
- Control de potencia y adaptación de enlace
- Soporte para coordinación implícita de interferencia
- FDD y TDD soportados
- Scheduling & link adaptation dependiente del canal
- Nodos de acceso radio de coste reducido y funcionalidad compleja

|                      |       |   |
|----------------------|-------|---|
| Access Scheme        | UL    | DFTS-OFDM   |
|                      | DL    | OFDMA   |
| Bandwidth            |       | 1.4, 3, 5, 10, 15, 20MHz  |
| Minimum TTI          |       | 1msec   |
| Sub-carrier spacing  |       | 15kHz   |
| Cyclic prefix length | Short | 4.7μsec   |
|                      | Long  | 16.7μsec  |
| Modulation           |       | QPSK, 16QAM, 64QAM  |
| Spatial multiplexing |       | Single layer for UL per UE<br>Up to 4 layers for DL per UE<br>MU-MIMO supported for UL and DL |



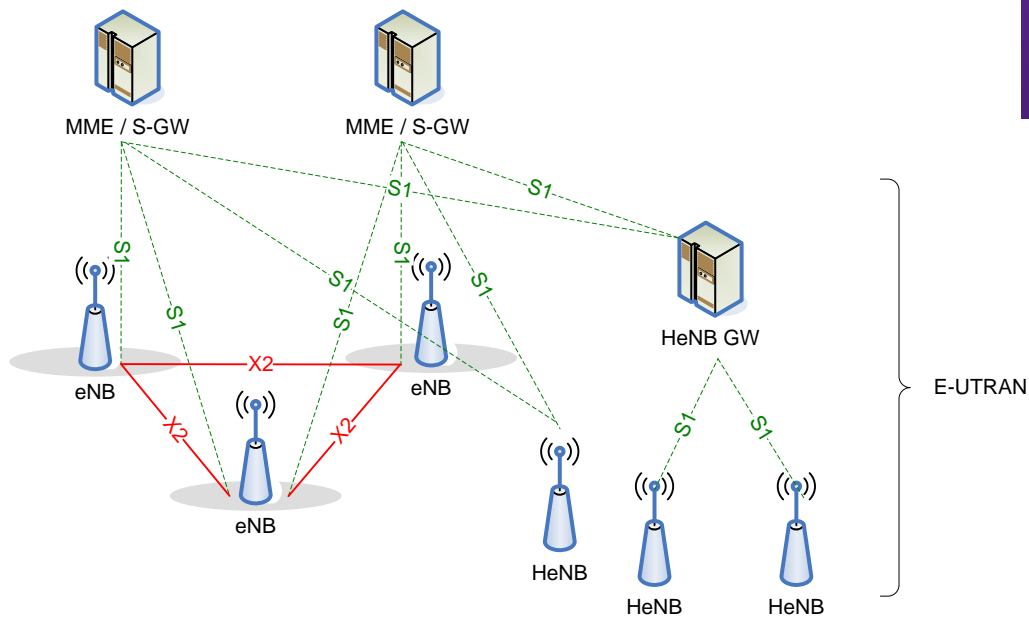
Ericsson MME-SGSN

# LTE



MME: Mobility Management Entity  
eNB: Enhanced Node-B  
S-GW: Serving Gateway

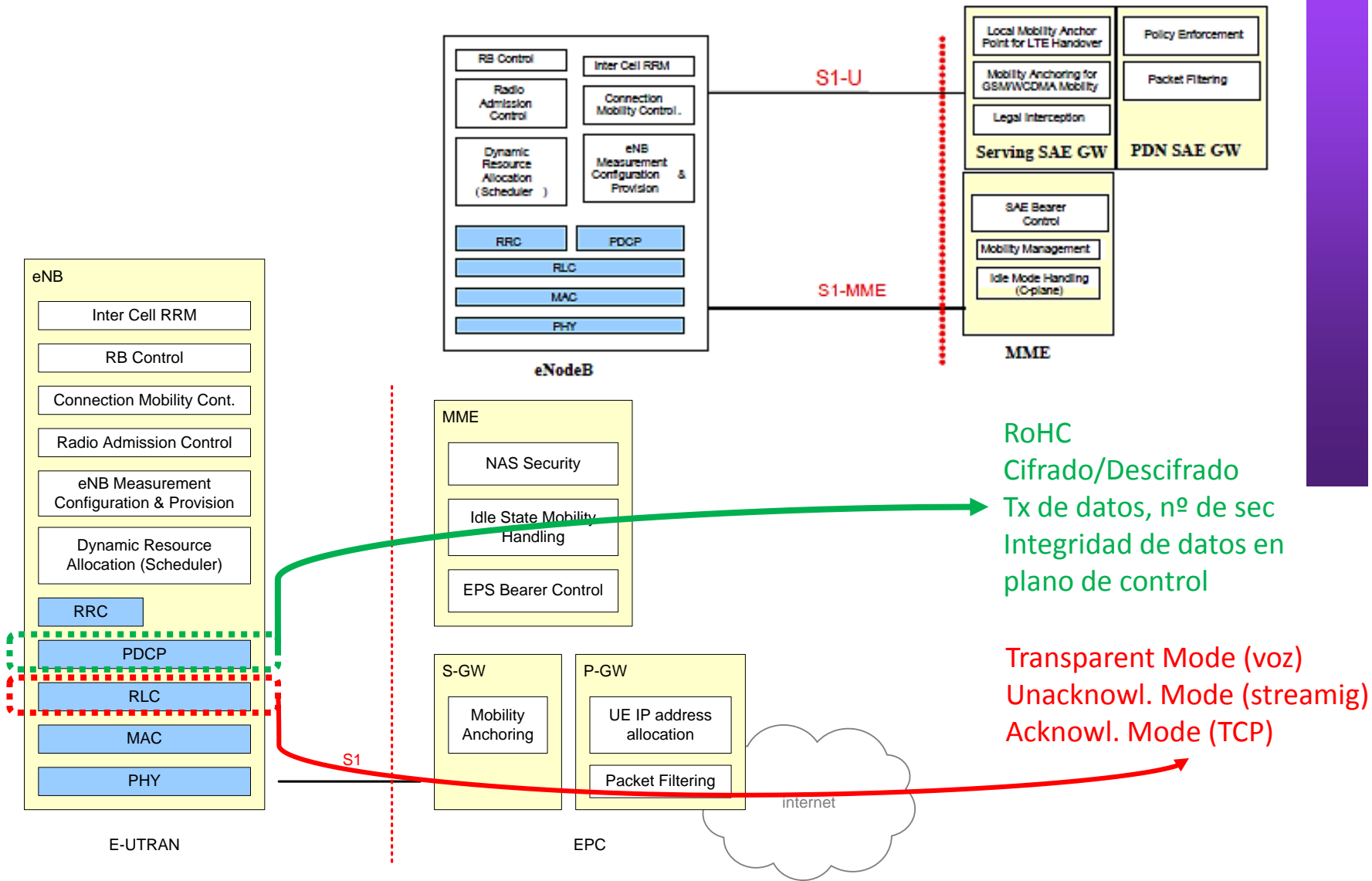
HeNB: Home eNB



# LTE

## EUTRAN

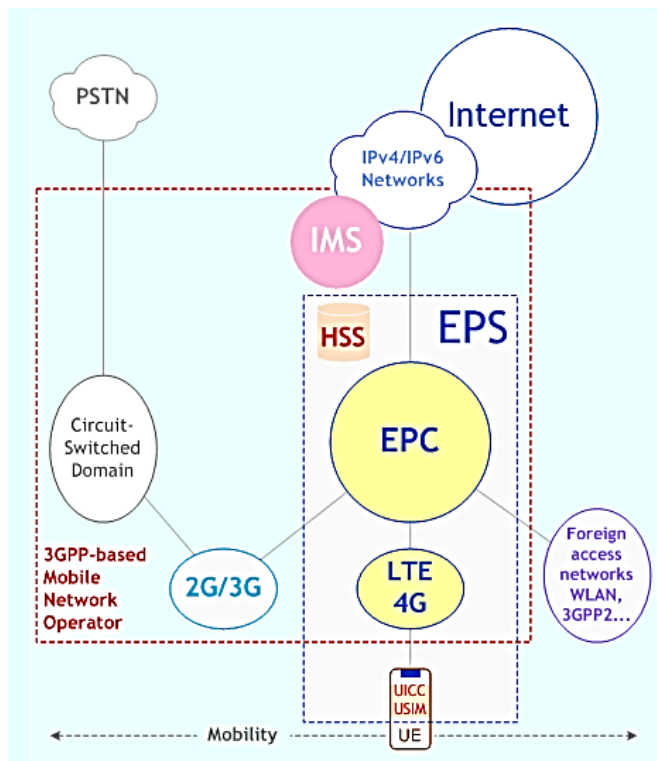
## CORE NETWORK



# LTE

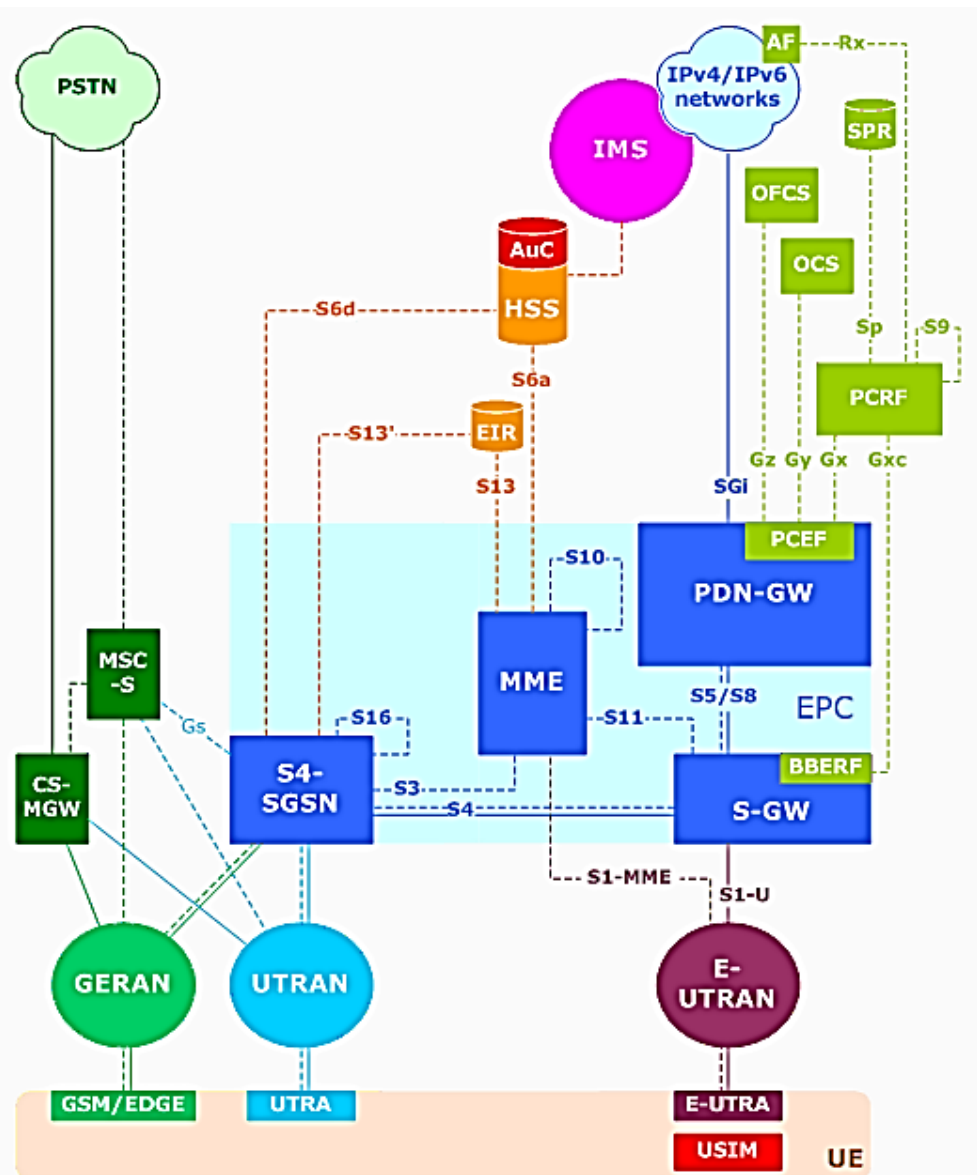






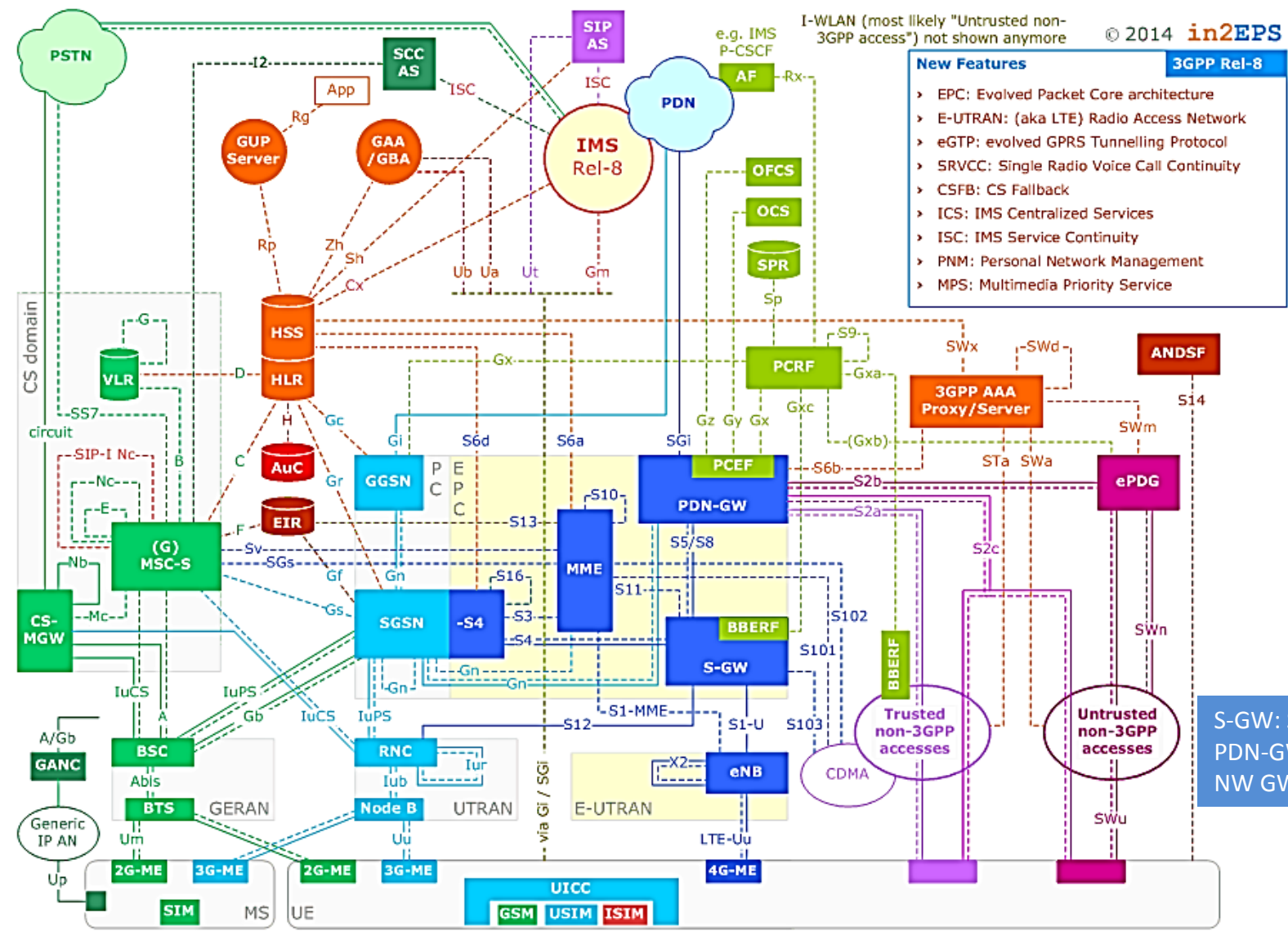
<http://www.in2eps.com/index.html>

# LTE



<http://www.in2eps.com/fo-epc/tk-fo-epc-0400.html>

# LTE



# Evolución 5G

## Scenarios & Requirements

### ■ Mobile broadband / Dense crowd of users

Mobility, high data rates, high capacity and partly limited area.



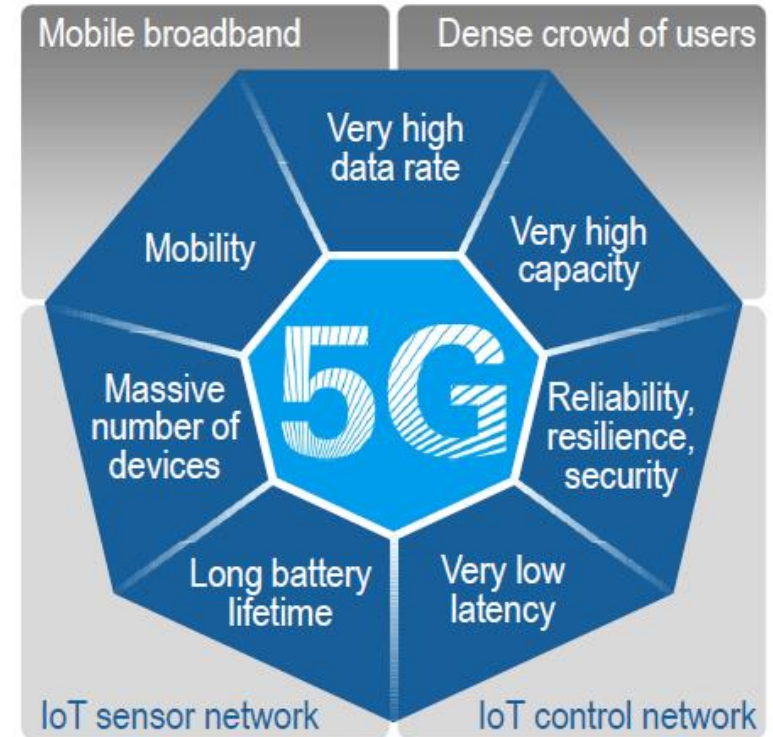
### ■ Internet of Things – reliable and low latency

Low latency, high reliability, resilience and security; user case specific data rates/capacity.



### ■ Internet of Things – massive number of devices

The volume of devices and “things” will create new requirements.  
Battery life time expectation → years



# Evolución 5G

## 5G Spectrum Outlook Conclusion from WRC-15

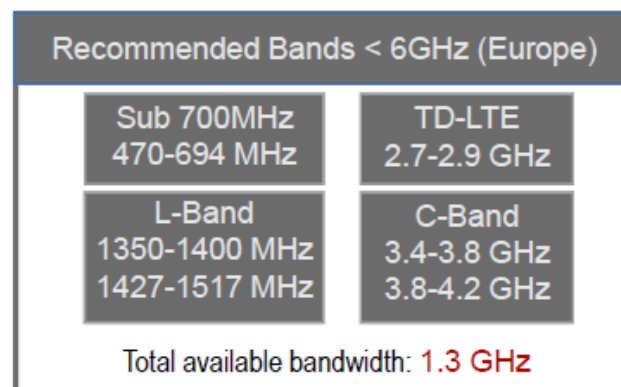
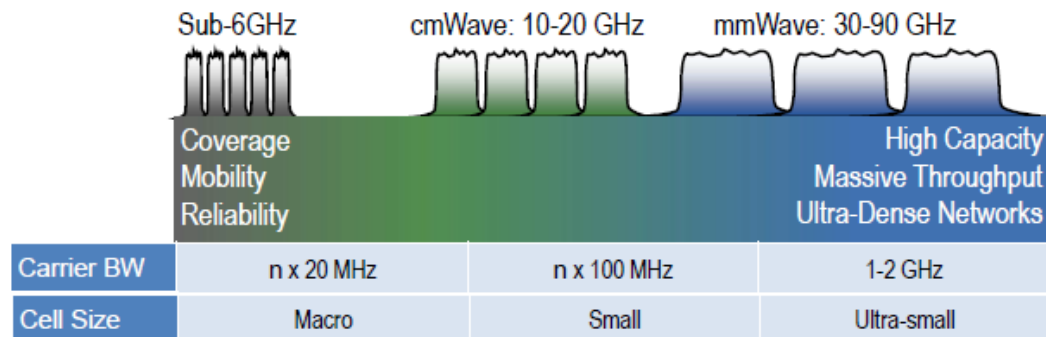
■ Considered frequency ranges and bands to be studied for 5G:

- 24.25 to 27.5 GHz
- 31.8 to 33.4 GHz
- 37.0 to 43.5 GHz
- 45.4 to 50.2 GHz
- 50.4 to 52.6 GHz
- 66 to 76 GHz
- 81 to 86 GHz.



Total available bandwidth: **~30 GHz**

- 28GHz band is not fully covered, however of high interest for deployment in US and Korea.

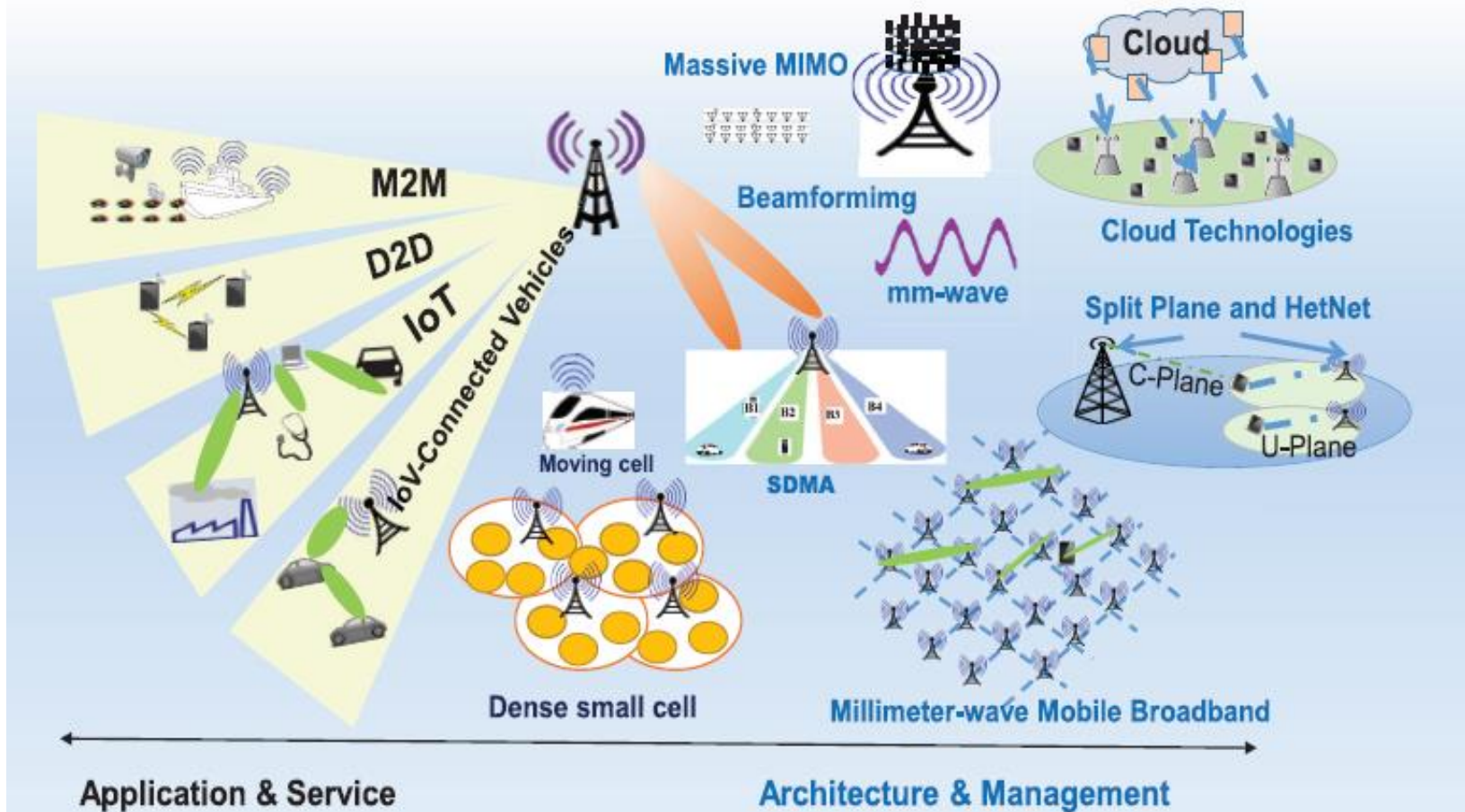


# Evolución 5G

- Development of 5G under the framework of IEEE 802.11ac standard (5GHz; 802.11ad 60GHz)
- Amendment to existing WLAN standard, with the aim of increasing system capacity
- Some features:
  - Evolutionary (built on existing 802.11n amendment)
  - Use of multiple streams (8x8 MIMO support), MU-MIMO, evolution towards 3D MIMO
  - Use of channels with wider BW (80MHz)
  - Possibility of Channel Aggregation (160MHz)
  - High level AMC schemes(256 QAM)
  - Intelligent management of interference (smart antennas, beam forming)
  - Energy efficiency



# Evolución 5G



Source: M. Agiwal et al., "Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey", IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 18, NO. 3, THIRD QUARTER 2016

# Evolución 5G

## ■ Características:

- D2D: conectividad directa entre dispositivos, facilitando aplicaciones ligadas a redes sociales, P2P, etc. Minimiza la carga de gestión, al procurar conectividad directa entre dispositivos
- Cloud RAN: gestión centralizada de múltiples señales en banda base en una única entidad. Favorece estrategias de multipunto coordinado, así como de coordinación de interferencias intercelda.
- Funcionalidad Multi-RAT, con el fin de aprovechar la disponibilidad de múltiples redes superpuestas de manera jerárquica.
- Cooperación de red y mitigación de interferencias
- Técnicas de MIMO masivo y multi-usuario
- Técnicas de TX/RX simultáneas, con el fin de poder aumentar la capacidad del sistema.
- Sistemas conscientes del entorno (context-aware), a nivel de:
  - ☐ Contexto de dispositivo
  - ☐ Contexto de aplicaciones
  - ☐ Contexto del usuario
  - ☐ Contexto del entorno
  - ☐ Contexto de red

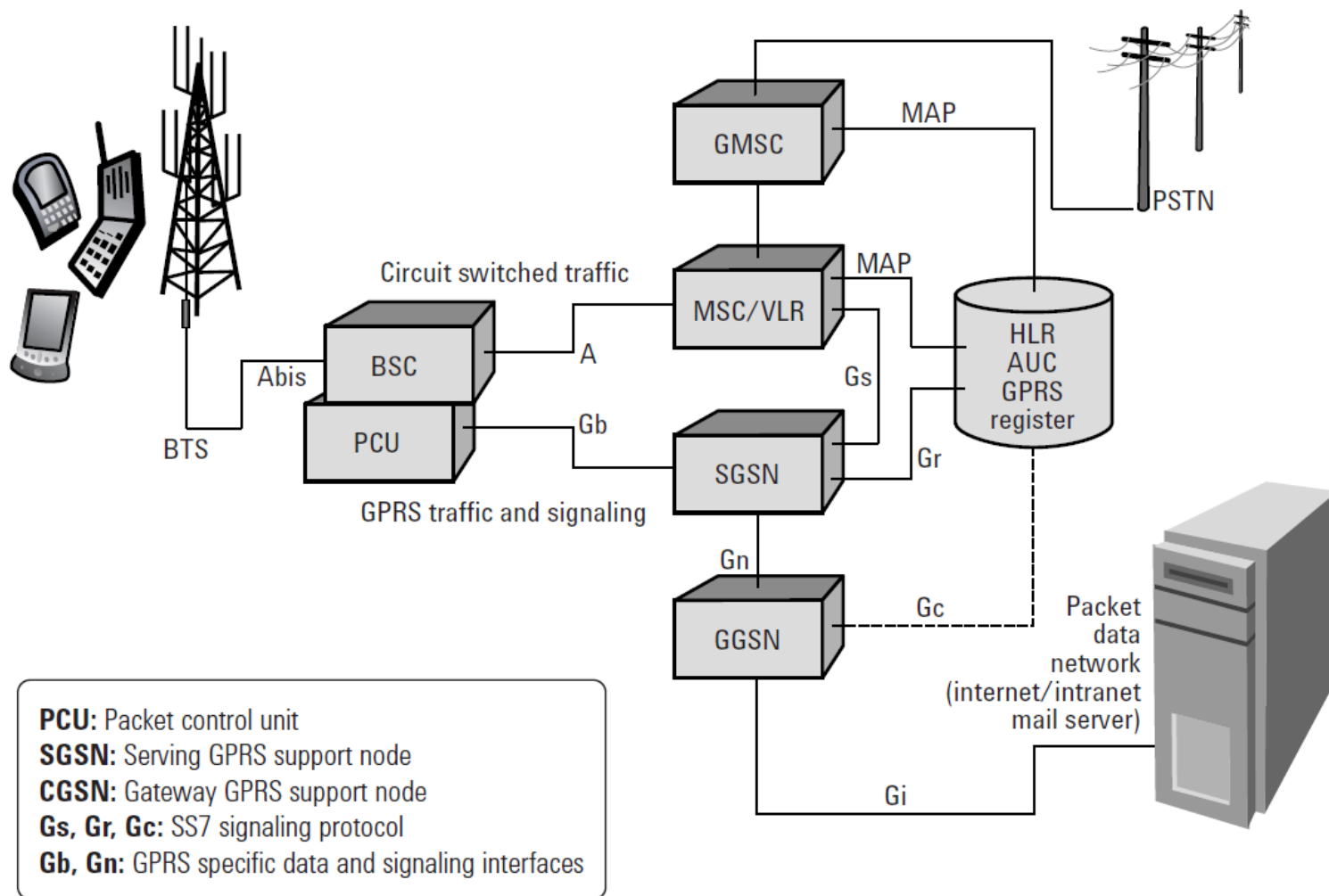
# Evolución 5G

## ■ Requisitos para redes 5G:

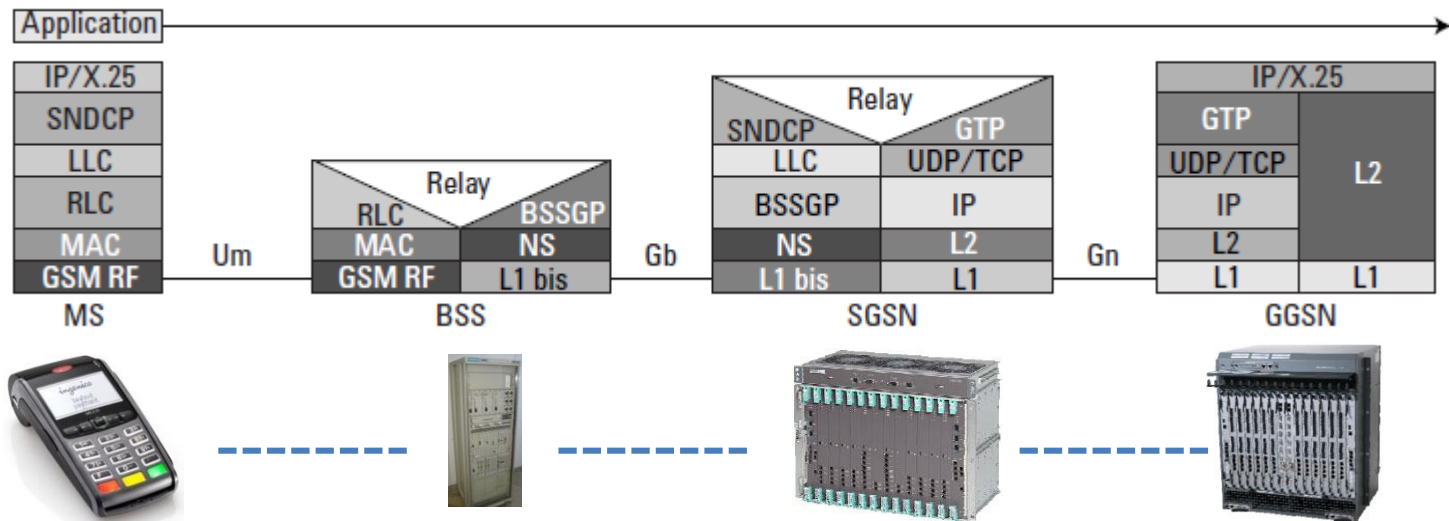
- Adaptabilidad para bandas frecuenciales diferenciadas (sub 6GHz/above 6GHz), con anchos de banda diferentes y con condiciones de propagación variables (600/700MHz-3.3GHz/4.5GHz-mmWave (28GHz/29GHz/40-60GHz) (scalable numerology)
- Manejo individual del Plano de Usuario/Plano de Control, con el fin de poder tener un mayor grado de adaptabilidad y escalabilidad (aplicaciones de muy alta densidad de nodos)
- Implementación soft tanto del borde de red (Radio Access Network-RAN) como del núcleo de red (Core Network-CN)
- Posibilitar mecanismos de diferenciación de tráfico (mecanismos de Network Slicing)
- Soporte de esquemas de comunicación tales como multiconectividad o comunicaciones D2D controladas por la red
- Soporte de múltiples arquitecturas de red (fronthaul y backhaul)
- Red energéticamente eficiente



# Transmisión de Paquetes



# Transmisión de Paquetes



**GTP:** GPRS Tunneling Protocol; recibe tráfico IP/X.25 y lo transporta a la red GPRS. Emplea identificadores de túnel (TID) para cada paquete

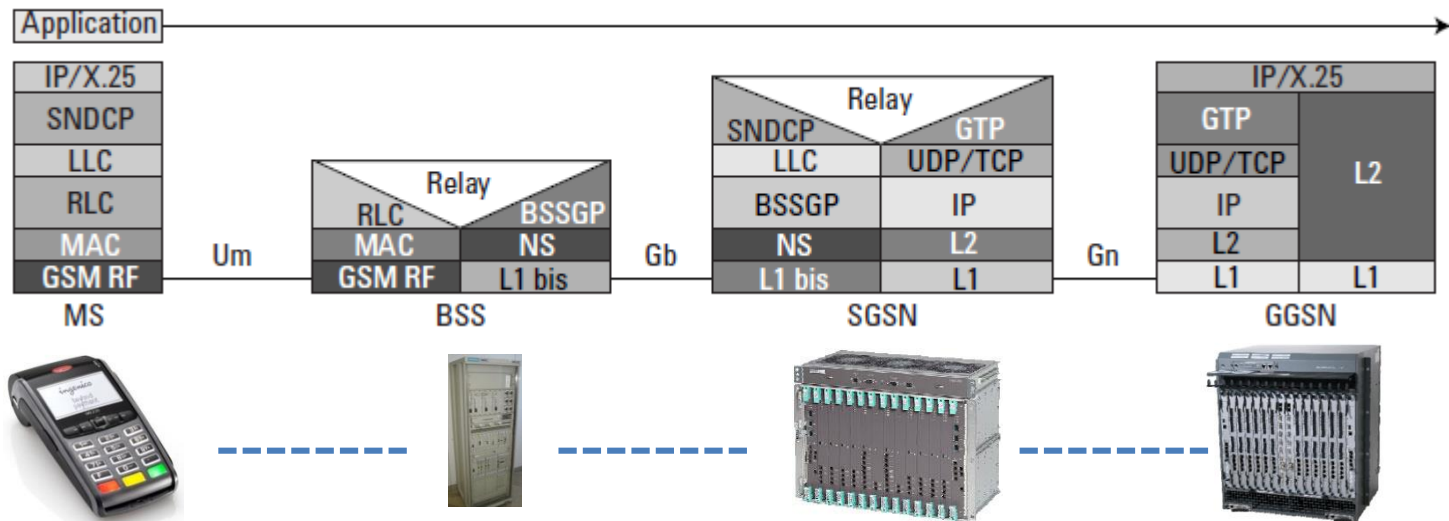
**TCP:** Transporta PDUs de manera fiable (retransmisiones/confirmaciones) a través de la interfaz  $G_n$

**SNDCP:** Subnetwork Dependent Convergence Protocol; se emplea entre el terminal y el SGSN. Convierte las PDUs procedentes de  $G_n$  a un formato adecuado para el terminal. Realiza labores de multiplexación de PDUs, compresión/descompresión, segmentación y re-ensamblado

**LLC:** Logical Link Control; proporciona enlace fiable y cifrado.

Application Note 1377, Agilent Technologies

# Transmisión de Paquetes



**BSSGP:** Base Station System GPRS Protocol; enruta información entre SGSN y BSS. Su función principal es proporcionar información radio que podrá ser empleada por RLC y MAC

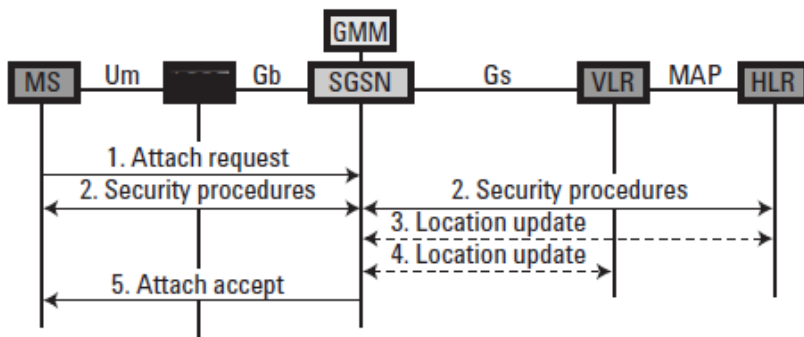
**NS:** Network Service; proporciona una conexión punto a punto entre el SGSN y la BSS

**RLC:** Radio Link Control, se encarga de funciones tales como la transferencia de LLC-PDUs (LLC <-> MAC), segmentación de LLC-PDU en bloques RLC y ensamblado, segmentación y ensamblado de mensajes de control RLC/MAC, corrección de errores de bloques RLC.

Application Note 1377, Agilent Technologies

TBF (Temporary Block Flow) =  $\sum$  LLC PDUs  
TFI (Temporary Flow Identity), asignado a cada TBF por la red

# Transmisión de Paquetes

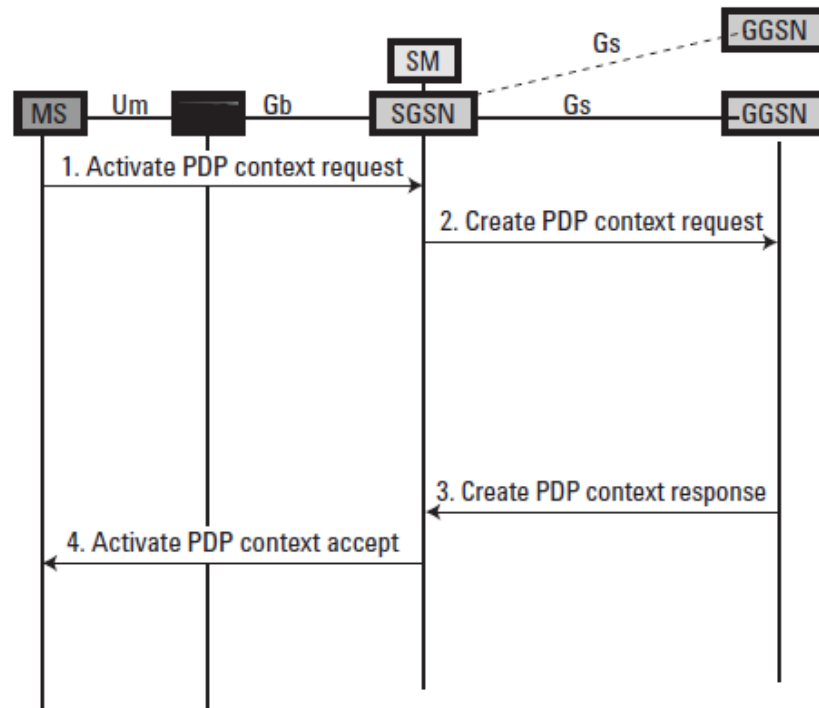


## Proceso de GPRS Attach

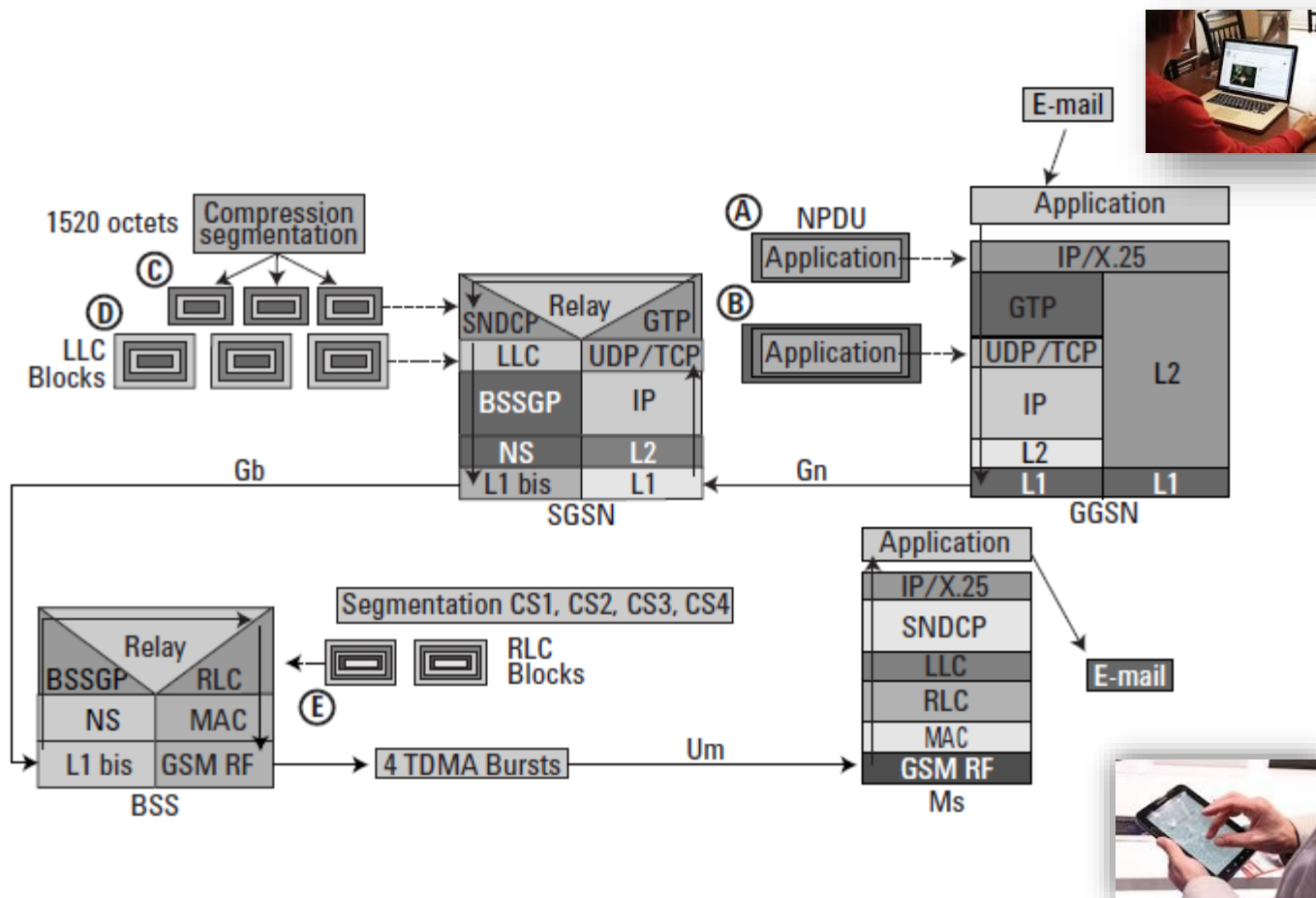
Iniciado por el terminal, hacia el SGSN y de manera transparente a la BSS.

## Proceso de Activación de Contexto PDP

Activa una sesión de comunicación de paquetes con el SGSN. El terminal proporciona una IP estática o solicita un IP dinámica a la red (GGSN). Paquetes para diversas aplicaciones se identifican mediante NSAPI (network service access point identifier)

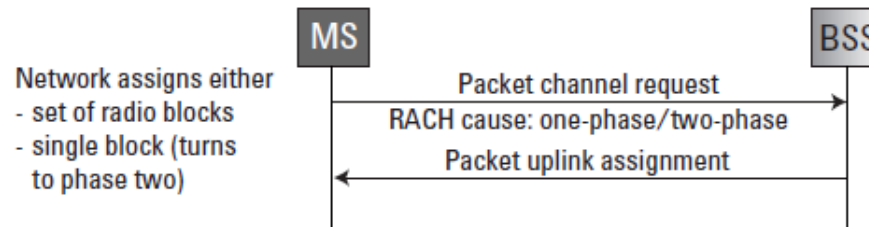


# Transmisión de Paquetes

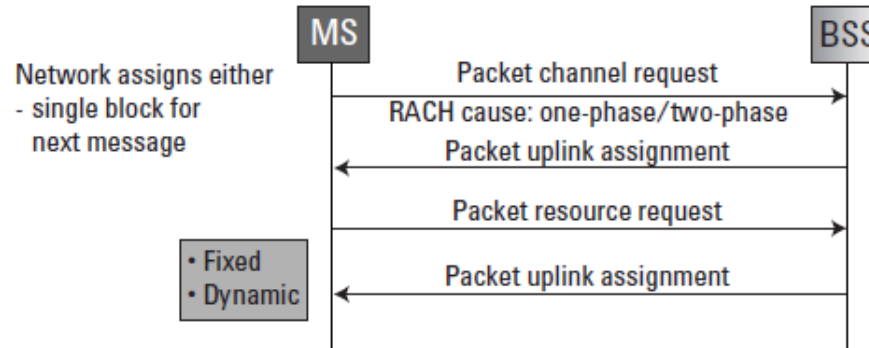


# Transmisión de Paquetes

## One-phase request



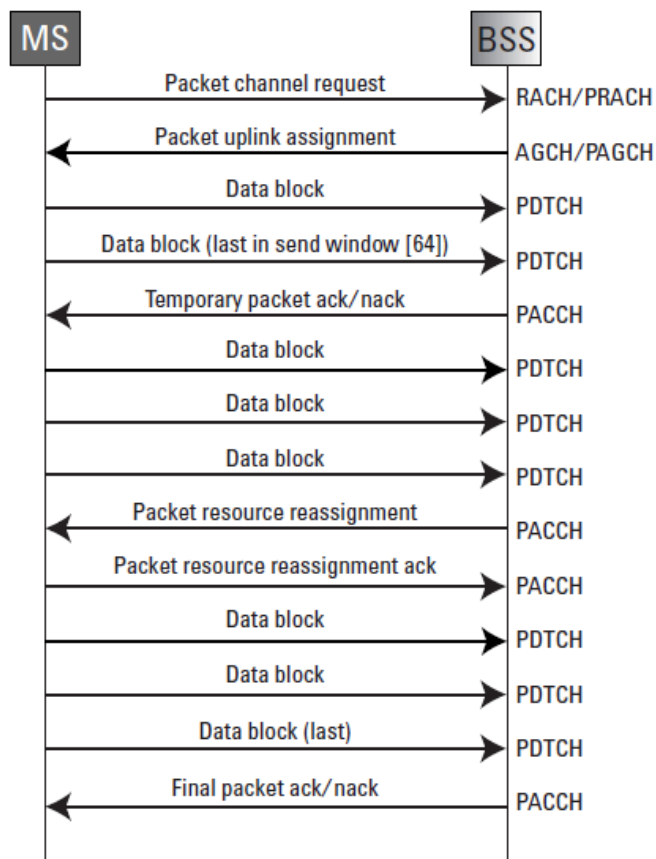
## Two-phase request



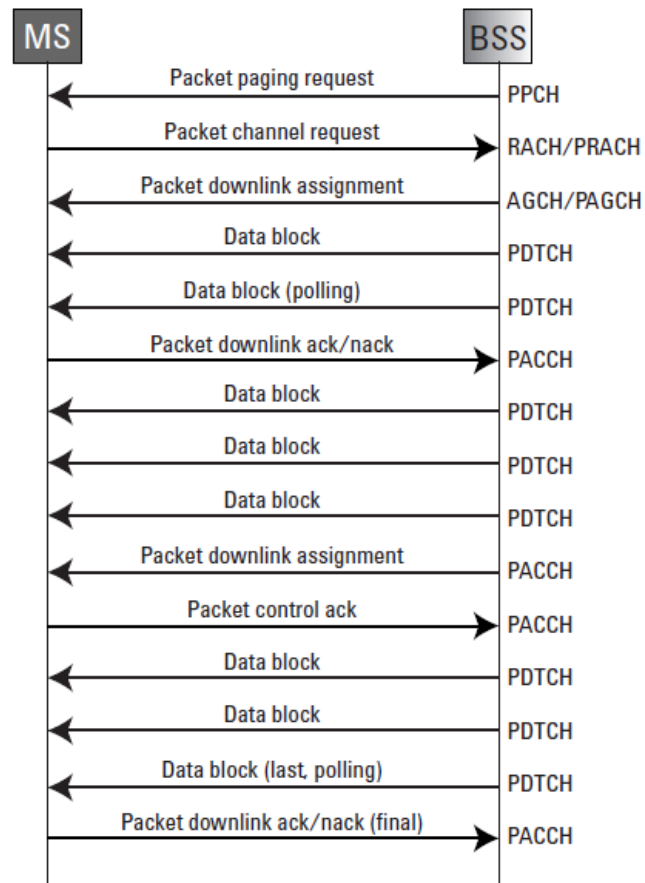
PRACH  
More capabilities

- multislot class
- priority level
- # of Blocks required (1 - 8)

# Transmisión de Paquetes

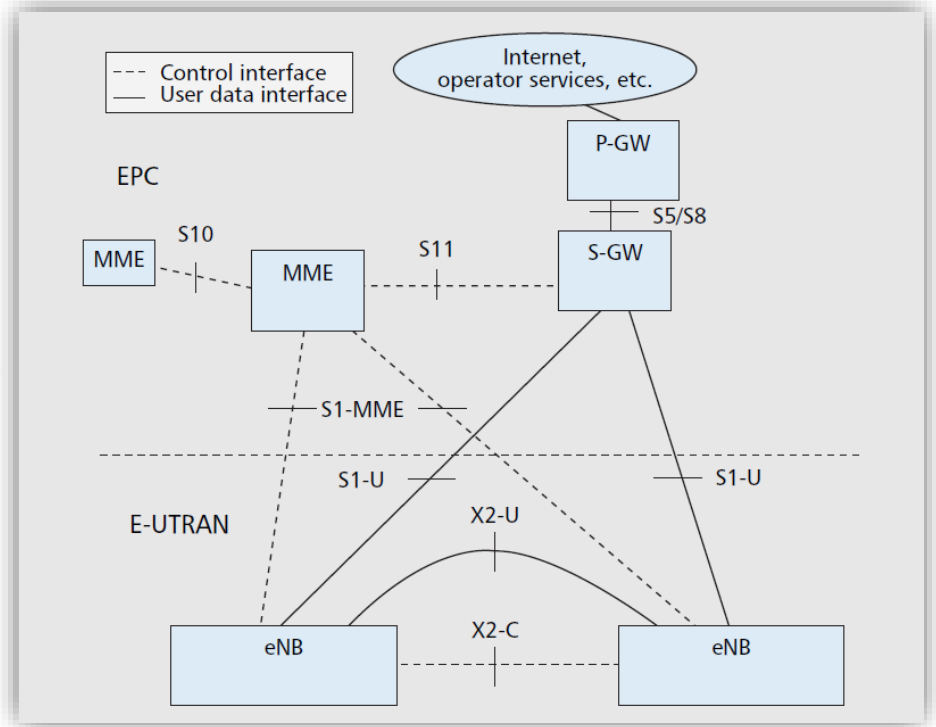
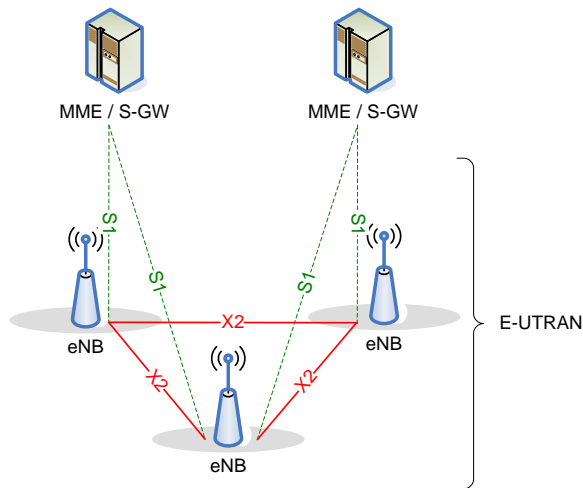


UL Data Transfer



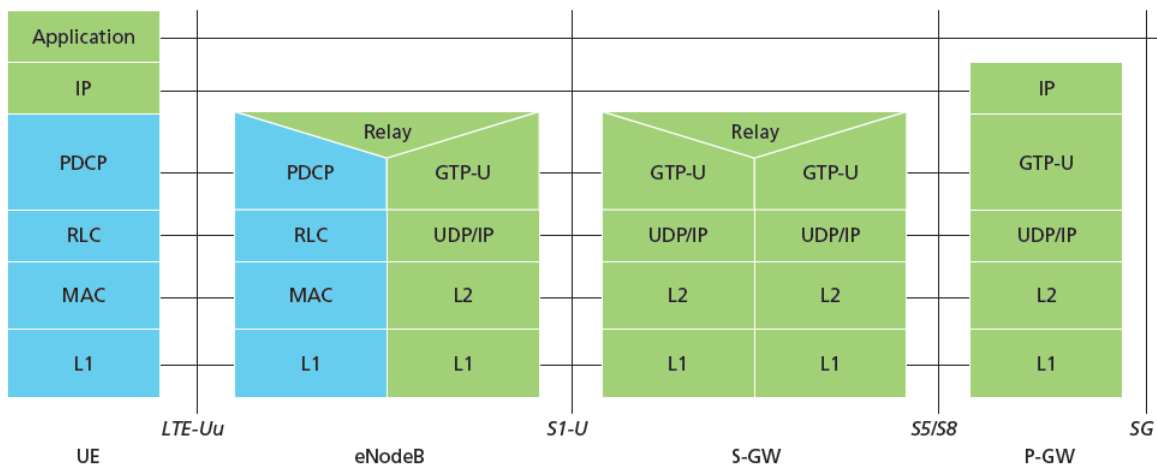
DL Data Transfer

# Transmisión de Paquetes-LTE

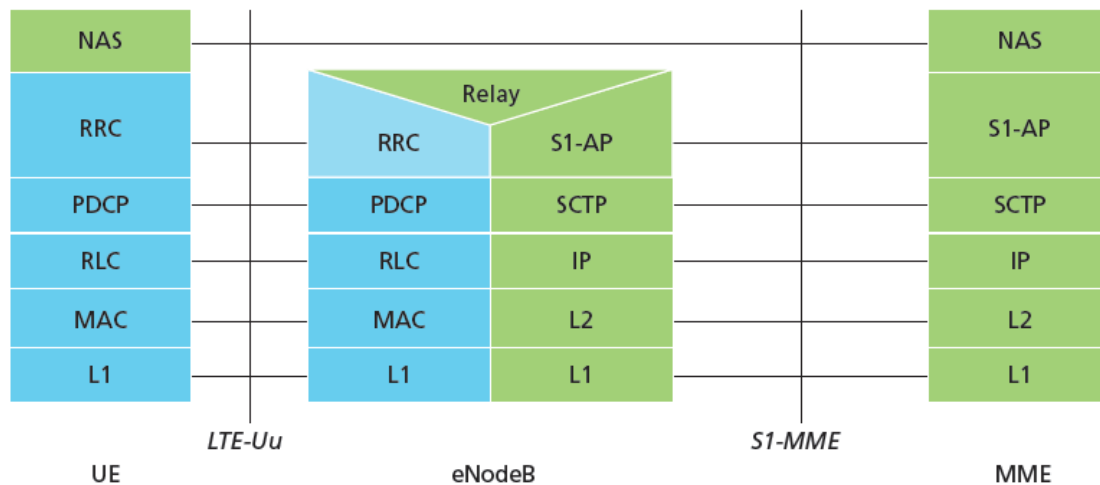




# Transmisión de Paquetes-LTE



Pila de Protocolo  
Plano de Usuario

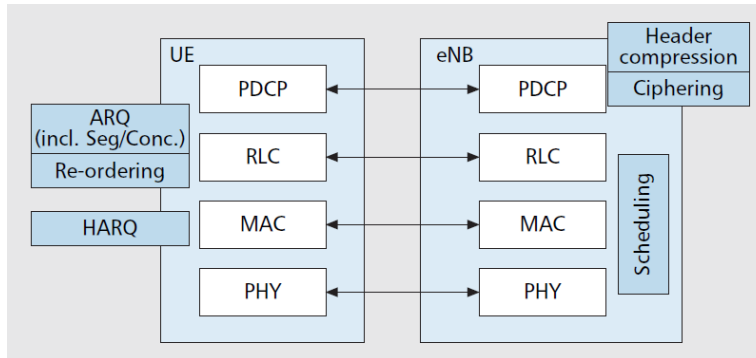


Pila de Protocolo  
Plano de Control

S1AP: S1 Application Protocol  
SCTP: Stream Control Transmission Protocol  
PDCP: Packet Data Convergence Protocol  
NAS: Non-Access Stratum Protocol

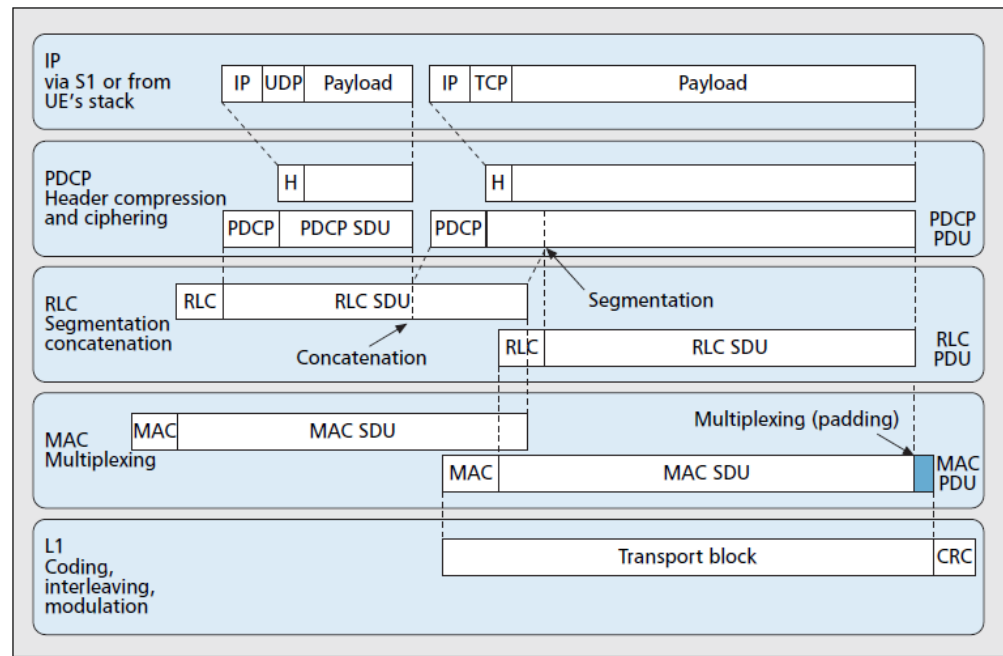
The LTE Network Architecture, Alcatel-Lucent

# Transmisión de Paquetes-LTE



## Plano de Usuario

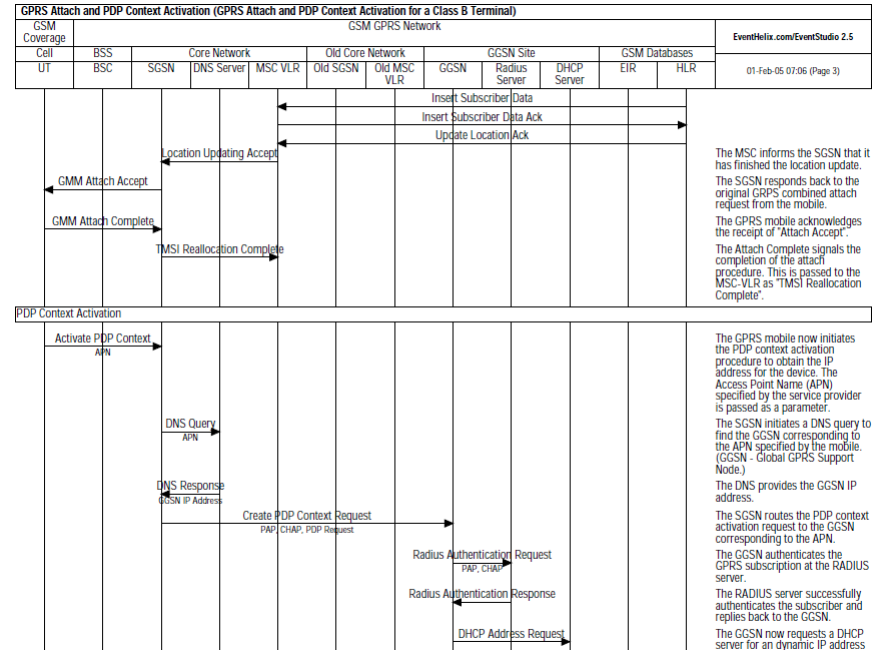
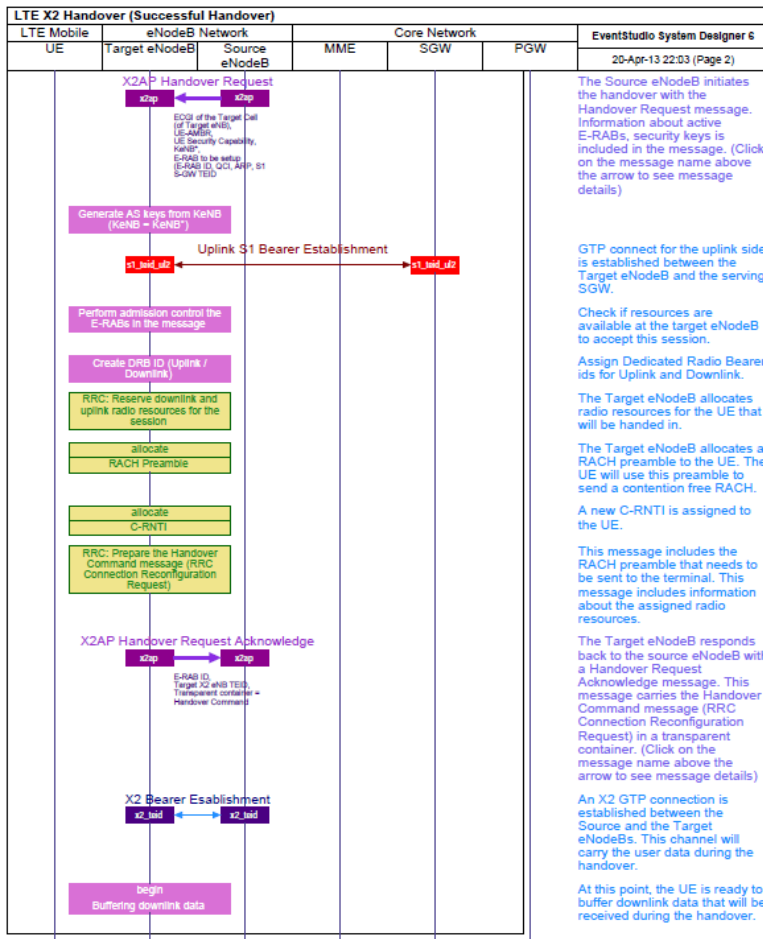
SDU: Service Data Unit



A. Larmo et al., "The LTE Link Layer Design", IEEE Communication Magazine, April 2009

# Transmisión de Paquetes-LTE

Veamos ejemplos de flujos de mensajes en diversas tecnologías:



**TO BE CONTINUED...**